



HÍRADÁSTECHNIKA

**A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA**

**XXXVII. évfolyam
B U D A P E S T**

1986

6

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXVII. évfolyam 1986. 6. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXII. évfolyam 1986. 6. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

IV. évfolyam 1986. 6. 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

Csepregi-Horváth Kázmér

dr. Flesch István

Forintos György

Gál Ferenc

dr. Prónay Gábor

BHG

Rovatvezető: Angyal László

Tudományos szerkesztő: dr. Frajka Béla

Bernhardt Richard, dr. Eisler Péter, Fazekas László,

dr. Gosztony Géza, dr. Kerpán István, Klug

Miklós, Laczkó Endre, Sztaiacs Ákos

MEV

Rovatvezető: Kászonyi László

Tudományos szerkesztő: dr. Kormány Teréz,

Balogh Albert, Csornai László, Czermann

Mihály, Hidas György, Huszka Zoltán,

dr. Ligeti Róbertné, dr. Mátrai Géza,

dr. Motál György, Schödl Ervin

ORION

Rovatvezető: Dr. Somogyi András

Tudományos szerkesztő: dr. Frigyes István,

Csernoch János, Froemel Károly, Nóbik Lajos,

Szász Gerő

REMIX

Rovatvezető: Rippel Géza

Tudományos szerkesztő: dr. Kormány Teréz,

Balanyi Szilveszter, Bodnár László, Kovács Gyula,

Mészáros Sándor, Molnár László

TKI

Rovatvezető: dr. Baranyi András

Tudományos szerkesztő: dr. Lajtha György,

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

dr. Sárkány Tamás, dr. Simonyi Ernő

TERTA

Rovatvezető: Bánsághi Pál

Tudományos szerkesztő: dr. Gordos Géza, Baján

Tibor, Benedek Elek, Kovács Oszkár, Schnürmacher

Tamás, 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 KŐPORC

EMO KFKI

El. Szöv. M. Posta

FMV ML

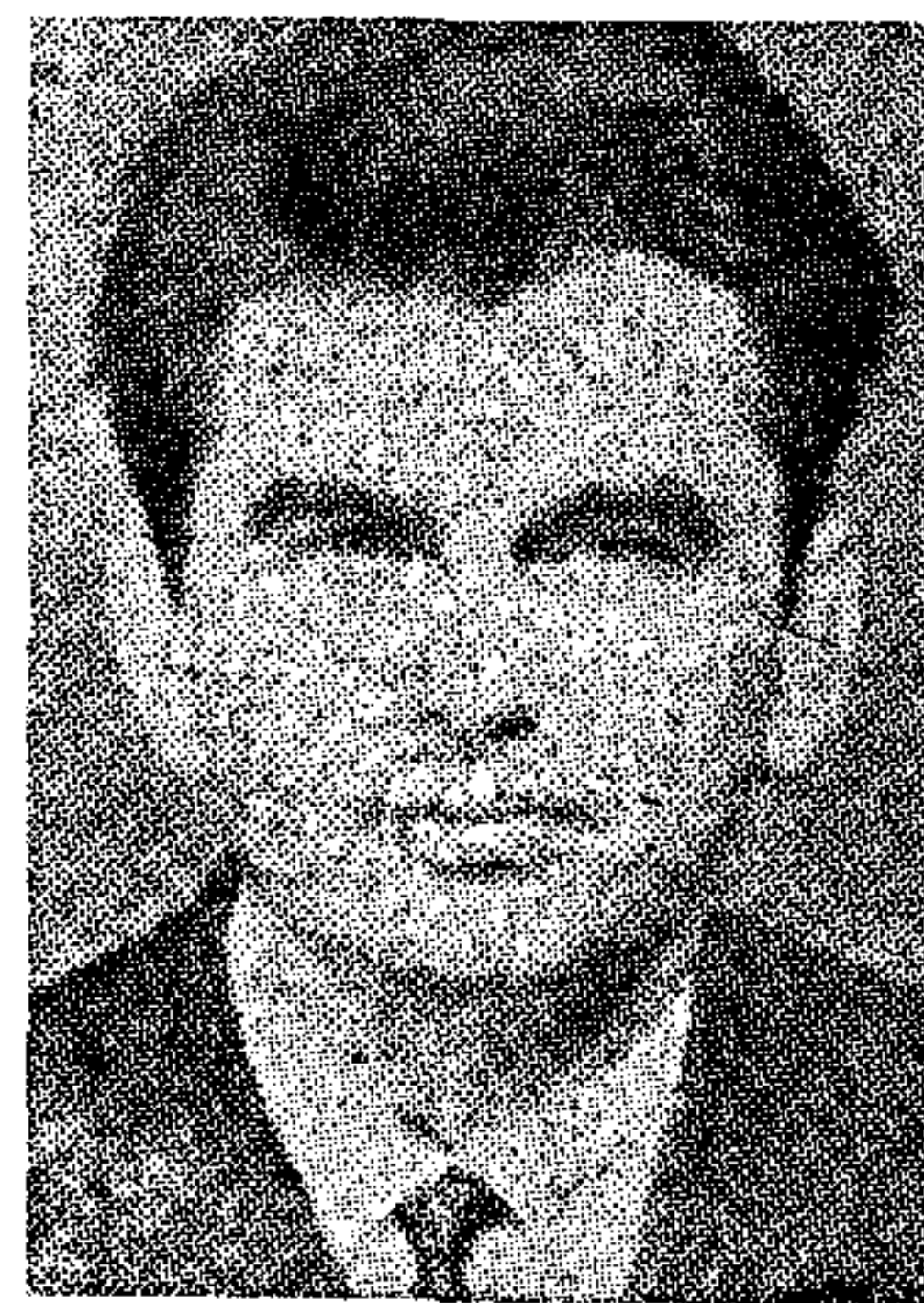
GAMMA MM

HTSZ MFKI

HAGY TUNGSRAM

TARTALOM

DR. TÓFALVI GYULA: Úgy gondolom	241
DR. KÁSA ISTVÁN: Almássy György szakmai tevékenysége	242
HTE—REMIX nap	246
DR. CSURGAY ÁRPÁD—DR. ROSKA TAMÁS—DR. ABOS IMRE—BÁLINT LAJOS—DR. RADVÁNYI ANDRÁS—SZOL- GAY PÉTER—SÁROSSY JÓZSEF—DR. VÁRADI IMRE: Automaták alkalmazása az elektronikai tervezésben	247
DR. TARNAY KÁLMÁN: Tervezőmérnökök továbbképzése beren- dezésorientált áramkörök tervezésére és alkalmazására	254
Szemle	256
DR. PETRIK OLIVÉR: Az elektronika és finommechanika kölcsön- hatásai	257
DR. MARKÓ SZILÁRD: Mikrohullámú ferritek és ferrites eszközök kutatása, fejlesztése	262
DR. KENDERESSY MIKLÓS: A mikrohullámú mérés technika új irányzatai	268
DR. BARANYI ANDRÁS: Nagyjelű mikrohullámú eszközök model- lezése	273
EMG: Új gyártmányok az EMG-ben	282
DR. SZABÓ D. LÁSZLÓ—DR. PREDMERSZKY TIBOR: A mikro- hullámú sugárzás élettani hatásai	285
Tartalmi összefoglalások	286



Úgy gondolom, hogy volt tanítványok, munkatársak és barátok ezreinek gondolatát, szeretetét és tiszteletét fejezzük ki, amikor Tudományos Egyesületünk folyóiratának ezen számát

dr. Almásy György

professzor emlékének szenteljük.

Volt tanítványokat, munkatársakat és barátokat kértünk fel, hogy ebben a számban úgy fejezzék ki munkájukkal kapcsolatos gondolataikat, hogy azok, közvetve egész — tiszteletet adni kívánó — közösségünket képviseljék.

Nemcsak vezető tudósunknak, tanárunknak, munkatársunknak és barátunknak akarunk most tiszteletet adni, hanem felejthetetlen egyéniségű főtitkárunknak is. Annak, aki Tudományos Egyesületünk alapító tagjaként kezdte közösségünkön belüli munkáját és annak, akit élete tetején, egyetlen pillanat vett el tőlünk.

Tiszteletet kívánunk adni generációnk nagy főkonstruktőrének is, aki évtizedeken át fáradozott a mérnök-konstruktőr képzésért, a technikus képzésért, a konstruktóri munka színvonalának nemzetközi szintre emeléséért. Ezen munkája kiterjedt a társadalmi háttér és a nemzetközi kapcsolatok kiépítésére is. Tudományos Egyesületünk Konstruktív Szakosztályának létrehozásával és vezetésével, a CONSTRONIC konferencia életre hívásával és szervezésével, kaput nyitott számunkra a világ felé.

Tiszteletet kívánunk adni az elektronizáció nagy egyéniségének, az alkatrészipar, sőt az elektronikai háttérpar egyik élharcosának és az elektronikus mérés- és műszertechnika egyik legnagyobb egyéniségének is.

Tudós és ember együtt!

Ez az oka annak, hogy számos hazai és külföldi közösség, társaság, egyesület, egyetem, főiskola, bizottság, szövetség hívta és várta. Ez az oka annak, hogy már pusztán jelenléte is sok mindent megoldott és annak, hogy lát-szólagos féltékenységéből és védtelenségéből, oly hatalmas, kényszerítő erő tudott áradni környezeté felé.

Ez az oka annak, hogy tiszteletet kívánunk adni az embernek is, aki tudott szeretni és akit oly sokan szerettek.

Dr. Tófalvi Gyula
főszerkesztő

Almássy György szakmai tevékenysége

DR. KÁSA ISTVÁN
Távközlési Kutató Intézet



DR. ALMÁSSY GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

Almássy György (1919—1984) 1950-től a Távközlési Kutató Intézetben irányította a mikrohullámú mérés technikai kutató-fejlesztő munkát, majd a TGE tevékenység megalapozásában vett részt. A műszaki közéletben sok egyéb megbízatása mellett a Híradástechnikai Tudományos Egyesület főtítkáráként munkálkodott, a Műszaki Egyetemen és más felsőfokú intézményekben pedig az ifjabb mérnökgenerációk tudásának megalapozásához járult hozzá.

A cikk rövid áttekintést szeretne nyújtani Almássy György szakmai tevékenységének legfontosabb vonásairól és megkísérli dokumentálni azt, ezért tartalmazza az Almássy György által írt könyvek, egyetemi jegyzetek és folyóiratcikkek, valamint szabadalmak jegyzékét.

Almássy György felsőfokú tanulmányait Budapesten, a Műszaki Egyetem gépészmérnöki karán végezte. Diplomájának megszerzése után tanársegédként, majd adjunktusként működött Vörös Imre professzor tanácskén.

Sorsát hamarosan a magyar elektronikai iparhoz kapcsolta, 1946-ban már az ORION-ban dolgozott, elektronikus műszerek, főként oszcilloszkópok fejlesztésén. Ez az időszak a magyar elektronika gyors fejlődésének korszaka, az akkori — nehéz körülmények között dolgozó — mérnökgeneráció sok eredménnyel járult hozzá a híradástechnika és műszeripar megalapozásához.

1950-ben csatlakozott a Távközlési Kutató Intézethez, amelynek haláláig fáradhatatlan, megbecsült és hűséges dolgozója maradt.

Az Intézet alapító tagjaként a mérés technikai osztályt szervezte meg és megindította a mikrohullámú műszerek fejlesztését. Már ekkor határozottan megnyilvánult műszaki tevékenységének az a kettős vonása, amely egész életében jellemző volt: egyrészt az elektronika, különösen pedig a mikrohullámú technika iránti elkötelezettség, másrészt — az elektronikai szakmában nem szokványosan — a konstrukciós és technológiai problémák iránti érzékenység.

A TKI mérés technikai osztályán a megszülető magyar mikrohullámú ipar támogatására nemcsak sokféle mikrohullámú műszert fejlesztettek ki, hanem megszervezték azok gyártását is. Ez a munka összetett, sokféle szakterületet komplexen átfogó, szintetizáló munka volt, eredményeként egyrészt a csőtápvonalas műszercsaládok, másrészt mikrohullámú elektronikus műszerek (jelforrások, vevők stb.) jöttek létre. Ez a munka napjainkig produktív ipari tevékenység alapjait vetette meg és egy kritikus időszakban a mikrohullámú műszerek importját nagymértékben nélkülözhetővé tette.

Beérkezett: 1986. III. 5. (H)

Alkotói munkásságának ezt az időszakát két alkalommal a „Szocialista Munkáért” kitüntetéssel (1955, 1961), majd Kossuth-díjjal (1962) ismerték el, tudományos eredményeinek elismeréseként pedig 1959-ben a kandidátusi fokozatot, 1969-ben pedig a műszaki tudományok doktora fokozatot nyerte el.

Tudományos érdeklődése és a kutatás problémái már korán arra indították, hogy figyelemmel kísérje a mikrohullámú mérés technika fejlődését és keresse a mikrohullámú technika újabb alkalmazásait is. Ugyanakkor volt energiája arra is, hogy elmélyüljön az elektronikus berendezések konstrukciós és technológiai problémáiban. A hetvenes évektől egyre több időt szentelt az elektronikai konstrukció és technológia kérdéseinek, és ezt a tevékenységét az elektronikai technológia olykor viharos gyorsaságú megújuló korszakaiban is tovább bővítette. E munkának fontos állomása volt az az időszak, amikor a TKI-ban a TGE (tervezés — gyártás — ellenőrzés) tevékenységet, az e témakörben folyó kutató-fejlesztő munkát irányította. Sokoldalú szelleme nem engedte meg, hogy a problémákat csak felülről nézze, hogy csak a nagy távlatokat lássa; nagy tárgyismereteivel a sémák mögött mindig meglátta a műszaki valóságot és a nagyvonalú elgondolások mellett időt tudott szakítani egy-egy korszerű részletprobléma vizsgálatára is.

1979-ben ismét magas állami kitüntetést kapott, állami díjjal értékelték eredményes munkáját.

Sokrétű műszaki tevékenysége során átfogó tudását kezdettől fogva igyekezett továbbadni munkatársainak és tanítványainak. Pályakezdése óta folyamatosan részt vett a felsőfokú oktatásban. A Műszaki Egyetemen és az Állami Műszaki Főiskolán a „Gépelemek” c. tárgyat adta elő, majd műszaki tevékenységének irányváltását jelzi a Műszaki Egyetemen előadott tárgyak címei is: „Repülőgépek villamos felszerelése”, ill. „Mikrohullámú mérések”.

1952 óta egyre szorosabban kötődött a Műszaki Egyetemhez, először a Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszéken, majd a Mikrohullámú Tanszéken működött, mint adjunktus, docens, végül mint címzetes egyetemi tanár. Ebben az időszakban a „Mikrohullámok technikája”, majd a „Készülékek szerkesztése” c. tárgyakat adta elő. Ezen kívül e témakörben rendszeresen tartott előadásokat a Mérnök Továbbképző Intézetben és a mikrohullámú szakmérnöki tanfolyamon is. Vendégprofesszorként rendszeresen előadott az Ilmenai Műszaki Főiskolán (NDK) is.

A jövő mérnöki generációk oktatását, tudásuk bővítését, nemcsak egyetemi oktatóként, hanem a

TKI vezető kutatójaként és a tudományos közélet tekintélyes tagjaként is fontos ügyének érezte. Életének utolsó szakaszában, mint tudományos főmérnök, a TKI Tudományos Tanácsa operatív vezetőjeként vett részt a tudományos munka és utánpótlás szervezésében.

Ez a kérdéskör továbbvisz Almássy György munkásságának egy területére, ahol a műszaki közélet kiemelkedő és megbecsült alakjaként járult hozzá a magyar műszaki élet gazdagításához. Hosszabb időszakon át, elsősorban mint a Híradástechnikai Tudományos Egyesület főtitkára fejtette ki közéleti tevékenységét, de többek között a MATE elnökségi tagjaként, az IMEKO mikrohullámú szekció elnökeként is elismert munkát végzett.

A műszaki közéletben végzett társadalmi munkájáért Puskás Tivadar díjjal, Kruspér István emlékéremmel, továbbá MTF SZ nagydíjjal tüntették ki.

A HTE-ben és a MATE-ban végzett tevékenysége során felismerte, milyen fontossága van annak, hogy a magyar műszaki életet bekapcsolja a nemzetközi vérkeringésbe. Számos külföldi és nemzetközi szakmai szervezet munkájában vett részt, kiépítve, fenntartva és bővítve szakmai szervezeteink külföldi kapcsolatait.

Szenior tagja volt az IEEE-nek, ezenkívül az EOQC (European Organization for Quality Control) igazgatótanácsának tagja, az URSI Magyar Nemzeti Bizottság tagja, az IMPI (International Microwave Power Institute), a CPEM (Conference on Precision Electromagnetic Measurement) és a BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) vezető szerveinek, ill. bizottságainak tagja volt. Sok éven át dolgozott az IEC szakmai bizottságaiban is. Ezzel a tevékenységével, valamint nemzetközi konferenciákon tartott számos előadásával és a National Bureau of Standards-nél végzett kutatómunkájával nemcsak személyének szerzett megbecsülést, hanem a magyar műszaki tudomány méltó képviselője is volt.

E cikkben Almássy György gazdag munkásságának legfontosabb vonásait kíséreltük meg felvázolni, megmutatva a kiváló mérnököt, a sokoldalú pedagógust és a műszaki közélet felelős résztvevőjét. Ennek az életútnak fontos dokumentumai azok a könyvek, egyetemi jegyzetek, cikkek és szabadalmak, amelyek Almássy György nevéhez fűződnek. Szakmai tevékenységének értékeléséhez közöljük Almássy György publikációinak jegyzékét, amelyet megkíséreltünk teljessé tenni, de gazdag életét ismerve ebben kevésbé lehetünk biztosak.

A publikációk jegyzékének összeállításában Márk György tudományos munkatárs nyújtott jelentős segítséget.

Dr. Almássy György által írott könyvek és felsőoktatási jegyzetek

1. *Kutassy B.*: Repülőgép berendezések c. egyetemi tankönyv (8. fejezet) 1952. Tankönyvkiadó
2. *Istvánffy E.*: Mikrohullámok technikája és rádiólokátorok (11. fejezet) 1955. Tankönyvkiadó
3. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú mérőműszerek és mérések 1961. Műszaki Könyvkiadó

4. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú tápvonalelemek és üregrezonátorok szerkesztése. 1967. Műszaki Könyvkiadó
5. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú kézikönyv. (főszerkesztő + 1., 8., 9. fejezet) 1973. Műszaki Könyvkiadó
6. *Almássy Gy.*: Elektronikus készülékek szerkesztése 1979. Műszaki Könyvkiadó
7. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú berendezések tervezése 1985. Tankönyvkiadó
8. *Almássy Gy.*: Repülőgépek villamosberendezései I—III. 1949. Tankönyvkiadó
9. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú mérések I—II—III. 1952., 1953., 1954. Tankönyvkiadó
10. *Almássy Gy.*: Mikrohullámok technikája (kiegészítés) 1954. Tankönyvkiadó
11. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú készülékek szerkesztése. 1961. Tankönyvkiadó
12. *Almássy Gy.*: Finommechanika. I. 1961. Tankönyvkiadó
13. *Almássy Gy.*: Finommechanika. II. 1962. Tankönyvkiadó
14. *Almássy Gy.*: Híradástechnikai mechanikai szerkezetek. 1963. Tankönyvkiadó
15. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú műszerek. 1967. Tankönyvkiadó
16. *Almássy Gy.*: Kiegészítés a „Híradástechnikai mechanikai szerkezetek” c. jegyzethez. 1968. Tankönyvkiadó
17. *Almássy Gy.*: Elektronikus készülékek szerkesztése. 1972. Tankönyvkiadó
18. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú konstrukció és technológia. 1966., 1976. Tankönyvkiadó
19. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú műszerek és mérés-technika. BME Továbbképző Intézet Kiadványa. V154 1982

Dr. Almássy György cikkeinek jegyzéke

1. Szélessávú erősítők
Magyar Technika, 3. sz. 1947.
Híradástechnikai sorozat.
2. Katódsugárcsöves oszcillográfok ipari alkalmazása
Magyar Technika, 1949. 1. szám
3. Repülőgépek rezgetési vizsgálatai
A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei, II. kötet 2—3. szám 305—324. old. 1952
(Varga Lászlóval közös cikk)
4. Határfrekvencia alatti csillapítók
Magyar Híradástechnika 182—189. old. 1952. okt.—dec.
5. Termisztorok
Mérés és Automatika, 8. sz. 1953.
6. Termisztor
A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei XX. kötet 1—2. szám, 81—92. old. 1956
7. Termisztorok
Mérés és Automatika, 1956. 7. szám
8. Fényintenzitás abszolút mérése közvetlenül mutató termisztoros bolométerrel

- Mérés és Automatika, V. évf. 4. szám 135—138. old. 1957. (Gergely Gy.-vel és Ádám J.-sal közös cikk)
9. The absolute measurement of light intensity by directreading thermistor
Acta Physica Academiae Scientiarum Hungaricae Tom. VII. Fasc. 4. 463—468. old. 1957.
(Gergely Gy.-vel és Ádám J.-sal közös cikk)
 10. Koaxiális mikrohullámú mérőműszerek. Mérés és Automatika 8. szám 89—96. old. 1957.
 11. Csőtápvonalból kialakított mérőműszerek. Mérés és Automatika 9. szám 249—284. old. 1958.
 12. Kábel és csillapítás mérés
Mérés és Automatika 11—12. szám 341—350. old. 1958.
 13. Neues Messverfahren für die Ermittlung des Gütefaktors der Mikrowellenhohlraumresonatoren.
Acta IMEKO IV; Közlemények 1958.
 14. Kis állóhullámviszony mérése
Magyar Híradástechnika 2. szám 41—50. old. 1959.
 15. Új mérési módszer mikrohullámú üregrezonátorok jósági tényezőjének megállapítására
Mérés és Automatika 6. szám 137—40. old. 1959.
 16. Microwave Measuring Instruments
Hungarian Heavy Industries 1959. Winter.
 17. Különleges TM móddal működő tápvonal, illetve üregrezonátor számítása
Magyar Híradástechnika 6. szám 205—241. old. 1959. dec.
 18. A microwave method of measuring surface roughness
Periodica Polytechnica, Electrical Engineering Vol. 4. No. 17—29. old. 1960.
 19. Feinmechanische Fragen der Konstruktion von Mikrowellengeräten
Feingerätetechnik Jg. 9 Heft 4. 151—158. old. 1960.
 20. New microwave noise generator for the 2000 Mc/s band
Periodica Polytechnica, Electrical Engineering Vol. 4. No. 203—208. old. 1960.
 21. Új mikrohullámú zajgenerátor a 2000 MHz körüli sávra
Mérés és Automatika, 4. szám 106—110. old. 1961.
(Frigyes I.-nal közös cikk)
 22. Microwave Measuring Instruments
Hungarian Heavy Industries, Sommer 1961.
 23. Új mikrohullámú teljesítménymérő tervezése
Mérés és Automatika, 12. szám 360—363. old. 1961.
 24. Ein neuer Leistungsmesser für Mikrowellen
Acta IMEKO 1961.
 25. A mikrohullámú méréstechnika tízéves fejlődése a TKI-ban.
TKI közleményei, VI. évf. 1. sz. 1961.
 26. Der Entwurf eines neuen Leistungsmessers für Mikrowellen
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau, Jg. 8. Heft 3. 125—127. old. 1962.
 27. Die Messung der Oberflächeneigenschaften im Mikrowellengebiet.
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau. Jg. 8. Heft 3. 171—175. old.
 28. Elektronikus készülékek méretezése melegedésre.
Finommechanika, I. évf. január 17—20. old. 1962. március. 84—86. old. április 104—109. old. december. 364—369. old.
 29. Der Entwurf eines neuen Leistungsmessers für Mikrowellen
Nachrichtentechnik, Heft 12. 447—449. old. 1962.
 30. Miniaturizált elektronikus készülékek hűtési kérdései
Finommechanika, I. évf. május 1962.
 31. Mikrohullámú mérések pontossága
Mérés és Automatika, 9. szám 268—270. old. 1962.
 32. Műszer lágyforrasztott kötések elektromos vizsgálatára
Finommechanika, II. évf. június 166—168. old. 1963
 33. Ferromágneses infradetektor
Finommechanika, II. évf. szept. 285—287. old. 1963.
(Hahn E.-lél és Tardos L.-val közös cikk)
 34. Elektronikus készülékek mechanikai igénybevétele
Finommechanika, II. évf. nov. 343—347. old. 1963.
 35. Low Curie Temperature ferrites and their application
Periodica Polytechnica, Electrical Engineering Vol. 7. Nov. 4. 281—294. old 1963.
(Tardos L.-val közös cikk)
 36. Prüfung der Oberflächengüte durch Präzisionsmessung der Gütefaktors von Hohlraumresonatoren. Nachrichtentechnik. Jg. 14. Heft 254—258. old. 1964
(Kása I.-nal közös cikk)
 37. Alacsony Curie hőmérsékletű ferrittel működő termosztát
Finommechanika, III. évf. szept. 283. old. 1964.
 38. Felületi minőség vizsgálata üregrezonátorok jósági tényező változásának nagy pontosságú mérése útján
TKI Közleményei IX. évf. 3. szám 45—61. old. 1964.
 39. A mikrohullámú ipar helyzete
Elektronikai műszaki tájékoztató 2. szám 36—42. old. 1965. 3. szám 13—18. old. 1965.
 40. Hőátadás elektronikus készülékekben
Elektronikai műszaki tájékoztató 4. szám 2—13. old. 1965.
 41. Elektronikus készülékek megbízhatóságával kapcsolatos gazdasági kérdések
Elektronikai műszaki tájékoztató 2. szám 42—49. old. 1966.
 42. Az elektronikus ipar szerkezeti konstruktőreinek képzése
Elektronikai műszaki tájékoztató, 4. szám 23—27. old. 1966.
 43. Új típusú állítható rövidzár tervezési szempontjai
Finommechanika, 3. szám 97—100. old. 1966.
 44. Über den Einfluss von Schmierfilmen auf die Güte von Kurzschluss-schiebern und über einen

- spaltresonanzfreien Drossel Kurzschluss-schieber Nachrichtentechnik, Jg. 16. Heft 9. 356—358. old. 1966.
45. Ferite cu temperaturi Curie coborite si intrebuintari ale lor
Telecommunicatii (Bucuresti) Noembrie 438—441. old. 1965.
 46. Die Zuverlässigkeit feinmechanischer Höchstfrequenzgeräte
Feingerätetechnik, Jg. 15. Heft 2. 83—84. old. 1967.
 47. A mikrohullámú mérés technika fejlődési irányai
Mérés és Automatika Jan. 1—4. old. 1969.
 48. Mikrohullámú mérések automatizálása.
V. Országos Automatizálási Konferencia kiadványa (1968. ápr. 16—20. old.)
II. kötet 43. előadás
(B. Nagy Andrásal közös előadás).
 49. Die Beurteilung des Gebrauchwertes von Mikrowellenmessgeräten auf Grund der Informationstheorie.
Acta IMEKO 79—83. pp. 1967.
 50. Konstruktion und Technologie von Mikrowellengeräten.
Nachrichtentechnik, Vol. 20. 111—114. pp. 1970. II. 30.
 51. Information processing in the microwave measurement technique.
Proc. of the Fourth Colloquium on Microwave Communication Vol. ME. SM—8/1—6 1970.
 52. Redundant Measurements in Microwave Research and Development
IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement. Vol. IM—19. No. 4. 260—262. old. Nov. 1970.
 53. Precíziós Elektromágneses Mérések Konferenciája
Mérés és Automatika, 417—421. old. nov. 1970.
 54. A First Order Correction to Sliding Short Behaviour with Application to the Problem of Measuring Small Losses.
IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement. Aug. 1971.
 55. Mikrohullámú struktúrák leírása referencia síktól független paraméterekkel és a módszer alkalmazása igen kis csillapítások mérésére
Távközlési Kutató Intézet Közleményei 1971. XVI. évf. 3. sz. 13—62. old.
 56. A mikrohullámú mérés technika jelenlegi helyzete és fejlődési irányja
TKI évkönyv, 1973.
 57. Determination of the Properties of the Bound-Water in Biological Objects by Microwave Methods
Microwave Power Symposium, Loughborough (England) University of Technology 1973. konferencia kiadvány
(Misik S.-ral közös cikk)
 58. Instationäre Vorgänge bei der Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung sowie thermoelektrische Effekte; — Technische Akademie Esslingen Fort und Weiterbildungszentrum (NSZK)
Szeminárium kiadvány, 1974. nov. 4—5.
 59. Nemzetközi minőségügyi szervezetek tapasztalatainak hasznosítása
Minőségfejlesztés, szabványosítás, takarékoság, Konferencia kiadványa, 1975. nov. MSZH.
 60. Quality and Reliability Requirement for Unattended Communication Systems
EOQC Copenhagen 1976. June,
Konferencia Kiadvány pp. 101—108.
 61. Abstimmelemente für Hohlleiter
„Electronica '76” Mikrowellen Tagung München, 1976. Konferencia kiadvány
 62. Special Aspects of the Reliability of Electronic Systems EOQC Dresden, 1978.
Konferencia Kiadvány, 2. kötet, pp. 252—258.
 63. Aspekte internationaler Normung von Bauelementen aus der Sicht der Entwurf und Entwicklungsingenieure. Fachsitzung zur „Electronica '78”
Internationales Elektronik Zentrum, Szeminárium Kiadvány, München, 1978.
 64. Limits of Models in Reliability Engineering, 1979. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Washington, 1979. Jna. pp. 364—367.
 65. Szabványosítás, egységesítés
A Távközlési Kutató Intézet Közleményei 1979. XXIV. évf. 4. szám, 17—38. old.
 66. Constronic '80. 3. Tagung „Mechanische Konstruktion elektronischer Apparate und Anlagen, Budapest, 22—25 April 1980. pp. 23—27.
 67. Elektromágneses sugárvédelmi előírások (Safety) Electronica '80. München, 1980. nov 5—8. Konferencia kiadvány
 68. Technische Aspekte zum Theme „Zuverlässigkeit“ Verfügbarkeit und Sicherheit in der Elektronik
Technische Akademie Esslingen
Zürichben 1981. febr. 18—19. között rendezett szeminárium kiadványa
 69. Biological aspects of microwave radiation. Proc. of the Seventh Coll. on Microwave Communication. 478—481. o.
(Társszerzők: Szabó L. D., Ballay L. és Bölöni E.). Magyarul megjelent:
TKI Közlemények 1992. évf. 15—46. o.

Dr. Almássy György szabadalmainak jegyzéke

1. *Almássy Gy.*: Mikrohullámú koaxiális üregrezonátor hengeres próbadarabok felületi finomságának meghatározása. Magyar sz.: 147.295. Osztrák sz.: 219.294
2. *Almássy Gy.*: Változtatható jósági tényezőjű mikrohullámú üregrezonátor. Magyar sz.: 146.489. Osztrák sz.: 213.965
3. *Almássy Gy.*: Eljárás a mérőberendezés rezgőkörök jósági tényezőjének meghatározására. Magyar sz.: 147.534. Osztrák sz.: 215.019
4. *Almássy Gy.*: Határfrekvencia alatti csillapító üregrezonára. Magyar sz.: 145.676. Osztrák sz.: 214.983
5. *Almássy Gy.*: Rezgőkörök jósági tényezőjének meghatározására alkalmas közvetlen leolvasású mérőberendezés. Magyar sz.: 147.179. Osztrák sz.: 216.092

6. *Almássy Gy.—Tardos M.*: Ferrittel működő hőmérő hitelesítő berendezés. Magyar sz.: 147.537
7. *Almássy Gy.—Tardos M.*: Ferrittel működő termosztát. Magyar sz.: 149.169. Osztrák sz.: 234.400
8. *Almássy Gy.*: Villamos rezgőkörök jósági tényezőjének mérésére alkalmas berendezés. Magyar sz.: 147.180. Osztrák sz.: 215.018
9. *Almássy Gy.—Uzsoki M.*: Teljesítménymérő kaloriméter. Magyar sz.: 149.349. Osztrák sz.: 225.280
10. *Almássy Gy.—Tardos M.—Nemeshegyi*: Rádió-aktív izotópok aktivitásának mérésére szolgáló készülék. Magyar sz.: 149.264
11. *Almássy Gy.*: Nagy időállandójú termisztor szerelvény. Magyar sz.: 149.352. Osztrák sz.: 226.811
12. *Almássy Gy.*: Részrezonanciamentes állítható rövidzár négyszögletes tápvonalakban. Magyar sz.: 149.351. Osztrák sz.: 228.278
13. *Almássy Gy.*: TE_{01n} rezgési móddal működő hengeres üregrezonátor. Magyar sz.: 149.062. Osztrák sz.: 228.843
14. *Almássy Gy.—Sterk E.*: Elektrosztatikus írószerkezet. Magyar sz.: 150.062
15. *Almássy Gy.—Sterk E.*: Elektrettel történő gyors jelrögzítés. Magyar sz.: 150.146
16. *Almássy Gy.—Kövesdi*: Eljárás hőtechnikai mennyiségek mérésére és szabályozására. Magyar sz.: 151.612
17. *Almássy Gy.—Frigyes I.*: Széles sávú mikrohullámú zajgenerátor. Magyar sz.: 206.934. Francia sz.: 1,126.980
18. *Almássy Gy.—Frigyes I.*: Változtatható jósági tényezőjű üregrezonátor. Magyar sz.: 147.465. Francia sz.: 1,240.327. NSZK sz.: 1,093.438. Olasz sz.: 619.131
19. *Almássy Gy.—Nagy P.*: Eljárás és készülék kis impedanciák mérésére. Magyar sz.: 2251/AA

HTE-REMIX nap

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület Alkatrész és Alapanyag Szakosztálya a Remix Rádiótechnikai Vállalattal közösen 1986. május 7-én REMIX napot szervezett. A több mint 150 érdeklődő szakembert házigazdaként dr. Molnár Rudolf, a REMIX vezérigazgatója köszöntötte. Mint a Híradástechnika folyóirat alkatrész rovatgazdája átadta a rovat az 1985. évi nívódíjait Csapó Zoltánné (Remix), Fodor László Vécsei Béla (HAGY) és Hidasi Béla (BME) szerzőknek.

Ezt követően dr. Tófalvi Gyula a HTE főtitkára, előadásában áttekintést adott az Elektronikai Központi Fejlesztési Program eddigi eredményeiről és sajnálatos lemaradásairól. A Remixben megvalósított innovációkat az előbbieik között emelte ki.

A szakmai közönséget Knazur Ferenc termékigazgató tájékoztatta a Remix szigetelő alapú hibrid integrált áramköri ellátó bázisának és szolgáltatási lehetőségeinek VII. ötéves tervi helyzetéről. Hangsúlyozta, hogy az országosan általánosságban tapasztalható alkatrész választék és mennyiségi hiánnyal ellentétben itt és most széles skálájú szabad gyártókapacitás áll a berendezés konstruktőrök és gyártók rendelkezésére.

A passzív RC elemek VII. ötéves tervi generáció váltásról Rippel Géza főkonstruktőr adott áttekintést,

bemutatva elsősorban a felületi szereléshez illeszkedő a prototipizált morzsa (chip) ellenállásokat, továbbá a hasonló rendeltetésű műanyag kondenzátor, cermet potenciométer, mikroinduktivitás fejlesztési és megvalósítási elképzeléseket.

Göblös János műszaki igazgató összefoglalójában a felületi szereléssel kapcsolatos, kiépítés alatt álló szolgáltatásra hívta fel a szakemberek figyelmét. Ez az OMFB támogatásával megvalósuló kísérleti üzem a berendezésgyártóknak tapasztalatszerzési, kipróbálási, betanulási célra, a készülékek prototípusainak, kísérleti szériáinak kialakításához és elkészítéséhez fog hathatós segítséget nyújtani.

Az előadásokat követően a vendégek szimultán videoműsorok keretében ismerkedhettek a Remix vidéki gyártótelepeinek munkájával, valamint a felületi szerelés részletes és átfogó műszaki bemutatójával, valamint személyes üzemlátogatáson megtekintették a szigetelő alapú hibrid áramköri gyártást és a felületi szerelés már működő berendezéseit. Eközben nyílt lehetőség a kötetlen eszmecserékre és szűkebb körű konzultációkra.

A végig érdeklődés mellett zajló HTE—REMIX nap remélhetően hathatós műszaki segítséget nyújtott mind a berendezés, mind az alkatrészgyártók számára.

Rippel Géza

Automaták alkalmazása az elektronikai tervezésben

CSURGAY ÁRPÁD—ROSKA TAMÁS—ABOS
IMRE—BÁLINT LAJOS—RADVÁNYI
ANDRÁS—SZOLGAY PÉTER—SÁROSSY
JÓZSEF—VÁRADI IMRE

MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató
Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektronikai alkatrészek komplexitásának növekedése az ipar, közelebbről az elektronikai ipar elektronizációjának új lehetőségeit nyitja meg, ugyanakkor a tervezési metodikák leküzdhetetlennek tűnő akadályokba ütköznek. A kiút keresésének néhány elvét és néhány kísérleti eredményt mutat be a dolgozat. Ez utóbbiak egyike IBM PC kompatibilis személyi számítógépen ipari bevezetésre is került (PC/TPM).

1. Ipari elektronizálás, különös tekintettel a TGE (Tervező — Gyártó-szerelő — Ellenőrző-tesztelő) rendszerekre

1.1. A vizsgálódás alapmodellje

Adottnak tételezzük fel a szabályozórendszert, melyet a gazdaságpolitika határoz meg. Ez esetben az ipari folyamatok mint transzportfolyamatok alapvetően két alrendszeren zajlanak le [2]:

(i) a folyamatok irányítási rendszerében (információs és döntési transzportfolyamatok) és

(ii) a primér, anyagi transzportfolyamatokban, melyben a folyamatok műszaki és gazdasági paraméterekkel mérhetők, és e folyamatok kiváltója a használati-érték-különbség.

A primér transzportfolyamat csomópontjai az üzemek, melyeket az ember, természet-anyag, technológia (technika) hármából (H, N, T) az alkalmazott homogén technológia szerint osztályozunk (és nem végtermék szerint).

Az adott, homogén technológiát művelő üzem műszaki modelljének megragadására a TGE modellt [1] használjuk, melyben

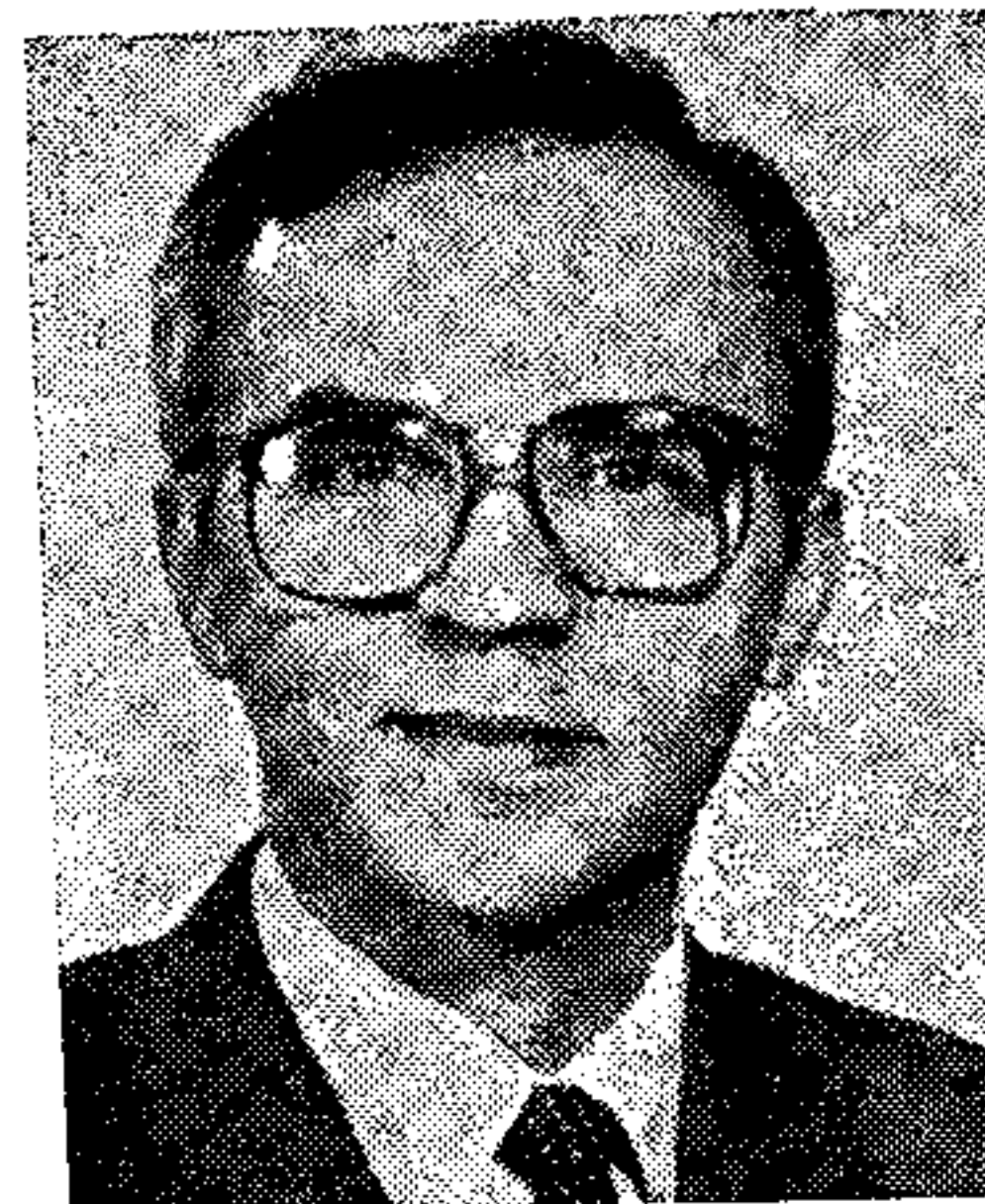
— világosan különválnak a Tervezés, a Gyártás-szerelés és az Ellenőrzés-tesztelés fázisai (a meglevő belső kapcsolatok nem elfedve),

— az üzem mint anyagból (alkatrészekből) és információból terméket előállító operátor jelenik meg,

— a tervezést mint a használati érték műszaki specifikációjából a gyártási és ellenőrzési dokumentációt előállító informatikai folyamatot tekintjük és

— a tervezést algoritmizálható és intuitív fázisok sorozatára bontjuk fel, és mint információfeldolgozó folyamatot kezeljük.

Lényeges, hogy TGE-rendszer (az üzem modellje) akkor is létezik, ha egyetlen informatikai eszköz vagy automata sincs az üzemben. Mindazonáltal, vizsgálá-



DR. CSURGAY ÁRPÁD

Villamosmérnök (1959), dr.,
techn. (1964), a műszaki
tudomány doktora (1973),
az MTA levelező tagja
(1985), az MTA főtitkár-
helyettese (1985). Szűkebb
szakterülete az elektronikus
áramkörök elmélete és az
elektronikus elven működő
eszközök és rendszerek ter-
vezésmetodikája. A Távköz-
lési Kutató Intézet, a Poly-
technic Institute of New
York, majd a Magyar Tuda-
mányos Akadémia munka-

társaként a hálózatielmélet,
az elektromágneses térelmé-
let és a rendszerelmélet kuta-
tásával és alkalmazásával
foglalkozik. 1973 óta fő-
szerkesztő-helyettese az "In-
ternational Journal of Circuit
Theory and its Applications"
című nemzetközi folyóirat-
nak. 1968-ban a Kiváló Felta-
láló arany fokczzattal, 1971-
ben Puskás Tivadar-díjjal,
ugyancsak 1971-ben az MTA
Akadémiai Díjával, 1975-ben
Eötvös Loránd-íjjal, 1980-
ban pedig a Munka Érdem-
rend ezüst fokozatával tün-
tették ki.

tunk szempontjából fontos, hogy a T, G és E alrend-
szerek informatikai eszközökkel és automatákkal
egyre jobban felszerelődnek, és éppen e folyamat ké-
pezi a vizsgálat kritikus elemét.

Az ipar elektronizálása a fentiek alapján jelenti
egyrészt az információs és döntési transzportfolya-
matok informatikai eszközökkel való ellátását, tehát
a vezetési információs rendszerek hálózatának létre-
hozását; másrészt a TGE-modelljünkkel jellemzett
üzemek elektronizálását (divatos nevén: CAD/CAM/
CAT).

Az elektronikai ipar elektronizálásának sajátos
vonása, hogy a fejlődés rugóit saját termékeinek alkal-
mazása jelenti. E termékek különleges jellemzői: a
legkomplexebb alkatrészek árfelezési ideje sokszor
kevesebb, mint egy év, és a mai egymillió tranzistor/
alkatrész komplexitás folyamatos növekedése egyelőre
töretlenül tovább tart. Egyidejűleg tovább csökken a
kapcsolási idő és a fajlagos teljesítmény, elterjednek
az olcsó tömegtárak (optikai diszkek). Az alkatrészek
komplexitásának növekedése a tervezési metodikában
megoldatlan nehézségekhez vezetett [9, 10]. E trendek
megértéséhez az eszközök működésének fizikai és
informatikai alapjaihoz kell visszanyúlni [3, 4].

1.2. A tervezési folyamat a gyártmányfejlesztésben

Az elektronikai ipar TGE-rendszereinek fejlődését
figyelve a 80-as évek elejére éles ellentmondások ki-
bontakozását tapasztaltuk. A fejlődés fő húzóereje a
szorosan vett GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA lett. A ter-
vezési metodika és a méréstechnológia nehezen tart
lépést a gyártástechnológiák fejlődésének gyorsulá-
sával.

A tervezőrendszerek fejlesztése a 80-as években már
nem számolhat a gyártás és az ellenőrzés technológiái-
nak, valamint a gyártmányfejlesztés munkamegosztá-

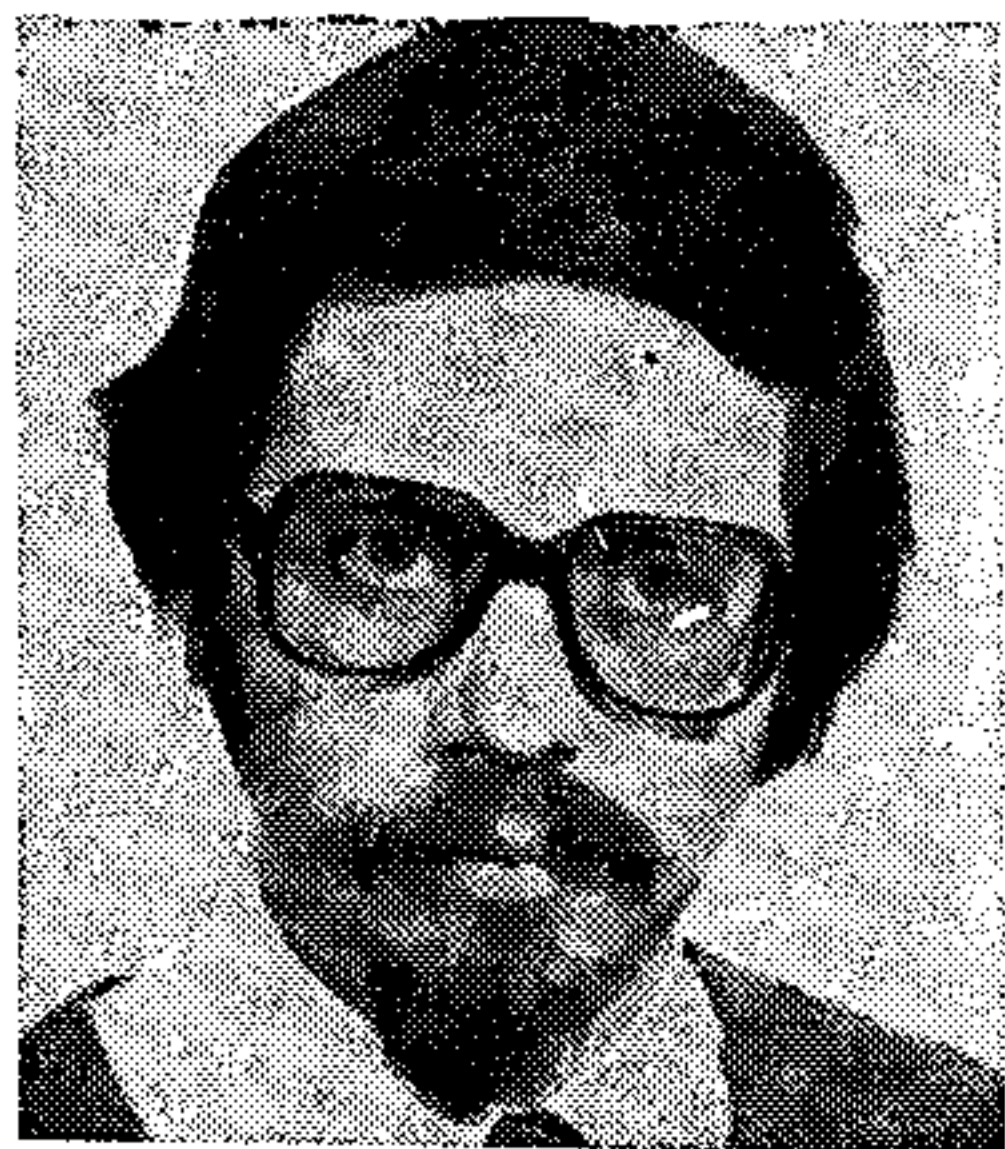
Beérkezett: 1986. III. 30. (H)



DR. ROSKA TAMÁS

villamosmérnök (1964) dr., techn. (1968), a műszaki tudomány kandidátusa (1973), a műszaki tudomány doktora (1982). Kezdetben aktív hálózatok tervezésével

és szintézisével, majd számítógéppel segített tervezéssel, nemlineáris áramkörök analizisével, nemlineáris áramkörök és rendszerek kvalitatív elméletével foglalkozott. 1964—1970-ig a Műszeripari Kutató Intézetben, 1970—1982-ig a Távközlési Kutató Intézetben dolgozott. Közben 1974-ben fél évig a kaliforniai Berkeley Egyetemen volt vendégkutató. 1982 óta dolgozik az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetben, tudományos tanácsadó, jelenleg nagy komplexitású alkatrészekből felépített elektronikai részegységek tervezési problémáival foglalkozik.



ABOS IMRE

(1945, Budapest). Villamosmérnök (1968), dr., techn. és a műszaki tudomány kandidátusa (1981). 1968—1982-ig a Távközlési Kutató Intézet tudományos munkatársa, 1982 óta az MTA—SZTAKI tudományos főmunkatársa. Az áramkörtervezés elméletével és nyomtatott áramköri lapok gépi tervezésével foglalkozik.

sának (labor-szerkesztés-technológia) viszonylagos állandóságával. Ezek ugyanis egy új tervezőrendszer kidolgozási idejénél gyorsabban alakulnak át.

A gyártmányfejlesztés egyes fázisai közötti ellentmondások az elektronika különböző szakterületein természetesen sajátos formát öltenek. A feszültségek mégis hasonlóak az egyes területek között, nevezetesen

- a hardver és szoftver fejlesztők;
- a rendszer- és áramkörtervezők;
- az áramkör laborfejlesztője és konstruktőre, végül
- a konstruktőr és a technológus között.

A feszültségeket élezi a vállalat elemi érdeke, amely a gyártmányfejlesztés átfutási idejének radikális csökkentését követeli. Ez az egyes részfolyamatok átfutási idejének csökkentésével, illetve a korábban időben egymás után elvégzett részfolyamatok időben párhuzamos elvégzésével érhető el. A párhuzamosan végzett munka újszerű egyeztetést igényel a különböző szakterületek között.

A korszerű tervezőrendszerek „visszatükrözik” a gyártmányfejlesztés folyamatát, természetesen a feszültségekkel és ellentmondásokkal együtt. Mindenki a saját munkájához szükséges információkat kéri, és saját „nyelvén”, azaz szűkebb szakterületének fogalmait-modelljeit használva közli mondanivalóját a rendszerrel. A technológus anyagátalakító műveleti leírást, a konstruktőr geometriai adatokat, az áramkörtervező alkatrészeket, a rendszertervező blokkokat, a szoftveres utasításokat közöl. A folyamat ellentmondásait mindenki számára a saját terminálja közvetíti.

Mindenki a tervezőrendszert hibáztatja. Minél integráltabb egy rendszer, annál inkább válik a gyártmányfejlesztés „bűnbakjává”.

Két út kínálkozik: a tervezőrendszer perszonalizációja az egyik, amely a tradicionális — illetve a minenkori — munkamegosztást adottnak tételezi fel, és a gyártmányfejlesztési folyamatban közreműködő ember egyéni feladatainak megoldását segíti a „személyi tervezőrendszerrel”; a tervezőrendszerek szakosítása a másik, amely addig szűkíti az integrált rendszerrel megoldható feladatok körét, amíg a gyártmányfejlesztési folyamat ellentmondásait a közreműködők szűkülő körében kialakított személyi kapcsolatok fel nem oldják. Egyik út sem tud lépést tartani a technológia diktálta fejlődési ütemmel. A tervezőrendszerek ma valóban a gyártmányfejlesztés leggyengébb láncszemei. Gyenge, mégis nélkülözhetetlen láncszemek, ezért — mint sokaknak, nekünk is — új utakat kellett keresnünk.

1.3 Perszonalizáció és szakosított ikermunkahelyek

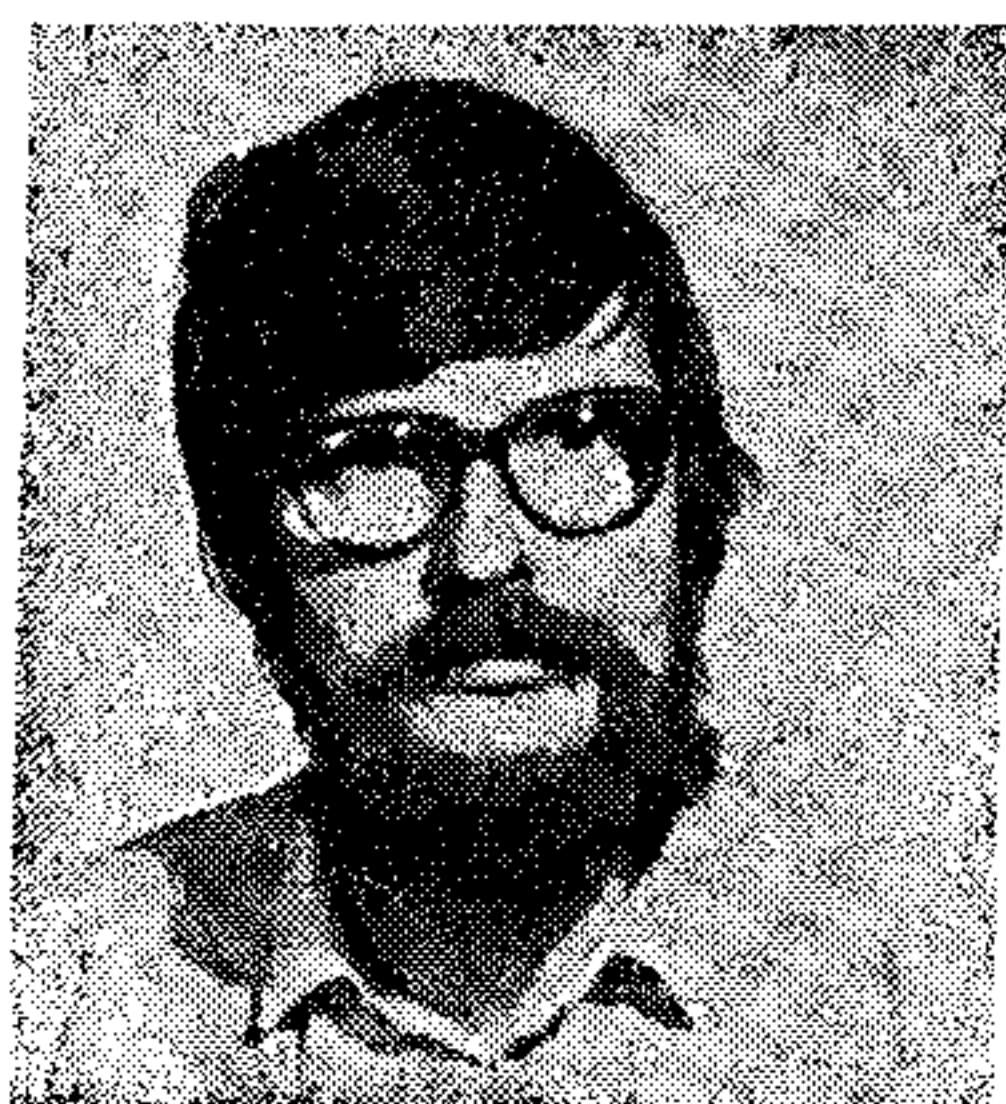
Az elektronikai technológiák fejlődési trendjeire építve megkezdjük a következő elektronikai generáció tervezési folyamatainak elemzését, a fő szakterületek kategóriáinak rendezését, és a tervezés során érintkező szakterületek kategóriái közötti kapcsolatok feltárását. A tervezés tárgyát képező rendszer komplexitása került a vizsgálatok fókuszába. A működő tervezőrendszerek alkalmazási korlátai végső soron erre vezethetők vissza. De nemcsak és nem elsősorban a tervezés során alkalmazott algoritmusok kombinatorikus „felrobbanása” következtében. Sokkal inkább az eddig függetlennek tekintett kategóriák közötti relációk „felerősödése” hatásaként, ami a tervezési folyamat modelljeinek, algoritmusainak újszerű felépítését teszi szükségessé. Ha ez nehézségekbe ütközik, akkor újszerű kapcsolatot kell teremteni a tervezésben közreműködő — ez ideig függetlenül dolgozó — szakértők között.

Kutatásunk ezen a ponton találkozott a SZTAKI-ban tőlünk függetlenül kibontakozóban levő munkákkal: a kooperatív szakértői rendszerek fejlesztésével [5]. E munka ugyanis megmutatta, hogy a „perszonalizáció” és a „szakosítás”, illetve az „integrált rendszer” ellentmondása nem feloldhatatlan: az eltérő kategóriákkal dolgozó szakértők kooperatív rendszeren keresztüli együttműködése járható kiutat sugall.

Elemzésünk során jutottunk el egy ÚJ TERVEZŐ-RENDSZER felépítésére és alkalmazására vonatkozó JAVASLATUNKHOZ.

Ennek lényege, leegyszerűsítve az, hogy egyéni tervezői munkahelyek helyett tervező IKERMUNKAHELYEK (általában társas munkahelyek) felépítését és ezekből KOOPERATÍV LOKÁLIS HÁLÓZAT kialakítását javasoljuk.

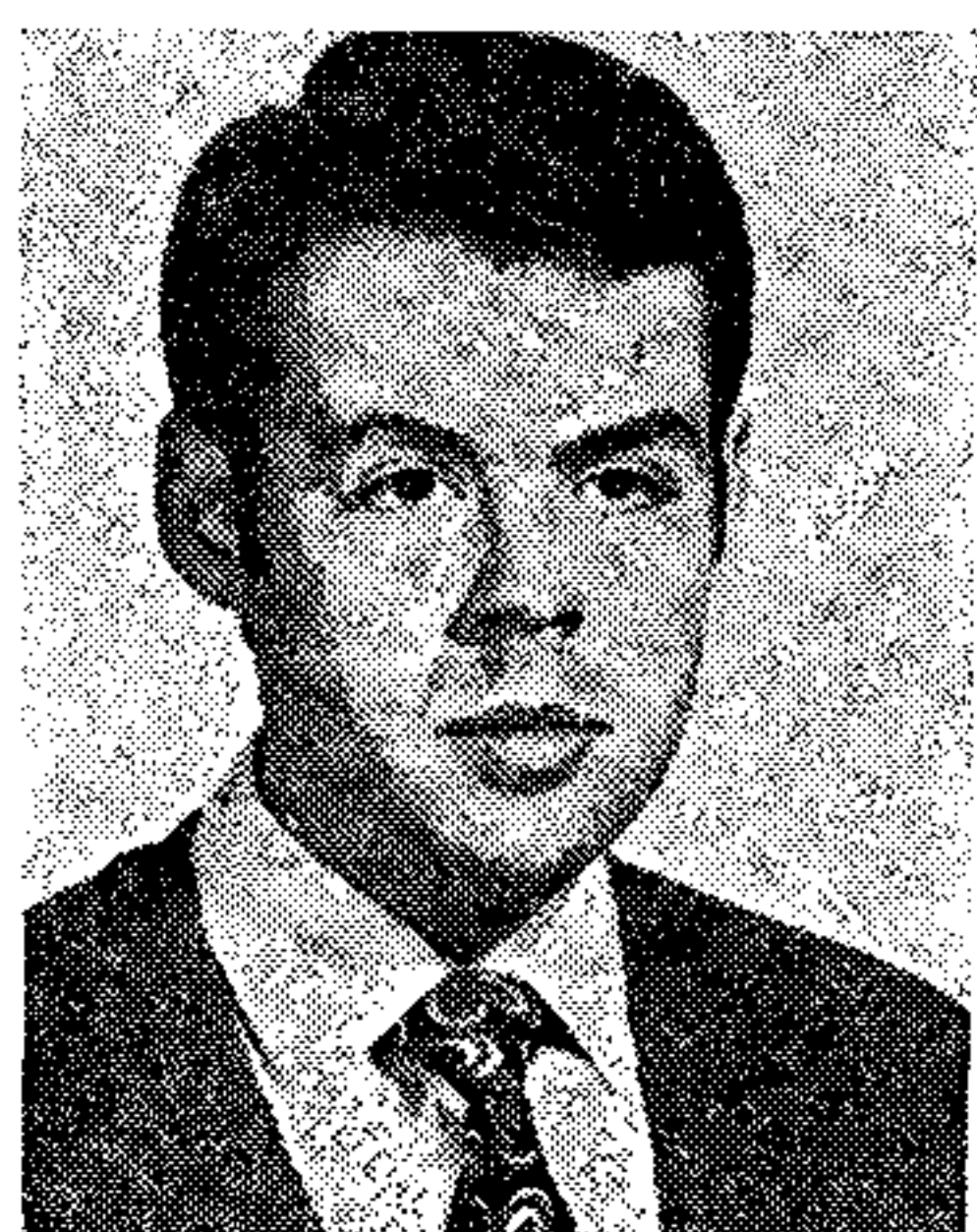
A gyártmányfejlesztés feszültségterhesen érintkező szakterületei jelölik ki azokat a „szakterület-párokat”, amelyekre az egyes IKERMUNKAHELYEKET „szakosítjuk”. Az ikermunkahelyen tervező „ikerpár” dolgozik. Az interaktív tervezés során nemcsak termináljukon keresztül, hanem közvetlenül is kommunikálnak. Tervezési feladatukat egyidejűleg — párhuzam-



BÁLINT LAJOS

1946-ban született. 1969-ben szerzett villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1976-ban megszerezte a Műszaki Tudomány Kandidátusa fokozatot.

1976-ig a Távközlési Kutató Intézet munkatársa, 1976—82 között tudományos főosztályvezetője volt. 1982 és 1985 között az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetének tudományos főmunkatársa. 1985-től a Magyar Tudományos Akadémia főtanácsosa, a Természettudományi Főosztály főmunkatársa. 1969—76 között, majd 1986-tól mellékfoglalkozásban a BME Elméleti Villamosságtan Tanszékének oktatója. Szakterülete elsősorban az áramkörü modellezés és elektromágneses térproblémák, valamint a tervezésautomatizálás és TGE-rendszerek.



RADVÁNYI ANDRÁS

(1946, Budapest), villamosmérnök (1969), dr., techn. és műszaki tudomány kandidátusa (1981), Távközlési Kutató Intézetben (1969—1982), majd az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetében mint tud. főmunkatárs áramkör-tervezés elméletével és számítógéppel segített tervezés módszereivel foglalkozik.

mosan — oldják meg. Kooperálnak közvetlenül is, a rendszeren keresztül is, de a tervdokumentációban nyomot hagyó minden döntésüket a tervezőrendszer ellenőrzi és verifikálja.

Az ikermunkahely új lehetőséget nyit a gyártmány-fejlesztés hatékonyságának javítására. De nem mindenki számára. Csak együttműködésre — egyenrangú közös munkára — alkalmas, alkotó szellemű „ikrek” (tervezőtársak) számára, akik vállalkoznak az ÚJ TERVEZŐRENDSZERBEN rejlő lehetőségek kiaknázására.

2. Tervezői munkahelyek

A számítástechnikai eszközök fejlődésében határkövet jelentenek a 16 bites és a 32 bites professzionális személyi számítógépek. Jóllehet e megnevezések kereskedelmi kategóriák, az alkalmazások számára is jelentősek, mert azt jelentik, hogy egy „számítóközpont-teljesítmény” a tervező asztalára kerül, és ezzel a személyesített munkavégzés új lehetőségei nyílnak meg az ember-gép kapcsolat új eszközeivel, a szoftver és hardver kölcsönhatásának új eredményeivel [6]. Jól szemlélteti ezeket néhány metafora és interaktív eszköz: ablakok, egerek, kalkulációs ív, irattartók stb. Maguknak e metaforáknak a használatát is a személyes munkavégzésre rendelkezésre álló számítási teljesítmény drasztikus megnövekedése teszi lehetővé.

2.1 A tervezői asztal metaforája, „ablakok, egerek, irattartók”

Az ikermunkahelyen két tervező (A és B) dolgozik, szakismeretük két különböző területre terjed: a modell-hierarchia két szintjére, két különböző reprezentációra (például logika és layout, hardver és szoftver stb.). Egy elektronikai részegységet közösen terveznek. Közvetlenül és számítógépen keresztül is kommunikálnak.

Mindkettejük TERVEZŐI ASZTALA a képernyő. Munkájukhoz FÜZETEKET használnak, ezekből olvasnak, ebbe írnak. Füzetek a keretrendszer „frame”-jei, füzetek fejezetei, alfejezetei, ...lapjai a megfelelő fa struktúrájú „subframe”-ek. Füzeteknek tartalomjegyzéke van, melyet a kivonatnézetben (outline view) bármikor megnézhetnek. Tartalmuk a füzetlapoknak van, ezek a „frame” fa struktúrájában levő levelek. Vannak FÜZETLAPOK, melyekre ALGORITMUSOK kerülnek. Ezeknek nemcsak szöveges, de funkcionális értelme is van. A füzetlapoknak a formularészébe kerülnek a végrehajtó algoritmusok, formulák.

A füzetek az asztalon nyitott vagy csukott állapotban vannak, egyszerre — egymást átfedően — több füzet is lehet nyitva. A tervezői asztalról a füzetek IRATTARTÓ SZEKRÉNYEKBE kerülhetnek, onnan az asztallapra visszahívhatók (ott ismét kinyithatók).

A tervezők egy elektronikus részegységet terveznek közösen. Kiinduló adataik és a tervezés eredménye a TERVEZÉSI NAPLÓ nevű füzetbe kerül, ide kerül minden, a tervet és a tervezés történetét érintő lényeges feljegyzés. Az ADATTÁRI FÜZET az alkatrészek adatait és a tervezők közös tapasztalatait tartalmazza. E fenti két füzetből törölni csak közös megegyezéssel lehet. Mindkét tervezőnek van SAJÁT FÜZETE, ebbe kerülnek a megfelelő szakterületet kizárólagosan érintő ismeretek, részeredmények, feljegyzések. Mindkét tervező mindegyik füzetet olvashatja.

A tervezés során a tervezők — együtt vagy külön — kész programokat is használnak egy-egy algoritmizálható fázis végrehajtására. Ezeket egy-egy füzetlapról egy ablakon kilépve (pl. DOS ablak), vagy a füzetlap formularészébe átlépve érhetik el, ide térnek vissza. A tervezés egyes részeredményei grafikus formában jelennek meg, ezeket is a füzetlapokon lehet tárolni. Az adattári füzetben egyszerű és gyors keresési lehetőséget kell biztosítani, egyes tételeket egy vagy több paraméter alapján előkeresni, sorrendezni lehessen. A tervezés eredményeinek szöveges részeit szerkeszteni, a végleges dokumentációt megfelelő, rugalmasan változó formában kinyomtatni kell.

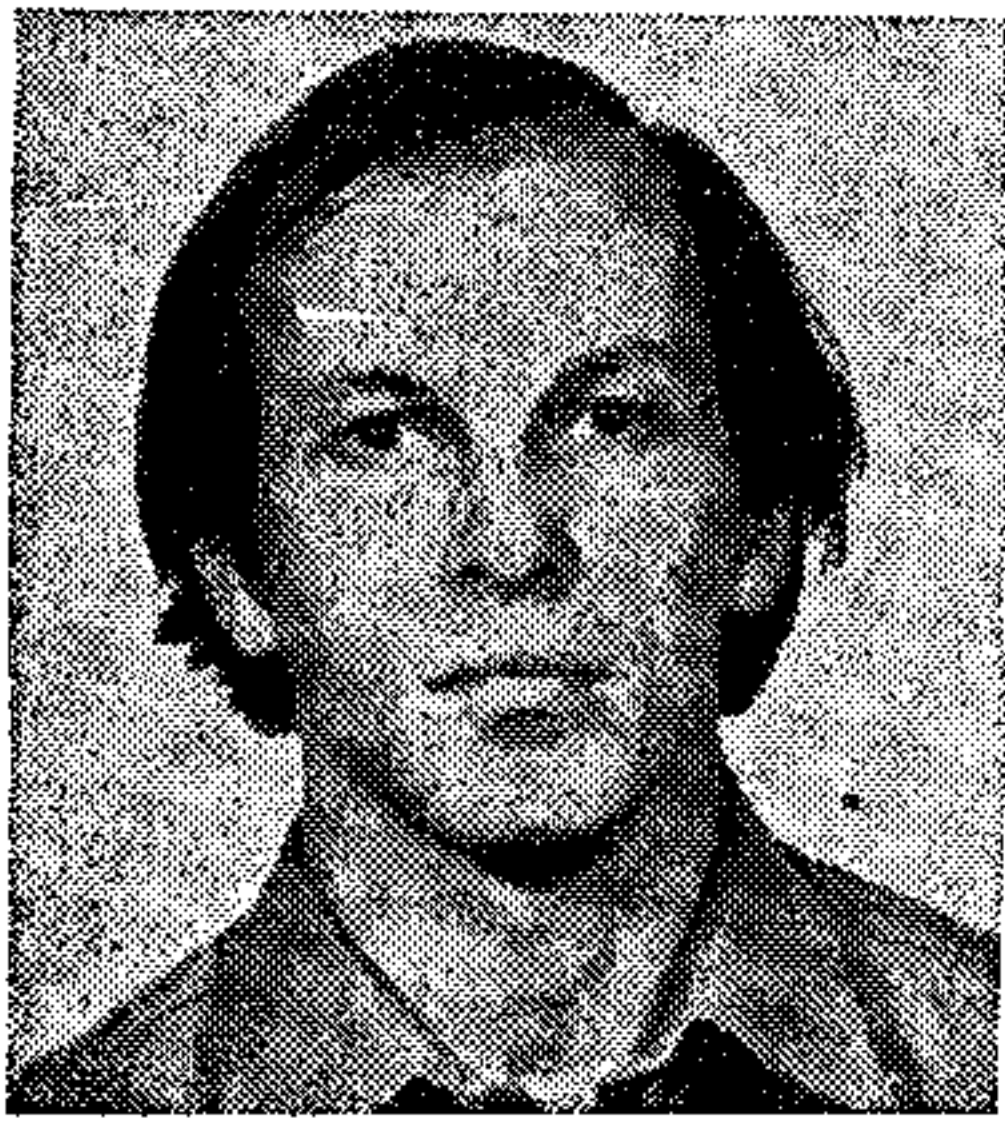
A két tervező kommunikációja kötetlen, a beszélgetésen kívül minimálisan három alaphelyzetet feltételez:

— az egyik tervező átküld (átkér) a másiknak (másiktól) egy fejezetet, alfejezetet ... néhány füzetlapot a másik jelenlétében (hívás);

— az egyik tervező válaszol a másik hívására (válasz) és

— az egyik munkahelyen nincs ott a tervező (felügyeletlen), de a másikon dolgozó tervező átkér vagy átküld füzetlapokat (fejezeteket... stb.).

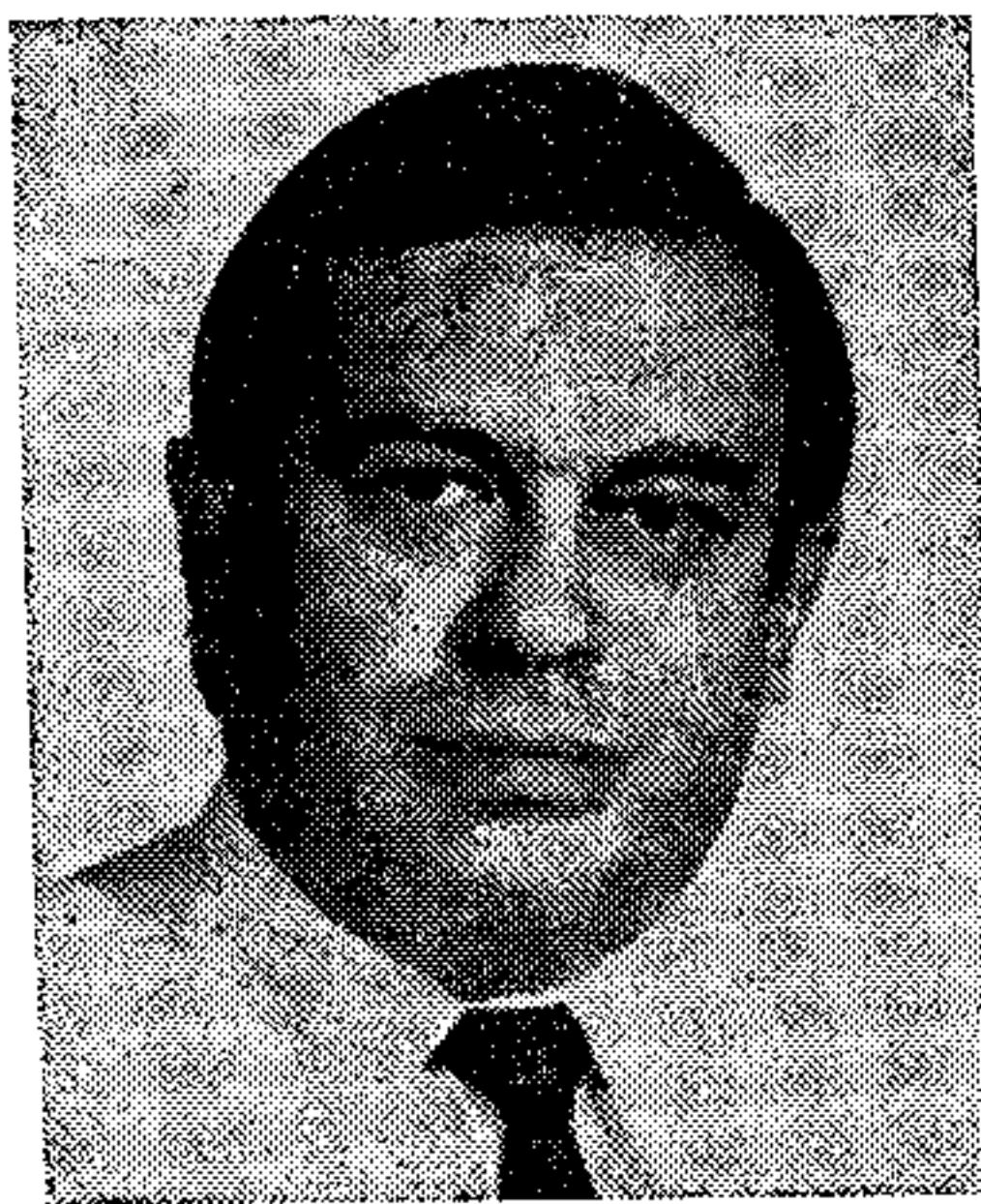
A két tervező együttműködésének formai keretein túl biztosítani kell az együttműködés tartalmi feltételeit. Ezek elsősorban:



SZOLGAY PÉTER

(1949, Budapest). Villamos-

mérnök 1974-ben kapott diplomát a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. 1974—1984-ig a Táv-
közlési Kutató Intézetben dolgozott és ott nyomtatott lapok számítógéppel segített tervezésének algoritmikus kérdéseivel foglalkozott. 1981—1984-ig ösztöndíjas aspiráns volt. 1984 óta az MTA SZTAKI-ban az Elektronikai TGE Rendszerek Elméleti Kutató Csoport munkatársa. Jelenleg a logika és a layout párhuzamos tervezésének elvi kérdéseivel foglalkozik.



SÁROSSY JÓZSEF

Villamosmérnök (BME, 1964). Szakmai pályafutása során először digitális elemcsaládokat, elektronikus számológépet, számítógépet fejlesztett (EMG). A későbbiekben nagyszámítógépes, majd professzionális személyi számítógépes szoftverrendszerek tervezésével és kivitelezésével foglalkozik (INFELOR, TKI, BME, EüM, SoftCare Gm).

— mindkét tervező által egyértelműen értékelhető **MÉRŐSZÁMOK** és

— a két reprezentáció (modellhierarchia-szint) közötti **TRANSZFORMÁCIÓK**.

Utóbbinál kritikus kérdés a megengedettség és az egy az egy viszony. Hibakeresésnél, tesztelésnél ennek különösen nagy jelentősége van. Ez a viszony a konstrukció részbeni elvi rögzítettségével sokszor elérhető. A transzformációk nemcsak algoritmizálhatóak lehetnek, alapulhatnak tervezési tapasztalatokon is. A tapasztalatok reprezentációja és tárolása fontos kérdése az adattár létrehozásának.

A fenti szolgáltatások célszerűen egy integrált keretrendszerbe ágyazva hozandók létre, melyben a grafika, a szövegszerkesztés, az adatbázis-kezelés, a kommunikáció és a keretek-ablakok kezelése egységes rendszert alkot.

2.2 Mit tud és ajánl a PC/TPM -rendszer

Az új eszközökkel folytatott kísérletek első lépéseként megkíséreltük a korábbi telepítésű vállalati TGE-rendszerek tervező alrendszerének (AUTER—MPC) továbbfejlesztett, teljes dokumentációval közzétett verziójával (KTR—1: [7]) teljesen kompatibilis rendszert létrehozni IBM PC XT személyi számítógépen. A sikeres kísérletek után kidolgoztunk egy színes grafikát használó interaktív layout-szerkesztő rendszert. Ezeket integrálva jött létre a PC/TPM nevű rendszer (nyomtatott lapok tervezése személyi számítógépen / Tervező Programok és Metodika), mely funkcionálisan is felülmúlja a korábban TPA 1140/48 gépeken települt rendszereket. A rendszer főbb jellemzőit az alábbiakban foglaljuk össze.

Az ALAPFELADAT: kapcsolási rajzból szereletlen nyomtatott lap előállítása. A feladat első része: nyomtatott áramkör kapcsolási rajzából vagy kézi vázlatból — mindössze egyetlen személyi számítógép alkalmazásával — néhány nap alatt a lap teljes gyártási dokumentációjának előállítása, illetve e dokumentáció sorozatos módosítása. A második rész e dokumentációból (pl. diszkettről) a kész, bemért lapok előállítása több, Budapesten működő technológián.

KONFIGURÁCIÓK: néhány típust mutatunk be. Az önálló tervezői munkahely alapja standard kiépítésű IBM PC XT (AT), vagy ezzel kompatibilis személyi számítógép MS DOS operációs rendszerrel. Ezt nevezzük „A” típusú tervezői konfigurációnak. Az alapszolgáltatást már az „A” típusú tervezői konfiguráción is el lehet végezni. E konfiguráció fontosabb adatai: min. 512 kB memória, min. 10 MB fix diszk, min. 1 db diszkett egység, színes grafikus monitor és egér (opció: egy A3-as méretű plotter). A „B” típusú tervezői konfiguráció digitalizálót is tartalmaz, ez megkönnyíti a bonyolultabb feladatok bevitelét. A „C” típusú tervezői konfigurációban az előzőeken túlmenően fotoplotter is található, amellyel a gyártáshoz szükséges mesterfilmek készíthetők.

ALKALMAZÓI RENDSZER — önálló tervezői munkahelyek.

A fenti háromféle típusú konfiguráció bármelyike a PC/TPM alkalmazói rendszerrel és tervezési metodikával önálló tervezői munkahellyé válik, ezen a korábbi — minigépeken működő — tervezői rendszerek minden funkciója többnyire hatékonyabban működik. Az önálló tervezői munkahelyeken a kapcsolási rajzból indulva a lap teljes gyártási dokumentációja elkészíthető egyetlen integrált folyamatban, amelynek főbb jellemzői:

- színes, grafikus interaktív üzemmód, menürendszerrel, egérrel;
- alkatrész-, keret- és technológiai adattár, mint a rendszer integráns része (nagy adattömeggel feltöltve, továbbépítési lehetőséggel);
- a tervezési szabályok betartásának automatikus ellenőrzése, ha kell, interaktív lépésként;
- elrendezés és huzalozás tervezése programokkal;
- illeszkedés a vállalati TGE-rendszerek jelentős részében alkalmazott standard leíráshoz (rajzleírás, áramkörleírás), amelyet legutóbb a KTR—1 rendszer dokumentációjában is közreadtunk [7];

— a teljes gyártási dokumentáció diszketten, amelyről több budapesti nagyvállalat ellenőrzött nyomtatott lapot készít;

— egy berendezés összes nyomtatott lapjához tartozó dokumentáció archiválása.

Az önálló tervezői munkahelyeknek tipikusan háromféle szerepe lehet a gyártmányfejlesztési folyamatban:

— A berendezéskonstruktor saját tervezői munkahelye: a diszketten előállított dokumentációból másutt készül a mesterfilm és a lap (a személyi számítógépet más célokra is használja). E munkahelyek az intézménynél decentralizáltan helyezkednek el.



VÁRADI IMRE

(1922. Budapest) okl. villamosmérnök

A Gazdasági és Műszaki Akadémia elvégzése után (1953) a Budapesti Műszaki Egyetemen szerez diplomát (1957), majd egyetemi doktori címet 1967-ben. A Mechanikai Laboratórium, a KGM Híradástechnikai Iparigazgatóság, majd a Távközlési Kutató Intézet igazgatója, illetve vezérigazgatója. Állami díjas (1973). Nyugdíjazásakor 1982-ben a Munka Vörös Zászló Érdemrendjével tüntették ki.

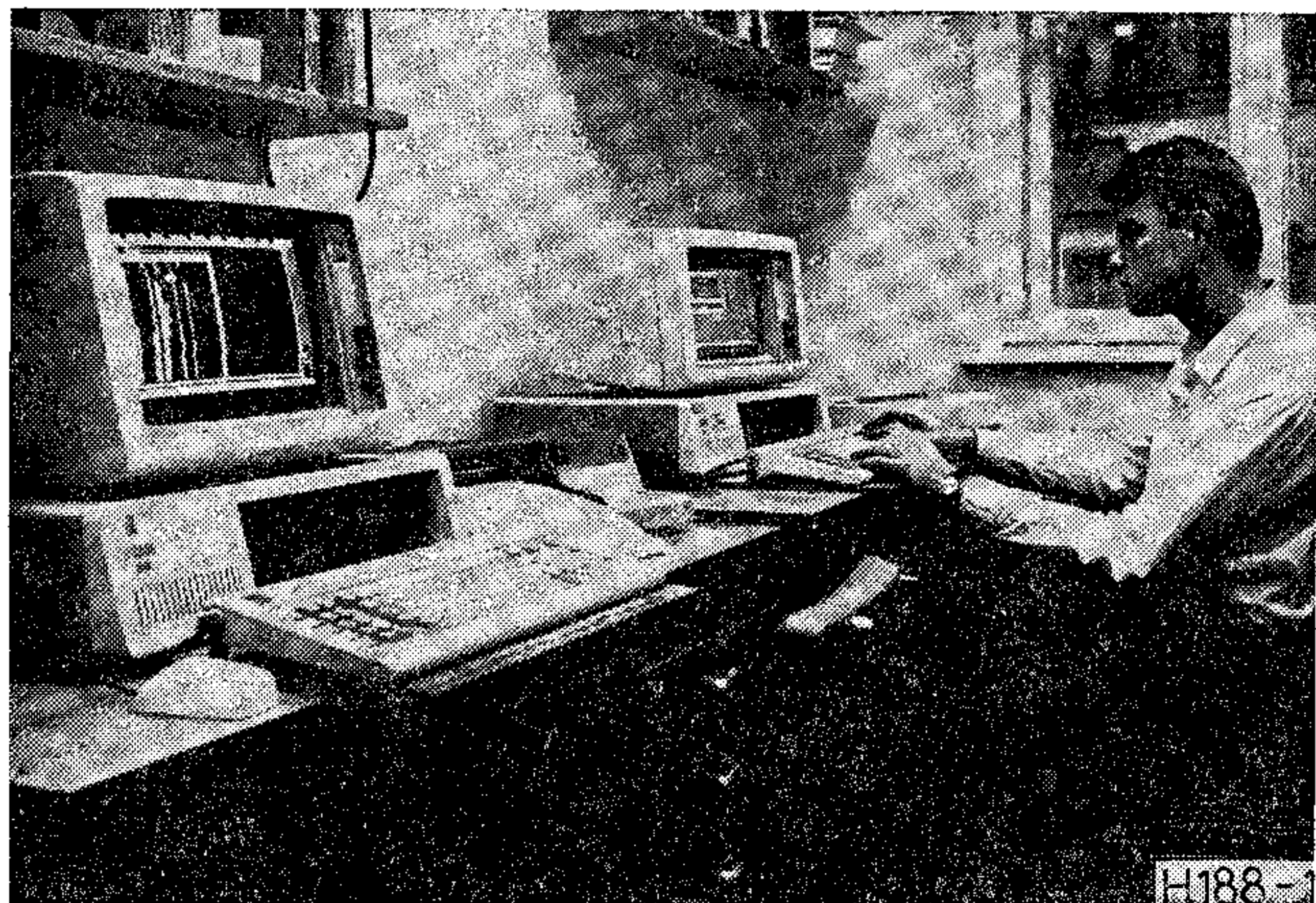
— A nyomtatottlap-tervezés intézményen belüli szolgáltatóegységének tervezői munkahelyei.

— Nyomtatott lapok szolgáltató TGE-rendszerének része.

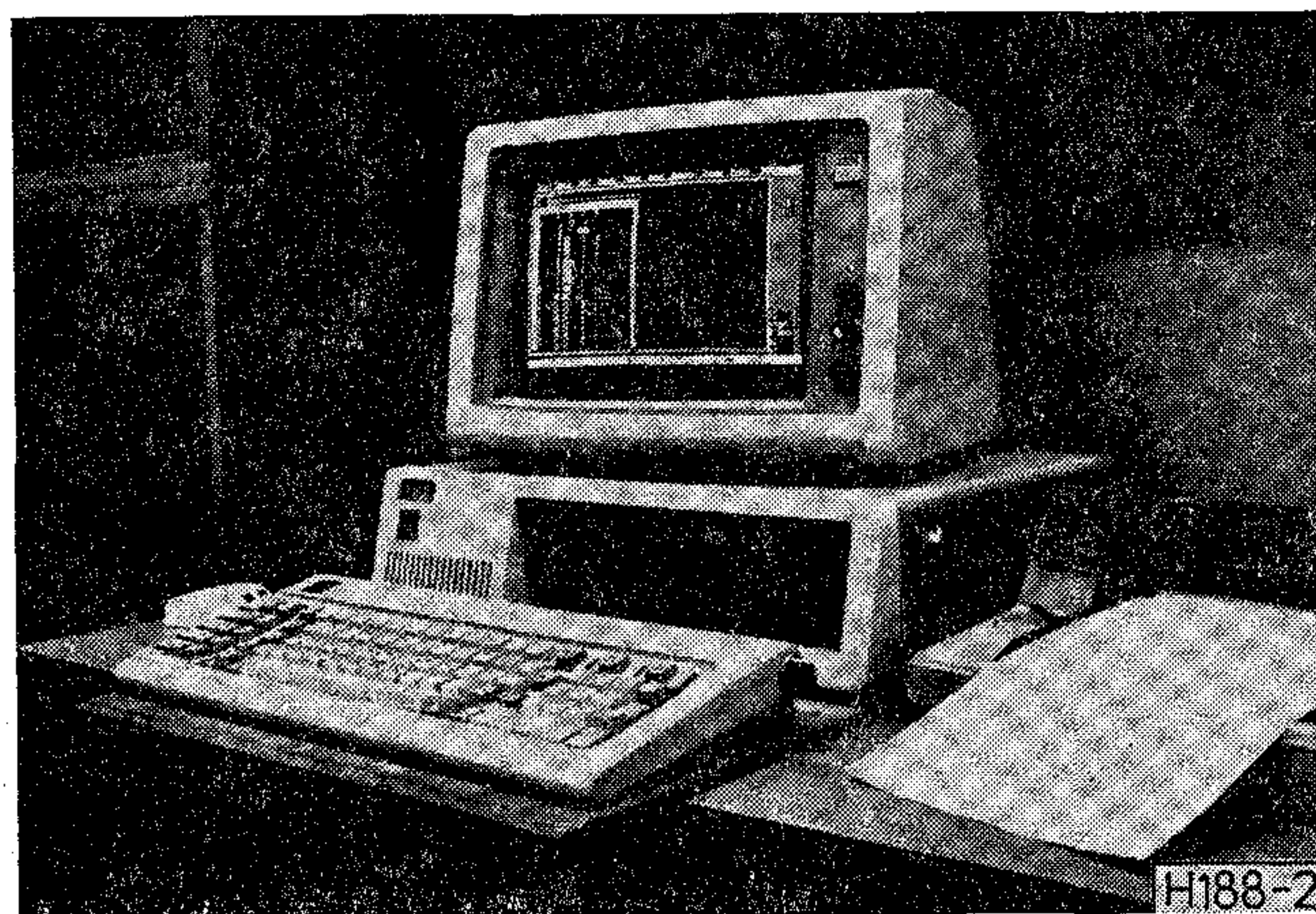
2.3 Példa ikermunkahelyes feladatmegoldásra

A hardver konfiguráció alapja két IBM PC személyi számítógép (az egyik XT), melyet RS 232 vonalon kötöttünk össze (1. ábra). Az ikermunkahely egyik tervezői munkahelye (2. ábra) interaktív grafikus eszközt is tartalmaz (színes monitor, egér, plotter).

A mintarendszer integrált keretrendszerét (TWIN) a következő standard elemekre építve alakítottuk ki:



1. ábra. Az ikermunkahely



2. ábra. A layout tervező munkahelye

MS DOS 3.0 operációs rendszer, FRAMEWORK integrált programcsomag, MITE kommunikációs programcsomag.

Az alábbiakban a logika és a layout együttes tervezésére kidolgozott ikermunkahelyet mutatjuk be röviden.

A konstrukciós tervezésre általános módszer nem ismert. Egyedül járható út a kapcsolási rajz és a layout sorbakapcsolt tervezése. Ez az eljárás nem optimális. Ezzel is magyarázható, hogy az automatikus konstrukciós tervezés a feladatok kis százalékában alkalmazható (15—25%).

Ezért olyan, most már nem univerzális konstrukciós tervezési eljárás kidolgozása a célunk, amely új tervezési metodika messzemenően épít a kiválasztott áramkörosztály pl.: kombinációs hálózatok sajátosságaira. A konstrukciót és a logikát kvázi párhuzamosan, önmagában is komplex funkciójú alkatrészek felhasználásával tervezzük.

A kombinációs logikai hálózatokra az új tervezési metodika lényege, hogy adattárban tárolt funkcionális és konstrukciós leírást is tartalmazó alkatrészekből kívánja felépíteni a specifikációt kielégítő hálózatot a két tervező interaktív beavatkozásaival.

A tervezési folyamatot két részre bontjuk:

1. A specifikációtól — (I/O)SPEC — az 1 dimenziós layoutra (K1D) vezető leképzés. A tervező csak az adattárból vehet információt és választhat.

2. Az 1 dimenziós layoutból (K1D) a 2 dimenziós layoutra (K2D) vezető leképzés. A tervezés ezen része automatizált tervezési fázis. A 2 dimenziós layout az áramkört realizáló technológiától függ (pl. gate array v. a nyomtatott lapoknál az ún. blokk-konstrukció).

A tervezést két tervező: a kapcsolási rajz-tervező és a layouttervező végzi két tervezői asztalon — az ikertérminálos munkahelyen.

A tervezők feladata:

A kapcsolási rajz-tervező a specifikációból indul és az adattárban levő alkatrészekből összekapcsolás, ill. kiemelés útján építi fel a hálózatot. A tervezőrendszer az összekapcsolásokat, ill. kiemeléseket automatikusan végigszámolja és a konzekvenciákat a layouttervező számára is megjeleníti.

A layouttervező ellenőrzi, ill. módosíthatja az automatikus 1 dimenziós layouttervezési eredményeket. A layouttervező indítja és ellenőrzi az 1 dimenziós layoutból a 2 dimenziós layoutot előállító automatizált tervezési fázist.

A TERVEZÉSI FOLYAMAT

Adott a realizálandó specifikáció az igazságtáblázattal (pl. 3. ábra), továbbá legyen adott egy rögzített elvi konstrukció, amelyen a specifikációt realizáljuk (pl.: CMOS gate-array, amely m cella sorból és n cella oszlopból áll, az alapcella legyen kétbemenetű NAND kapu).

A kapcsolási rajz-tervező a tervezői asztalon dolgozva kétfajta füzetet használ az adattári füzet (4. füzet) kívül:

	Disk	Create	Edit	Layout	Frames	Words	Numbers	Graphs	Point
1									
2	1	35	13	7	0	0			
3	2	xa8	xa9	xae	x10xa5	xa6	xa7	y1	y2
4	3	0	0	0	0	0	0	1	1
5	4	0	0	0	0	0	0	1	1
6	5	0	0	0	0	0	0	1	1
7	6	0	0	0	0	0	0	1	1
8	7	0	0	0	0	0	0	1	1
9	8	0	0	0	0	0	0	1	1
10	9	2	2	0	0	0	0	1	1
11	10	2	2	0	0	0	0	1	1
12	11	2	2	0	0	0	0	1	1
13	12	2	2	0	0	0	0	1	1
14	13	2	2	0	0	0	0	1	1
15	14	2	2	0	0	0	0	1	1
16	15	2	2	0	0	0	0	1	1
17	16	1	2	0	0	0	0	1	1
18	17	1	1	0	0	0	0	1	1
19	18	2	2	0	0	0	0	1	1
20	19	2	2	0	0	0	0	1	1

3. ábra. A feladat specifikációja

— az adattári alkatrészekkel való ismerkedés és az adattári alkatrészek megengedett összekapcsolásainak vizsgálata, az adattár bővítése céljából az 1. füzetbe dolgozik (bottom-up tervezési módszer);

— az adattári alkatrész kiemelésével egyszerűbb specifikáció előállítása, ehhez a 2. füzetet használja (top-down tervezési módszer).

A layouttervező két fő feladata:

— az egydimenziós layout előállítása az adattári alkatrészek kiemelése után (3. füzetben) és

— az egy dimenziós layoutból a rögzített elvi konstrukciónak megfelelő kétdimenziós layout előállítása „hajtogatással” (foldinggal).

Tehát a kapcsolásirajz-tervező asztalán az 1., 2., 4. jelű füzet, a layouttervező asztalán a 3., 4. jelű füzet van.

A kapcsolásirajz-tervező a realizálandó funkcionális leírás és az adattári alkatrészek funkcionális leírásának viszonya alapján különböző tervezési módszert választ:

(i) Ha az adattári alkatrészek komplexitása igen alacsony a specifikációhoz képest, akkor a tervezőnek bővítenie kell az adattárat a tárolt alkatrészek megengedett összekapcsolásával. Ehhez az 1. füzetet használja. Azok az összekapcsolások megengedettek, amelyek nem tartalmaznak visszacsatolást és az alkatrészek kimenetei nincsenek összekötve egymással:

- a soros kapcsolás;
- a bemenetek párhuzamos kapcsolása,
- az előreccsatolás.

Az így keletkezett új alkatrészeket a rendszer automatikusan felveszi az adattárba és előállítja az alkatrész adattári specifikációját a 4. füzetben (pl. a 4. ábrán látható egy adattári tétel részlete).

(ii) Ha az adattár kiépítettsége megfelelő, a kapcsolásirajz-tervező ellenőrzi, hogy az adattárban van-e a specifikációt realizáló alkatrész (a specifikáció és az alkatrészek funkcionális leírásának összevetésével). Az ekvivalenciavizsgálatok elvégzését megkönnyíti, hogy az adattári alkatrészekhez a funkcionális leírásban a bemenetek közötti szimmetriaviszonyokat is tároljuk.

(iii) Ha a feladat specifikációjához képest az adattár kiépítettsége megfelelő, a kapcsolásirajz-tervező meg-

	A	B	C	D	E
1	1	2	3	4	5
2	1	10	4	3	4
3	3	x1	1	1	1
4	4	x2	1	1	1
5	5	by1	0	1	1
6	6	by2	0	1	1
7	7	by3	1	1	0
8	8	x3	1	0	0
9	9	y	1	1	1

4. ábra. Egy adattári tétel részlet

	A	B	C	D	E
1	1	17	2	4	5
2	2	1	NOX3	0	
3	3	X1			
4	4	X2			
5	5	X3			
6	6	BY1			
7	7	X10			
8	8	XMS			
9	9	XMS			
10	10	XMS			
11	11	Y1			
12	12	V2			
13	13	Y3			
14	14	Y4			
15	15	Y5			
16	16	Y6			

5. ábra. Az 1 dimenziós layout az alkatrészkiemelés után

vizsgálja, hogy az adattár egy-egy alkatrészét módosítva nem lehet-e a specifikációt megvalósítani (bottom-up tervezés).

(iv) Ha az adattár kiépítettsége megfelelő és a specifikációt realizáló alkatrészt az adattárban nem találunk, akkor egy, az adattárban tárolt alkatrészt kiválasztunk, és kiemeljük a specifikációból (top-down tervezés), hogy általa egyszerűbb specifikációhoz jussunk (2. füzetben). Olyan, lehető legtöbb input változót tartalmazó alkatrészt keresünk, amely a legtöbb kimenetből kiemelhető. Ezen kiválasztás a kapcsolásirajz-tervező intuitív döntése alapján történik. A layouttervező a huzalozási területigény szempontjából ellenőrzi a kiemelendő alkatrészt.

A kapcsolásirajz-tervező indítja az ellenőrzési eljárást, egy algoritmussal ellenőrizteti, hogy a kiemelés végrehajtható-e az adott bemeneti változó particionálás esetén. Ha a kiemelés lehetséges, akkor előállítódik az új (egyszerűbb) specifikáció és az incidencialeírás. A kiemelés után a layouttervező előállítja a kapcsolat egydimenziós layoutját (1. pl. az 5. ábrán). A kapcsolásirajz-tervező ellenőrzi, hogy a dekompozíció utáni specifikációt realizálja-e adattári alkatrész. Ha igen, akkor a layouttervező utasítására előállítható az egydimenziós kifejtett huzalozás (pl.: gate-array esetén az alapcellákat összekötő huzalozás), amelyből folding-gal készíthető el a rögzített elvi konstrukciónak megfelelő layout.

Amíg az áramkörök alkatrészeinek száma csak néhány száz és a rendszer jól particionálható, addig a tervezés bevált modelljeinkkel elvégezhető. Az elektronika fejlődésének fő iránya az alkatrésszám gyorsuló és feltartóztathatatlanul tűnő növekedése. A komplexitást „mega-tranzistorban” és „kilo-processzorban” mérjük, a modellekben eddig elhanyagolt „mellékhatások” szerepe megnő. Meginog a környezetfüggetlen modell hipotézise.

Az alkatrészek komplexitásának növekedése régen ismert fizikai elvek adta korlátok előtérbe kerüléséhez vezetett, egyben az informatikai funkciók realizálásának új lehetőségeit és távlatait nyitja meg. A technológia előreszaladt, olyan lehetőségeket ígér, melyek kialakítása az ismert modellekre épülő tervezési módszerekkel lehetetlennek tűnik. Még akkor is, ha figyelembe vesszük a tervezésnél használt eszközök komplexitásának egyidejű növekedését is (1. például a [8]-ban vizsgált egyszerű esetet).

E kérdéseket vizsgálva néhány alapelv, illetve szempont, bár a teljesség igénye nélkül, kezd kikristályosodni:

— többet kell hogy tudjunk az eddig függetlennek tekintett diszciplínák közötti kapcsolatokról;

— egy informatikai funkció elektronikus realizációjánál a geometriát, az időbeliséget és az energiadiszipációt jellemző paraméterek egyszerre meghatározók;

— a modellosztályok közötti relációk heurisztikus kezelését a morfizmus követelményeinek eleget tevő hierarchikus modellsorozat következetes felépítése kell hogy felváltsa;

— a hardver a szilárd testnek (félvezetőnek) a térben (síkban) kialakított és rögzített időinvariáns struktúrájaként, a szoftver pedig az elektronok mozgása időbeli dinamikájaként (illetve ennek vezérlőjeként) tekinthető;

— a tervezésben előtérbe kerül a több modell hierarchia szinten történő parallel tervezés és a rögzített elvi konstrukció szerepe.

A szerzők ezúton is megköszönik Vámos Tibor akadémikusnak a munka támogatását. Köszönetet mondanak azon korábbi és jelenlegi munkatársaiknak, akik munkájukban segítettek őket, különös tekintettel Nagygyörgy Imrénének a fejlesztési munkában, Vajai Tamásnének a dokumentációs munkában és Izsó Gábornak a programozási munkában nyújtott segítségükért.

A munkák anyagi támogatásában az MTA Központi Kutatási Alapjának és az OKKFT A/6—2 alprogram keretében az OMFB-nek volt meghatározó szerepe.

A szerzők jelen dolgozatukkal egyben tisztelettel adóznak dr. Almássy György emlékének, az elektronikus készülék konstruktőrök nemzedékei nevelőjének [11].

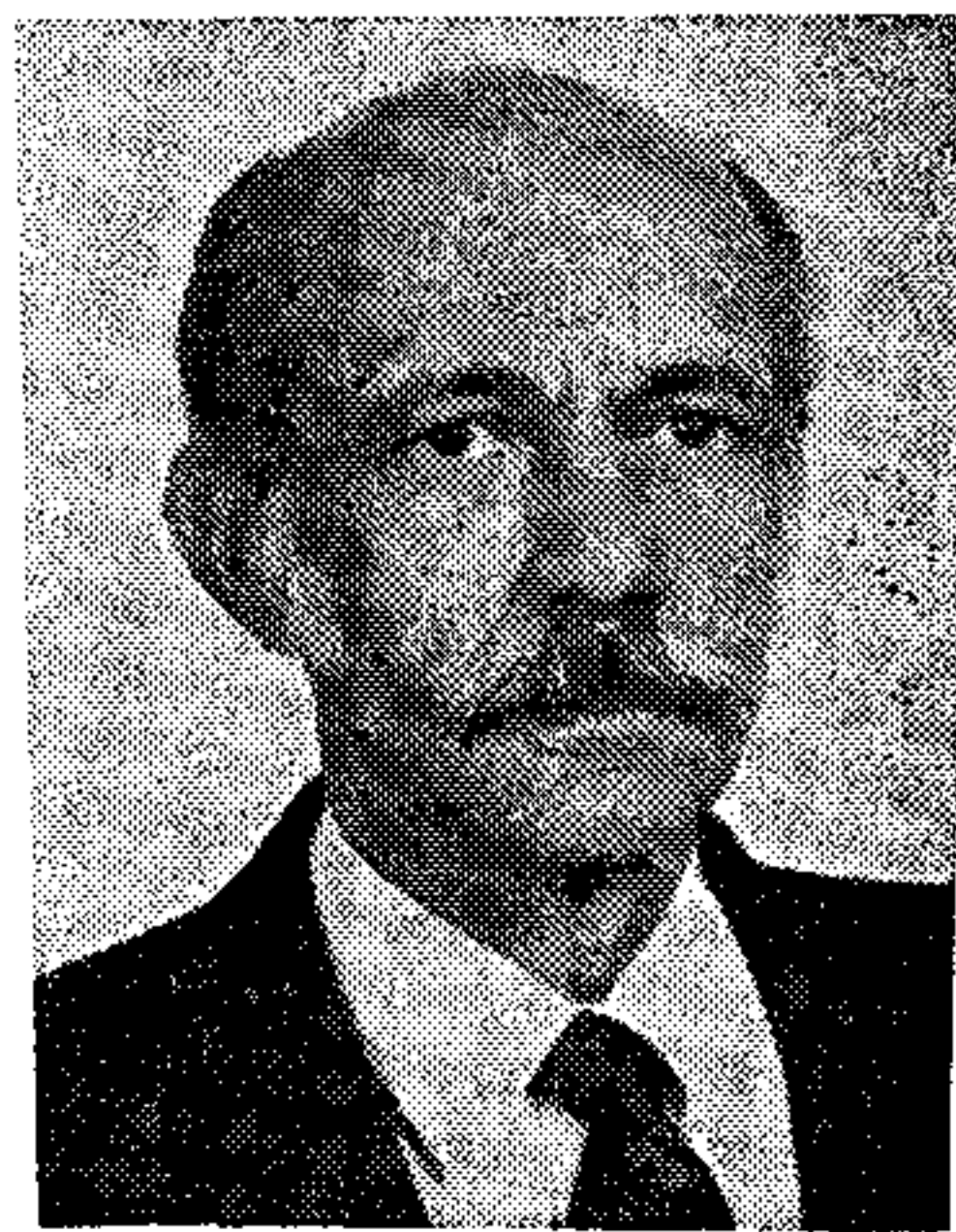
IRODALOM

- [1] A. Csurgay, "The potential of computers in the research of new electronic components and circuits", Annual TKI, Budapest, 1975, Vol. II. pp. 41—48.
- [2] Kapolyi L., Nyersanyag és energiagazdálkodásunk, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1984
- [3] A. Csurgay, "Fundamental limits in large-scale circuit modelling" Proc. ECCTD—83, pp. 454—457
- [4] Csurgay A., „Korlátok és lehetőségek a rendszerek modellezésében”, Híradástechnika, XXXIV. évf., 571—574. old.
- [5] T. Vámos, "Expert systems — information technology", Working paper, No. E/19/1983, MTA SZTAKI
- [6] "Computer Software" célszám, Scientific American, Sept. 1984
- [7] A KTR—1 Mintarendszer dokumentációja (tíz kötet), MTA SZTAKI, 1984
- [8] T. Roska, "Complexity of digital simulators used for the analysis of large scale circuit dynamics", Proc. ECCTD '83, pp. 457—460
- [9] O. Wing, "The VLSI — theoretic challenge", Proc. IEEE ISCAS '82 (Supplement)
- [10] C. H. Séquin, "Managing VLSI complexity: an outlook", Proc IEEE, Vol. 71, pp. 149—166 (1983)
- [11] Almássy Gy., Elektronikus készülékek szerkesztése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979

Tervezőmérnökök továbbképzése berendezésorientált áramkörök tervezésére és alkalmazására

DR. TARNAY KÁLMÁN

BME Elektronikus Eszközök Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

A közlemény ismerteti az 1982 óta folyó továbbképzés célkitűzéseit, tananyagát, oktatási módszereit és tapasztalatait.

1. Bevezetés

A mikroelektronikában egyre növekvő jelentőségű a berendezésorientált áramkörök szerepe. Ez a technika képes napjainkban összhangot teremteni a mikroelektronikai alkatrész felhasználója és gyártója között:

1. kielégíti a berendezéstervező mérnök speciális igényeit, és
2. gazdaságos gyártást biztosít már aránylag kis sorozatok esetén is.

Ez utóbbi az alkatrész felhasználójának és gyártójának egyaránt érdeke.

Az előző öt éves terv időszakában az iparvezetés jelentős erőfeszítéseket tett a hazai berendezésorientált áramkörgyártás műszaki, tudományos, anyagi és személyi feltételeinek megteremtése érdekében.

Ismeretes, hogy a berendezésorientált áramkörök gyártása technológiai szempontból valójában nem tér el a szokásos, ún. katalógusáramkörök gyártásától, azonban tervezésük eltérő, és más szemléletet igényel. A berendezésorientált áramkörök hatékony tervezése az együttműködés új módszereit követeli meg a mikroelektronikai alkatrészgyártó iparban és a berendezés-gyártó iparban dolgozó mérnökök között. A mikroelektronikai ipar áramkörtervező mérnökeinek tapasztalatai elsősorban SSI, MSI, esetleg a legegyszerűbb LSI áramkörök tervezése területén vannak, ezek ugyanis azok az áramkörök, melyek széles felhasználási spektrummal rendelkeznek. Másrészt az elektronikai berendezésgyártó ipar (híradástechnika, műszer- és automatikaipar stb.) tervezőmérnökei jelentős tapasztalattal rendelkeznek SSI, MSI és LSI katalógusáramkörökből végzett tervezés területén, anélkül azonban, hogy mélyebb ismeretekkel rendelkeznének a tokon belüli áramkör fizikai működéséről.

A Mikroelektronikai Kormánybiztos kezdeményezésére 1982-ben kezdődött el az elektronikai berendezésgyártó ipar tervezőmérnökeinek képzésére szolgáló tanfolyam előkészítése és szervezése. Az előkészítő munkában az elektronikai ipar, kutatás és felsőoktatás szakemberei, továbbá pedagógiai szakemberek vettek részt. Az előkészítés munkáját a tőle megszokott aktivitással támogatta Almássy professzor.

DR. TARNAY KÁLMÁN

1952-ben szerzett oklevelet a BME Villamosmérnöki Karán. 1961-ben megvédett műszaki egyetemi doktori értekezésében a tunneldiódák elméletével foglalkozott, 1967-ben kandidátusi fokozatot szerzett a tervezérelt eszközök kapcsolóüzemű működését tárgyaló disszertációjával. 1983-ban az Upp-

salai Egyetem Matematikai és Fizikai Szekciójában a félvezető eszközök modellezése terén elért eredményeiért disz doktorává választotta. Jelenleg a BME Elektronikus Eszközök Tanszékének tanszékvezető docense. A HTE Félvezető Eszközök és Integrált Áramkörök Szakosztályának elnöke, a HTE Elnökségének tagja. Tagja több akadémiai és MTESZ-bizottságnak.

Már az előkészítés időszakában megrendeztünk 3 tanfolyamot (kettőt a BME Mérnöki Továbbképző Intézete szervezésében, egyet pedig kihelyezett tanfolyamként a Híradástechnika Szövetkezetben). Ezek a tanfolyamok jelentős segítséget nyújtottak a megfelelő előadók kiválasztásában, a tananyag összehangolásában, továbbá a klasszikus tervezésben járatos tervezők részére nehezebben elsajátítható témakörök és fogalmak kiválasztásában.

Az előkészítő munka során pontosítottuk az oktatás célkitűzését, megvitattuk és kialakítottuk az oktatandó témakörök részletes tematikáját, meghatároztuk az egyes témaköröknek a képzésben célszerűnek mutatkozó súlyát, a kifejlesztendő alkalmazási készség mértékét. Javaslat készült az oktatás segédleteire. Meghatározásra került a gépi tervezés oktatásának módszere és volumene.

2. A továbbképzés főbb témakörői

A következőkben címszószerűen felsoroljuk a továbbképző tanfolyam anyagát. A tananyag elsajátításának megkönnyítésére egy mintegy 1000 oldal terjedelmű tankönyv készült [1], továbbá 400 oldalas példatár, mely tesztkérdéseket, gyakorló példákat és a géptermi gyakorlatok céljára szolgáló kapcsolási elem-szintű és kapusintű áramköri vázlatokat tartalmaz [2]. Az anyag terjedelmét és mélységét úgy választottuk meg, hogy az ismeretek jelentős része egyéni tanulással is elsajátítható legyen. A következő felsorolás az [1] tankönyv fejezetein alapul. Utalunk az egyes fejezetekhez kapcsolódó tanfolyami tevékenységre is.

1. Integrált áramkörök tervezése és gyártása (szerző: Ribényi András), általános áttekintés, a fontosabb alapfogalmak tisztázása. Ezt az anyagot tulajdonképpen olvasmánynak szántuk.

2. Tranzistorok (szerző: dr. Masszi Ferenc): A félvezetőfizika rövid áttekintése, a Pn átmenet, MOS és

Beérkezett: 1986. III. 30. (H)

bipoláris tranzistorok. Egyéni tanulásra szánt anyag, elsajátítását 3 teszt segítségével ellenőrizzük.

3. Logikai áramkörök (szerzők: Asztalos András, Keresztes Péter és dr. Székely Vladimir): Invertereket, kapuáramköröket, multiplexer és dekóder áramköröket, az alapvető billenőköröket tárgyalja részletesen. A tanfolyam résztvevői által kevésbé ismert MOS áramkörökön van a súlypont, és csak röviden tér ki bipoláris áramkörökre. A tanfolyam egyik súlyponti témáját képezi, melyből előadások, tantermi gyakorlatok, géptermi gyakorlat, 3 teszt és gyakorló házi feladatok vannak.

4. Digitális rendszerek (szerzők: dr. Szittyá Ottó és dr. Jávör András): Az anyag kombinációs és szekvenciális áramkörök leírásával és tervezésével, funkcionális egységekkel, továbbá digitális rendszerek szimulációjával foglalkozik. A tanfolyam második súlyponti témáját képezi, melyből előadások, tantermi gyakorlatok, géptermi gyakorlat, 3 teszt és gyakorló házi feladatok vannak.

5. Digitális áramkörök és rendszerek specifikációja (szerző: dr. Csopaki Gyula): Témaköre a hardware leíró nyelvek ismertetése és alkalmazásuk berendezésorientált áramkörökre. Egyéni tanulásra szánt anyag, melynek elsajátítását házi feladat segítségével ellenőrizzük.

6. Integrált áramkörök tesztelése (szerző: dr. Gärtner Péter): Az anyag áttekintést nyújt a funkcionális teszt módszereiről, a tesztelhetőségre való tervezésről, valamint a mérőautomaták működési elvéről. Egyéni tanulásra szánt anyag, melynek elsajátítását házi feladat segítségével ellenőrizzük.

7. Technológiai alapok (szerzők: dr. Kormány Teréz és dr. Ripka Gábor): Áttekintést nyújt a szilícium-alapanyagról, az integrált áramkör-gyártás fontosabb lépéseiről, valamint a tokozás problémaköréről. Egyéni tanulásra szánt anyag, melynek elsajátítását teszt segítségével ellenőrizzük.

8. Layout-tervezés I—II. (I. rész szerzői: dr. Baji Pál, dr. Farkas Gábor és dr. Hegedűs András, a II. rész szerzői: dr. Nemes Mihály és Szentpéteri Piroska): Ismerteti a tervezési szabályokat, magyarázataikkal együtt, a cella- és chiptervezést. Megismerteti a résztvevőket a grafikus leíró nyelvekkel. Tárgyalja a maszkok előállítására szolgáló berendezéseket. A II. rész anyaga elsősorban az *n*-MOS és CMOS gate-array-kon felépülő áramkörök tervezését ismerteti, részletesen foglalkozik a cellakönyvtárak szerepével, felépítésével és alkalmazási lehetőségeivel. A tanfolyam harmadik súlyponti témáját képezi, melyből előadások, tantermi gyakorlatok, géptermi gyakorlat, több teszt és gyakorló házi feladatok vannak.

9. Géptermi segédletek (szerzők: Benkő Tiborné és Szentpéteri Piroska): A géptermi gyakorlatok és a tervezés során felhasználható számítógépi tervezőprogramok rövid ismertetésével foglalkozik.

3. Követelményrendszer és oktatási módszerek

A tanfolyam időtartamára egy egyetemi félév (14 hét) mutatkozott célszerűnek, heti két oktatási nappal, melyekből az egyik napon előadások és kötött tantermi foglalkozások vannak, a másik nap programját tesztfeladatok készítése, a házi feladatok konzultációja és beadása, ill. bevétele, valamint géptermi gyakorlatok képezik. E nap programját a tanfolyam céljára készített 15 óra terjedelmű videofilmnek az aktuális tananyaghoz csatlakozó részének megtekintése egészíti ki. A tananyagnak csak egy része került előadásra, jelentős részét a résztvevőknek saját maguknak kell megtanulniuk. A tanfolyam eredményes elvégzése a tanulmányi idő alatt 150—250 óra egyéni tanulást, ill. feladatmegoldási tevékenységet igényel.

A képzés követelményrendszerét úgy próbáltuk kialakítani, hogy a résztvevőknek mintegy

— 10%-a specialista szinten legyen képes berendezésorientált áramkörök tervezésére,

— 20—30%-a a tervezést úgy legyen képes elvégezni, hogy a mikroelektronikai gyártó tervező szakemberei-nek már csak minimális — főként ellenőrző — tevékenységet kelljen végezni,

— 60—70% pedig olyan szintre jusson el, hogy kellő megalapozottsággal és biztonsággal ismerje a berendezésorientált áramköri technika lehetőségeit és korlátait, és ezáltal váljék alkalmassá a mikroelektronikai gyártó szakembereivel való eredményes kommunikálásra.

A tanfolyam félidejében a résztvevőket addigi eredményeik alapján két csoportra osztottuk:

A legjobb eredményeket elérő résztvevők egy konzulens irányítása mellett önállóan kidolgozandó ún. nagyfeladatot kapnak. A nagyfeladat egy-egy — rendszerint a tervező által ismert — TTL—MSI áramkör áttekintése gate-array típusú berendezésorientált áramkörre. A benyújtásra kerülő nagyfeladatnak az alábbiakat kell tartalmazni:

1. Az áttekintett áramkör leírása és specifikációja katalóguslap-szerű formában

2. Részletes blokkvázlat

3. Az áramkör leírása hardware leíró nyelven,

4. Az áramkör logikai szimulációval végzett vizsgálatának leírása és a szimuláció eredményei (a szimulációs vizsgálatot a layout megtervezése után — korrigált kapacitív terhelések figyelembevételével is el kell végezni)

5. Layout-terv (gépi vagy kézi)

6. Tokozási és bekötési utasítás, végül

7. A megtervezett áramkör tesztelőírása.

A nagyfeladatok eredményes elkészítése nemcsak a tanfolyam hallgatójától, hanem a konzulensétől is jelentős munkát követel. Eredményként könyvelhetjük el azt is, hogy a későbbiekben is gyümölcsöztesse munkakapcsolat alakul így ki a mikroelektronikai alkatrészgyártó ipar és az elektronikai berendezésgyártó ipar egy-egy szakembere között.

Eltérés van a tanfolyam záróvizsgájában a nagyfeladatot készítő, ill. nem készítő résztvevők vonatkozásában:

— a nagyfeladatot készítő záróvizsgája tervfel-

adat megvédéséből áll, ez jellegében egy disszertáció-védéshez hasonlóan folyik le,

— akik nem készítenek nagyfeladatot, azok a három súlyponti tárgyból (MOS logikai áramkörök, Digitális rendszerek és Layout-tervezés) államvizsgaszerű vizsgát tesznek.

A záróvizsgákat vizsgabizottságok előtt bonyolítottuk le, és a vizsgabizottságokban a vizsgáztatók mellett helyet foglaltak az elektronikai ipar gazdasági vezetői, valamint vezető szakemberei is. A vizsgatapasztalatokat és a bizottság tagjainak észrevételeit a későbbi tanfolyamokon figyelembe tudtuk venni.

4. A tanfolyam tapasztalatai

A következőkben a tanfolyamok tapasztalataiból első sorban a számszerűen is értékelhető adatokat említénénk.

Részvevők létszáma:

Az 1982. és 1983-ban rendezett kísérleti tanfolyamokon mintegy 180-an vettek részt. Az 1984-ben rendezett tanfolyamot 82 fő kezdte el, ebből 57-en vizsgáztak, 1985-ben 69 fővel indult tanfolyam és 45-en vizsgáztak, ez évben 25 résztvevővel indult tanfolyam. A kísérleti tanfolyamokat is számításba véve az összes résztvevők száma meghaladja a 300 főt. Az 1985. és 1986. évi tanfolyamokon 35 mérnök készített nagy-

feladatot. A résztvevők zöme olyan mérnök volt, aki tanulmányait az elmúlt 10 évben fejezte be. Érdekes képet mutat a résztvevők munkahely szerinti megoszlása, a legtöbb résztvevő az alábbi vállalatoktól, ill. intézményektől jött (csak 1984-től vannak adataink, a kísérleti tanfolyamokról nincsenek, így pl. a Híradástechnika Szövetkezet, ahol kihelyezett tanfolyamot tartottunk 34 résztvevővel, ebben a statisztikában a valóságosnál előnytelenebb képet mutat):

Elektronikus Mérőkészülékek Gyára	13 fő
Távközlési Kutató Intézet	11 fő
MEDICOR Művek	8 fő
Mikroelektronikai Vállalat	8 fő
VIDEOTON	5 fő

Csak szórványosan voltak résztvevők a híradástechnikai ipar nagyvállalataitól. Ez sajnálatos, mert nagyvállalataink is eredményesen tudnák alkalmazni kisebb sorozatú gyártmányaikban a gate-array típusú, nagy-sorozataikban pedig a cellás tervezésű berendezés-orientált áramköröket, és a gazdasági eredmények mellett új szolgáltatásokkal is tudnák gyártmányaik nemzetközi versenyképességét fokozni.

IRODALOM

- [1] Tarnay K. (szerk.): Mikroelektronikai berendezésorientált áramkörök tervezése. EDUSYSTEM, Budapest 1984. pp. 984+39
- [2] Tarnay K. (szerk.): Mikroelektronikai berendezésorientált áramkörök tervezése. Feladat- és tesztgyűjtemény, EDUSYSTEM, Budapest, 1985. pp. 343+31

SZEMLE

Összeállította: Gál Ferenc

Az Egyesült Államokban a híradástechnikai műszerek 600 millió dolláros piacán mintegy 200 cég osztozik, a legnagyobb részesedés (az ATT mellett) a Hewlett-Packard, Atlantic Research, Northern Telecon, Scientific Atlanta és R-TEC cégeknek jut.

Az új ellenőrző műszerek jelentős része több különböző, de egymáshoz kapcsolódó vizsgálat elvégzésére alkalmas kombinált, mikroprocesszoros vagy mikroszámítógép vezérlésű berendezés. Az International Resource Development Inc. amerikai cég legújabb, 1650 dollárért árusított tanulmánya a híradástechnikai vizsgáló műszerek piaci trendjeit elemzi és 10 éves előjelzést ad. (News from IRD Inc., 1985. augusztus 6.)

*

1986. közepén bocsátják geostacionárius pályára a TVSAT 1 műholdat, ami az NSZK-ban megteremti a közvetlen műholdas TV vétel lehetőségét. A vételhez szükséges 600–900 mm átmérőjű parabola antennákat többek között Novodur-ból, a Bayer AG által gyártott műanyagból készítik. Az antenna mintadarabokat sokoldalúan vizsgálják, így például méréseket végeztek rajtuk a Ford művek NSZK-beli leányvállalatának 164 km/óra sebességű szélcsatornájában. A 11,7–12,5 GHz frekvenciatartományban üzemelő, fémréteggel bevont parabola felületű antennát széles üzemi hőmérséklet tartományban is tesztelik. (Bayer Presse-Information, 1985. november)

*

A világ első számú vegyipari konszernje, az amerikai Du Pont és a holland Philips 150 millió dolláros alaptőkéjű vegyesvállalat alapítását határozta el. Az új cég kompakthanglemezeket (CD) és az adattárolásban használatos optikai lemezeket fog előállítani.

A Philips-Du Pont Optical termelési értéke 1 milliárd dollár lesz, s ezzel 25 százalékkal részesedik majd a két termék világ-

forgalmából. A készpénz mellett mindkét alapító technológiát, kutató- és fejlesztőkapacitást, valamint jó néhány mérnököt is „bevisz” a vállalkozásba. A tervek szerint az Észak-Karolinában megépülő üzem 1990-ben már 3500 főt foglalkoztat, éves fejlesztési és kutatási költségvetése pedig 60 millió dollár lesz. Alaptőkéjét az évtized végére várhatóan 500 millió dollárra emelik.

(Világgazdaság, 1985. december 11.)

*

Az Omani Postaügyi és Távközlési minisztérium 30 millió DM értékben rendelt híradástechnikai berendezéseket a Siemens cégtől. A tervezett rendszerek közé tartozik egy 1000 külföldi kapcsolási vonalat tartalmazó EWSD rendszerű telefonközpont, melyet ez év májusában szándékoznak üzembe helyezni, 85 km hosszú optikai kábeles összeköttetés, továbbá műholdas távközlési eszközök is. A kis arab ország 1982. óta mintegy 350 millió DM értékben vásárolt a Siemens cégtől híradástechnikai eszközöket.

(Siemens Presseinformation, NÖV 1085.043 d)

*

A japán kormány néhány magángazdasági intézménnyel és vállalattal karöltve nemrégiben munkacsoportot alakított, amelynek az lesz a feladata, hogy távközlési kutatóközpont megtervezését és megvalósítását végezze el. Az intézet a maga nemében élen jár majd a világon és az évezred végére 300 tudományos munkatársat foglalkoztat. Az alapító bizottság élén a Keidanren (a japán gyáriparosok szövetsége) elnöke áll. Az előzetes számítások szerint a létesítmény 95 milliárd jenbe kerül. Ennek 30 százalékát a magángazdaság szolgáltatja, a többit az állam. Az intézmény telephelyeként a Kyoto, Nara és Osaka városok közötti új „tudományos övezet” jön számításba.

(Világgazdaság, 1985. december 28.)

Az elektronika és finommechanika kölcsönhatásai

DR. PETRIK OLIVÉR

BME Finommechanika Optika Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk először röviden áttekinti a finommechanika és az elektronika fejlődését. Ezt követően a két látszólag különböző fizikai alapokon nyugvó terület egymásra hatását vizsgálja. Kiemelten foglalkozik a kisméretehatással, a mikromozgatások megoldásával, végül a finommechanikának mikroelektronikai elemek (áramkörök) gyártásában betöltött jelentős szerepével.

Bevezetés

A finommechanika évszázados múltra tekinthet vissza. Történetének kezdetén a nagyszabotosságú, különleges képességeket igénylő, szinte virtuóz jellegű, kézműves tevékenységhez kötődött. A hajózási tájékozódáshoz — a nyílt tengeren — nagy szükség volt kronométerre, és helymeghatározó műszerre (szextáns). Ez volt az első között jelentkező olyan reális igény, amely korán létrehozta ezt a szakmát. Később más hatások (közlekedés, hadiipari tömeggyártás stb.) következtében a manufaktúrából iparrá vált és, mint a többi szaktudomány esetében is történni szokott, az elméleti megokolás a gyakorlati eredményeket magyarázta, azokat követte, majd eléjük vágott.

Az elektronika a finommechanikánál később jelent meg. Előfutára az elektrotechnika (elektromechanika) volt, amely szintén az iparosodás magymérvű elterjedése révén lendült fejlődésnek. Ennél is rohamosabban fejlődött ki maga az elektronika, amely az elektroncsöves kezdeti fázisán túljutva, olyan lendületes kibontakozást produkált, amelyre előtte nem volt példa. A generációváltások annyira felgyorsultak, hogy ma már szinte 5—8 éven belül egy-egy újabbnak a megjelenése várható. A jelzett folyamatok között lényegi összefüggések vannak, ezekre hívjuk fel a figyelmet az alábbiakban.

Történeti előzmények

A finommechanika mint szakma a fent körülírt kézműveskorszaka óta több jelentős változáson ment át. Korai fejlődési szakaszában a *dekoratív* munka jelentette feladatának nagy részét. Gondoljunk a régi „műves” zsebórákra, zenélődobozokra stb. Ezt követően a *kutatás* eszközeire irányult a megrendelői igénye. Neves kutatók mellett kialakuló színvonalas műhelyekből nem egyszer világhírű cégek fejlődtek ki.

DR. PETRIK OLIVÉR

egyetemi tanár a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán nyert oklevelet 1951-ben a gépgyártástechnológia szakon. Finommechanikai és műszertechnikai gyakorlatát a KFKI-ban szerezte meg, ahol nukleáris műszereket tervezett. 1957-

től tanít a BME Finommechanikai Optikai Tanszékén, amelynek 1967-től vezetője. 1961-től a műszaki tudomány kandidátusa (dolgozatának témája a mechanikus ütközés jelensége volt). Jelenlegi kutatási területe az összetett (mechatronikai) műszer- és eszközrendszerek, valamint a megbízhatósági problémák.

Ebbe a kategóriába említhetjük pl. dr. Abbé professzor és Karl Zeiss együttműködését, de nem kell példáért a szomszédba mennünk: a Kolozsvári Egyetem finommechanikusa a Kesselből áttelepedett Süss Nándor későbbi budapesti (a Csörsz utcában működő) műhelyéből fejlődött ki a MOM.

A fent leírt időszak a múlt század második fele, az iparosodás erősödése változatos igényekkel lépett fel. A megkezdődő tömeggyártás mérőeszközöket és műszereket kívánt, a közlekedés új gépei szintén sokoldalú követelményeket támasztottak. Különösen az alkatrészek *csereszabotossága* okozott és okoz még ma is sok fejtörést. Az első és második világháborút megelőző időszakokban a hadiipari gyártás különösen aláhúzta ezt a követelményt.

Szólni kell a századfordulótól rohamosan fejlődni kezdő *villamosítási* és *híradástechnikai* törekvésekről. Ezekben az iparágakban sok finommechanikai, gyakran gépészeti jellegű berendezést is használtak, és használnak ma is (kapcsolók, biztosítóberendezések, érintkezők, mozgatóelemek stb.). Ha a század első évtizedeire (bátran mondhatjuk, hogy első felére) jellemző *elektroncsövekre* gondolunk, azok előállítására tömeggyártási méretekben alkalmazott finommechanikai technológia nélkül nem lett volna elképzelhető. Ugyanez elmondható az elemgyártásról is (ellenállás, kondenzátor, tekercsek stb.). A kapcsolat és összefonódás még szorosabbá vált a *félvezetők* megjelenésekor. Ezzel már a jelenhez érkeztünk, s erről az alábbiakban majd részletesen szólunk. Előtte azonban néhány fogalom tisztázását érdemes elvégezni, nehogy ugyanazon elnevezés alatt ki-ki másra gondoljon.

Fogalommeghatározások

A **finommechanika** fogalmával foglalkozunk elsőként. Ez a legrégebbi és leggyakrabban használt kifejezés. Idegen nyelvű megfelelői: *Feinmechanik*, *точная механика*, *precision mechanics*. *Egységesen elfogadott meghatározás nincs*. Az 1960-as évek elején Kuhlenkamp professzor javaslatára [1] Braunschweigben egy

Beérkezett: 1986. VI. 5. (H)

konferencia tűzte napirendjére a meghatározást. Sok vita után azzal zárták a témát, hogy a klasszikus (kézműves alapon álló) finommechanikát túlhaladta az idő, a ma szükséges finomtechnikát (Feinsttechnik) pedig definíció helyett célszerűbb lényeges jellemzőivel körülhatárolni. Ezek pedig:

- elsődleges feladatuk a jel- (információ-) továbbítás;
- erőhatások, teljesítménytovábbítás másodlagos;
- kis méretek a jellemzők;
- a működési és mére szabotosság (precizitás nagymértékű);
- általában mechanikai struktúra.

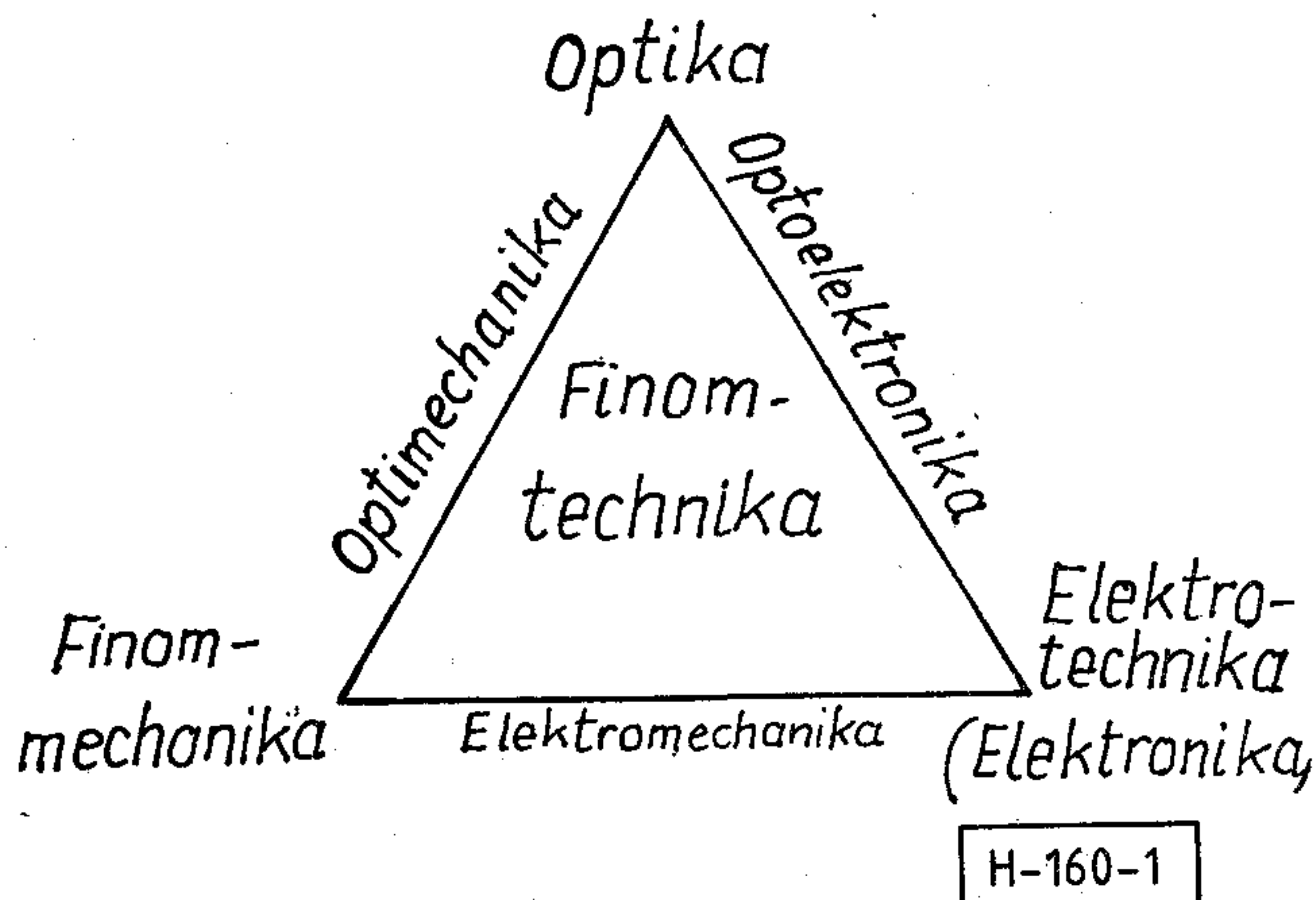
A felsorolt jellemzőket speciálisan kell értelmezni, mert pl. az első ismerv alapján a harang is a finommechanikához tartozik, hiszen jeleket továbbít!

A *jeltovábbítás*, mint fő funkció elsősorban a mérőműszerekre jellemző, de megjelenik még a szabályozást, vezérlést végző berendezésekben, az őrműszerekben és sok más helyen. A finommechanikában jelentős fejezetet alkotnak a jeltovábbításra alkalmas gyártmányok. Kevés kivétellel ráillik a finommechanikai gyártmányok többségére, hogy az energiatovábbítás elsődlegesen meghatározó szerepe ezekben megszűnik és helyébe a „jelfolyam” lép. A határfok mint paraméter ugyancsak másodlagossá válik, a relatív hiba a jel és a hibaérték (zaj, torzítás) hányadosának értéke, a jel/zaj viszony dönti el egy mérőrendszer használhatóságát.

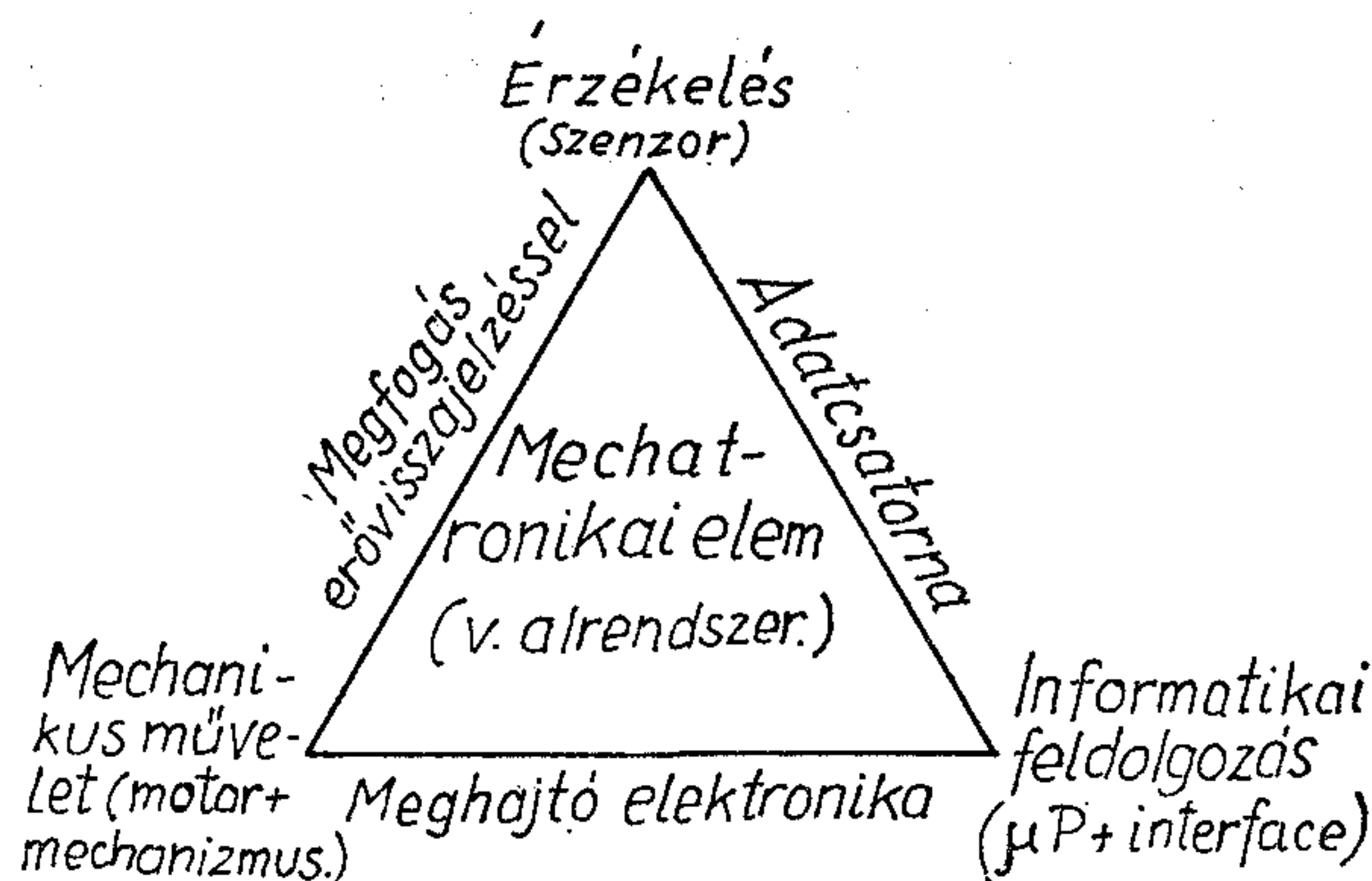
A kis méretekre, a *miniaturizálódásra* való törekvés, különösen a finommechanika és a vele rokon műszer és híradástechnikai iparok területén ma az egyik legszembetűnőbb jelenség. A magyarázatát a kis méreteknek a berendezések fajlagos teljesítőképeségére és egyéb jelentős paramétereire kedvező hatásában kell keresni.

A *precizitás* ugyancsak nehezen meghatározható jellemző. Nem elegendő a mérettűrések finomsági fokozataira gondolni, mert éppen a különlegesen kis méreteknél a relatív mérettűrés nagymértékben megnő anélkül, hogy a szerkezet működési szabotosságát ez a körülmény észrevehetően befolyásolná.

Szembevetendő a „szilárdsági” méretezés kisebb jelentőségűvé válása a finommechanikai gyártmányok ter-



1. ábra. A finomtechnika és alkalmazási területei



2. ábra. A mechatronika funkciósémája

vezésében. A *működés közben* fellépő erőhatások, kevés kivételtől eltekintve olyan csekélyek, hogy az egyéb, mint pl. szállítási és gyárthatósági szempontból helyesen kialakított szerkezet a működés közbeni erőhatásokra nézve többszörösen túlméretezett. Az ún. másodlagos hatások (rázás, ütés, az esetleges hibás kezelésből származó erőltetések), rendszeren nagyságrendekkel nagyobb igénybevételt jelentenek a működés közbeninél.

A *finomtechnika* fogalmát fent már szóba hoztuk, de még nem határoztuk meg. Legszembetűnőbben dr. Almásy György írta le, pontosabban rajzolta le a fogalom összetevőit az 1982-ben írt tanulmányában [2]. Az 1. ábrából látható, hogy a finomtechnika három fő szaktudományra támaszkodik (Finommechanika, Optika, Elektrotechnika (elektronika)), amelyek egyesén egymásra hatva is jelentkezhettek [4].

A finomtechnika-fogalom — sajnos — alig terjedt el. Érdekes módon annál jobb fogadtatásra talált a *mikrotechnika* elnevezés, amely olyan finommechanikai és elektromechanikus vagy elektronikus elemekből álló rendszerre vonatkozó fogalom, amelyben a mére szabotosság mikrométer nagyságrendű. Ennek fejlettebb formája a *nanotechnika*, amely különleges berendezéseket és környezetet igényel. Lényegében ez utóbbi két megnevezés a finomtechnika szinonímáját jelenti.

Az újabb műszaki irodalomban egyre jobban elterjed a: *mechatronika* kifejezés, amelynek meghatározása ugyancsak nem egységes. Többirányú törekvés testesül meg az ilyen típusú komplex berendezésekben. Egyik ilyen irányzat: mechanikai funkciókat kiváltani elektronikával. Ez a funkcióelem lehet pl. a programadás, időtervrögzítés stb. Másik az érzékelés, alakfelismerés, aktivizálás, amely ugyancsak az elektronikai részrendszer feladata. A megfogás, a mechanikai műveletek (helyváltoztatás, adagolás, erő kifejtés stb.) a mechanikai alrendszerre tartoznak, amelynek szorosan együtt kell működnie a vele komplex módon egybeépített elektronikával.

Összefoglalva: A mechatronika a mechanikai és elektronikus elemekből álló komplex együttműködéssel dolgozó rendszerekkel foglalkozó tudományág. A mechatronikai elem funkciósémáját a 2. ábra mutatja. Szemmel látható az 1. ábrával való rokonság, amely nem véletlen, mert a korszerű mechatronikai

berendezésben a finomtechnika valamennyi komponensét fellelhetjük.

Fogalmi áttekintésünket zárjuk le azzal, hogy elsődlegesen nem meghatározásokat kívántunk adni, inkább körülírni, több oldalról megközelíteni mai technikánk újabb témaköreit.

Nem szóltunk a finomtechnika gyártmányait előállító *technológiákról*. A mikrométer körüli tűrések elkészítése különleges módszereket, eszközöket és műszerezést kíván. Ha a bűvös μm alá merészkedünk (ún. szubmikron-technológiák) teljesen új, ma még járatlan területre jutunk. Nem kerülhetjük el, hogy szembenézzünk ezekkel a kérdésekkel, mert az újfajta gyártmányok pl. nagy integráltságú áramkörök gyártóeszközeihez ilyen technológiák nélkül nem juthatunk el [5].

Az elektronika és finomtechnika egymásrahatása

Az előzőekben már röviden írtunk arról, hogy pl. az elektroncsövek gyártásához viszonylag fejlett finommechanikai felkészültség kellett. A 3. ábrán egymás mellé állítottuk az elektronikai elemek egymást követő fajtaíait (generációit is mondhatnánk, de az ábrán itt nem ez volt az elsődleges). Jól látható, hogy a mind összetettebb, fejlettebb elemekhez mind nagyobb szabotosságú (precizitású) finomtechnika szükséges. Ez a fokozódó követelmény egyaránt vonatkozik az elemgyártó berendezés finommechanikai alrendszerére, mind a különféle pozicionálókra, manipulátorokra, segédszerkezetekre stb. Ugyanúgy jelentkezik ez a követelmény az új típusú elektronikus elemek precíziós csatlakozóinak és más mechanikai elemeinek esetében is. A 3. ábra görbéje láthatóan közel exponenciális jellegű, ami arra utal, hogy esetleg a későbbiekben „telítésbe” megy át, azaz elérkezhet olyan évszámhoz, amikor csak túl nagy fejlesztés hoz érzékelhető javulást. (A számítás csupán formális, de egyszerű exponenciális görbeillesztéssel kb. 97%-os korrelációs tényező mellett kimutatható, hogy 2000, ill. max. 2010

körül gyakorlatilag bekövetkezik a telítődés, amely egyszerűen azt jelenti, hogy merőben új utakat kell keresni az elemsűrűség további növelésére.) Ma még nem tartunk itt, a nanotechnika még ígéretes, de nem könnyű út a fejlesztésre. Mint arról olvashatunk a szakirodalomban, maga a természet ad követendő példákat. Az agy szinte végtelen számú neuronja nagyobb kapacitású, mint sokezer nagy számítógép operatív és háttér-memóriája együtt. Igaz, egészen más „szervezésű” és éppen ezért sokkal többre és másra is képes.

Visszatérve kiinduló gondolatunkhoz, az elektronika számos területen visszaszorította a mechanikát. Más téren viszont létezésének feltétele, hogy az eddiginél precízebb, pontosabb és megbízhatóbb mechanikai rendszerek álljanak elő a nagyteljesítményű elektronikus elemek gyártóberendezéseire.

A méretek csökkenésének irányzata egyaránt jelentkezik mindkét szóban forgó területen. Az okok mások a finommechanikában és megint mások az elektronikában, de az eredmény hasonló.

Ragadjunk ki egy jellegzetes alkatrész méretet, amely a darabot számunkra képviselje, legyen az „ l ” (lineáris méret). Csökkentsük az alkatrész *valamennyi* méretét „ a ”-ad részére. A működés közben keletkező hőmennyiség elvezetésére akkor jobbak a lehetőségek, ha a felület viszonylag nagy a térfogathoz képest.

Az alkatrész felülete: $A = k \cdot l^2$;

míg térfogata: $V = K \cdot l^3$;

ahol: k, K az alkatrész alakjától

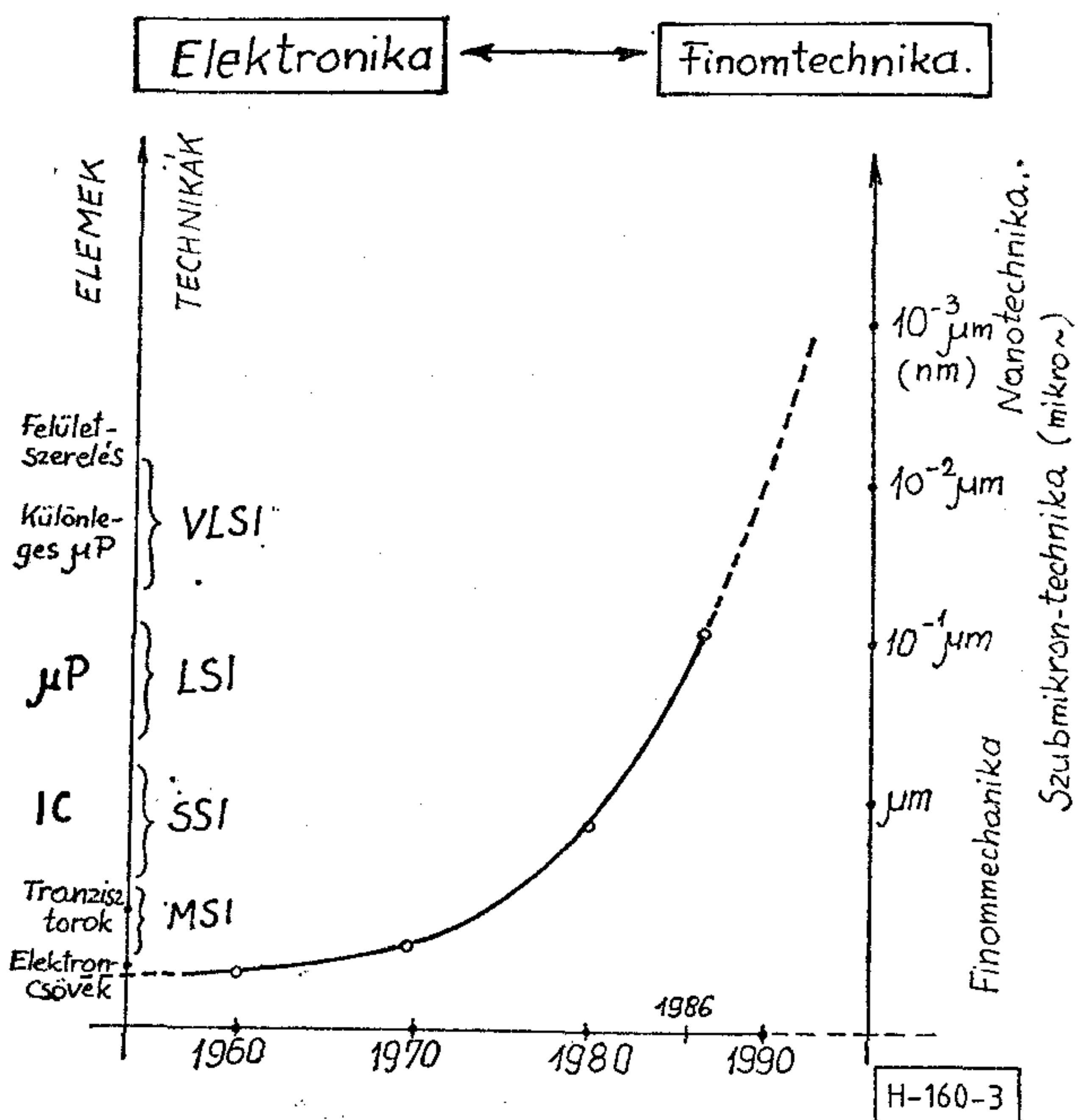
függő tényezők. Végül a felület—térfogat arány:

$$\frac{A}{V} = \frac{k \cdot l^2}{K \cdot l^3} = C \cdot \frac{1}{l};$$

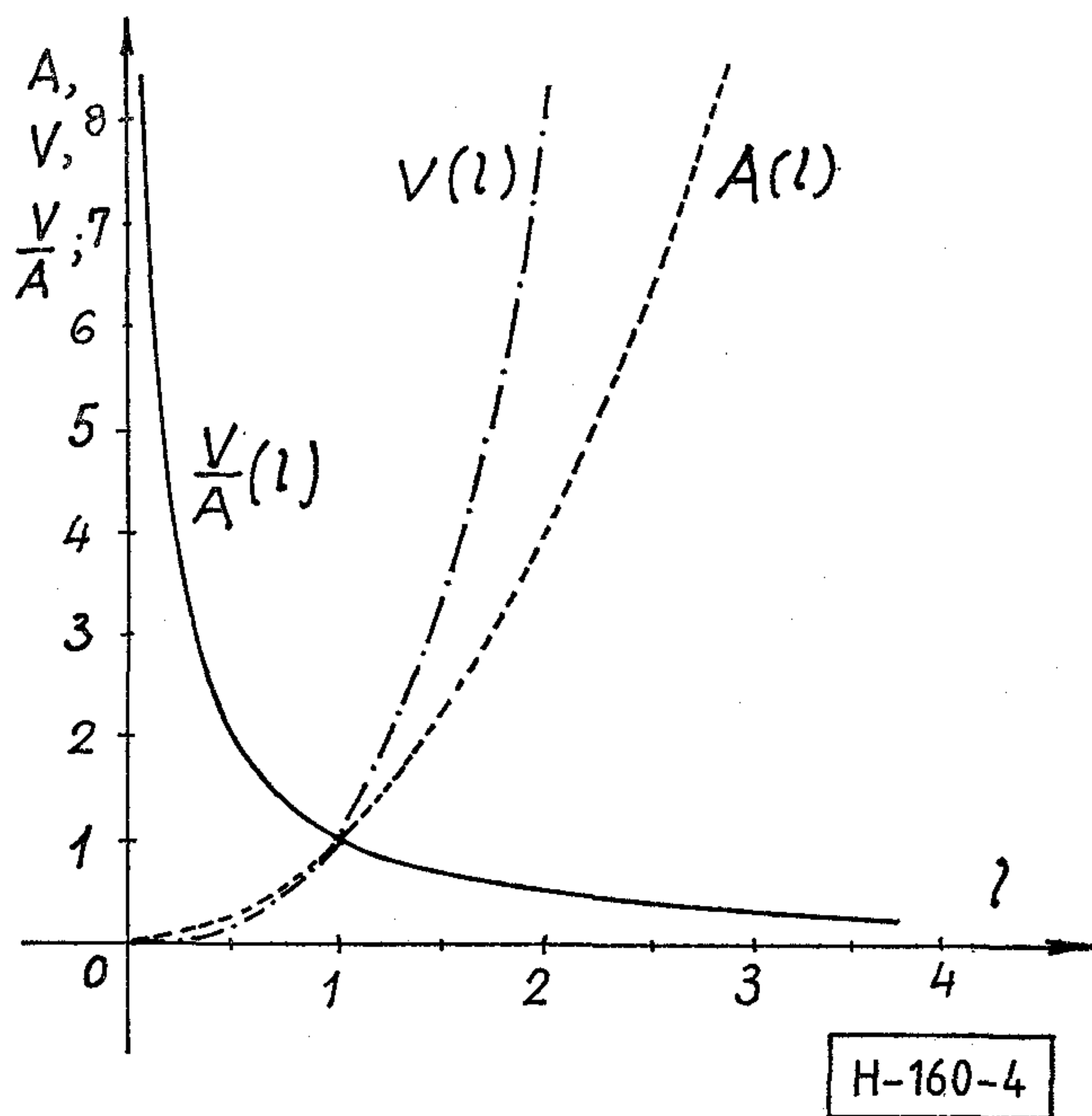
ahol

$$C = \frac{k}{K}$$

(alaktényező). Ez a szám a termikus terhelhetőségre jellemző.



3. ábra. Az elektronikai elemek típusai (generációi) és azok előállítását biztosító finommechanikai technikák



4. ábra. Alkatrészjellemzők kapcsolata egy jellegzetes hossz mérettel (l); $V(l)$ térfogat; $A(l)$ felszín; $\frac{V}{A}(l)$ a termikus terhelhetőség jellemzője

Jól látható, hogy az említett felület—köbtartalom arány a jellegzetes méret csökkenésével rohamosan növekszik, egyértelműen megokolva a miniaturizálási tendenciát. (l. 4. ábrát)

A termikus hatás a finommechanikai elemekben is jelentkezik, noha nem annyira jellegzetes és meghatározó, mint az elektronikusok esetében. A finommechanikai alkatrészek — méreteikhez viszonyítva — nagyságrendekkel „erősebbek”, mint nagyméretű „rokonok”. A köbösen csökkenő térfogat ugyanilyen mértékben csökkenő tömegterhelést is jelent. Ezt a „vékonyodó” rugalmas elem „lágyulása”, — amely csupán lineáris — nem tudja elrontani. Ezért rezgőhatásra a finomszerkezet merevebb, „ellenállóbb”. Saját súlyát pedig két nagyságrenddel könnyebben „elviseli”, mint méretcsökkentés előtti állapotában. [6]

Összefoglalva: a kis mérettartomány mindkét elem-típusnak kedvező hatású. Ez az oka az egyre csökkenő méreteknél, a nagyfokú miniaturizálásnak. Az ilyen parányokat lassan már meglátni is csak mikroszkóppal lehet, kezelni pedig nagyszabotosságú finommechanika nélkül gyakorlatilag lehetetlen. Ez a körülmény is a két eszköztípus szoros egymásrataltságát példázza.

A finompozicionálás és mikromozgatás

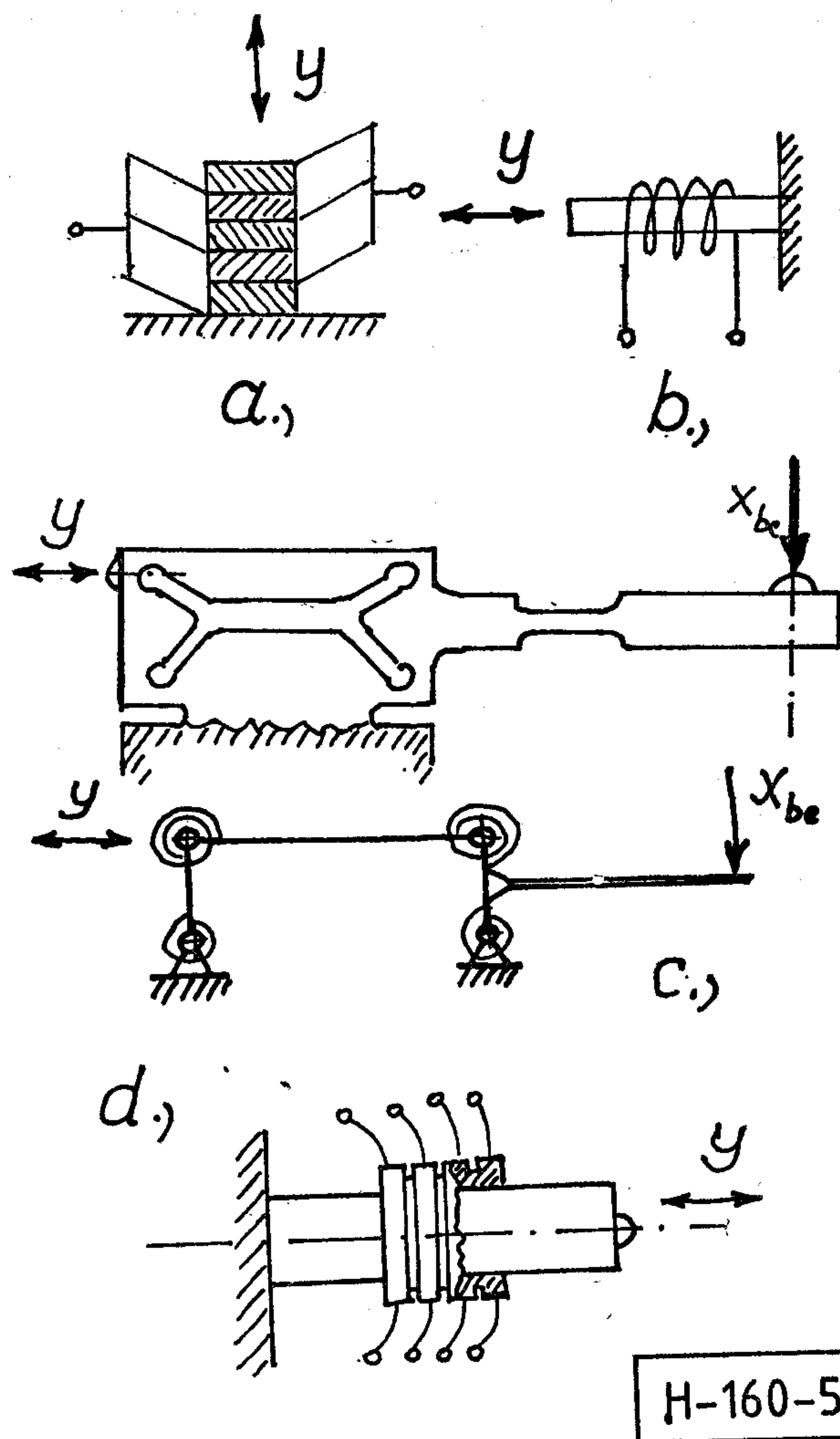
A címben szereplő két fogalom a végrehajtáskor nem különül el. Adott geometriai helyzetbe hozni bármilyen elemet (tárgyat) csak elmozdítással lehet. Az *elektronikai elemek gyártásában* szükséges műveletek közül sokat ma még kizárólag mechanikai úton tudnak elvégezni. Nagy elemsűrűségű IC-k trimmelését végző lézersugár eltérítő elemét finomelmozdítással kell működtetni. Ebből kiindulva elmondható, hogy a legújabb — elektronikai — technika elemeinek elkészítéséhez a korábbinál pontosabb és precízebb finommechanika kialakítása válik szükségessé.

A *mechanikai technológiák* ugyancsak igénylik a finommozgatást, különösen az olyan esetekben, amikor a távműködtetés elengedhetetlen. Az extrém nagy pontosságú esztergálási és marási műveleteket az ember közvetlen közletről nem irányíthatja, mert pl. a hőmérsékleti viszonyokat testének hőkisugárzásával károsan befolyásolja.

Magának a mikromozgatásnak a kivitele többféle elven történhet. A *közepes* finomságú (pl. jusztirozáshoz szükséges berendezésekben) elmozdításhoz finom fogazatú fogasléc és fogaskerék, precíziós ágyazással, finommenetes orsó és megvezetett anya használható. Kis mérettartományokhoz a közvetlen ékpálya vagy egyszerű karos mechanizmus is megfelel, elegendően finom kivitelben. A manapság alkalmazott legszabatosabb orsós mozgatómű az ún. golyósorsó, amely számos CNC gépben (különösen megmunkálógépben) jól bevált szerkezeti elem.

A fenti megoldások, mind saját geometriai hibáik, mind a hozzájuk csatlakozó egyenesvezetékek hibái miatt korlátozott szabotosságra építhetők. A további javításra két út kínálkozik.

a) gondos mérésekkel egyedileg bemérni a mozgási pontatlanságokat és a mechanikához csatlakozó μ P-ra bízni a korrekciót.



5. ábra. Mikromozgatások néhány kivitele. a) piezokerámia oszlop, b) magnetostríciós rúd, c) deformációs mozgásalakító (kivitel és modell), d) vegyes megoldás: piezogyűrűk és rugalmasan deformálódó rúd együttese

b) az alap mechanizmust durva beállításra tervezni, mind hardware, mind software vonatkozásban. A vele mechanikusan sorbakapcsolt finommozgató pedig a végleges helyzetbehözást hivatott elvégezni. Ez utóbbi megoldás drágább, már csak kétlépcsős kivitele miatt is, de megbízható működés érhető el vele.

Az 5. ábra néhány megoldásvázlatot mutat a finommozgató „végfokozatára” vonatkozólag. A legegyszerűbb egy *piezo-kerámia-oszlop* (a). A szükséges elmozdításnak megfelelően vagy közvetlenül alkalmazzuk, vagy áttétel közbeiktatásával még tovább „lassítjuk” a mozgást. Mind közvetlen, mind áttételes változatánál célszerű kismértékű előfeszítést is alkalmazni, amely határozottabbá teszi a mozgást. Piezomozgatású egységgel könnyen megoldható 15–20 μ m-es tartomány átfogása kb. 0,1 μ m-es feloldással. Két hátrányos tulajdonságát is meg kell említeni. Az egyik az, hogy működtetéséhez kilovolt nagyságú feszültség szükséges, amely a különleges tápegységigényen kívül azzal is jár, hogy megfelelő érintésvédelemről is gondoskodni kell. Másik említésre méltó hátrány, hogy nagy belső súrlódása miatt számításba veendő *histerézist* mutat. Külö-

nösen a nagyszabotosságu helyzetbeállítások esetén számításba kell venni, hogy mindig *egy irányból* kell a kívánt pozíciót megközelíteni, mert irányváltáskor ingadozó mértékű üresjárat iktatódik be a folyamatba.

A piezo-hatáshoz hasonló fizikai természetű a *magnetostrikcio* jelensége. Mindkettő kristályos (általában polikristályos) anyagok erőter hatására bekövetkező rácsstorzulása. Míg a piezo-hatás megfordítható (erőhatásra villamos töltés jön létre, villamos tér hatására elmozdulás), addig a magnetostrikcio jelenséget mutató anyagok — fémötvözetek — mágneses tér hatására rácsstorzulást mutatnak fel, amely hossz-mértékük megváltozásával jár együtt. Finomhajtómű végfokozatként való alkalmazását az gátolja, hogy viszonylag nagy mágneses térrel kismértékű elmozdulást lehet produkálni, amely körülmény a nagy tekercsméretetek miatt alkalmazását nehezíti. (5.b.)

A leggyakoribb megoldás a különféle *rugalmas alakváltozást* végző szerkezetek beépítése. A kiinduló elmozdulást rendszerint egyszerű menetes orsós (ritkábban golyós orsós) vagy differenciálménetes mechanizmussal állítják elő. Rugalmas alakváltozású szerkezet ezt „osztja le” a megfelelő mértékűre. Ilyen változatot mutat az 5.c. ábra, amelyen bemutatjuk — számításokra is alkalmas — rugalmas csuklós modelljét is. A bemeneti mozgást előállító mechanizmusnak önzárónak célszerű lenni, amely viszont bizonyos mértékű belső súrlódás megjelenésével jár együtt. A bemutatott kivitel egyik előnye, hogy nagy módosítást lehet vele egy lépcsőben elérni (max. $1/25$ — $1/30$), sőt az „ l ” méretváltoztatásával a módosítás beállítható. A felsorolt előnyök mellé még az is járul, hogy a bemutatott változat viszonylag egyszerűen kivitelezhető.

Jó dinamikai jellemzőket lehet elérni egy „vegyes” deformációs-piezohatást felhasználó változattal. (5.d. ábra.) Egy acélrúdra átfedéssel felhúzott piezo-gyűrűk (egy piezo-hüvelyből beszúrásokkal gyűrűzött) külön-külön, egyszerre és meghatározott csoportonként aktivizálhatók egy arra tervezett elektronikus vezérlő áramkörrel. Ez a mozgató egység nagy erőhatásokat képes kifejteni gyors, néhány mikrométeres elmozdulások megvalósítása közben. A mozgató műholdakon felszerelt nagyátmérőjű rugalmas tükörlapok görbületi sugarának a megváltoztatására is felhasználják. Az ábrán vázlatosan feltüntetett szerkezet tényleges átmérője 25 mm körül volt, a rúd hossza kb. 60 mm, a piezo-hüvely kb. a hossz méret felét borította be szimmetrikusan felhelyezve. [3]

Csatlakozók, szerelvények, segédberendezések

Jelentős szerep jut a finommechanikának az elektronikus elemek érintkezőinek, csatlakozóinak és különféle

mechanikus szerelvényeinek létrehozásában, biztosításában. Az elektronikus berendezések tervezői a megmondható, hogy mennyi gondot és problémát jelent az egyébként mellékesnek tűnő érintkező, dugaszoló egység, kapcsoló, forgatógomb és mechanizmus (durva és finom mozgató). Csupán egy adat a fentiek alátámasztására: importált elektronikus elemek és berendezések teljes volumenének több mint 60%-át teszik ki a *nem-elektronikus* jellegű elemek, azaz a finommechanikai úton elkészíthető járulékos alkatrészek.

Külön említést érdemelnek a *mikrohullámú technika* elemei, amelyek legalább annyira finommechanikaiak, mint villamos természetűek. Egy tápvonal, egy csatlakozó, egy beállítható rezonátor stb. külön-külön egy-egy finommechanikai remekmű, mind méretszabotosságu, mind felületi finomságu tekintve.

A korszerű híradástechnika vezetékeire az *üvegszáll* kábelekre gondolva ugyancsak szembetűnő a két terület szoros együttesének jelenléte. Egy gradiensszállból álló kábel csatlakozója a finommechanika csúcsterméke. A kábelvég lemunkálása — a kedvező optikai csatolás biztosítására — pedig ez optikai üveg-megmunkálás szabotosságuát közelíti.

Összegezés

A finommechanika a rohamosan fejlődő mikroelektronika korában sem veszített jelentőségéből. Fontossága az elektronikával való összeforrottsága, a vele szemben támasztott követelmények növekedtek. A hagyományos finommechanikai termékek egy részét gyakran elektronikai megoldásokkal váltják fel, amelyek lényegesen több szolgáltatásra képesek. Az elektronikus elemek előállítása és gyakran működésük biztosítása azonban csak még igényesebb finommechanikai szerkezetekkel lehetséges. A finommechanika így változatlanul ma is az ipari és áttételesen a tudományos fejlődés motorja.

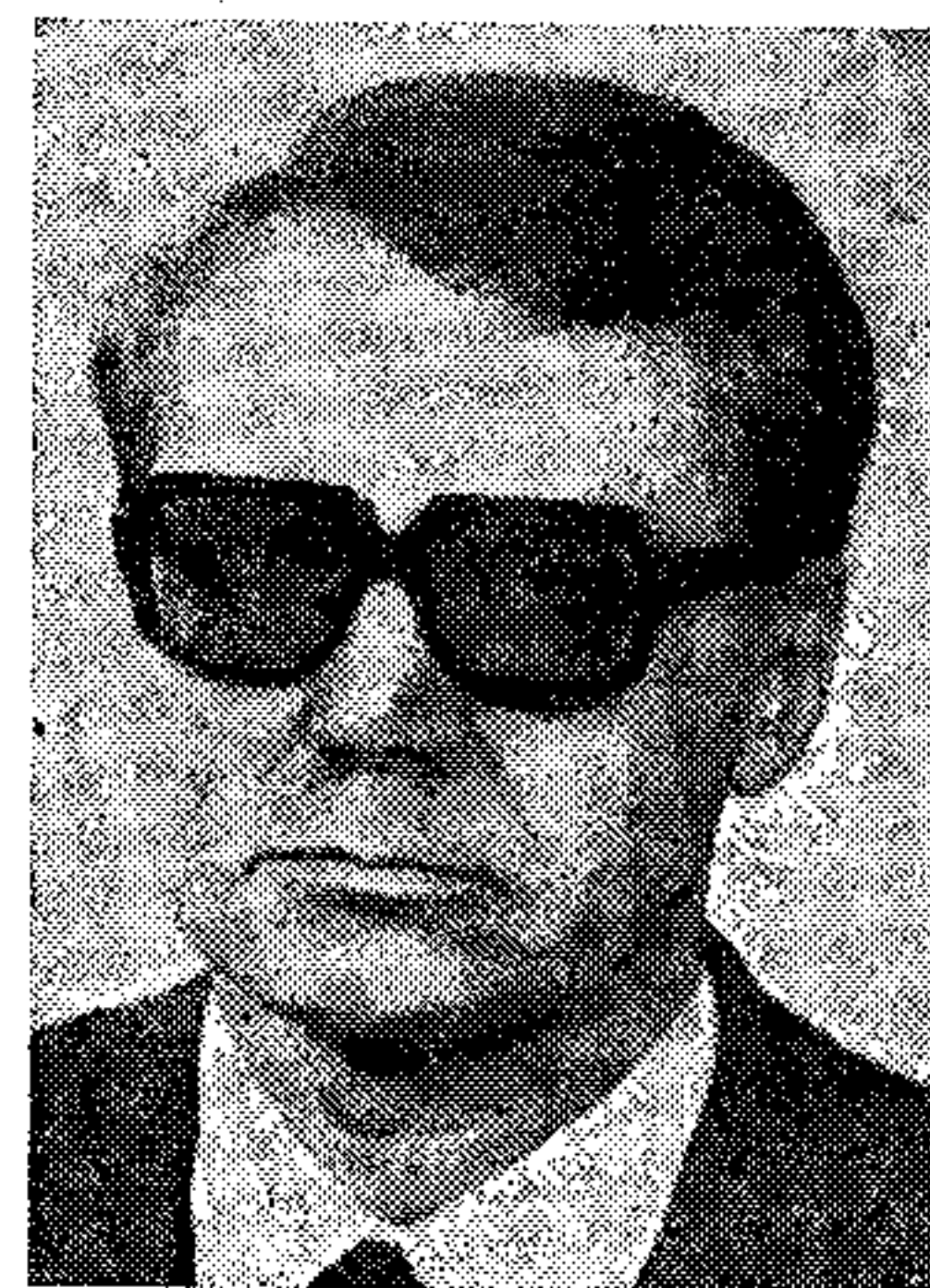
IRODALOM

- [1] *Kuhlenkamp*: *Feinwerktechnik* 65., 1961. p. 15—21
- [2] *Almássy Gy. Dr.*: *Finommechanika és elektronika kapcsolata*. Belső anyag 1982. (Ennek sajtó alá rendezett változata: *Magyar Elektronika* 2. sz.)
- [3] *C. L. Fiandra*: *Peristaltic action microinch actuator*. NASA Report 1970. p. 9—24.
- [4] *C. Brader*: *Wandel in der Lehre der Feinwerktechnik* VDE-Fachberichte 30. VDE Kongress '78 p. 19—29
- [5] *S. M. Payne*: *Manufacturing requirements printed circuit board design* *The Marconi Rev.* Vol. XLV. N 225. 1982. p. 65—83.
- [6] *Petrik O.*: *Finommechanika. Tervezés-Szerkesztés*. Műszaki Könyvkiadó Bp. 1974. p. 13—24.

Mikrohullámú ferritek és ferrites eszközök kutatása, fejlesztése

DR. MARKÓ SZILÁRD

Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A korszerű mikrohullámú rendszerek és berendezések számára nélkülözhetetlen passzív, nonreciprok ferrites eszközök (izolátorok, cirkulátorok, giromágneses (YIG) szűrők stb.) valamint a mikrohullámú ferritanyagok és ezek mérései területén Magyarországon, a Távközlési Kutató Intézetben folyó kutató-fejlesztő tevékenységről, ennek rövid történetéről, fontosabb eredményeiről és jövő elképzeléseiről számol be röviden a cikk.

Bevezetés

Korszerű mikrohullámú rendszerek, berendezések nem nélkülözhetik a passzív, nonreciprok ferrites eszközöket: izolátorokat, cirkulátorokat, nonreciprok fázistolókat, giromágneses (YIG) szűrőket stb.

A mikrohullámú teljesítményt csak az egyik irányban átengedő, a másik irányban haladót elnyelő izolátort a káros reflexiók elnyelésére, fokozatok illesztésére használják.

A cirkulátorokat, amelyek az egyes kapuba belépő teljesítményt, jelet csak egy adott sorrendben következő kapun engedik kijutni (pl. egy háromkapus cirkulátor esetén az 1. kapuból a 2. kapun, a 2.-ból a 3.-on — a 3.-ból pedig a 1.-on jut ki a teljesítmény) széles körben használják egy antennán történő adás-vételkor az adó és vevő szétválasztására, egy-kapus, reflexiós erősítők (parametrikus, alagút-diódás stb. erősítők) esetében a bemenet és a kimenet szétválasztására, csatorna szétválasztó szűrőváltók esetében stb.

A nonreciprok fázistolókkal (nagyteljesítményű) cirkulátorokat és izolátorokat lehet építeni. A vezérelhető fázistoló elrendezésekkel radar antennák nyalábja irányát lehet változtatni stb.

A giromágneses szűrők külső mágneses térrel (árammal) széles, több oktávós frekvenciasávban hangolhatók, így nélkülözhetetlen elemei a panoráma vevőknek, hangolható oszcillátoroknak, vobulátoroknak.

Ilyen passzív, nonreciprok eszközök készítéséhez olyan közegre van szükség, amelynek valamelyik elektromágneses közegjellemzője: permeabilitása, permittivitása vagy vezetése nemszimmetrikus tenzorral rendelkezik [1], [2].

A mágneses anyagoknál polarizáló állandó mágnes-tér hatására létrejövő giromágneses jelenség teszi a közeget anizotroppá, hozza létre a közeg aszimmetrikus permeabilitás tenzorát.

A vezető (fémes) mágneses anyagok esetében a nagyfrekvenciás elektromágneses tér csak a skin-mély-

DR. MARKÓ SZILÁRD

A BME Villamosmérnöki Karán szerzett villamosmérnöki oklevelet 1957-ben. 1978-ban nyerte el a műszaki tudományok kandidátusa fokozatot. 1980-ban Állami Díjjal tüntették ki. 1957 óta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik, jelenleg tu-

dományos főmérnöki beosztásban. Fő szakmai tevékenységét a giromágneses nonreciprok eszközök kutatás-fejlesztése területén fejtette ki. Tagja a HTE-nek, az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, valamint a Nemzetközi Mikrohullámú Ferrit Konferencia Nemzetközi Rendezőbizottságának.

ségig (ami a mikrohullámok esetén néhány tized mikrométer) hatol be az anyagba, és így nem alakulhat ki számottevő giromágneses kölcsönhatás. A giromágneses hatás kihasználásának feltétele tehát, hogy a mágneses közeg jó, kisveszteségű szigetelő anyag legyen. Ilyen anyagok a ferrimágneses oxidok, a ferritek.

A ferritek esetében kettő (vagy több) mágneses alrendszer van egymással antiferromágneses kölcsönhatásban (az erős szuperkicserélődési kölcsönhatásban levő alrendszerek anti-parallel helyzetbe állítják egymás mágneses momentumait), így az eredő mágnesességet a két alrendszer mégnesszettsége különbsége (több alrendszer esetén általában algebrai összege) adja.

A ferritek mikrohullámú alkalmazása lényegesen magasabb követelményeket támaszt az anyagparaméterekkel szemben. A fajlagos ellenállás nagyságrendekkel nagyobb kell, hogy legyen (nagyobb mint 10^9 ohm cm), mint a közönséges hangfrekvenciás vagy rádiófrekvenciás ferritek esetében. A mágneses veszteségekre, anizotropia állandókra is különlegesen szigorú feltételek adódnak.

Ezért a passzív, nonreciprok ferrites eszközökhöz speciális mikrohullámú ferritanyagokat kellett kifejleszteni.

A továbbiakban a Távközlési Kutató Intézetben — az intézet által fejlesztett rendszerekhez szükséges — mikrohullámú ferritek és ferrites eszközök kutatása, fejlesztése terén elért eredményeket fogjuk röviden ismertetni, a teljességre való törekvés helyett, az érdekesebbnek, jelentősebbnek ítélt eredmények közül a kutató, fejlesztő munka sokoldalúságáról képet adó, jellemző példák kiragadásával.

Mikrohullámú ferritanyagok kutatása, fejlesztése

Intézetünkben ipari célú, eszközkonceptiójú anyagkutatás folyik. Széles anyagválaszték helyett, adott eszközök számára kívánunk speciális anyagokat kifejleszteni.

Beérkezett: 1986. III. 5. (H)

A mágneses anyagkutatás intézetünk alapításának az első éveiben megkezdődött. Első eredményünk a hazai porvasmag előállításának megoldása volt.

A ferritkutatás első feladata nagy kezdőpermeabilitású ferritek kidolgozása és iparosítása volt. 1100, 2000 és 3000 kezdőpermeabilitású átviteltechnikai ferriteket dolgoztunk ki, és ezek gyártását a váci HAGY-ban üzemeltettük.

A Vilati és Telefongyár igényeihez néhány négyszög-hiszterézis hurkú ferrittípust is kidolgoztunk, melyeket nagyberendezéseikbe építettek be.

1957 után fő feladatunk a TKI-ban kifejlesztett mikrohullámú nagyberendezésekhez szükséges ferrimágnes anyagok kidolgozása lett.

Az intézetünkben kifejlesztett mikrohullámú ferrites eszközökhöz szükséges ferrittípusok közül azok készítését, amelyeket nagyobb mennyiségben használnak fel, szintén üzemeltettük a HAGY-ban, a kisebb mennyiségben igényelt és kényesebb típusokat laboratóriumunkban állítjuk elő.

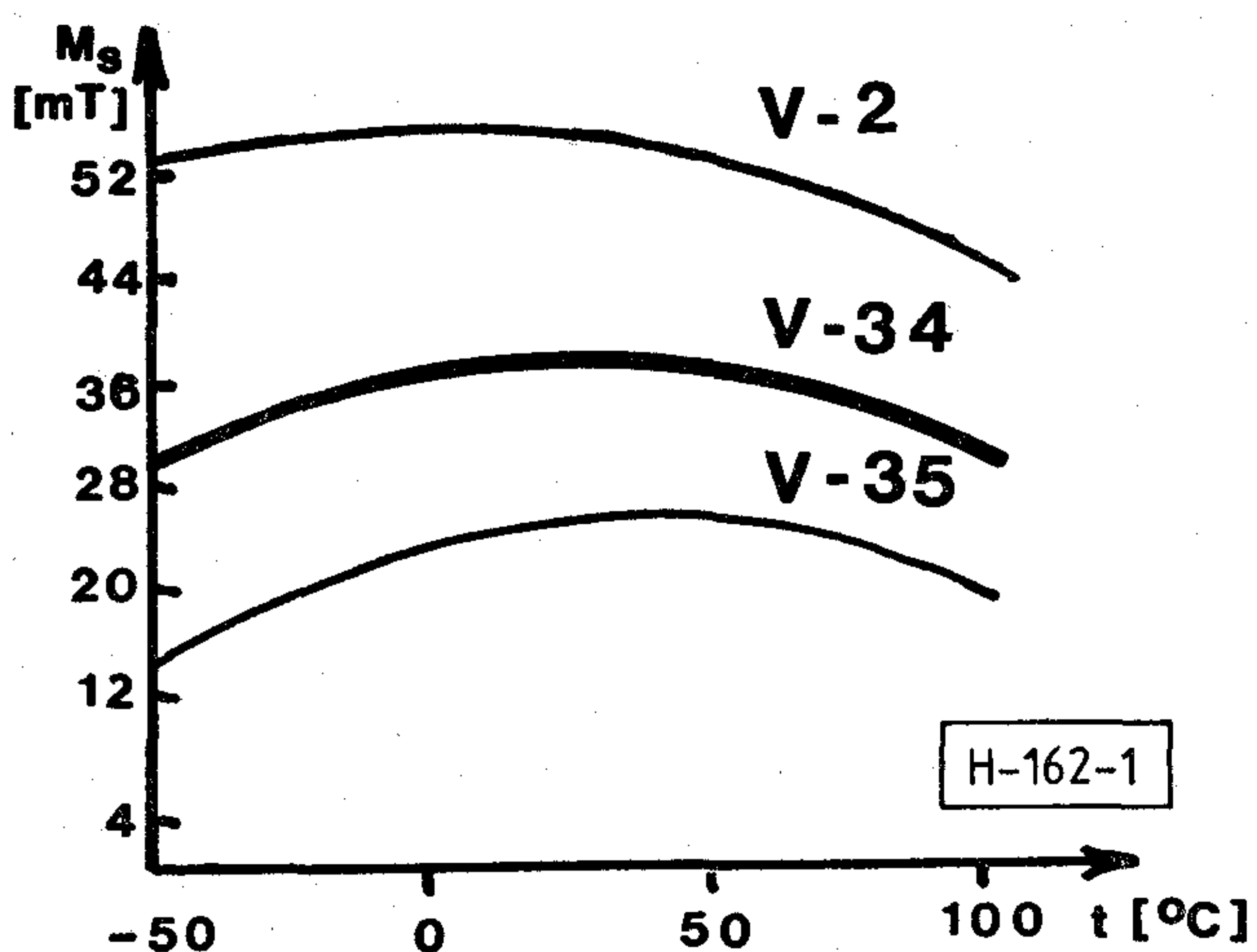
Kezdetben spinell struktúrájú mikrohullámú ferriteket fejlesztettünk, de ma már eszközeink többségében a kisebb dielektromos veszteségeket adó és hőfokfüggés kompenzációt lehetővé tevő, három mágneses alrendszert tartalmazó gránát struktúrájú ferriteket — röviden gránátokat — alkalmazunk.

Polikristályos gránát anyagból 17 típust dolgoztunk ki és állítunk elő folyamatosan laboratóriumunkban, az igényeknek megfelelően. Ezek telítési mágnesezettsége 25...175 mT (250...1750 G) közötti. Egyes típusokra jellemző a munka-hőmérséklettartományban való hőmérsékleti függetlenség, más típusok alacsony mágneses és dielektromos veszteségeikkel tűnnek ki.

Illusztrációul bemutatjuk az utóbbi években kifejlesztett néhány alacsony telítési mágnesezettségű és kis hőmérsékletfüggésű gránátanyag M_s/T görbéjét. Lásd az 1. ábrát.

Külön indokolt megemlíteni a mikrohullámú áramkörök alaplemezéül kifejlesztett gránattípusainkat, amelyeknél a megfelelő mágneses és elektromos tulajdonságok mellett fontos követelmény a nagyfokú felületi tömörség és homogenitás is.

A kialakított gránátanyag homogenitását az előállítás minden lépése befolyásolja. Laboratóriumi



1. ábra. Különböző gránátanyagok telítési mágnesezettségének hőfokfüggése

kísérletsorozat alapján megállapítottuk, hogy az előszinterelt anyagban nemcsak a mechanikai inhomogenitás játszhat szerepet, hanem a kémiai inhomogenitás, vagyis az egyes kristályszemcsék eltérő kémiai összetétele is. Az egymással különböző arányban jól ötvözhető spinelleknél az inhomogenitás előnyös a nagyobb reakciókészség miatt, míg a gránátoknál lehetetlenné teszi a kész, zsugorított anyag megfelelő homogenitását. [3]

Ferrimágneses egykristályok előállítására vonatkozó kísérleteink eredménye 1750—200 G közötti, Ga és Sc ionokkal szubsztituált ittrium-gránát és CaVaBi gránát egykristályok előállítása. Ezek világszínvonalú minősége megfelel a TKI-ban kifejlesztett mikrohullámú szűrők és oszcillátorok követelményeinek.

Az egykristályok növekedésének lefolyását azok oldódási formáinak vizsgálatával követtük nyomon.

Az anyaggal szemben támasztott egyre növekvő követelmények szükségessé tették az alapkutatás jellegű munkát is.

Új vizsgálati módszert dolgoztunk ki (a BME-vel közösen) a mágneses térben működtetett differenciál-termo-gravimetriát (DTGM), amely eddig alkalmazott méréseknél lényegesen érzékenyebb a mágneses fázisok kimutatására. [4]

E vizsgálati módszer eredményeit együtt értékelve röntgensugaras és infravörös spektroszkópiai megfigyelésekkel, az $Y_2O_3-Fe_2O_3$ gránátképződési reakció részletes menetének leírásához is hozzá tudunk járulni. [5]

Kísérleteink során megállapítottuk, hogy a polikristályos giromágneses anyagok vesztesége nem csupán a kémiai összetételtől és a morfológiai tényezőktől (sűrűség, kristályszemcseméret, homogenitás) függ, hanem lényeges befolyást gyakorol a vas-ion tartalomnak igen kis mértékű változása a stöchiometrikus összetétel közelében. Kimutattuk, hogy adott összetételű gránátanyagnál a ΔH értékének maximuma meghatározott kristályrácsállandó és kristályszemcse nagyságával, ill. ezekhez rendelhető vas-ion tartalommal valósítható meg.

A vas-ion tartalom extrém kis különbségét viszont igen nehéz kémiai analízissel követni vagy a minták rácsállandóit vagy pontos szemcseszerkezetét mérni. A Néel pont meghatározása DTG(M) módszerrel, kombinálva egy egyszerű, fénymikroszkópos homogenitás vizsgálattal, alkalmas a vas-ion tartalom kis különbségeinek regisztrálására.

Így az optimális vastartalom — melyet egyrészt a kívánt mágneses tulajdonságok, másrészt az előállítási technológiai lehetőségek szabnak meg — regisztrálása lehetővé válik. [6]

A magasabb követelményeket mind többféle szubsztituens beépítésével lehet elérni. A sok komponensű anyagok szilárd fázisú előállítása viszont szükségessé tette az intermediér termékek keletkezési és átalakulási körülményeinek ismeretét.

Reakciókinetikai vizsgálataink során megfigyeltük, hogy a szereplő ionok arányának megváltoztatása milyen új, átmeneti termékek keletkezésével jár, és kiértékeljük ezen intermedierek stabilitási tartományát. Ezek az eredmények — amelyeket az utóbbi években elsősorban az egymást követő Nemzetközi Mikrohullámú Ferrit Konferenciákon adtunk elő — teszik

lehetővé az előállítási technológia finomítását, a kívánt összetételű, homogén szerkezetű anyag készítését.

Mikrohullámú nonreciprok ferrites eszközök kutatása, fejlesztése

A mikrohullámú ferrites eszközök kutatása a TKI-ban 1957-ben kezdődött, csak pár évvel később mint a legfejlettebb országokban.

Az eszköz-fejlesztés gyakorlatilag párhuzamosan történt az anyagfejlesztéssel, nagy hangsúlyt fektetve az anyagok gyors minősítő módszerei egyidejű kifejlesztésére.

E kettős célt kezdetben a legjobban a Faraday-forgatásos csőtápvonalas elrendezések szolgálták. Így az első megvalósított csőtápvonalas izolátor és cirkulátor elrendezések Faraday-forgatóval készültek. A praktikus célra készülő csőtápvonalas izolátorok és cirkulátorok terén azonban a nagyméretű és komplikált felépítésű Faraday forgatásos eszközöket hamar kiszorították az egyéb elven működők.

A kisteljesítményű, távközlési célú csőtápvonalas izolátorok területén sokáig versenyben volt a rezonancia abszorpciós és a mezőtorzításos elven működő konstrukció. Kezdetben az utóbbi illesztési problémái miatt a rezonanciás izolátor került előtérbe, majd a mezőtorzításos izolátoroknál a világ legjobb műszaki adatait is túlszárnyalva, ez utóbbi véglegesen diadalmaskodott.

A csőtápvonal keresztmetszetének nagy hányadát kitöltő ferritestet tartalmazó mezőtorzításos izolátor elrendezés jól közelítő számítására sikerrel alkalmaztuk a variációszámítás technikáját egy új, mágnesesen anizotróp közegek esetén is érvényes, vektor variációs formula származtatásával. [10] Ma már évente több ezer mezőtorzításos izolátort készítünk a 3...26 GHz-es frekvencia tartományban, 0,2...0,5 dB-es át-

eresztőirányú, 20...30 dB-es záróirányú csillapítással, 1,02...1,05-os feszültség állóhullámaránnyal (FÁHA-nyal).

A cirkulátor megvalósítások között nálunk is — mint mindenütt a világon — uralkodóvá váltak a három hullámvezető „Y” találkozásában elhelyezett giromágneses testet tartalmazó háromkapus csomóponti cirkulátorok.

A csőtápvonalas csomóponti cirkulátorok zavaró felsőbb módusainak kiküszöbölésében jelentős gyakorlati eredmény volt a módusok elméleti vizsgálata alapján kialakított — a „H”-síkbán, a ferrit formatest közepén vékony fémlemezt tartalmazó — konstrukció megvalósítása. [7] (Lásd a 2. ábrát.)

A csőtápvonalas cirkulátorokat is nagy mennyiségben készítjük a magyar mikrohullámtechnikai ipar maradéktalan ellátására 0,1...0,5 dB-os áteresztőirányú 20...35 dB-es záróirányú csillapítással és 1,04...1,2-es FÁHA-nyal.

Napjainkban a kutatási, fejlesztési tevékenység súlypontja a korszerű hibrid integrált áramkörös felépítésű rendszerekben alkalmazható, vékonyréteg technológiával megvalósított mikroszalag-vonalas cirkulátorok és izolátorok kialakítására helyeződött.

Ezek közelítő tervezéséhez Bosma szalagtápvonalas cirkulátorok számítására levezetett formulái jó kiindulási alapot nyújtanak. Az adott frekvencián a ferritárca-rezonátor R sugarára pl. a következő formulát adta

$$R = \frac{1,84}{\omega \sqrt{\mu_0 \mu_{eff} \epsilon_0 \epsilon_f}} \quad (1)$$

ahol ω a körfrekvencia, μ_0 és ϵ_0 a vákuum permeabilitása, ill. permittivitása, ϵ_f a ferritanyag relatív permittivitása

$$\mu_{eff} = \frac{\mu^2 - \kappa^2}{\mu} \quad (2)$$

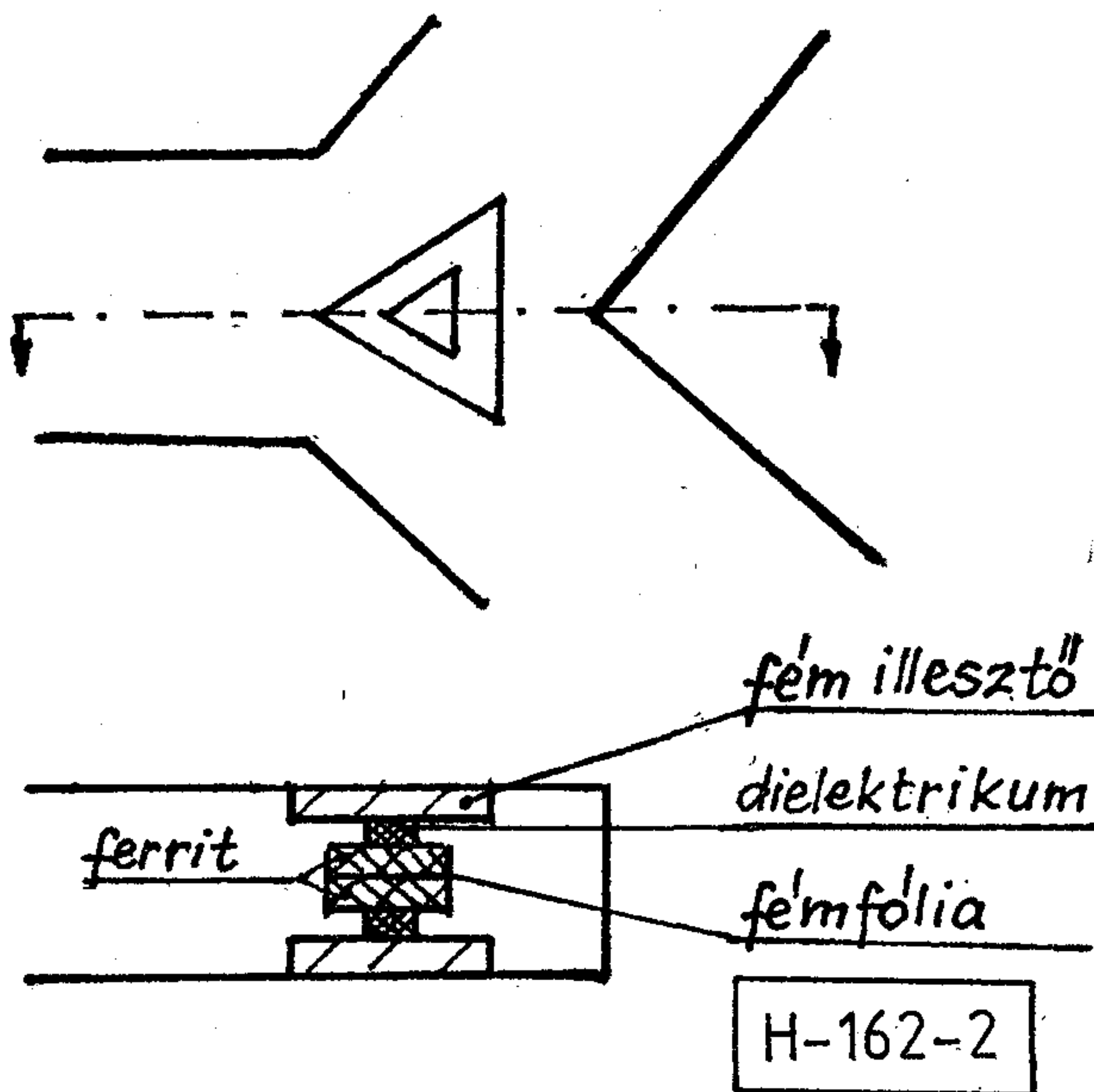
ahol μ és κ a permeabilitás tenzor elemei. [1], [2]

E formulák azonban nem veszik figyelembe a — főleg a mikroszalagvonalas elrendezéseknél jelentős — szórt terek hatását, és a csatoló vonalak hatását igen durván közelítik.

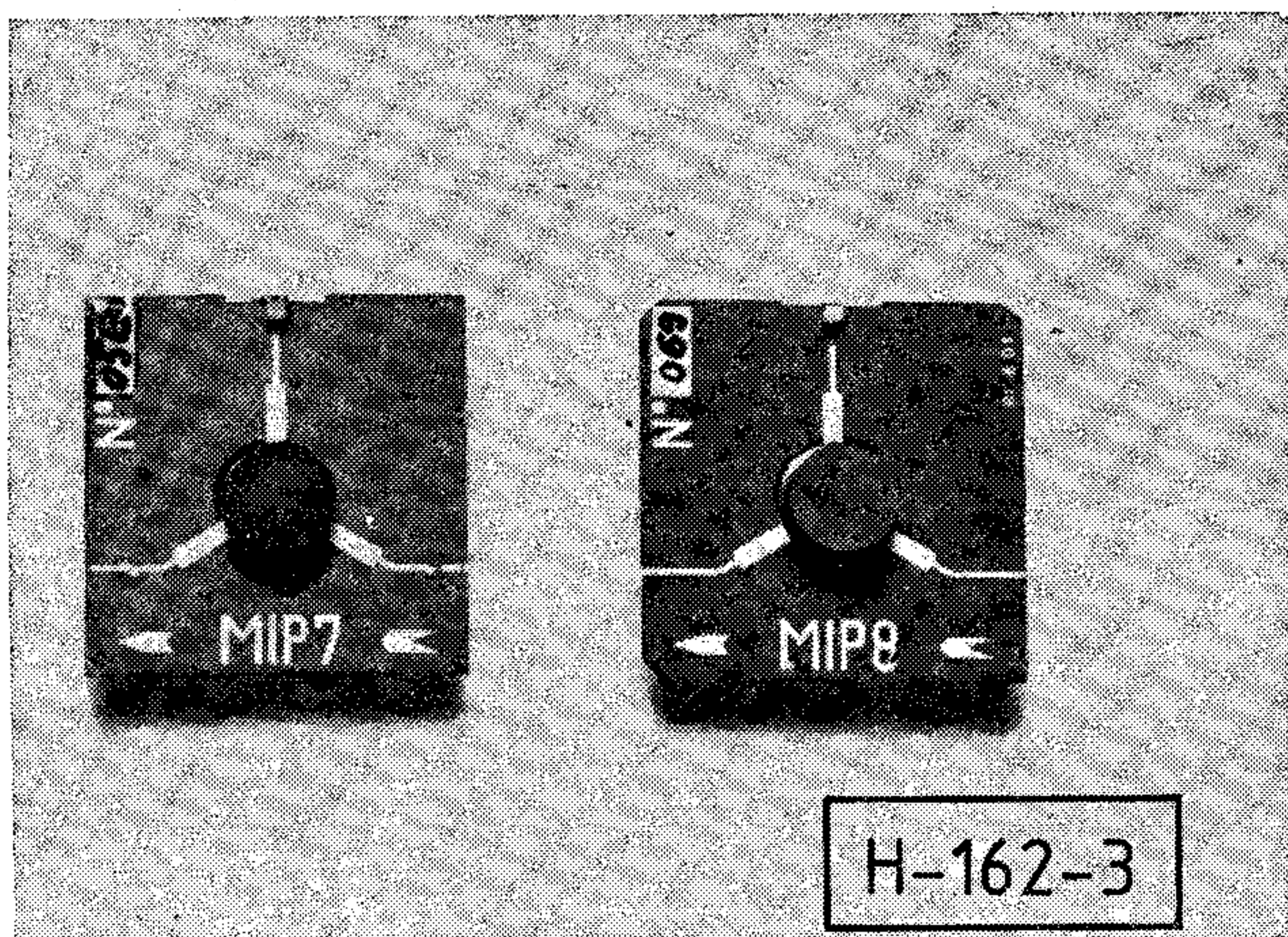
Ezen hátrányok kiküszöbölésére a számítások pontosabbá tételére ismét a variációs technikát alkalmaztuk, és a mérési eredményekkel nagyon jó egyezést mutató tervezési egyenleteket, eljárást kaptunk. [8]

A kisebb frekvenciákon (1—2 GHz alatt) működő koaxiális eszközök megvalósítása esetén — (1) egyenletből láthatóan — túl nagy ferritárca átmérő adódik, és ezért az eszközök kényelmetlenül nagyok lesznek. Ezért az elosztott paraméterű megoldás helyett koncentrált paraméteres kivitelű célszerű alkalmazni. Ennek megvalósítása viszont, pont a nagyobb frekvenciákon (2 GHz felett) növekvő nehézségekkel jár. Ezért a 2 GHz körüli, átmeneti frekvenciasávban való üzemeltetés céljára kifejlesztettünk egy, úgynevezett kvázi koncentrált paraméteres módszert. E módszer lényege, hogy az (1) egyenlet által adott, a rezonanciához szükséges átmérőjűnél sokkal kisebb átmérőjű ferritárcaát alkalmazunk és a rezonancia feltételt — általában nagy relatív permittivitású dielektrikum alkalmazásával — kapacitív terheléssel biztosítjuk. [9]

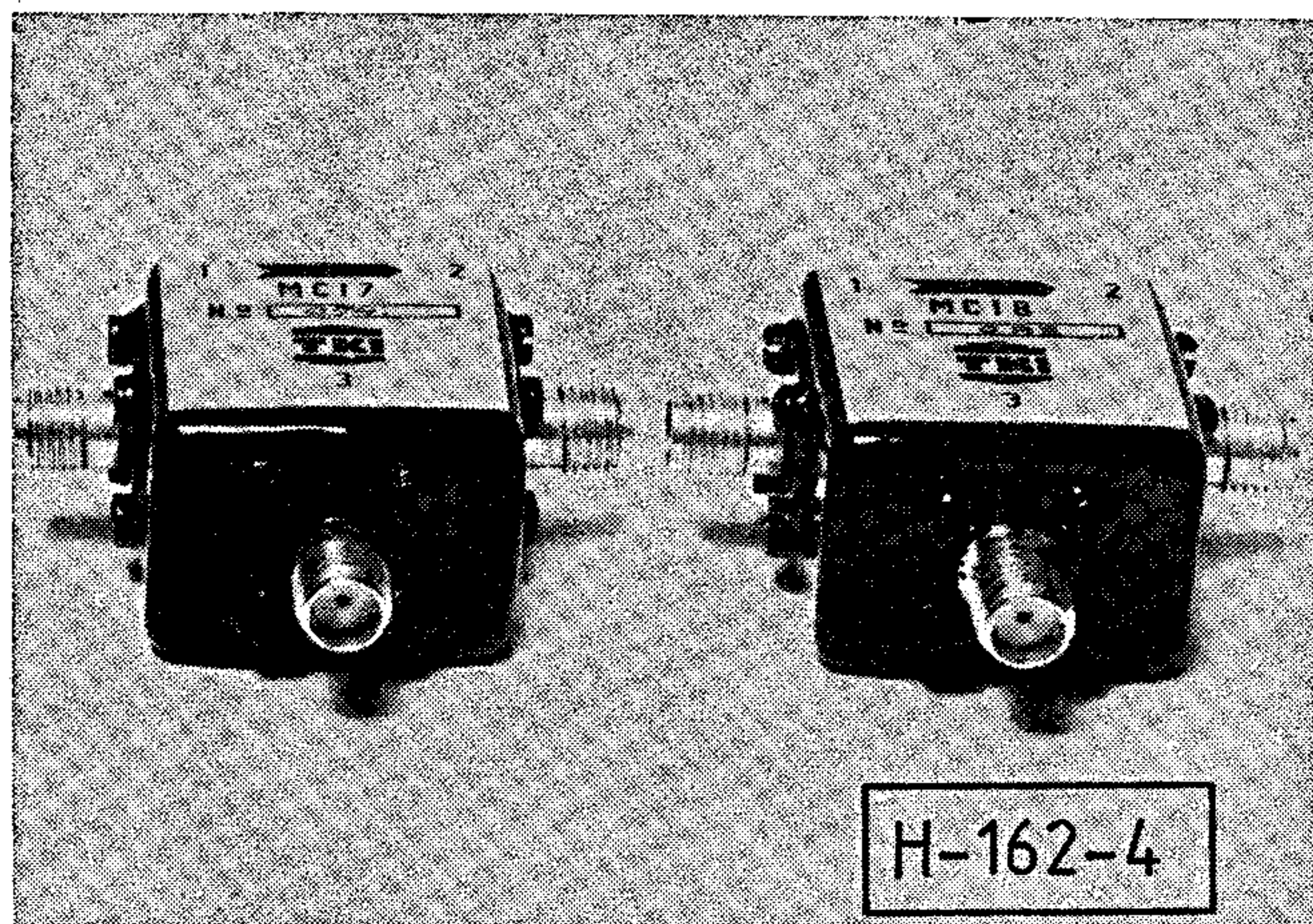
A koncentrált paraméteres és mikrosztripp cirkulá-



2. ábra. A giromágneses háromszög alapú hasáb zavaró módusait kiszűrő fémlemez elhelyezése



3. ábra. Egy-egy 7 és 8 GHz-es beültethető MIC izolátor fényképe



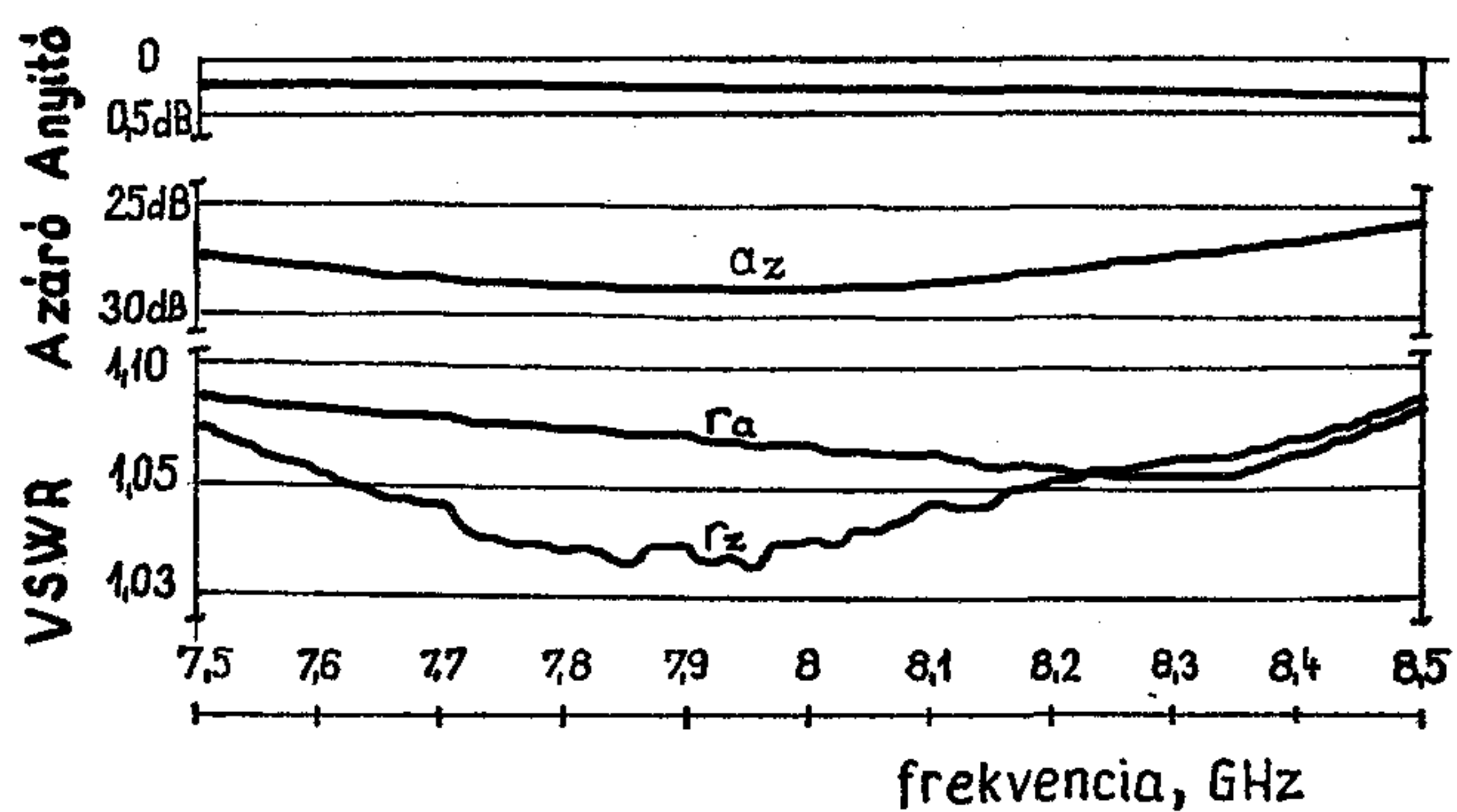
4. ábra. Egy-egy 7 és 8 GHz-es dobozott MIC cirkulátor fényképe

torokat integrálható és SMA csatlakozókkal ellátott, dobozott kivitelben készítjük a 100 MHz-től 18 GHz-ig terjedő frekvenciatartományban. A cirkulátorok egyik kapujának illesztett lezárásával készítjük a koaxiális csatlakozós, illetve (az egyre növekvő igények szerint) a beültethető izolátorokat a cirkulátorokhoz hasonló műszaki adatokkal, tipikusan 0,5 dB-es átérésztőirányú, 20 dB feletti záróirányú csillapítással és 1,2 körüli FÁHA-nal.

Egy-egy 7 és 8 GHz-es beültethető izolátor, ill. dobozott cirkulátor fényképe látható a 3., ill. 4. ábrán. Az 5. ábrán pedig egy 8 GHz-es izolátor jelleggörbéit láthatjuk.

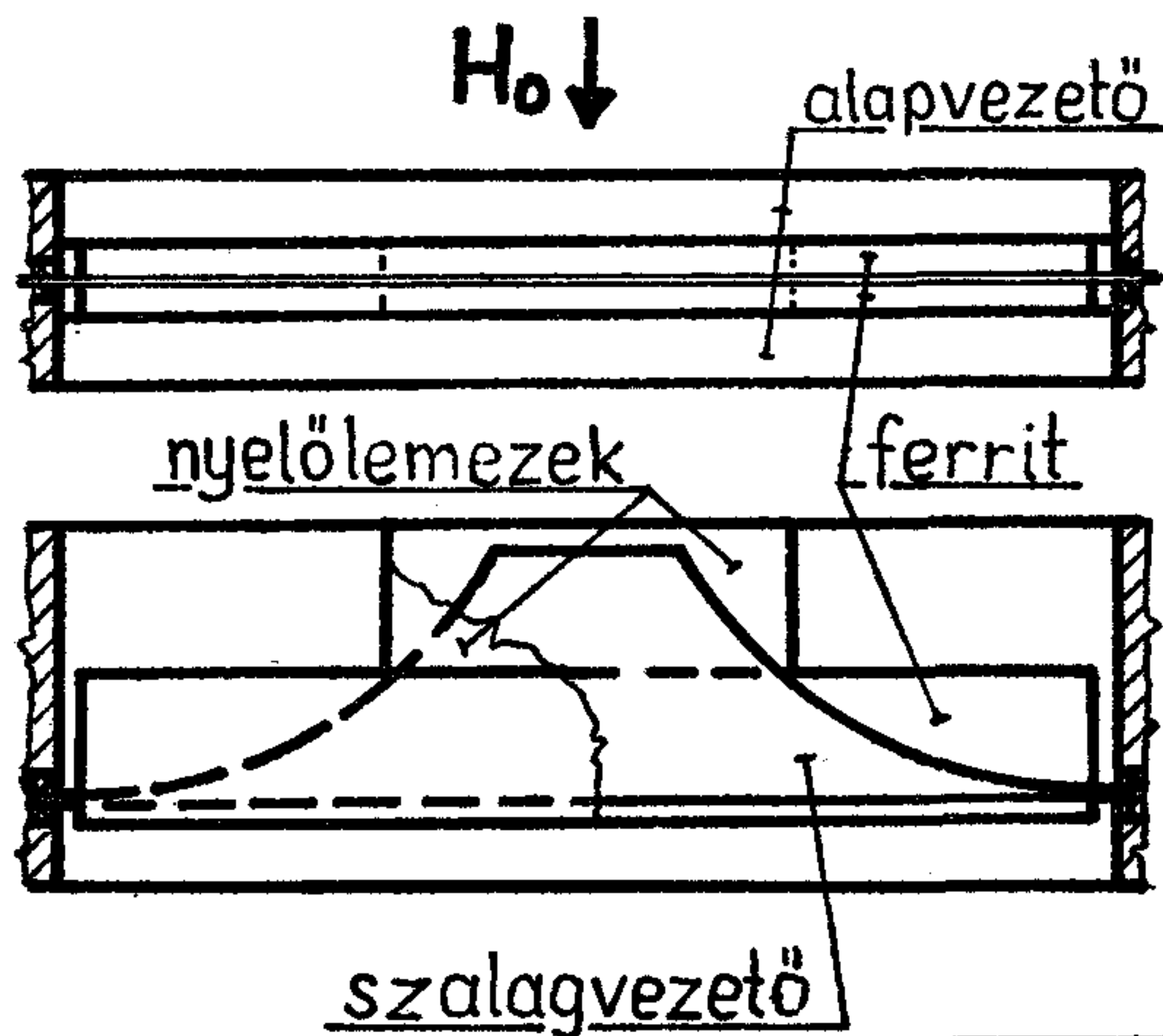
Legújabb fejlesztéseinkben az úgynevezett élmódusú eszközökkel foglalkozunk, amelyek működési alapját az elektromágneses tér nonreciprok — a két ellentétes hullám terjedési irányban különböző — téreloszlása nyújtja. Egy kiszélesedő szalagvonalban terjedő elektromágneses tér — megfelelő feltételek, negatív μ_{eff} értékek esetén — az egyik irányban haladó hullám esetén a szalagvonal egyik, a másik irányban való terjedés esetén a másik éle mentén koncentrálódik. Az egyik él mentén veszteséges közeget elhelyezve, az egyik irányban sokat, a másik irányban keveset csillapító elrendezést: izolátort kapunk.

Egy ilyen élmódusú izolátor képét láthatjuk a 6. ábrán és jelleggörbéit a 7. ábrán.



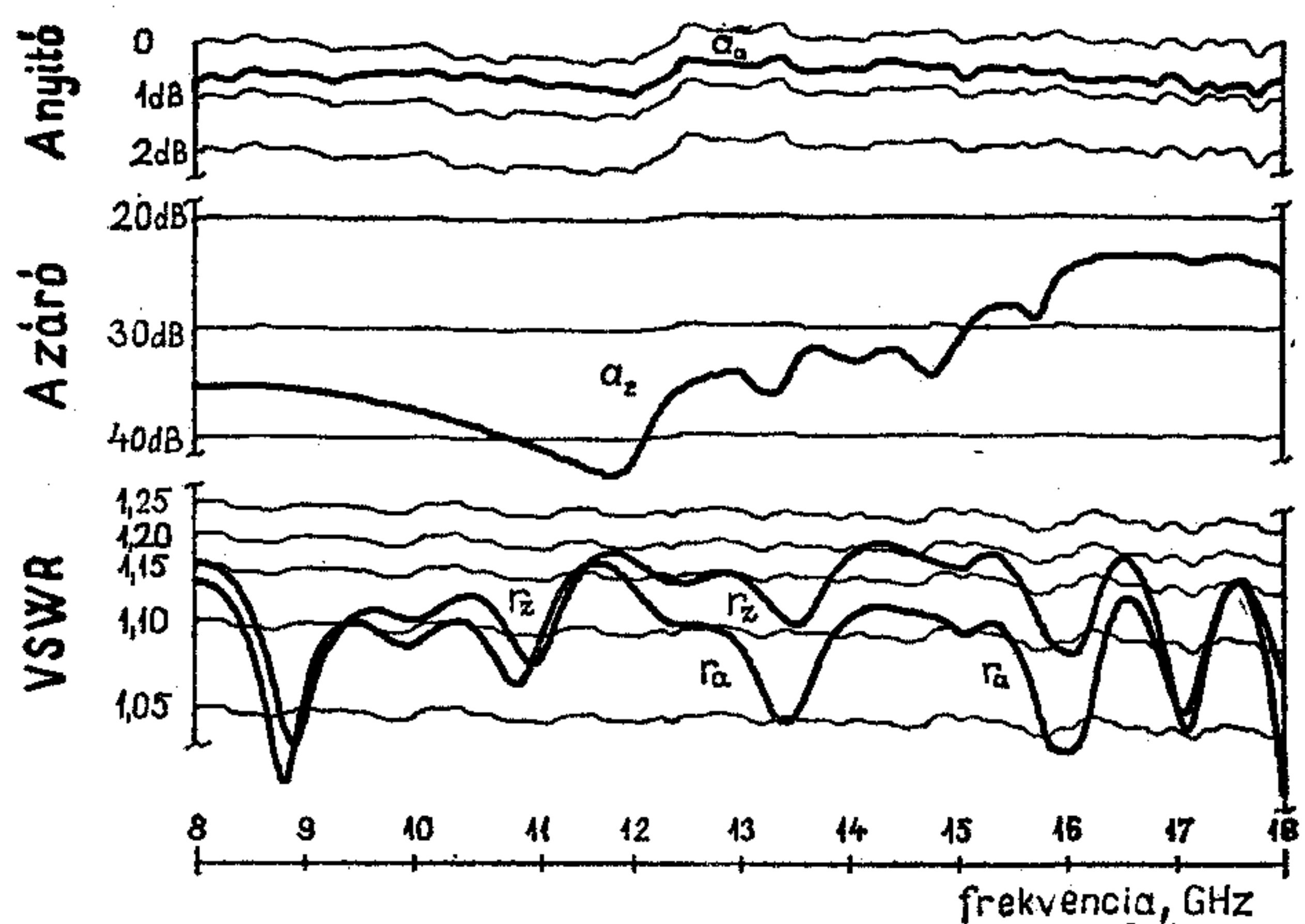
H-162-5

5. ábra. Egy 8 GHz-es MIC izolátor jelleggörbéi



H-162-6

6. ábra. Egy élmódusú izolátor-elrendezés

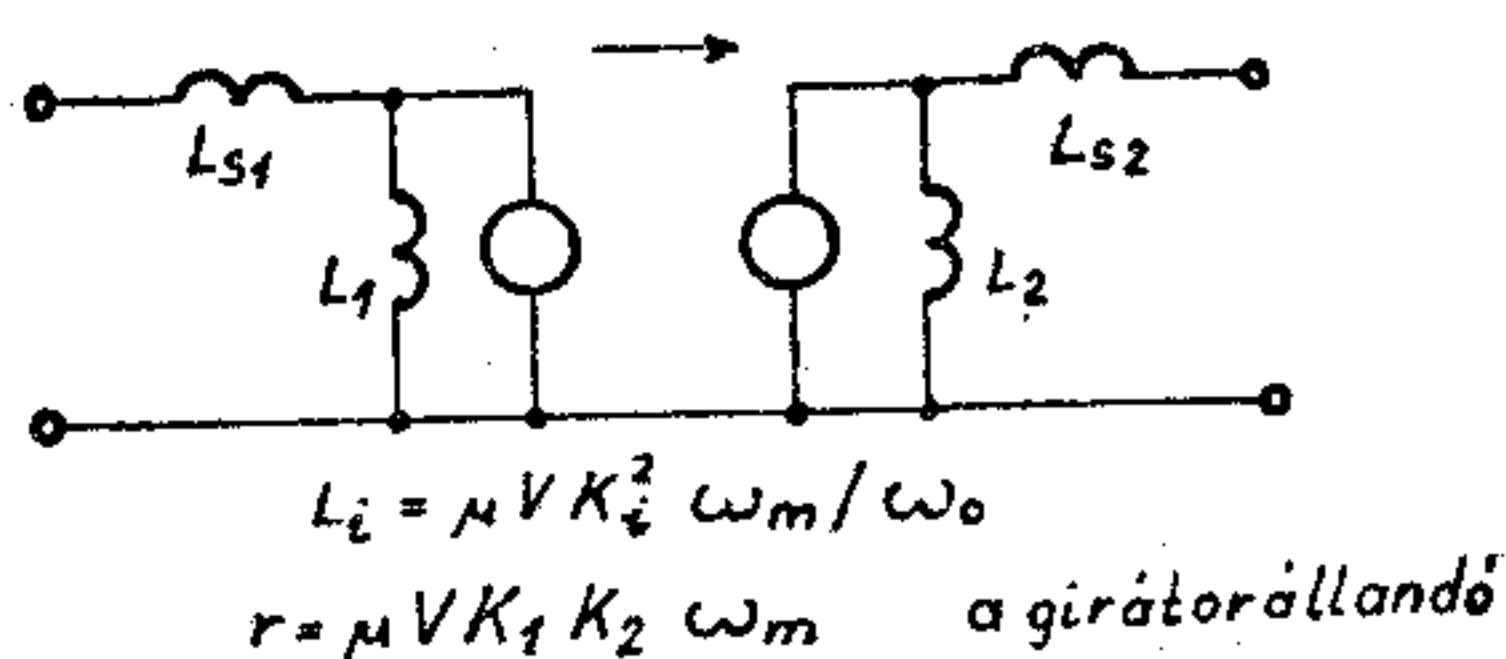


H-162-7

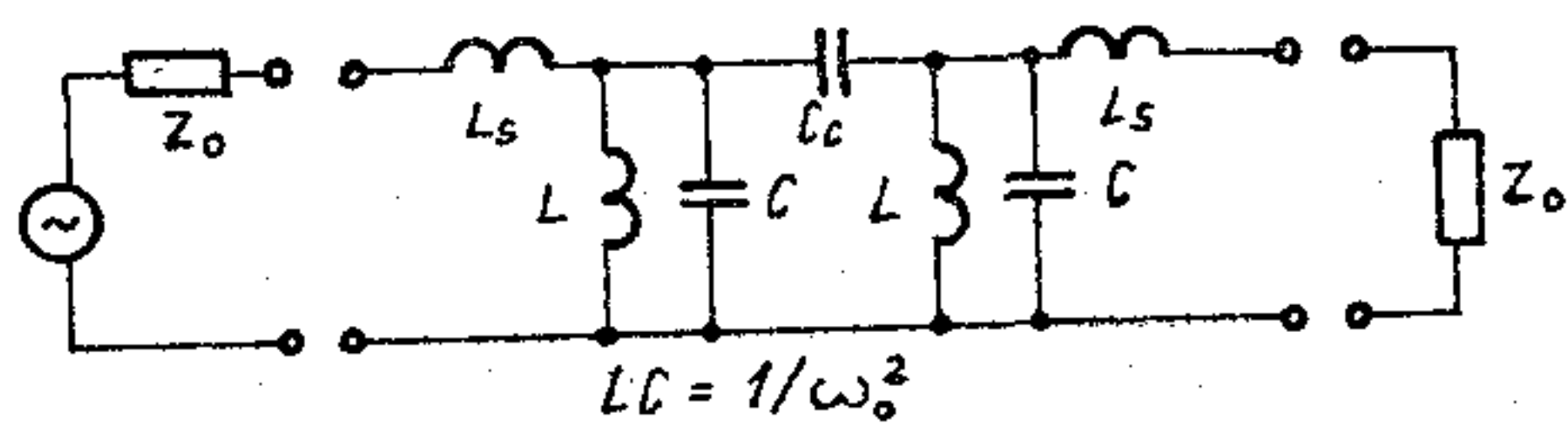
7. ábra. Egy élmódusú izolátor jelleggörbéi

Giromágneses (YIG) szűrők és oszcillátorok kutatása, fejlesztése

Az Intézetben a YIG eszközfejlesztés és kissorozat-készítés teljes technológiai vertikumát kialakítottuk. Ennek megfelelően a YIG egykristályok előállítás, megmunkálása, minősítése, orientálása, valamint a



a./ Hurokcsatolású YIG rezonátor helyettesítő képe



b./ Kétkörös YIG szűrő helyettesítő képe

H-162-8

8. ábra

- a) Hurokcsatolású YIG rezonátor helyettesítő képe
b) Kétkörös YIG szűrő helyettesítő képe

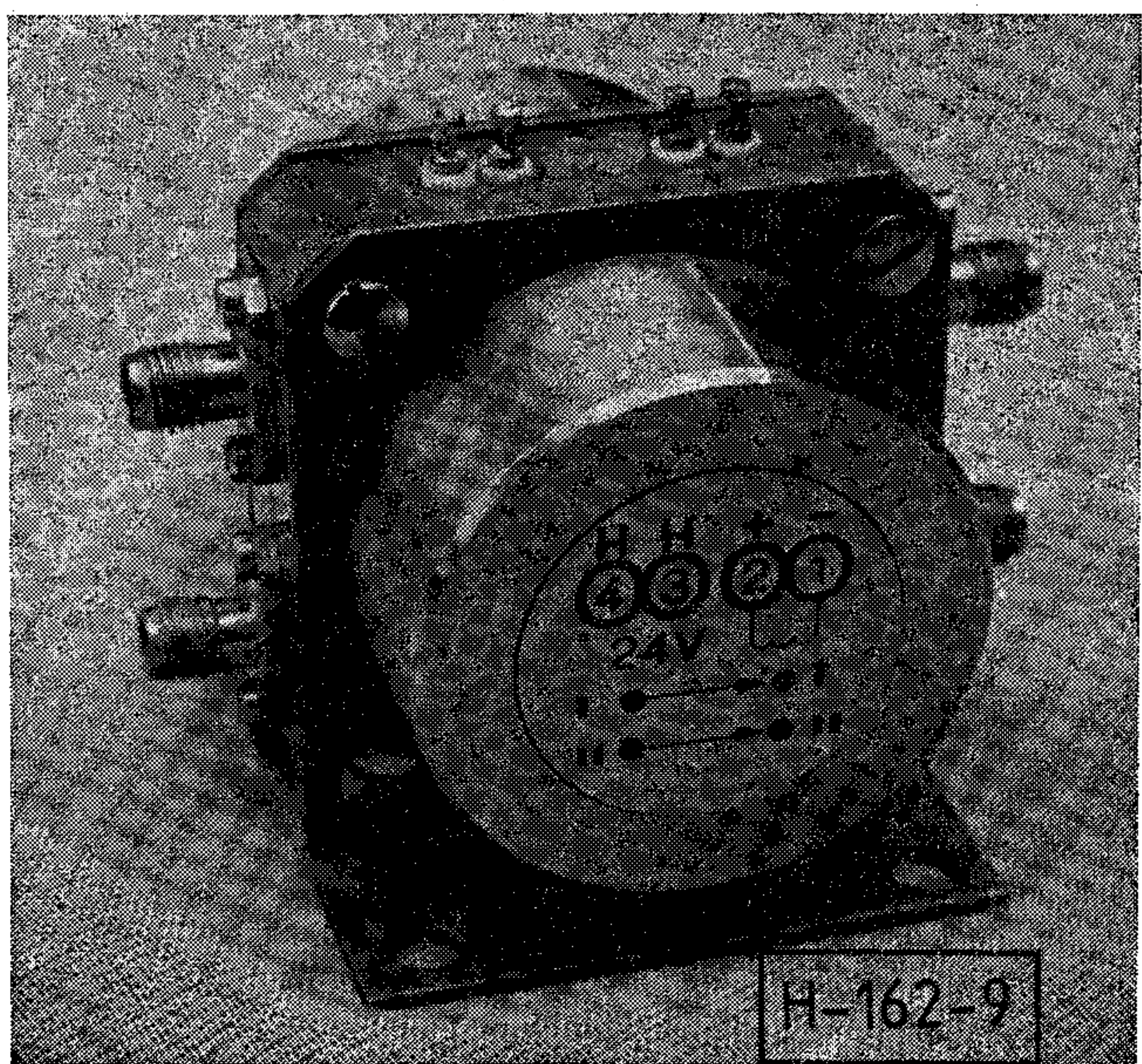
YIG eszközök (szűrők, oszcillátorok) kutatása, fejlesztése konstrukciós kialakítása és kissorozatú készítése is itt történik.

A YIG szűrő tervezés és konstrukciókialakítás, valamint a szűrők kivitelezéséhez szükséges technológiák megvalósítása terén a következő eredményeket értük el:

A hurok csatolású YIG szűrők mikrohullámú modelljét finomítottuk. A 8. ábra mutatja a girátoros helyettesítő képet, valamint annak tovább bontott változatát kétkörös szűrő esetére [11], [12]. Ezt a modellt kiegészítettük a saját konstrukciós megoldásra jellemző korrekciós értékekkel. A szűrő átviteli görbét, reflexiós tényezőjét erősen befolyásolják a hurok és a ki- és bemenő kapuk közötti tápvonalszakaszok impedanciái, a hurok készítéséhez használt huzal átmérője, a csatoló-rendszert körülvevő rádiófrekvenciás térre vonatkozó határfeltételek és a giromágneses gömbátmérő/hurokátmérő viszony helyes megválasztása. A zárósávi (giromágneses rezonancián kívüli) csillapítás értéke 30—80 dB között változhat a konstrukció függvényében, de ezt az értéket a magnetosztikus módusok jelentősen ronthatják. Két típusuk van, frekvencia független és frekvenciafüggő, ún. vándorló módusok. Az előzőek a zárósávi csillapítást csökkentik diszkrét frekvencia tartományban, az utóbbiak pedig végigvonulva a rezonancia görbén az áteresztősáv egyenletességét zavarják meg jelentősen. A módusok amplitúdójának csökkentését sikerült elérni a YIG gömbök telítési mágnesszettség értékének megfelelő megválasztásával és ún. kettős csatolóhurok alkalmazásával [13].

Kétszer kétkörös YIG szűrőket fejlesztettünk ki, melyek oktáv frekvencia tartományban hangolhatók 0,5 GHz—12,4 GHz-ig. A szűrők áteresztősávi csillapítása <4 dB, zárósávi csillapítása >50 db, állóhullám-arány <2, a zavaró módusok szintje 20—25 dB-el alacsonyabb, mint az áteresztősávé. A hangolási meredekség: 16 ± 2 MHz/mA, a működési hőfoktartomány: -10°C — $+65^\circ\text{C}$. Fenti paraméterek azonosak a nemzetközileg ismert intézetek hasonló célra készült szűrőivel. Egy YIG szűrő képét a 9. ábra mutatja.

YIG hangolású oszcillátorok kutatása, fejlesztése és kis-darabszámú készítése is folyik az Intézetben.



9. ábra. Egy YIG szűrő képe

A 0,9—2,1 GHz és 2—4 GHz frekvenciatartomány kifejlesztett oszcillátorok paraméterei nemzetközi szintűek.

A YIG eszközök legújabb családját a YIG filmeket tartalmazó szűrők, oszcillátorok, késleltető vonalak jelentik. Ezen eszközök a vékonyréteg YIG filmekben létrejövő felületi magnetosztikus hullámokat, vagy az előre, illetve hátra haladó térfogati magnetosztikus hullámokat hasznosítják. Jelentős kutató tevékenység folyik napjainkban a világ különböző laboratóriumai-ban, hogy újabb és jobb paraméterekkel rendelkező eszközöket állítsanak elő. Az eszközök igen jelentős szerepet töltenek majd be viszonylag rövid időn belül, mivel előállítási technológiájuk a mikroelektronikai technológiákkal ekvivalens, azaz nagy sorozatú, jó kihozatalú termelést tesz lehetővé.

Az intézetben elkezdtek a fejlesztő munkát ezen perspektivikusnak látszó eszközök kutatására, fejlesztésére [14]. Az első áramköri modellkísérletek már megtörténtek.

Giromágneses anyagok minősítő méréseinek kutatása, fejlesztése

Az Intézetben a giromágneses anyagok és eszközök kidolgozásával egy időben megkezdődött a fejlesztő tevékenység a megfelelő anyagparaméter-mérések megvalósítására. E munka során mérőrendszerek és műszerek kerültek kifejlesztésre és megvalósításra, melyek legtöbbje ma is üzemel és a nemzetközi színvonalnak megfelelő pontosságú. E fejlesztőtevékenység során a polikristályos ferrit- és gránátanyagok, valamint YIG egykristályok felhasználás szempontjából fontos paramétereinek mérése vált lehetővé.

A telítési mágnesszettség mérése mágneses ingát használunk, melynek pontossága az elektronikus vezérlő- és időmérő rendszer segítségével eléri a nemzetközileg használt ún. Fohner-típusú, vibráló mintás magnetométerét. A beépített hűtő-fűtő rendszer segítségével a telítési mágnesszettség hőfokfüggését és a Curie-pontot is lehet vele mérni.

A mágneses tulajdonságok, azaz rezonanciavonalszélesség (ΔH), rezonanciától távoli veszteségek és a velük kapcsolatban levő ΔH_{eff} érték polikristályos anyagoknál; a rezonancia-vonalszélesség (ΔH_0) és anizotrópia konstans (K_1/M_s) egykristályoknál, valamint a dielektromos tulajdonságok (ϵ és $tg\delta$) mérése a mikrohullámú frekvenciatartományban történik.

Polikristályos anyagok rezonancia-vonalszélesség-mérését IEC-ajánlás alapján valósítottuk meg, és pontossága jobb mint $\pm 5\%$ [15].

A giromágneses rezonanciától távoli veszteségek mérésére félautomatikus mérőrendszert fejlesztettünk ki a 6 GHz-es frekvenciatartományban. Pontossága $\pm 10\%$, ΔH_{eff} értékre vonatkoztatva [16]. A mérést a nagy jósági tényezőjű TE_{102} üregrezonátor és az automatikus szabályozórendszer teszi megfelelően érzékenyvé.

MIC-áramkörök gránáthordozói mágneses és dielektromos paramétereinek mérését egy, az X sávban megvalósított mérőrendszer teszi lehetővé. A négyszög keresztmetszetű üregrezonátor paramétereinek a minta hatására történő megváltozását egzakt megoldásokon alapuló formulákkal követjük nyomon, melyekből a keresett paraméterek a szukcesszív approximációt alkalmazva meghatározhatók [17].

A dielektromos tulajdonságok mérését az X sávban felépített, viszonylag egyszerű mérőrendszerrel végezzük.

A mikrohullámú mérőüreg négyszög keresztmetszetű, és ún. „módosított” perturbációs formulákat használunk a paraméterek mérési eredményekből történő számítására [18].

A mérés pontossága $\pm 1,5\%$ ϵ mérésekor és $\pm 15\%$ $tg\delta$ mérésekor, ha $tg\delta > 10^{-3}$.

Jelenleg folyamatban van egy nagy érzékenységgű ϵ és $tg\delta$ mérő rendszer fejlesztése, IEC-ajánlás alapján, szintén az X frekvenciasávban.

Gránát egykristályok rezonancia-vonalszélességének és anizotrópiaállandójának mérésére egy, a 9 GHz-frekvencia-tartományban üzemelő, szintén az intézetben kifejlesztett ún. FMR mérőrendszer szolgál [19].

A mérőrendszer rövidrezárt mérővonallal működik, és megfelelő mintatartó és mintaforgató rendszert tartalmaz. Pontossága rezonancia-vonalszélesség mérésekor $\pm 10\%$ vagy ± 4 A/m, míg anizotrópia konstans mérésekor $\pm 5\%$.

A rendszer lehetővé teszi a magnetoelasztikus konstans mérését és meghatározását is.

A jövőben a „hagyományos” ferrites eszközök és anyagok paraméterei javításán, a működési frekvenciatartomány kiterjesztésén kívül a mm-es hullámsávú eszközök és a hozzájuk nélkülözhetetlen hexagonális szerkezetű mikrohullámú ferritek kutatásával, fejlesztésével, a magnetosztikus felületi hullámok non-reciprok és mágneses térrel vezérelhető terjedésén alapuló eszközökkel (fázistolók, szűrők stb.), az optikai hírközlésben alkalmazható magnetooptikai eszközök kutatásával, fejlesztésével kívánunk foglalkozni.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton is ki kívánja fejezni köszönetét dr. Tardos Lászlónénak a ferritanyagokról szóló rész-

hez, dr. Csaba Istvánnak a YIG szűrőkről és az anyagmérésekről szóló részhez nyújtott segítségükért, Gyúri Pálnak az elmódusú izolátorok terén elért, még publikálatlan fejlesztési eredményei rendelkezésre bocsátásáért, valamint sok más kollégának a ferrites eszközök és anyagok terén az intézet számára végzett kutató-fejlesztő munkájáért.

IRODALOM

- [1] Dr. Csurgay Árpád—Markó Szilárd: Mikrohullámú paszszív hálózatok, Tankönyvkiadó, 1965.
- [2] Dr. Almásy György: Mikrohullámú kézikönyv. IV. fejezet (Markó Szilárd), Műszaki Könyvkiadó, 1973.
- [3] E. Sterk, M. Balla, A. Sztaniszláv, M. Tardos: "Influence of Presintering on Chemical and Morphological Homogeneity". Journal of Magnetism and Magnetic Materials 41 pp. 69—72 (1984)
- [4] E. Beregi, J. Sztatisz, S. Gál: «Izpolzovanie Metoda DGT (M) dlja Izmerenija Temperaturi Curie Nekotorich Magnitnich Oksidnich Materialov» Acta. Phys. Acad. Hung. 47 pp. 255—261 (1979)
- [5] E. Beregi, J. Sztatisz, E. Hild, A. Sztaniszláv, Gy. Rudnay: "Investigation of Solid State Reaction in $3 Y_2O_3:Fe_2O_3$ by DTG(M), X-Ray and IR Spectroscopic Methods" Journal of Magnetism and Magnetic Materials 41 pp 73—74 (1984)
- [6] M. Balla, E. Sterk, M. Tardos: "The Néel-point Behaviour in Vicinity of Stoichiometry" Journal of Magnetism and Magnetic Materials 19. pp. 123—125, 1980
- [7] Radványiné Sárközy Klára: Csőtápvonalas cirkulátorok sávszélesség-növelésének néhány problémája. TKI-évkönyv, 1975.
- [8] Dr. Bársony Péter: Method for Analysing the Constituent Resonators of Circulators, 7th Colloquium on Microwave Communication, Budapest, 1982.
- [9] Bársony P., Enzsöl Gy., Markó Sz.: Strip-line and Microstrip Circulators with Reduced Sizes. 4th International Symposium on Radioelectronics. Varna, 1970.
- [10] Markó Szilárd: Application of Variational Technique for Waveguides Containing Gyromagnetic Medium. Előadás a III. Nemzetközi Mikrohullámú Ferrit Konferencián, 1976.
- [11] Dr. Csaba I., Gerencsér A., dr. Kálmán L., Szentmiklósi L.: YIG hangolász eszközök tervezése és készítési eredményei. Alkatrész-Szeminárium előadás, Siófok, 1984.
- [12] Gerencsér A., dr. Kálmán L., Kusztor L., Tóth Z.: Hurkos csatolású YIG rezonátorokkal készült mikrohullámú eszközök tervezésének néhány problémája. Mikrohullámú szeminárium előadás, Budapest, 1985.
- [13] Dr. Csaba I., Tóth Z.: YIG szűrők konstrukciós kialakítását befolyásoló tényezők. TKI Jubileumi Tudományos Konf. előadás 1985.
- [14] Gerencsér A., dr. Kálmán L.: Magnetosztikus hullámok alkalmazása vékonyréteg YIG eszközökben. TKI Jubileumi Tudományos Konf. poszter 1985.
- [15] Csaba I.: Giromágneses anyagok rezonancia-vonalszélességének mérése. TKI Közlemények. 1981. 2. szám.
- [16] I. Csaba: Measuring possibilities of resonance losses on gyromagnetic materials. 3th National Summer School on Microwave Physics and Engineering Varna, Bulgaria — 1983.
- [17] L. Gál: Izmerenie elektromagnitnüh parametrov ferritovüh podlosek dlja integralnüh hem SzVCs. 4th ICMF Konferencia, Várna, Bulgária 1982.
- [18] I. Csaba: Simple method of measuring the dielectric properties of gyromagnetic materials. 3th Int. Conf. on Ferrimagnetic Materials. Jablonna, Lengyelo. 1978.
- [19] Csaba I.: Gránát egykristályok mikrohullámú tulajdonságai és anyagparamétereinek mikrohullámú mérés technikája. Híradástechnika, 1985. 7. szám.

A mikrohullámú mérés technika új irányzatai

DR. KENDERESSY MIKLÓS

Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A mikrohullámú mérés technika egyre fontosabb szerepet játszik a kutatásban, gyártásban, és egyre növekvő alkalmazási területe van az iparban és gyógyászatban egyaránt. Ezért maga a mérés technika is gyorsan fejlődik, új eszközök és új módszerek látnak napvilágot. A műszertechnika legfontosabb fejlődési eredménye a digitális vezérlés alkalmazása volt. Ezáltal nőtt a mérési pontosság, nőtt a mérési gyorsaság, és automatikus mérések váltak lehetővé, ami viszont csökkentette a mérési költségeket. A cikkben néhány új módszer van ismertetve ezeknek az elveknek a megvalósítására. Végül a mikrohullámú technika alkalmazása található ipari és orvosi célokra.

Bevezetés

A X. Nemzetközi Méréstechnikai Kongresszuson (IMEKO) Prof. dr. Delong, a Csehszlovák Tudományos Akadémia részéről néhány alapvető megállapítást tett, melyek a mérés technika mai helyzetére nagyon jellemzők:

- a tudományos kutatásban egyre nagyobb szerepet játszanak a mérőműszerek, melyek fejlesztése, pontosságának növelése elsőrendű feladat;
- az ipari gyártás során egyre több mérést kell végezni, és ezeknek a méréseknek a pontossági igénye megközelíti a kutatásban alkalmazott műszerek pontosságát;
- az ipari gyártás költségei között a mérési költségek egyre nagyobb hányadot jelentenek, ami szükségessé teszi a műszerek hatékonyságának fokozását, és ezáltal a költségek csökkentését.

Mindezeket dr. Almássy György már 1950-ben nagyon jól látta, érezte és hirdette, és egész életét arra tette fel, hogy a mérés technikát, ezen belül a mikrohullámú mérés technikát fejlessze. Egyetemi oktatóként villamosmérnökök százaival ismertette meg a mérés technika fontosságát, tanította őket a mérések jelentőségére. Kutatóintézeti vezetőként pedig minden erejével azon dolgozott, hogy a mérés technika fontosságát elismertesse, és munkatársaival együtt olyan műszereket fejlesszen ki, melyek elősegítik a mikrohullámú berendezések kutatását, fejlesztését és gyártását.

Dr. Almássy György professzornak nem lehetünk eléggé hálásak ezért a szakadatlan nevelő-fejlesztő munkáért.

1950 óta sokat fejlődött a mikrohullámú technika, és sokat fejlődött a mikrohullámú mérés technika is. Mint minden mérésnél, itt is a legfontosabb szempont a pontosság növelése volt, ennek érdekében végezték és végzik ma is a legtöbb kutatómunkát. Nagyon nagy jelentőségű változást hozott e téren is a számítógépek

DR. KENDERESSY MIKLÓS

1958-ban szerzett gyengeáramú villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. Munkáját a Távközlési Kutató Intézetben kezdte, ahol jelenleg is dolgozik. Első szakterülete mikrohullámú műszerek fejlesztése volt. E témából szerzett egyetemi doktori címet 1962-ben, majd a műszaki tudományok kandidátusa címet 1967-ben.

1969 óta foglalkozik mikrohullámú berendezések tervezésével. Ezen a téren elért eredményeiért 1978-ban Állami Díjat kapott. 1963 óta részt vesz az egyetemi oktatásban, munkásságáért c. egyetemi docensi fokozatot kapott. 1958 óta tagja a MATE-nak, jelenleg elnökségi tag és az Elektronikus Műszer Szakosztály elnöke. A Virág—Pollák díj és a Kolos Richárd díj tulajdonosa.

előretörése. A nagy pontosságú, professzionális mérőműszerek új típusai vagy tartalmazznak valamilyen számítógépet (egy-egy mikroprocesszort), vagy kívülről számítógéppel vezérelhetők. Vezérlési módként leggyakrabban az IEC 625. szabványajánlásnak megfelelő buszrendszert használják. A mérőműszerek digitális vezérelhetőségének számos előnye van.

a) *Nagyobb mérési pontosság érhető el általa.* A mérőműszer saját hibáját meg lehet állapítani precíziós etalonok alkalmazásával. Ezeket a hibaértékeket a számítógép tárolja a frekvencia és/vagy bemenőszint függvényében. A tényleges mérés elvégzése után a tárolt adatokkal korrigálni lehet a mért értékeket, és így a korrigált értékek pontosabbak lehetnek, mint maga a mérőeszköz. Ezt a korrekciót kézi számításokkal is el lehetne végezni, de nagyon sok időt igényelne, ezért csak a számítógépek bevezetése tette lehetővé ennek a korrekciós mérésnek a gyakorlati alkalmazását.

b) *Nagyobb mérési gyorsaság érhető el.* A gyártási technológiák fejlődése következtében egyre több mérést kell végezni gyártás közben is. De a nagyobb gyártási volumenek következtében a bemérendő késztermékek száma is nő. Ilyen nagy mennyiségű mérés manuális elvégzése nagyon sok időt igényel, és nagy költséget is jelent. A digitálisan vezérelt mérőműszerek alkalmazásával a méréseket gyorsan és kis költséggel lehet elvégezni, ami növelte a gyártható mennyiséget, és növelte a késztermék minőségét, megbízhatóságát.

c) *Automatikus méréseket lehet végezni.* A mérések automatikus elvégzésének egyik előnye az, hogy nem igényel emberi munkát, de másik előnye, hogy olyan helyeken is lehet mérést végezni, ahová ember nem juthat el. Ilyenek az extrém hőmérsékletű, extrém nyomású terek, a sugárveszélyes helyek stb. Az automatikus mérőműszerek ilyen helyekre is beépíthetők, és sok-sok információt nyújtanak az ott lezajló folyamatokról.

Beérkezett: 1986. III. 5. (H)

d) *Új jellemzők mérése vált lehetővé.* A digitális vezérlésű mérőműszerek kezelése egyszerűbb, nem igényel méréstechnikai szakértelmet. Ezért fokozatosan tért hódítanak olyan területeken, ahol addig idegenkedtek tőlük a kezelési nehézségek miatt. A mikrohullámú mérőműszerek alkalmazást nyertek pl. a gyógyászatban (tomográfia, diatermia) és az ipar számos területén (pl. vastagságmérés, nedvességmérés).

A digitális vezérlés alkalmazásán kívül azonban számos találmány született, a kutatók sok új ismeretet tártak fel, melyek alapvetően új mérési feladatot igényelnek, vagy új mérési módszereket tesznek lehetővé. A következőkben a teljesség igénye nélkül szeretnék néhány olyan új eredményt ismertetni, melyek lényeges változást hoztak a mérési módszerekben, és hosszú időre éreztetik még hatásukat.

1. Mikrohullámú impedanciamérés

Az impedanciamérés a mikrohullámú technika egyik legrégebbi mérési problémája. Ennek megfelelően számos megoldás is született rá, de egyikről sem mondható, hogy az az igazi, egyetlen jó megoldás. A legősibb megoldás az állóhullámmérő alkalmazása, kielégítő eredményt ad mérési pontosság tekintetében, ezért mind a mai napig használatos. Legnagyobb hibája a lassúság, és ezért folynak a kutatások, hogy milyen módon lehet legalább ilyen pontosság mellett lényegesen nagyobb gyorsaságot elérni.

Az impedanciamérés korlátozott változata, az állóhullám- vagy reflexiómérés szinte tökéletesen meg van oldva. A haladó és reflektált hullámok szétválasztása iránycsatolókkal vagy hibridekkel nagy pontossággal elvégezhető. Ezért ezek a mérések széles frekvenciasávban, gyorsan és pontosan végezhetőek. A mért adatok kijelzése történhet mutatós műszeren vagy képernyőn a frekvencia függvényében.

Probléma akkor lép fel, ha a reflektált jel nagyságán kívül annak fázisát is mérni kell, vagyis komplex impedanciát kell mérni. Ehhez a haladó és reflektált hullámok nagyságának mérésén kívül valamilyen harmadik eszközre is szükség van, mely annak fázisát is meg tudja mérni. Ez azonban lényegesen bonyolítja a mérést.

Néhány évvel ezelőtt megjelentek az áramkör-analizátorok és azok automatizált változatai [29]. Különlegesen jó eszközök ezek, melyek egyesítik magukban a legkifinomultabb mikrohullámú technológiát, a digitális hibakorrekció elvét és a nagy mérési sebességet. Lényegük az, hogy az amplitúdóban és fázisban összehasonlítható mikrohullámú jeleket lineárisan lekeverték alacsonyabb frekvenciasávba, és az összehasonlítást ott végezték el. Az összehasonlítás eredményét képernyőn jelezték ki, külön az amplitúdót és külön a fázist, vagy a kettőt együtt egy Smith-féle impedancia-diagrammon. A berendezés automatikus hibakorrekciót is tud végrehajtani, de különleges nagy pontosságú mérések esetén a feladathoz illeszkedő módszerek alkalmazása célszerű [24–28]. Ezek a berendezések nagyon jók, nagyon pontosak, nagyon gyorsak, de nagyon drágák. Ez pedig elegendő ok ahhoz, hogy más módszerek is alkalmazásra kerüljenek.

Ilyen alapvetően más módszert közölt Engen és Hoer 1977-ben [1, 2]. A módszer lényege egy hatkapu-áramkör, melynek első kapujához csatlakozik a jelgenerátor, második kapujához a mérendő impedancia, a maradék négy kapuhoz pedig teljesítménydetektorok, melyek tehát a rájuk jutó mikrohullámú jelnek csak az abszolút értékét mérik. Ezekből a teljesítményinformációkból egyértelműen ki lehet számítani a második kapura kapcsolt elem komplex impedanciáját. Ezt a módszert fejlesztette tovább Hoer [2] kétkapuk komplex reflexiós mátrixának mérésére. Ő két hatkapus áramkört alkalmazott ezen paraméterek megállapításához. Meg kell jegyezni, hogy jelen cikk szerzője már 1966-ban beszámolt hatkapus impedanciamérő készítéséről [3], ahogy ezt a tényt még 1984-ben is elismeri a szakirodalom [4].

Ezeknek az elveknek a felhasználásával számos impedanciamérő berendezés látott napvilágot egészen napjainkig [5–12], melyek egyrészt más-más országban, más kutatóhelyen elért eredményeket jelentenek, vagy a mérési pontosság fokozása érdekében végzett módosításokról számolnak be. Ezek szerint ilyen elven működő eszközök kutatásával foglalkoznak pl. az Egyesült Államokban Boulderben a National Bureau of Standards kutatói, a TRW és a Sperry kutatólaboratóriumai, Angliában a londoni University College-ban, Svájcban a lausannei Ecole Polytechnique Federale-ban, az NSZK-ban a braunschweigi Physikalisch-Technische Bundesanstalt-nál, Koreában a Standards Research Institute-nál, Kanadában a montreali Ecole Polytechnique-ban és még sok helyen. Ez a széles körű érdeklődés azt mutatja, hogy az impedanciamérés sok helyen jelent problémát, és hogy sok-sok kutató dolgozik a helyi feladat optimális megoldása érdekében.

A hatkapus impedanciamérő kissé módosított változatát dolgozták ki a müncheni Műszaki Egyetemen [13]. A módszer lényege, hogy két iránycsatolót alkalmaz a haladó és reflektált hullámok amplitúdójának mérésére, és ezen kívül két feszültségérzékelő szondát a fázisszög meghatározására. Az impedanciát a terheléshez legközelebb eső szonda helyén határozza meg. A módszer előnye, hogy mm-es hullámú tartományban is jól használható, és nagy pontossággal készíthető el. Ennek a módszernek egy továbbfejlesztett változatáról számolt be jelen cikk szerzője 1983-ban az Európai Mikrohullámú Konferencián Nürnbergben [14]. A konferencián egy másik impedanciaméréssel kapcsolatos előadás is elhangzott [15].

Egyes intézetekben olyan kísérleteket is végeztek, hogy nem lehet-e hatnál kevesebb kaput alkalmazni impedanciamérőként. A közlemények tanúsága szerint igen. A már említett montreali Ecole Polytechnique-ban ötkapus megoldást dolgoztak ki [16], mely egy iránycsatolót és két fix szondát alkalmaz impedanciamérésre. A szerzők részletesen megvizsgálták, hogy milyen körülmények közt használható ez a mérőrendszer, és azt találták, hogy passzív áramkörök mérésénél jól alkalmazható, és részletes adatokat közölnek egy megépített mérőrendszer hibáiról. Még érdekesebb eredményről számol be egy 1985 közepén megjelent cikk [17]. A kísérleteket Svédországban végezték a Chalmers University kutatói. A mérési összeállítás

lényege egy hibrid és egy változtatható etalon impedancia, mely jelen esetben egy elektronikusan hangolható rövidzár. A méréshez egyetlen detektorra van szükség, ami nagy előny, mert nem kell a detektorokat egymáshoz illeszteni vagy kalibrálni. A mérőrendszerhez tartozik még egy számítógép, mely a rövidzár hangolását és az adatok kiértékelését végzi. A módszer egyetlen hátránya, hogy lassabb, mint a hatkapus mérőrendszerek, mert minden frekvencián több mérést kell végezni a rövidzár különböző állásainál. Mint-hogy azonban automatikus rendszerről van szó, ez a hátrány elviselhető. Nagy előnye viszont az egyszerűség, nincs szükség különleges mérőeszközökre, és ezért ez a megoldás nagyon ígéretesnek látszik a mm-es hullámok tartományában.

Az impedanciamérőkről összefoglalóan el lehet mondani, hogy ez a téma ma is aktuális kutatási terület. Folyamatosan jelennek meg új módszerek, ami azt bizonyítja, hogy egyik sem jelent általánosan használható megoldást. A jövőben is arra kell számítani, hogy a mérési feladathoz illeszkedően új meg új módszereket fognak kidolgozni, melyek azt a konkrét mérést a leg-egyszerűbben, legpontosabban tudják elvégezni. A kutatólaboratóriumok számára pedig megmaradnak a transzponálás elven működő, univerzális, de igen drága áramkör analízátorok.

2. Vevőkészülékek mérései

Egy mikrohullámú vevőkészüléknek sok műszaki paramétere van, melyek mindegyikét meg kell mérni a fejlesztés és gyártás során. Ezek közül különösen fontos az érzékenység és a linearitás.

A linearitás jellemzésére sokféle fogalmat használnak. Ezek közül ismertebbek az „1 dB-es kompressziós pont”, az „AM-kompresszió” és az „AM—PM konverzió”. Újabban ezek helyett az „Intercept Point” megadása szokásos. Ha a bemenő és kimenő teljesítményeket kétszeres logaritmikus skálán ábrázoljuk, akkor 1-es meredekségű egyenest kapunk. A torzításra jellemző és a vételi frekvenciasávba eső harmadrendű $(2f_1 - f_2)$ vagy $(2f_2 - f_1)$ frekvenciájú intermodulációs termékek ugyanezen a skálán 3-as meredekségű egyenesként adódnak. A két egyenes metszéspontja az Intercept Point, melynek ordinátaértékét, tehát a hozzá tartozó kimenő teljesítmény értékét szokás megadni jellemző értéként. Ez az adat rendkívül jól jellemzi a kétkapu linearitását, és ugyanakkor nagyon jól használható kaszkádba kapcsolt kétkapuk eredő linearitásának számítására. A Távközlési Kutató Intézetben dr. Bodnár Pál kidolgozta az eredő Intercept Point számítási módszerét, valamint ennek kapcsolatát a már említett linearitási jellemzőkkel [18]. Az Intercept Point mérése általában ismert, két különböző frekvenciájú generátorral történik. A problémát az jelenti, ha ennek a két generátornak a szintje nem állítható tetszőlegesen, ha a kimeneti indikátorként szolgáló spektrumanalízátor is torzít. Különös nehézséget jelent az igen nagy szintű Intercept Point-ok mérése. Dr. Bodnár mindezen esetekre kidolgozott módszereket és meghatározta az ezekből adódó mérési hibákat.

A vevőkészülékek másik fontos jellemzője az érzé-

kenység. Az érzékenység szó alatt általában a bemeneti zajtényezőt vagy zajhőmérsékletet értették. Mai, korszerű vevőkészülékeknel a bemeneti fokozatok nagyon kis zajúak, a zajhőmérséklet 20 K-ig csökkenhet, és ilyen kis értékek pontos mérése egyáltalán nem könnyű feladat. Ha a mérést jelgenerátorral kívánjuk végezni, akkor különös gondot kell fordítani a generátor sugárzására, mert a kisugárzott teljesítmény néha nagyobb, mint amire a vevő bemenetén szükség lenne. Ez teljesen meghamisítja a mérést. Kicsit jobb a helyzet a zajgenerátoros mérésnél, ott viszont a tükörfrekvenciás vétel jelent bizonytalanságot. Mindkét esetben figyelembe kell venni a vevőkészülék (vagy a vizsgálandó szélessávú erősítő) kimenetére kapcsolt műszerek saját zajtényezőjét, ami a bemeneten mért értéket kisebb-nagyobb mértékben megváltoztatja. A jelgenerátor sugárzását gondos szereléssel, árnyékolással le lehet csökkenteni olyan kis értékre, hogy az a kimeneti csillapító utáni jelnél feltétlenül kisebb legyen. A tükörfrekvenciás vétel és a műszerek saját zaja pedig korrekciókkal figyelembe vehető [19].

A zajtényezővel definiálható érzékenység mellett az utóbbi időben megjelent a működési érzékenység fogalma, amit rádiófelderítést végző automata vevőkészülékeknel lehet definiálni [20]. Ezeknél a vevőkészülékeknel a video erősítő fokozatokban egy komparátor van alkalmazva, és ha a bemenő jel a küszöbszintnél nagyobb, akkor a kimenetén van jel, ellenkező esetben nincs. Rövid idejű impulzusoknál azonban előfordul, hogy a komparátor rosszul működik, és akkor is ad jelet, ha nincs is bemenő jel, vagy ténylegesen bemenő jelet nem vesz észre. Minél magasabb a komparálási szint, annál kevesebb lesz a hamis indikáció, de annál kisebb lesz a hasznos jelek vételének valószínűsége is.

A hasznos jelek vételének valószínűségét úgy lehet mérni, hogy f_1 frekvenciával ismétlődő impulzusjeleket kell adni a bemenetre, és fel kell jegyezni az indikált impulzusok f_2 frekvenciáját. Az f_2/f_1 hányados adja meg a vétel valószínűségét. A vétel akkor jó, ha ez az arány megközelíti az egységet. Ez természetesen függ a bemenő jel nagyságától (vagy a komparátor beállítási szintjétől). Minthogy ez a mennyiség egy valószínűségi érték, ezért pontos meghatározásához sok mérést kell végezni, és a mérést a bemenő szint függvényében többször el kell végezni. Így végül is egy diagramot lehet kapni, mely a bemenő jel függvényében mutatja a vétel valószínűségét.

A másik ilyen jellemző a hamis indikációk aránya. Ennek méréséhez a vevőkészülék bemenetét illesztetten le kell zárni, és hosszabb időn keresztül figyelni kell a hamis indikációk számát. Ezt a számot az időtartammal elosztva, megkapjuk az egységnyi időre eső hamis indikációk számát. Ilyen hamis indikáció a vevőkészülék saját zajának impulzusszerű növekedéséből származik. Ezért természetesen függ a komparátor beállítási szintjétől. Minthogy a hamis indikációk száma általában kicsiny, ezért hosszú idejű, ismételt mérésekről van szó, és ezért a hamis vétel arányának megállapítása nehéz és hosszadalmas feladat. Újabban kidolgoztak egy módszert ennek az aránynak a közelítő meghatározására, lényegesen rövidebb mérési idő alatt [21]. Egy vevőkészülék működési érzékenysége

annál nagyobb, minél nagyobb a vétel valószínűsége, és minél kisebb a hamis vétel aránya.

A vevőkészülék működési érzékenysége új fogalom, de nagyon hasznos jellemző. Ezért a jövőben sok munkát kell még befektetni annak érdekében, hogy ezt a fogalmat jól lehessen definiálni, és jól lehessen mérni.

3. Mikrohullámú feszültségetalon

Az elektrotechnika egyik legősibb fogalma a feszültség, melynek mérése éppen ezért igen fontos feladat volt. Különböző módon előállított, precíziós galván-elemekkel igyekeztek egyre pontosabban definiálni az egységet, de ez mindig csak gyengén sikerült. A mikrohullámú technikában a feszültség nehezen definiálható, nem egyértelmű mennyiség, ezért a mikrohullámú szakembereket ez a kérdés nem is nagyon érdekelte. Helyét, szerepét a teljesítménymérés töltötte be.

Közben a technika rohamosan fejlődött, és más mennyiségek mérési pontossága lényegesen felülmúlta a feszültségmérés pontosságát. Így történt ez a frekvencia- és időméréseknél is. Az atomi színképvonalakon alapuló frekvenciaetalonok (atomórák) pontossága $10^{-11} \dots 10^{-12}$, ami lényegesen jobb, mint bármely feszültségetalon pontossága.

Lényeges változás 1962 után kezdődött, amikor Josephson bejelentette az azóta róla elnevezett effektus létezését. Ennek az a lényege, hogy ha két, egymással lazán csatolt szupravezetőn áramot bocsátunk keresztül, akkor egy kritikus áramérték fölött az átmeneten feszültség lép fel, és ezzel egyidejűleg mikrohullámú frekvenciás rezgés jön létre. Az átmeneten fellépő feszültség és a rezgés frekvenciája között szoros kapcsolat van, ami csak atomi állandóktól függ:

$$f = 483,593\,718 \text{ GHz/mV.}$$

Josephsonnak ezt a megállapítását azóta számos kutató fényesen igazolta. Ennek az összefüggésnek a felhasználásával a feszültségetalon pontosságát lényegesen javítani lehetett, meg lehetett közelíteni a frekvencia-mérés pontosságát. Így lettek a mikrohullámú szakemberek érdekeltek a feszültségmérésben, mert a Josephson-átmenet megfelelő kialakítása főleg mikrohullámú feladat.

A problémát annak a berendezésnek a kidolgozása jelenti, mely a Josephson-átmenet millivoltos feszültségét egy galvánelem feszültségével hasonlítja össze. Ehhez a galvánelem feszültségét le kell osztani ugyancsak mV-os szintre, és ott kell az összehasonlítást elvégezni. Ilyen berendezések kidolgozásával foglalkoznak pl. Braunschweigben [22] és Boulderben a mérésügyi hivatalok, valamint Japánban a Yokogawa cégnél [23]. A feszültségetalon pontossága végül is attól függ, hogy ezt az összehasonlítást milyen pontosan sikerül elvégezni.

4. Ipari alkalmazások

A mikrohullámú technikát egyre szélesebb körben alkalmazzák ipari folyamatok, műveletek gyártás közbeni, folyamatos méréseinél. Az alkalmazási területek igen széles körűek, ezek felsorolása egy cikk terjedelmében lehetetlen, ezért csupán néhány példa felsoro-

lásával szeretném felhívni a figyelmet az alkalmazási lehetőségekre:

- folyamatos gyártású lemezek vastagságának mérése a visszavert hullám fázisának mérésével;
- nedvességtartalom mérése, ami történhet egyes darabokkal vagy folyamatosan áramló anyagban;
- szállított anyagmennyiség mérése, pl. szénporát-áramlás mérése kazánok táplálásánál;
- távolság és iránymérések: tellurométer a geodéziában, rádiólokátor a közlekedésben.

Minden ilyen esetben a mérendő anyagon áthaladó vagy arról reflektált mikrohullámú jel valamilyen jellemzőjének (teljesítmény, fázis, frekvencia) megváltozását mérik.

Vannak olyan alkalmazások, ahol a mikrohullámú teljesítményt nem mérésre, hanem valamilyen technológiai folyamat elvégzésére hasznosítják. Ezek célja kizárólag az, hogy energiát közöljenek a folyamatban szereplő anyaggal, és kihasználják a mikrohullámok különleges terjedési tulajdonságait a gyártási műveletek során. Ilyen alkalmazási területek pl.:

- szárítóberendezések. Nagy mikrohullámú energiával különböző anyagokat lehet szárítani. Igen elterjedten használják a faiparban az alapanyagok szárítására vagy ragasztások kötési idejének csökkentésére. Élelmiszeriparban liofilizálásra, különböző porok előállítására használják. Építőiparban a beton kötési idejét lehet vele csökkenteni.

- vendéglátóiparban különböző mikrohullámú sütő-, melegítőkészülékeket alkalmaznak ételek készítésére vagy mélyhűtött ételek felmelegítésére;

- bányászatban sziklák repesztésére lehet felhasználni, az anyagban levő víztartalom gyors elgőzölögtetése révén;

- műanyagiparban hegesztésre, melegítésre alkalmazható;

- vegyiparban a kémiai reakciók elősegítésére lehet jól használni;

- plazmaégetésének egy speciális módjánál mikrohullámú energiával ionizálják az égőt tápláló gázt. Mindez a felsorolás azt kívánja kihangsúlyozni, hogy milyen sokféle alkalmazási terület van, és hogy egy-egy új feladat megoldásakor érdemes megvizsgálni a mikrohullám alkalmazási lehetőségét is.

5. Orvosi, biológiai alkalmazás

A mikrohullámokat régóta alkalmazzák a gyógyászatban, de főleg hőkeltési tulajdonságát használják ki. Újabban egyre intenzívebben foglalkoznak a mérés-technikai, diagnosztikai alkalmazással is. Különösen érdekes terület a mikrohullámú tomográfia, melyről egyre több cikk jelenik meg napjainkban. Ugyancsak az utóbbi idők új kísérleti területe a mikrohullámok olyan hatásainak vizsgálata, ahol a hőhatás ki van zárva. Mindezekről a területekről azonban részletes ismertetőt kapunk dr. Predmerszky Tibor és dr. Szabó László cikkéből.

Összefoglalóan meg kell állapítani, hogy a mérés-technika és így a mikrohullámú mérés-technika is egyre nagyobb szerepet játszik a kutatásban, technológiai

folyamatokban, gyártásban egyaránt. Egyre jobban nő a tudományos kutatás műszerigénye, egyre több és pontosabb műszerre van szükség a számítási eredmények kísérleti ellenőrzéséhez. Egyre több műszerre van szükség az ipari gyártásban is, és ide olyan műszereket kell kidolgozni, melyek pontossága nagy, de csak speciálisan egy-egy mérési feladat elvégzésére alkalmasak. Ezáltal ezeknek az „ipari” műszereknek az árát kell csökkenteni. Ezek az igények azt jelentik, hogy:

- még nagyobb pontosságú műszereket kell kifejleszteni a kutatómunka támogatására. Ezek a műszerek legyenek univerzálisak, hogy a kutatás során felmerülő különböző igényeket kielégítsék;
- nagy megbízhatóságú, nagy pontosságú speciális műszerek kellenek az ipar számára.

Mindebből pedig az következik, hogy mind nagyobb erőket kell alkalmazni a mérés- és műszertechnika fejlesztésére. Korszerű gyártás elképzelhetetlen korszerű műszerek nélkül.

IRODALOM

- [1] Engen, G. F.: The six-port reflectometer: An alternative network analyzer. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1075. old.
- [2] Hoer, C. A.: A network analyzer incorporating two six-port reflectometers. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1070. old.
- [3] Dr. Kenderessy Miklós: Automatische Impedanzmessung im Mikrowellenfrequenzbereich. Proc of IMEKO Symposium 1966. okt. 10.
- [4] Labaar, F.: The exact solution to the six-port equations. Microwave Journal 1984. szept. 219. old.
- [5] Weidman, M. P.: A semiautomated six port for measuring millimeter-wave power and complex reflection coefficient. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1083. old.
- [6] Cronson, H. M., Susman, L.: A six-port automatic network analyzer. IEEE Trans. MTT—25. No. 12. 1977. dec. 1086. old.
- [7] Cullen, A. L.: Measurement of 2-port devices by a reflectometer system. IEE Proc. Pt. H. Vol. 129. No. 6. 1982. dec. 333. old.
- [8] Zürcher, J. F., Borgeaud, M., Gardiol, F. E.: A compact portable six-port reflectometer. Mikrowellen Magazin Vol. 9. No. 2. 1983. 168. old.
- [9] Stumper, U.: Sechstorschaltungen zur Bestimmung von Streukoeffizienten. Mikrowellen Magazin Vol. 9. No. 6. 1983. 669. old.
- [10] Nak Sam Chung, Jeong Hwan Kim, Joon Shin: A dual six-port automatic network analyzer and its performance. IEEE Trans. MTT—32. No. 12. 1984. dec. 1983. old.
- [11] Kaliouby, L., Bosisio, R. G.: A new method for six-port swept frequency automatic network analysis. IEEE Trans. MTT—32. No. 12. 1984. dec. 1678. old.
- [12] Juroshek, J. R., Hoer, C. A.: A technique for extending the dynamic range of the dual six-port network analyzer. IEEE Trans. MTT—33. No. 6. 1985. jún. 453. old.
- [13] Groll, H. P., Kohl, W.: Six port consisting of two directional couplers and two voltage probes for impedance measurement in the millimeter-wave range. IEEE Trans. IM—29. No. 4. 1980. dec. 386. old.
- [14] Dr. Kenderessy Miklós: Simple automatic impedance meter in the microwave range. Proc. of 13. European Microwave Conference 1983. szept. 8.
- [15] Hartmann, Th., Hetzner, W., Detlefsen, J.: Complex impedance measurement with network analyzer by downconversion using unstabilized W-band impatt sources. Proc. of 13. European Microwave Conference 1983. szept. 8.
- [16] Shihe Li, Bosisio, R. G.: The measurement of complex reflection coefficient by means of a five-port reflectometer. IEEE Trans. MTT—31. No. 4. 1983. ápr. 321. old.
- [17] Brantervik, K., Kollberg, E. L.: A new four-port automatic network analyzer. IEEE Trans. MTT—33. No. 7. 1985. júl. 563. old.
- [18] Dr. Bodnár Pál: Az Intercept Point módszer a statikus nemlineáris torzítás meghatározására. Doktori értekezés. Budapesti Műszaki Egyetem, 1983.
- [19] Pastori, W. E.: Fehlermöglichkeiten bei der Rauschzahlmessung können vermeiden werden durch Korrekturen, die den Einfluss der Spiegelfrequenzen und der Folgestufe eliminieren. Mikrowellen Magazin Vol. 10. No. 3. 1984. márc. 271. old.
- [20] Tsui, J., Shaw, R.: Sensitivity of EW Receivers. Microwave Journal Vol. 25. No. 11. 1982. nov. 115. old.
- [21] Tsui, J.: False alarm measurements on receivers. Microwave Journal Vol. 27. No. 9. 1984. szept. 213. old.
- [22] Grimm, L., Hinken, J. H.: Spannungsnormale mit Josephson-Element. Elektronik 13. 1983. júl. 1. 105. old.
- [23] Seiichi Naito, Yasushi Higashino, Makoto Ibuka: Niobium thin film point-contact Josephson junction for voltage standard. Proc. of IMEKO Congress 1985. ápr. 22.
- [24] Dr. Kása István: New Measurement Method for Complex S-parameters. Proc. of the IMEKO-Symposium on Microwave Measurements. Budapest, 1972. 195—207. old.
- [25] Dr. Kása István: Exact solution of network analyzer calibration and two-port measurements by sliding terminations. CPEM 74. London, 1974. 90—92. old.
- [26] Dr. Kása István: Closed-Form Mathematical Solutions to Some Network Analyzer Calibration Equations. IEEE Trans. on IM. 1974. dec. No. 4. 399—402. old.
- [27] Dr. Kása István: A Circle Fitting Procedure and Its Error Analysis. IEEE Trans. on IM. 1976. márc. 8—14. old.
- [28] Dr. Baranyi András, dr. Ladvánszky János: On the Exact S-parameter Measurement of Active Devices. Proc. of 10th European Microwave Conference. Warszawa, 1980. szept. 278—282. old.
- [29] Hackborn, R. A.: An Automatic Network Analyzer System. The Microwave Journal 1968. Vol. 11. No. 5. 45—52. old.

Nagyjelű mikrohullámú eszközök modellezése

DR. BARANYI ANDRÁS

Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk nagyszintű mikrohullámú tranzistorok kétkapuleírófüggvényekkel történő modellezését tárgyalja. Ismerteti a kétkapuleírófüggvények mérésére kidolgozott eljárást, a mérőrendszer kalibrációját és a mérési hibák korrekcióját. Ezután a javasolt modell alkalmazását mutatja be mikrohullámú teljesítményerősítők tervezésében, az erősítők stabilitásának és modulációátvitelének vizsgálatában.

1. Bevezetés

Nagyszintű mikrohullámú áramkörök — teljesítményerősítők és oszcillátorok — tervezésénél az áramkörben alkalmazott mikrohullámú tranzistorok nagyjelű működését leíró modellekre van szükség. Bármely modellalkotás természetes követelménye, hogy a modell lehető általános feltételek mellett pontosan írja le az eszköz működését és a modellparaméterek meghatározására alkalmas mérési eljárások álljanak rendelkezésre. A mikrohullámú tranzistorok nagyjelű modellezésénél közvetlen célkitűzés az, hogy a modell alapján következtetni tudjunk az eszközzel megvalósított áramkör teljesítmény és impedancia viszonyaira, stabilitására és modulációs jellemzőire.

A mikrohullámú frekvenciasávban a hullámparaméterek mérésére alakultak ki hatékony mérési eljárások, így a mikrohullámú tranzistorok modellezési eljárásai is elsősorban az eszközön mért hullámparaméterek, illetve az azokból számítható teljesítmény- és impedancia viszonyok pontos leírására törekszenek. A modellezési eljárások többségében a szinuszos gerjesztés esetét vizsgálják és feltételezik, hogy az eszköz belső parazita reaktanciái miatt a kapocspárokon fellépő magasabb harmonikusok hatása elhanyagolható.

Ebben a cikkben az irodalomból ismert nagyjelű modellezési eljárások áttekintése során rámutatunk az ismert módszerek korlátaira és megmutatjuk, hogy a mikrohullámú eszközök általános feltételek mellett történő nagyjelű modellezése az ún. kétkapuleírófüggvények bevezetésével történhet [4], [11], [13]. Ismertetjük a kétkapuleírófüggvények mérésére kialakított mérési összeállítást, majd a mérőrendszer kalibrációját és a kétkapuleírófüggvények mérésénél fellépő hibák korrekcióját tárgyaljuk. Ezután a mikrohullámú teljesítményerősítők kétkapuleírófüggvényeken alapuló tervezési összefüggéseit ismertetjük. Megmutatjuk, hogy a kétkapuleírófüggvények érzékenység paramétereinek ismeretében összefüggések adhatók meg az erősítők stabilitásának és modulációátviteli jellemzőinek vizsgálatára.

DR. BARANYI ANDRÁS

1960-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1960 óta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik. Kezdetben mikrohullámú rádióberendezések áramköreinek tervezésével és FM-rendszerek torzítási problémáival foglalkozott. 1982 óta úrtávközlő berendezések fejlesztését irányítja.

nyitja, jelenleg tudományos főosztályvezetői minőségben. 1965 óta tart előadásokat a BME szakmérnöki oktatása keretében. Két ízben dolgozott vendégkutatóként az Egyesült Államokban. Kutatási területe a nemlineáris hálózatok elmélete. 1976-ban ebben a témakörben szerzett kandidátusi fokozatot. A HTE VB tagja, 1986-ban Puskás emlékéremmel tüntették ki.

2. Mikrohullámú kétkapú hullámparaméteres leírása

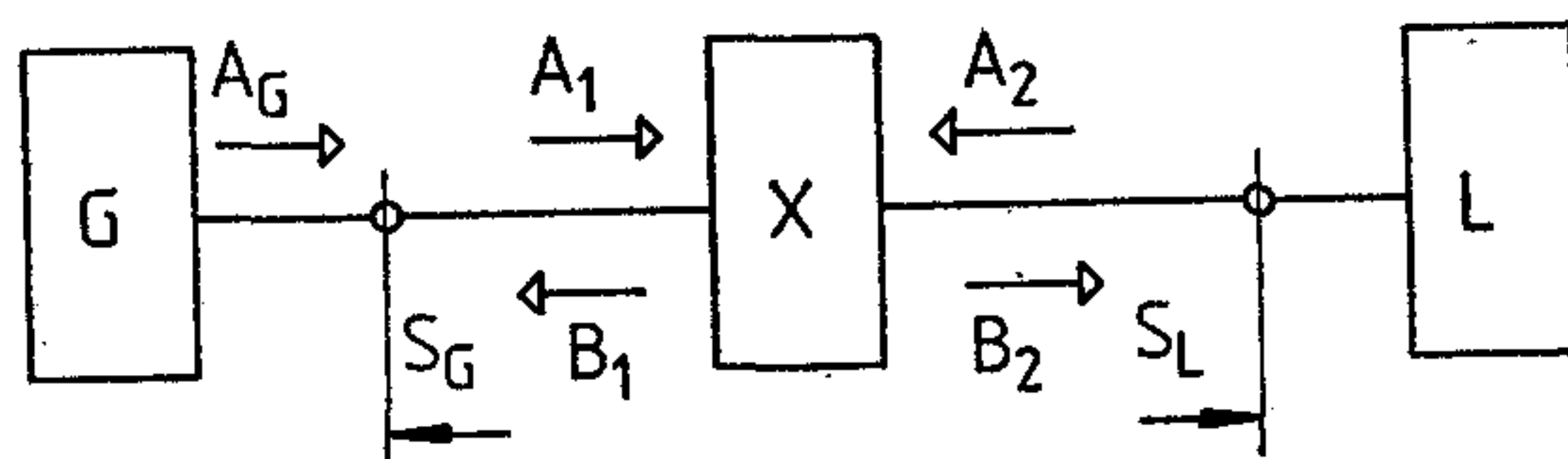
Tekintsük az 1. ábra szerinti elrendezést, ahol G, ω frekvenciájú szinuszos jelet szolgáltató generátort, X a modellezendő nagyjelű eszközt, L lineáris terhelést jelöl. Az eszközre jutó haladó és visszavert hullámok amplitúdója legyen rendre A_1 és B_1 , illetve A_2 és B_2 . Az eszköz modellezése lényegében a fenti négy komplex hullám amplitúdó kapcsolatának leírását jelenti.

A nagyjelű eszközmodellezés egyik irányzata az eszköz működését ún. terhelési görbékkel jellemzi (load-pull characterization) [2], [3], [17]. Ennél a módszernél az S_L reflexióval jellemzett terhelés folyamatos hangolásával meghatározzák azon S_L terhelések helygörbét, melyeknél konstans $|A_1|$ szint mellett a terhelésre jutó teljesítmény állandó. Az állandó bemeneti szint biztosításához, a mérésnél illesztett generátort használnak. Eszerint az $(S_L)|P_L| = \text{állandó}$ terhelési görbék mérését meghatározó feltételek:

$$S_G = 0, |A_1| = \text{állandó} \quad (1)$$

$$S_L = \frac{B_2}{A_2}, P_L = |B_2|^2 - |A_2|^2 = \text{állandó} \quad (2)$$

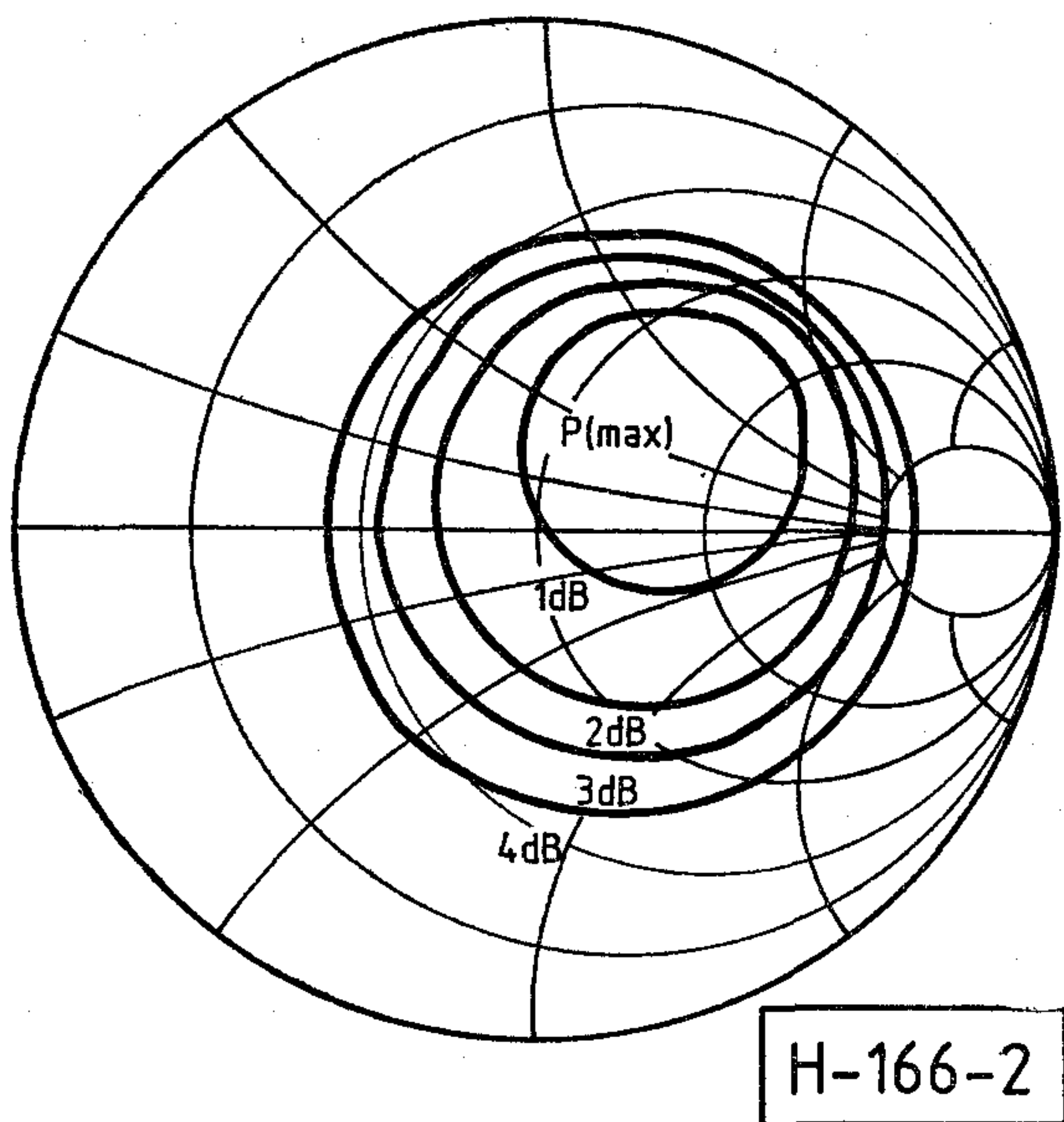
Az (1) és (2) összefüggésnek eleget tevő S_L értékek lineáris eszköz esetén koncentrikus körökön helyezkednek el, nagyjelű működés esetén a körök torzulnak és a görbék távolsága is változó (2. ábra). A terhelési görbék alapján kiválasztható a maximális teljesítményt



H-166-1

1. ábra. Mikrohullámú erősítő leírása hullámparaméterekkel

Beérkezett: 1986. III. 5. (□)



2. ábra. Nagyszintű eszköz jellegzetes terhelési görbéje

eredményező terhelés értéke. A terhelési görbékkel történő jellemzés alapvető hátránya, hogy a terhelés változásával együttjáró bemeneti impedancia változásról nem ad számot, így annak vizsgálata külön mérés-sorozatot igényel. További nehézséget jelent a kimeneti teljesítmény mérése alapján beállított S_L reflexiók pontos meghatározása, melyre többféle szellemes módszert is javasolnak az irodalomban [3], [8].

A nagyjelű modellezés irodalomban gyakran hivatkozott másik irányzata az ún. nagyjelű S -paraméterekkel írja le a nagyszintű áramkörökben alkalmazott mikrohullámú eszközök működését [1], [6], [10], [14]. Ennek a leírásnak alapgondolata az, hogy a lineáris eszközökre érvényes reflexiók mátrixszal történő jellemzést általánosítja a nagyjelű működés esetére, a mátrix elemek szintfüggését feltételezve.

A lineáris eszközök reflexiók mátrixszal történő közismert leírását a következő összefüggések adják meg:

$$B_1 = S_{11} A_1 + S_{12} A_2 \quad (3)$$

$$B_2 = S_{21} A_1 + S_{22} A_2 \quad (4)$$

Fenti összefüggésekben az S_{ik} mátrix elemek komplex mennyiségek, melyek csak az ω frekvenciától függenek. Korszerű hálózatanalizátorokkal az egyes reflexiók paraméterek külön-külön gyorsan meghatározhatók, a megfelelő mérési pontosságot a hálózatanalizátorokhoz kidolgozott kalibrációs és számítógépes korrekciós eljárások biztosítják [12], [19]. A hálózatanalizátoros mérés egyszerűsített diagramját a 3. ábra mutatja, ahol a G generátor jele a kapcsolókat tartalmazó A jelű S paramétermérő előttén keresztül jut a mérendő X eszközre, a Q hányadosmérő a O jelű referens bemenetre és az M mérőbemenetre jutó jelek hányadosát indikálja. Az egyes paraméterek mérése az A előttét kapcsolóinak különböző állásaiban történik, oly módon, hogy egyidejűleg csak a mérendő eszköz egyik bemenete kap gerjesztést. Az ábra példaként az S_{21} paraméter mérése esetén fellépő jelutakat mutatja. Ha az ábra szerinti összeállításban a paraméterek mérését különböző generátor szinteknél vé-

gezzük el, akkor a paraméterek nagyjelű működéséből adódó szintfüggést tapasztalunk. Számos publikációban a nagyszintű áramkörök tervezéséhez a lineáris áramkörök esetére kidolgozott méretezési összefüggéseket használják a 3. ábra szerinti összeállításban mért ún. nagyjelű S -paraméterek segítségével [5], [7], [9]. Ez az eljárás azonban csak erős megszorítások mellett érvényes [15], [16], nevezetesen akkor, ha a visszavert B_1 és B_2 hullámok a bemeneti A_1 és A_2 hullámok egyváltozós nemlineáris függvényeinek összegével fejezhetők ki:

$$B_1 = S_{11}(|A_1|) A_1 + S_{12}(|A_2|) A_2 \quad (5)$$

$$B_2 = S_{21}(|A_1|) A_1 + S_{22}(|A_2|) A_2 \quad (6)$$

Fenti leírás egyes speciális esetekben jó közelítést eredményez, azonban semmiképpen sem tekinthető általános érvényűnek.

Az ω frekvenciás haladó és visszavert hullámok kapcsolatának általános érvényű leírása a kétkapú leírófüggvények segítségével lehetséges [4], [13]. Az általános kétkapú modell meghatározása — a következőkben részletezett mérési eljárás szerint — alapos megfontolások alapján kialakított viszonylag bonyolult mérési elrendezést, nagymennyiségű mérési adat meghatározását és ezek számítógépes kiértékelését igényli. Ezért szélesebb körű elterjedéséhez számítógéppel vezérelt mérési program és adatfeldolgozás szükséges. Másfelől azonban a modell általánosságából adódóan az előző korlátozott érvényű modellekhez képest lényegesen több információt szolgáltat az áramkörtervező számára, lehetővé téve a mérés, modellezés és tervezés folyamatának egységes kezelését és megoldását.

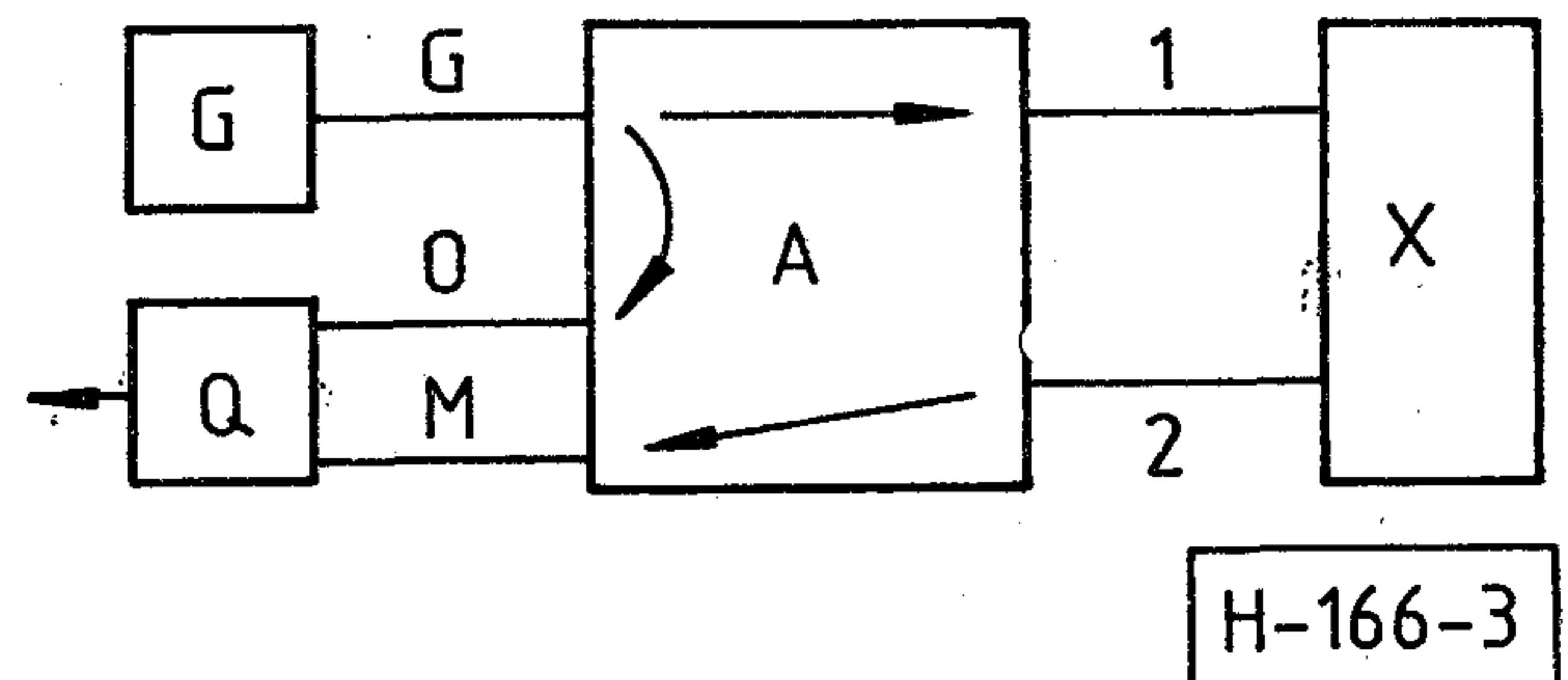
3. Modellezés kétkapú-leírófüggvényekkel

Tekintsük ismét az 1. ábrán látható elrendezést. Jellemezzük az X nemlineáris eszközt a B_1 és B_2 visszavert hullámok és az A_1 haladó hullám komplex amplitúdóinak viszonyát meghatározó S_R reflexiók és S_T transzmissziók leírófüggvényekkel:

$$B_1 = S_R(|A_1|, |A_2|, \varphi) A_1 \quad (7)$$

$$B_2 = S_T(|A_1|, |A_2|, \varphi) A_1 \quad (8)$$

Feltételezésünk szerint az X nagyjelű eszköz időinvariáns, ezért a (7) és (8) összefüggésekben szereplő S_R és S_T kétkapú-leírófüggvények az A_1 haladó hullám fá-



3. ábra. Hálózatanalizátoros mérés blokk-sémája

zisától függetlenek. Mindkét komplex értékű leírófüggvény három valós változó függvénye, ezek a haladó hullámok $|A_1|$ és $|A_2|$ abszolút értékei és a haladó hullámok fázisainak különbsége:

$$\varphi = \arccos(A_1) - \arccos(A_2) \quad (9)$$

A haladó hullámok komplex amplitúdóinak hányadosát Q -val jelölve a kétkapuleírófüggvényekkel leírt modell összefüggése a következő alakban is írható:

$$B_1/A_1 = S_R(|A_1|, Q) \quad (10)$$

$$B_2/A_1 = S_T(|A_1|, Q) \quad (11)$$

$$Q = A_1/A_2$$

Az eszköz modellezése a különböző A_1 és Q értékekhez tartozó S_R és S_T leíró függvények meghatározását jelenti. A modellparaméterek mérésénél fontos kérdés a mérőrendszer kalibrációja. A kalibrációhoz lineáris elemeket használunk, ezért szükségünk lesz a lineáris kétkapuk leírófüggvényeinek kifejezésére. Ezek a (3) és (4) egyenletekből közvetlenül adódnak:

$$S_R = S_{11} + S_{12}Q \quad (13)$$

$$S_T = S_{21} + S_{22}Q \quad (14)$$

Megállapíthatjuk, hogy a lineáris eszközök leírófüggvényei a Q amplitúdóviszony lineáris függvényei és az A_1 szinttől függetlenek.

4. Kétkapuleírófüggvények mérése

A kétkapuleírófüggvények mérésére szolgáló összeállítást a 4. ábra mutatja. A G generátort követő PA teljesítményerősítő kimenetéről iránycsatolón keresztül kisszintű jellel csatlakozunk a Q hányadosmérő O jelű referens bemenetére. A továbbhaladó nagyszintű jel az iránycsatolót követő teljesítményosztón kétfelé ágazik. Az első ágba izolátorok közé helyezett L_1 változtatható csillapítón és kettős iránycsatolón keresztül jut el a jel, a mérendő X eszköz bemenetére. Az iránycsatoló első csatoló ágához kapcsolt P_1 teljesítménymérő az eszköz bemenetére jutó $|A_1|$ szint mérésére szolgál, a másik csatoló ágon keresztül az eszköz bemenetéről visszavert jel az A előtét R bemenetére jut, így az előtét kapcsoló R állásában a hányadosmérő közelítően az S_R reflexiós leírófüggvény értékét indikálja. A másik ágba izolátorok közé helyezett állítható φ fázistoló és változtatható L_2 csillapító teszi lehetővé az eszközre jutó (A_2/A_1) amplitúdóviszony szabályozását. A szabályozó elemeket követő $C2$ iránycsatoló az eszköz kimenetéről visszavert B_2 hullám kicsatolására szolgál és a mérő előtét T bemenetéhez csatlakozik, így a kapcsoló T állásában a hányadosmérőn mért értékből az S_T transzmissziós leírófüggvény határozható meg.

A mérési összeállítás lényeges eleme a $C2$ iránycsatoló és az eszköz kimenete közé beiktatott H jelű háromcsonkos hangoló elem. A hangoló elem alkalmazásával biztosíthatjuk azt, hogy az eszköz optimális beállításához tartozó modellparaméterek mérése ne igényeljen elfogadhatatlanul nagy teljesítményszintet a 2-es ágba.

A H hangoló hatásának vizsgálatához tekintsük a

hangoló két kapuján fellépő A_2 és B_2 , illetve A'_2 és B'_2 hullámok kapcsolatát, melyet a H hangoló reflexiós mátrixa ír le. Tételezzük fel, hogy a hangoló veszteségmentes. Ekkor írható, hogy

$$\begin{bmatrix} A_2 \\ B'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma & j\sqrt{1-|\Gamma|^2}e^{j\varphi} \\ j\sqrt{1-|\Gamma|^2}e^{j\varphi} & \Gamma^*e^{2j\varphi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_2 \\ A'_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Ahol Γ és Γ^* a H hangoló eszköz-oldali reflexióját, illetve annak konjugáltját jelöli.

A (15) egyenlet összefüggést ad a $C2$ iránycsatoló bemenetén beállított $Q' = A'_2/A_1$ amplitúdóviszony és az ott mérhető $S'_T = B'_2/A_1$ transzmissziós leírófüggvény, valamint az eszközön fellépő $Q = A_2/A_1$ és $S_T = B_2/A_1$ paraméterek között:

$$Q = \Gamma S_T + j\sqrt{1-|\Gamma|^2}e^{j\varphi}Q' \quad (16)$$

$$S_T = j\sqrt{1-|\Gamma|^2}e^{j\varphi}S'_T + \Gamma^*e^{2j\varphi}Q' \quad (17)$$

Az eszköz kimenetén jelentkező $S_L = A_2/B_2$ és az iránycsatoló síkjában fellépő $S'_L = A'_2/B_2$ reflexiók kapcsolatára a következő összefüggés adódik:

$$|S'_L| = \left| \frac{S_L - \Gamma}{S_L \Gamma^* - 1} \right| \quad (18)$$

A mérés elvégzéséhez szükséges teljesítmények számításánál tételezzük fel, hogy az eszköz optimális beállításban P_L teljesítményt ad le S_L reflexiós tényezőjű terhelésre

$$P_L = |B_2|^2 - |A_2|^2 = |A_2|^2 \left[\frac{1}{|S_L|^2} - 1 \right] \quad (19)$$

A (19) összefüggésből meghatározhatjuk az A_2 haladó hullám által hordozott P_2 teljesítményt:

$$P_2 = |A_2|^2 = P_L \frac{|S_L|^2}{1 - |S_L|^2} \quad (21)$$

Ugyanezen munkapontban a H hangoló veszteségmentessége miatt a vesszős paraméterekkel jelzett kapun is P_L teljesítmény jut az iránycsatolóra, a méréshez szükséges, A_2 hullám által szolgáltatott P_2 teljesítmény viszonyt eltérő a $C2$ iránycsatoló H hangoló felé mutatott, (18) egyenletből számítható S'_L reflexiójának megfelelően:

$$P'_2 = |A'_2|^2 = P_L \frac{|S'_L|^2}{1 - |S'_L|^2} \quad (22)$$

Tekintsünk egy gyakorlati számpéldát. Legyen $P_L = 1$ W és $S_L = 0,825 \angle -157^\circ$. A leírófüggvények méréséhez szükséges, eszköz felé haladó teljesítmény a (21) egyenlet alapján $P_2 = 2,13$ W. Eszerint az 1 W teljesítményű eszköz méréséhez több, mint 2 W teljesítményű mérőjel szükséges. Alkalmazzuk a H hangolót és állítsuk elemeit oly módon, hogy a $C2$ iránycsatolón mért B_2 hullám nagy abszolút értékű legyen. Tételezzük fel, hogy a hangolón beállított reflexió $\Gamma = 0,8 \angle -170^\circ$. Ezzel az iránycsatoló felől mutatkozó S_L reflexió abszolút értéke (18) alapján $|S_L| = 0,48$ és a hangoló bemenetén szükséges mérőteljesítmény a (22) egyenletből $P'_2 = 0,3$ W. Eszerint a H hangoló alkalmazásával a nagyteljesítményű eszközök model-

lezéséhez szükséges méréseket viszonylag kisteljesítményű mérőjellel lehet elvégezni.

5. Kalibráció és hibakorrekció

A mérőrendszerben alkalmazott iránycsatolók nem tökéletes irányhatása, a mérőrendszer elemeinek zérustól eltérő reflexiója miatt a 4. ábra mérési összeállításában mért kétkapuleírófüggvények értéke a valóságostól eltér még abban az esetben is, ha az előbbiekben tárgyalt H hangoló elemet nem alkalmazzuk. A H hangoló elem beiktatása a (16) és (17) egyenletek szerint számottevő — de jól kézben tartható eltérést eredményez az eszközre jellemző Q és S_T értékek, valamint a hangoló bemenetén jelentkező Q' és S_T' értékek között.

A mérőrendszer kalibrációjának feladata kettős, egyrészt meg kell állapítani az eszközre jellemző S_R , S_T és Q értékek és a műszer által mutatott S_R^x és S_T^x értékek kapcsolatának funkcionális alakját, másrészt ismert leírófüggvényekkel rendelkező eszközök mérése alapján meg kell határozni az összefüggések paramétereit. Végül a hibakorrekcióhoz az az előzőleg meghatározott kalibrációs összefüggések invertálását kell elvégezni.

A 4. ábra mérési elrendezésének részletes analízise alapján a következő kalibrációs összefüggések adódnak:

$$S_R^x = a + \frac{b S_T}{1 - c S_R} \quad (23)$$

$$S_T^x = d + \frac{e S_T}{1 - c S_R} \quad (24)$$

$$Q = f(1 - c S_R) + g S_T \quad (25)$$

ahol a mért értékeket x -el jelöltük.

Az $a, b, \dots, g$ paraméterek egyrészt frekvenciafüggők, másrészt általában az L_1, L_2 csillapítók és a φ fázistoló állásától is függenek.

A (23)–(25) kalibrációs összefüggésekben szereplő hét paraméter meghatározásához az 5. ábrán feltüntetett négyféle ismert reflexiók mátrixszal rendelkező lineáris kalibráló elemet használjuk fel. Ezek leírófüggvényei a (13) és (14) egyenletek alapján közvetlenül felírhatók.

Az első kalibráló elem kétoldali illesztett lezáró, melynek kétkapuleírófüggvényei:

$$S_{R1} = 0 \quad S_{T1} = 0 \quad (26)$$

A második kalibráló elem kétoldali rövidzár, melynél

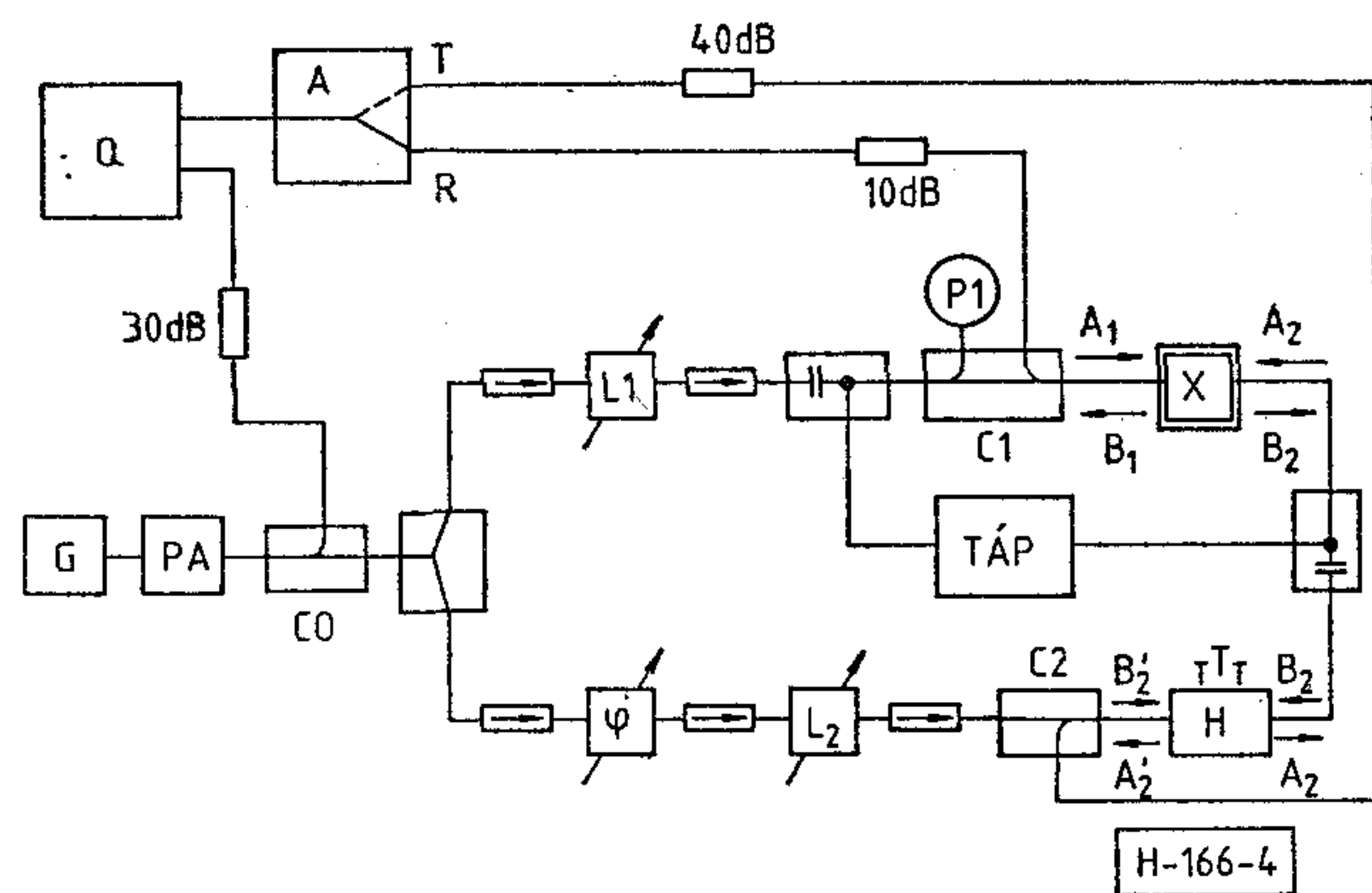
$$S_{R2} = -1, \quad S_{T2} = -Q_2 \quad (27)$$

A harmadik kalibráló elem a geometriából számítható Γ_3 reflexióval rendelkező kétoldali szakadás. Ennek leírófüggvényei:

$$S_{R3} = \Gamma_3 \quad S_{T3} = Q_3 \Gamma_3 \quad (28)$$

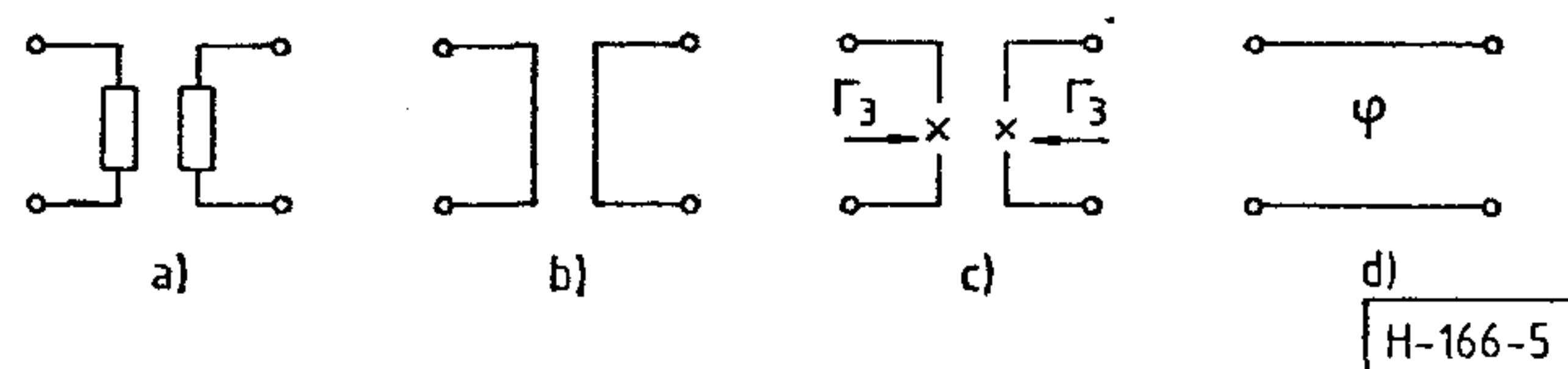
Végül a negyedik kalibráló elem φ fázistolású átmenő vonal, melynek leírófüggvényei:

$$S_{R4} = Q_4 \exp(-j\varphi) \quad S_{T4} = \exp(-j\varphi) \quad (29)$$



4. ábra.

Mérési összeállítás kétkapuleírófüggvények meghatározására



5. ábra. Kalibráló elemek a 4. ábra mérési összeállításához

A (23), (24) és (25) egyenletekben szereplő paraméterek meghatározásához végezzük el rendre az 5. ábrán feltüntetett kalibráló elem mérést és helyettesítsük be a (26)–(29) egyenletek szerinti leírófüggvény értékeket az előbbi egyenletekbe. Q_2, Q_3 és Q_4 értékét a (25) egyenlet felhasználásával kiküszöbölve a következő összefüggéseket kapjuk:

$$S_{R1}^x = a \quad S_{T1}^x = d \quad (30)$$

$$S_{R2}^x = a - \frac{b}{1+c} \quad S_{T2}^x = d - \frac{ef}{1+g} \quad (31)$$

$$S_{R3}^x = a + \frac{b \Gamma_3}{1 - c \Gamma_3} \quad S_{T3}^x = d + ef \frac{\Gamma_3}{1 - g \Gamma_3} \quad (32)$$

$$S_{R4}^x = a + b \frac{f + g e^{-j\varphi}}{e^{j\varphi} - c g e^{-j\varphi}} \quad S_{T4}^x = d + e \frac{1 + c f e^{-j\varphi}}{e^{j\varphi} - c g e^{-j\varphi}} \quad (34)$$

A (30) egyenletek szerint az első kalibráló elem mérése közvetlenül szolgáltatja az a és d paramétereket. A többi paraméter számításának egyszerűsítésére vezessük be az

$$S_{Rk}^x - S_{R1}^x = \hat{S}_{Rk} \quad S_{Tk}^x - S_{T1}^x = \hat{S}_{Tk} \quad k = 2, 3, 4 \quad (35)$$

jelöléseket. A (31) és (32) egyenletpárok megoldásával a b, c és g paramétereket, valamint az (ef) szorzatot határozhatjuk meg.

$$b = -\frac{\hat{S}_{R2} \hat{S}_{R3} (1 + \Gamma_3)}{(\hat{S}_{R3} - \hat{S}_{R2}) \Gamma_3} \quad (36)$$

$$c = \frac{\hat{S}_{R2} \Gamma_3 + \hat{S}_{R3}}{(\hat{S}_{R3} - \hat{S}_{R2}) \Gamma_3} \quad (37)$$

$$g = \frac{\hat{S}_{T2}\Gamma_3 + \hat{S}_{T3}}{(\hat{S}_{T3} - \hat{S}_{T2})\Gamma_3} \quad (38)$$

$$ef = -\frac{\hat{S}_{T2}\hat{S}_{T3}(1 + \Gamma_3)}{(\hat{S}_{T3} - \hat{S}_{T2})\Gamma_3} \quad (39)$$

A (34) egyenletpárból f és e értéke külön-külön is számítható:

$$f = \frac{\hat{S}_{R4}}{b} (e^{j\varphi} - cge^{-j\varphi}) - ge^{-j\varphi} \quad (40)$$

$$e = b \frac{\hat{S}_{T4}}{\hat{S}_{R4}} \frac{f + ge^{-j\varphi}}{1 + fc e^{-j\varphi}} \quad (41)$$

Az (ef) szorzatot kétféle módon is meghatároztuk: a (39) egyenlet szerint a kétoldali rövidzár és szakadás mérésével, a (40) és (41) összefüggésekkel pedig az ismert hosszúságú átmenő vonal segítségével. A kétféle érték összevetése módot ad a kalibráció ellenőrzésére. A 3–4 GHz-es frekvenciasávban végzett méréseink szerint az ismertetett kalibrációs eljárással az (ef) szorzat meghatározásának pontossága 10% nagyságrendű, ami jó eredménynek mondható.

Említettük, hogy a kalibráció paraméterei mind a frekvenciától, mind pedig a szabályozható csillapítók és fázistoló beállításától függenek. Ezért egy adott frekvencián a mérés előkészítéséhez a kalibrációs paramétereket az L_1 és L_2 csillapítók és a φ fázistoló mindazon állásaiban meg kell határoznunk, ahol később méréseket kívánunk végezni. Legyen a mérendő beállítások száma

$$M = n_1 n_2 n_\varphi \quad (42)$$

ahol n_1 , n_2 és n_φ az L_1 , L_2 és φ szabályozó elemek különböző beállításának számát jelölik. A fenti összefüggésből kitűnik, hogy a mérendő pontok számának növelésével a kalibrációs munka rohamosan növekszik. Egyszerűsítést jelent azonban az, hogy a 4. ábra mérési elrendezésében alkalmazott izolátorok miatt a szabályzó elemek közti kölcsönhatás elhanyagolható és így a kalibrációs paramétereknek a szabályzó elemek beállításától való függése egyváltozós függvények szorzataként adható meg:

$$p(L_1, L_2, \varphi) = p(L_1)p(L_2)p(\varphi) \quad (43)$$

ahol p tetszőleges $a, \dots, g$ kalibrációs paramétert jelöl. A (43) felbontás miatt a kalibrációs méréseket elegendő

$$K = n_1 + n_2 + n_\varphi - 2 \quad (44)$$

különböző beállításban elvégezni. Az M különböző beállításához tartozó kalibrációs paraméterek a K pontban mért kalibrációs adatokból (43) felhasználásával számíthatók.

Az eszköz mérése a szabályzó elemek különböző beállításában a kalibrációs adatok meghatározása után történhet. Az előtét kapcsoló R és T állásában a Q hányadosmérő által mért S_R^* és S_T^* értékekből az eszközre jellemző S_R és S_T kétkapú leírófüggvényeket a (23) és (24) egyenletek invertálásával kapjuk:

$$S_R = \frac{S_R^* - a}{b + c(S_R^* - a)} \quad (45)$$

$$S_T = \frac{S_T^* - d}{e} \frac{b}{b + c(S_R^* - a)} \quad (46)$$

A vizsgált beállításhoz tartozó A_1 és Q független változókat a kalibrált P_1 teljesítménymérőről olvassuk le, illetve a (45) és (46) egyenletekben meghatározott S_R és S_T felhasználásával a (25) egyenletből számítjuk ki.

6. Kétkapú-leírófüggvények alkalmazása nagyszintű erősítő tervezésében

A mikrohullámú tranzisztor mérésekkel meghatározott kétkapú-leírófüggvényeiből a tranzisztorral épített nagyszintű erősítő jellemzői közvetlenül számíthatók. Az áramköri jellemzők és a leírófüggvények kapcsolatának ismeretében viszont lehetőség nyílik arra, hogy az optimális áramköri jellemzőket eredményező szint és impedancia viszonyokat az előzőekben ismertetett mérési elrendezés számítógépes vezérlésével határozzuk meg.

Tekintsük ismét az 1. ábrán látható erősítő elrendezést. Az aktív elemet leíró (10), (11) és (12) egyenletek mellett szükségünk van az A_g forrásamplitúdójú és S_G reflexiójú generátort és az S_L reflexiójú terhelést leíró összefüggésekre:

$$A_1 = A_g + S_g B_1 \quad (47)$$

$$A_2 = S_L B_2 \quad (48)$$

A terhelésre jutó teljesítmény (11) és (12) egyenletek felhasználásával:

$$P_L = |B_2|^2 - |A_2|^2 = [|S_T|^2 - |Q|^2] |A_1|^2 \quad (49)$$

A generátorból kivehető maximális teljesítmény (47) egyenlet alapján:

$$P_{Go} = |A_G|^2 \frac{1}{1 - |S_G|^2} \quad (50)$$

A (47) egyenletből a (10) egyenlet szerinti reflexió leírófüggvény behelyettesítésével kapjuk, hogy:

$$|A_G|^2 = |A_1|^2 |1 - S_G S_R|^2 \quad (51)$$

Így az erősítő üzemi teljesítményerősítése:

$$G_T = \frac{P_L}{P_{Go}} = \frac{|S_T|^2 - |Q|^2}{|1 - S_G S_R|^2} (1 - |S_G|^2) \quad (52)$$

Az üzemi teljesítményerősítés maximumát akkor kapjuk, ha a generátor reflexiója a reflexió leírófüggvény konjugáltja:

$$G_{T \max} = \frac{|S_T|^2 - |Q|^2}{1 - |S_R|^2} \quad (53)$$

Eszerint a tranzisztor A_1 , Q , S_R , S_T paraméterekkel jellemzett kivezérlési állapotában a tranzisztoros erősítő a (49) szerinti kimeneti teljesítményt és az (53) szerinti teljesítményerősítést szolgáltatja, ha a lezáró impedanciákat a következő módon választjuk meg:

$$S_G = S_R^* \quad S_L = Q/S_T \quad (54)$$

A kivezérléshez szükséges meghajtó teljesítmény értéke az (50) egyenletből adódik.

Fenti összefüggések birtokában természetes az a gondolat, hogy a mikrohullámú tranzisztorok kétkapu-leírófüggvényeinek mérésével egy időben a mért adatokhoz tartozó kimenő teljesítmény és teljesítményerősítés értékét is meghatározzuk. Így a mérési eredmények értékelését egyszerű optimalizációs eljárással kombinálva a 4. ábra elrendezésében az L_1 , L_2 és φ szabályzó elemek beállítását számítógépes vezérléssel végezhetjük az optimális áramköri jellemzők meghatározása érdekében.

Fenti gondolatok gyakorlati megvalósítására a Táv-
közlési Kutató Intézetben a kétkapu-leírófüggvények mérésére és az ezen alapuló optimalizált tervezésre szolgáló programot dolgoztunk ki. A programmal a kétkapu-leírófüggvények méréséhez szükséges kalibráció, hibakorrekció, valamint a kétkapu-leírófüggvényekből származtatható áramköri jellemzők optimalizációja végezhető el. Az optimalizációs stratégia egy kezdőpontból kiindulva a szomszédos pontokat vizsgálja és ezek közül a legjobbat választva jut el az optimálisához közel eső megoldáshoz. Az 1982-ben készített program 23 kbyte memória kapacitású számítógépre készült. Az adott memóriakapacitás az L_1 és L_2 csillapítók 5—5, a fázistoló 8 különböző beállítását teszi lehetővé. A program maximum 7 áramköri jellemző súlyozott összegének optimalizására alkalmas.

Példaként az MSC 4001 típusú bipoláris tranzisztorral $f=3,75$ GHz-en végzett vizsgálataink eredményét ismertetjük. A 4. ábra szerinti mérési elrendezésben kb. 250 mW teljesítményt adtunk az 1-es és 2-es mérőágak bemenetére. Az L_1 csillapító megengedett állásait 0, 1, 2, 3 dB-re az L_2 csillapító lehetséges beállításait 5, 10, 15 dB-re választottuk, a fázistoló esetében 45°-os osztásban 8 állást engedtünk meg. A méréseket az $L_1=3$ dB, $L_2=10$ dB és $\varphi=225^\circ$ adatokkal jellemzett kezdőpontból indítottuk. Először a H hangolóval a maximálisához közel eső kimenő teljesítményt állítottunk be, majd elvégeztük a kalibrációs méréseket a szabályzó elemek valamennyi megengedett állásában. Ezután először a maximális kimenő teljesítményt, majd a maximális teljesítményerősítést tekintettük az optimumkeresés célfüggvényének. A szabályzó elemek megadott, viszonylag durva lépésközei mellett mindkét jellemző optima azonos beállításban adódott, melynek paramétereit az 1. táblázat foglalja össze. Érdekességként említhető, hogy az optimalizációs eljárás a kétféle esetben eltérő lépéssorozaton keresztül jutott ugyanahhoz a megoldáshoz.

1. táblázat

MSC 4001 tranzisztor optimális beállításának adatai
($f=3,75$ GHz)

Paraméter	Abszolút érték	Fázis
$ A_1 ^2$	24,1 dBm	
Q	8,2 dB	— 64°
S_R	— 3,3 dB	36°
S_T	9,8 dB	92°
S_L	— 1,6 dB	— 156°
P_L	28,8 dB	
G_{Tmax}	7,4 dB	
S_G	— 3,3 dB	— 36°

A mért adatokat a tranzisztor katalógus adataival összevetve megállapítható, hogy az általunk mért optimális terhelés jól egyezik a katalógusban szereplő $S_L = -1,7$ dB / -157° értékű terheléssel. A generátor oldali lezárásnál viszont a katalógusban ajánlott $S_G = -9,3$ dB / 63° jelentősen eltér az általunk meghatározott $S_G = -3,3$ dB / -36° értéktől. A mért paraméterek ellenőrzésére kísérleti erősítőt építettünk, melyen mind a bemeneten, mind a kimeneten hangoló elemekkel állítottuk be a maximális kimeneti teljesítményt. A kísérleti összeállításban mért $P_L = 29$ dBm és $G_P = 7$ db megfelelő egyezést mutatott a táblázatban szereplő számított értékekkel.

7. Stabilitás és moduláció átvitel kapcsolata a leírófüggvény érzékenységekkel

Az előzőek szerint a nagyszintű erősítő szinuszos gerjesztéshez tartozó állapotát az eszköz (10)—(12) nemlineáris kétkapu leírófüggvényei és a lezárások (47)—(48) lineáris egyenletei egyértelműen meghatározzák.

Az alkalmazások szempontjából fontos probléma a szinuszos gerjesztéshez tartozó állapot stabilitása és a szinuszos gerjesztés modulációjának átvitele. Mindkét kérdés lényegében a szinuszos gerjesztés perturbációjának vizsgálatát igényli. A perturbációs vizsgálatoknál feltételezzük, hogy a nagyszintű eszköz széles-sávú abban az értelemben, hogy a kétkapu leírófüggvények frekvenciafüggése a lezárások frekvenciafüggéséhez képest elhanyagolható.

A stabilitás vizsgálatánál abból indulunk ki, hogy a nagyszintű eszközre jutó haladó és visszavert hullámok komplex s frekvenciájú amplitúdó és fázismodulációval rendelkeznek, melyek a szokásos módon alsó és felső modulációs oldalsávokkal jellemezhetők. A haladó és visszavert hullámok normalizált modulációs oldalsáv amplitúdói között két négydimenziós mátrix teremt kapcsolatot, melyek egyrészt az S_R és S_T nemlineáris leírófüggvények differenciális alakjának, másrészt az S_G és S_L lezárások frekvenciafüggésének figyelembevételével határozhatók meg. A nagyszintű eszköz modulációátvitelére jellemző mátrix előző feltételezésünknek megfelelően frekvenciafüggetlen, a mátrix elemei a kétkapu leírófüggvények relatív érzékenységeiből számíthatók. Az S_R és S_T komplex leírófüggvények három valós változótól függenek, így összesen hat komplex érzékenység paraméter definiálható a következő kifejezésekkel:

$$d_{Qk} = \frac{\partial S_Q}{\partial |A_k|} \frac{|A_k|}{S_Q} \quad Q = R, T \quad k = 1, 2 \quad (55)$$

$$d_{QP} = j \frac{\partial S_Q}{\partial \varphi} \frac{1}{S_Q} \quad Q = R, T$$

A lezárások modulációs jellemzőit meghatározó mátrix diagonális elemei az S_G és S_L reflexiós tényezők modulációs oldalsáv frekvenciákon felvett értékeiből számíthatók.

Az összefüggések meghatározásával itt nem foglalkozunk, mivel egy előző közleményben [18] a modulációátviteli mátrixok számítási módszerét részletesen ismertettük. Itt csak a nemlineáris erősítő stabili-

tásának feltételét adjuk meg. Eszerint az 1. ábra szerinti erősítő stabilitását az alábbi egyenlet karakterisztikus frekvenciái határozzák meg:

$$H(s) = \det[I - M(s)] = 0 \quad (57)$$

ahol I az egység mátrix, az $M(s)$ mátrixot a következő összefüggés határozza meg:

$$M(s) = \begin{bmatrix} I + D_{R1} + D_{RP} & D_{R2} - D_{RP} \\ I + D_{T1} + D_{TP} & D_{T2} - D_{TP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_G(s) & O \\ O & D_L(s) \end{bmatrix} \quad (58)$$

ahol az (58) egyenletben szereplő 2×2 -es mátrixok definíciója a következő:

$$D_{Qk} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} d_{Qk} & d_{Qk}^* \\ d_{Qk}^* & d_{Qk} \end{bmatrix} \quad D_{QP} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} d_{QP} & -d_{QP}^* \\ -d_{QP}^* & d_{QP} \end{bmatrix} \quad Q=R, T \quad k=1, 2 \quad (59)$$

$$D_G(s) = \langle S_R S_G(j\omega_0 + s), S_R^* S_G^*(j\omega_0 - s) \rangle \quad (60)$$

$$D_L(s) = \left\langle \frac{S_L(j\omega_0 + s)}{S_L(j\omega_0)}, \frac{S_L^*(j\omega_0 - s)}{S_L^*(j\omega_0)} \right\rangle \quad (61)$$

A nemlineáris erősítő stabilitásának szükséges és elégséges feltétele, hogy az (57) egyenlet szerinti $H(s)$ függvény valamennyi zérusa negatív valós résszel rendelkezzen.

Az általános modulációátviteli összefüggéseken belül különös jelentősége van az $s=0$ modulációs frekvenciához tartozó statikus AM kompresszióknak és $AM-PM$ konverzióknak, mely fázismodulált jelek átvitele esetén a nemlineáris torzítás egyik forrása lehet.

Tekintsük az X -szel jelölt A_k vagy B_k hullámparaméterek relatív változását, mely m_k amplitúdó és θ_k fázismodulációs összetevőkre bontható:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta |x|}{|x|} + j \arctan(\Delta x) = m_x + j\theta_x \quad (62)$$

A haladó és visszavert hullámok relatív változásai közti kapcsolat (10) és (11) alapján:

$$\frac{\Delta B_1}{B_1} = \frac{\Delta S_R}{S_R} + \frac{\Delta A_1}{A_1} \quad (63)$$

$$\frac{\Delta B_2}{B_2} = \frac{\Delta S_T}{S_T} + \frac{\Delta A_1}{A_1} \quad (64)$$

Másrészt a (47) és (48) egyenletek felhasználásával

$$\frac{\Delta A_1}{A_1} = \frac{\Delta A_G + S_G \Delta B_1}{A_1} \quad (65)$$

és

$$\frac{\Delta A_2}{A_2} = \frac{\Delta B_2}{B_2} \quad (66)$$

ahol figyelembe vettük, hogy a zérus modulációs frekvenciának megfelelően a perturbáció során S_G és S_L nem változik. A (10) és (47) egyenletek helyettesítésével (65) a következő alakra hozható:

$$\frac{\Delta B_1}{B_1} = \frac{1}{S_R S_G} \frac{\Delta A_1}{A_1} - \frac{(1 - S_R S_G)}{S_R S_G} \frac{\Delta A_g}{A_g} \quad (67)$$

A (63) és (67), valamint a (64) és (66) egyenletek összevetéséből adódik, hogy

$$\frac{\Delta A_1}{A_1} - q \frac{\Delta S_R}{S_R} = \frac{\Delta A_g}{A_g} \quad (68)$$

valamint

$$\frac{\Delta A_1}{A_1} - \frac{\Delta A_2}{A_2} + \frac{\Delta S_T}{S_T} = 0 \quad (69)$$

ahol

$$q = \frac{S_G S_R}{1 - S_G S_R} \quad (70)$$

A kétkapu-leírófüggvények relatív megváltozása és a haladó hullámok perturbációja között az érzékenységgé függvények teremtenek kapcsolatot:

$$\frac{\Delta S_Q}{S_Q} = d_{Q1} \frac{\Delta A_1}{A_1} + d_{Q2} \frac{\Delta A_2}{A_2} + j d_{QP} \arctan(\Delta A_1 - \Delta A_2) \quad Q = R, T \quad (71)$$

A (68) és (69) egyenletekbe a (71) összefüggéseket behelyettesítve és a (62) összefüggés jelöléseit figyelembe véve a haladó hullámok m_k és θ_k modulációs indexeinek, valamint a generátor m_g amplitúdómodulációs indexének kapcsolatát a következő két komplex egyenlet írja le:

$$(m_1 + j\theta_1) - q(d_{R1} m_1 + d_{R2} m_2 + j d_{RP}(\theta_1 - \theta_2)) = m_g \quad (72)$$

$$(m_1 - m_2) + j(\theta_1 - \theta_2) + d_{T1} m_1 + d_{T2} m_2 + j d_{TP}(\theta_1 - \theta_2) = 0 \quad (73)$$

Az egyenletekben négy ismeretlen szerepel: a bemeneti és kimeneti amplitúdó- és fázismodulációs indexek. Ezek közül számunkra a kimeneti modulációs indexek érdekesek, mivel ezek határozzák meg a nemlineáris erősítő c AM -kompresszióját és k $AM-PM$ konverzióját:

$$c = m_2/m_g \quad \text{és} \quad k = \theta_2/m_g \quad (74)$$

A (72) és (73) egyenleteket valós és képzetes részre bontva fenti mennyiségek közvetlenül meghatározhatók.

Az előző fejtegetésekből kitűnik, hogy a nagyszintű erősítő működésének részletesebb vizsgálatához a kétkapu-leírófüggvények mellett ezek relatív érzékenységeinek ismerete is szükséges. Ha az érzékenységgé függvényeket a különböző munkapontokban meghatározott leírófüggvények különbségi hányadosából kívánjuk meghatározni, akkor a leírófüggvények mérési pontosságára különösen szigorú követelmények adódnak. Ezért a derivált jellemzők méréséhez a 4. ábra mérési elrendezésében célszerű modulált jelet szolgáltató generátort használni és a kiértékeléshez a Q hányadosmérő mellett spektrumanalizátort alkalmazni. Mérőrendszerünk ilyen irányú továbbfejlesztését a közeljövőben tervezzük.

8. Köszönetnyilvánítás

A nagyszintű mikrohullámú áramkörök tervezésének megalapozásához a modellezés elvi kérdéseinek elemzése mellett a gyakorlati eszközmerések számos részletkérdésének megoldására volt szükség. A cikkben ismertetett mérési és az ehhez kapcsolódó tervezési eljárás kidolgozásában Ladvánszky János végzett meghatározó munkát a mérőrendszer kialakításával és a vezérlő programrendszer elkészítésével. Köszönet illeti Pápics Józsefet oszcillátorok tervezésével kapcsolatos értékes hozzájárulásaiért és Kolumbán Gézát, aki számos ötlettel — többek között az alacsony teljesítményszinteken történő méréshez szükséges hangoló elem alkalmazásával — járult hozzá a munka sikeréhez.

IRODALOM

- [1] W. H. Leighton, R. J. Chaffin, J. G. Webb: "RF Amplifier Design with Large-Signal S-parameters", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—21, No. 12, Dec. 1973
- [2] J. M. Cusack, S. M. Perlow, B. S. Perlman: "Automatic Load Contour Mapping for Microwave Power Transistors", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—22, No. 12, Dec. 1974
- [3] Y. Takayama: "A New Load-Pull Characterization Method for Microwave Power Transistors", 1976 IEEE MTT—S, International Microwave Symposium, June, 1976
- [4] S. R. Mazumder, P. D. van der Puije: "An Experimental Method of Characterizing Nonlinear 2-ports and its Application to Microwave Class-C Transistor Power Amplifier Design", IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. SC—12, No. 5, Oct. 1977
- [5] K. L. Kotzebue: "A Quasi-Linear Approach to the Design of Microwave Transistor Power Amplifiers", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—24, No. 12, Dec. 1976
- [6] S. R. Mazumder, P. D. van der Puije: "Two-Signal" Method of Measuring the Large-Signal S-parameters of Transistors", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—26, No. 6, June, 1978
- [7] Y. Mitsui, M. Nakatani, S. Mitsui: "Design of GaAs MESFET Oscillator Using Large-Signal S-Parameters", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—25, No. 12, Dec. 1977
- [8] H. Abe, Y. Aono: "11-GHz GaAs Power MESFET Load-Pull Measurements Utilizing a New Method of Determining Tuner Y Parameters", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—17, No. 5, May 1979
- [9] K. M. Johnson: "Large Signal GaAs MESFET Oscillator Design", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—27, March 1979
- [10] R. Soares, et al.: "Novel Measurement Technique Allows Full Two-Port Characterization of GaAs Power MESFETs", Proc. of the 10th European Microwave Conference, Warsaw, Sept. 1980
- [11] Ladvánszky J., Baranyi A., Pápics J.: „Mikrohullámú tranzisztorok nagyszintű modellezése”, Intézeti tanulmány, TKI—I—80—333—3, Budapest, 1980 nov.
- [12] A. Baranyi, J. Ladvánszky: "On the exact S-parameter measurement of active devices", Proc. of the 10th European Microwave Conference, Warsaw, Sept. 1980
- [13] A. Baranyi, J. Ladvánszky, G. Kolumbán: "Accurate large signal characterization of microwave transistors", Proc. of the 7th Coll. on Microwave Comm., Budapest, Sept. 1982.
- [14] R. S. Tucker: "RF Characterization of Microwave Power FETs", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—29, No. 8, August, 1981
- [15] Pápics J.: „Új módszer mikrohullámú tranzisztoros oszcillátorok tervezésére”, TKI közlemények, XXIX. évf. 3—4. szám, Budapest, 1983
- [16] R. J. Gilmore, F. J. Rosenbaum: "An Analytic Approach to Optimum Oscillator Design Using S-Parameters", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—31, No. 8, August 1983
- [17] R. S. Tucker, P. F. Bradley: "Computer-Aided Error Correction of Large-Signal Load-Pull Measurements", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT—32, No. 3, March 1984
- [18] Baranyi A., Ladvánszky J.: „Nemlineáris erősítők stabilitása”, Híradástechnika XXXV. évf. 1984. 2. szám
- [19] Ladvánszky J.: „Mikrohullámú áramkörök reflexiósmátrixának pontos mérése hálózatanalizátorral”, Híradástechnika, XXXVI. évf. 1985. 12. szám

Lapunk példányonként megvásárolható

V., Váci utca 10.

*V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti
hírlapboltokban*



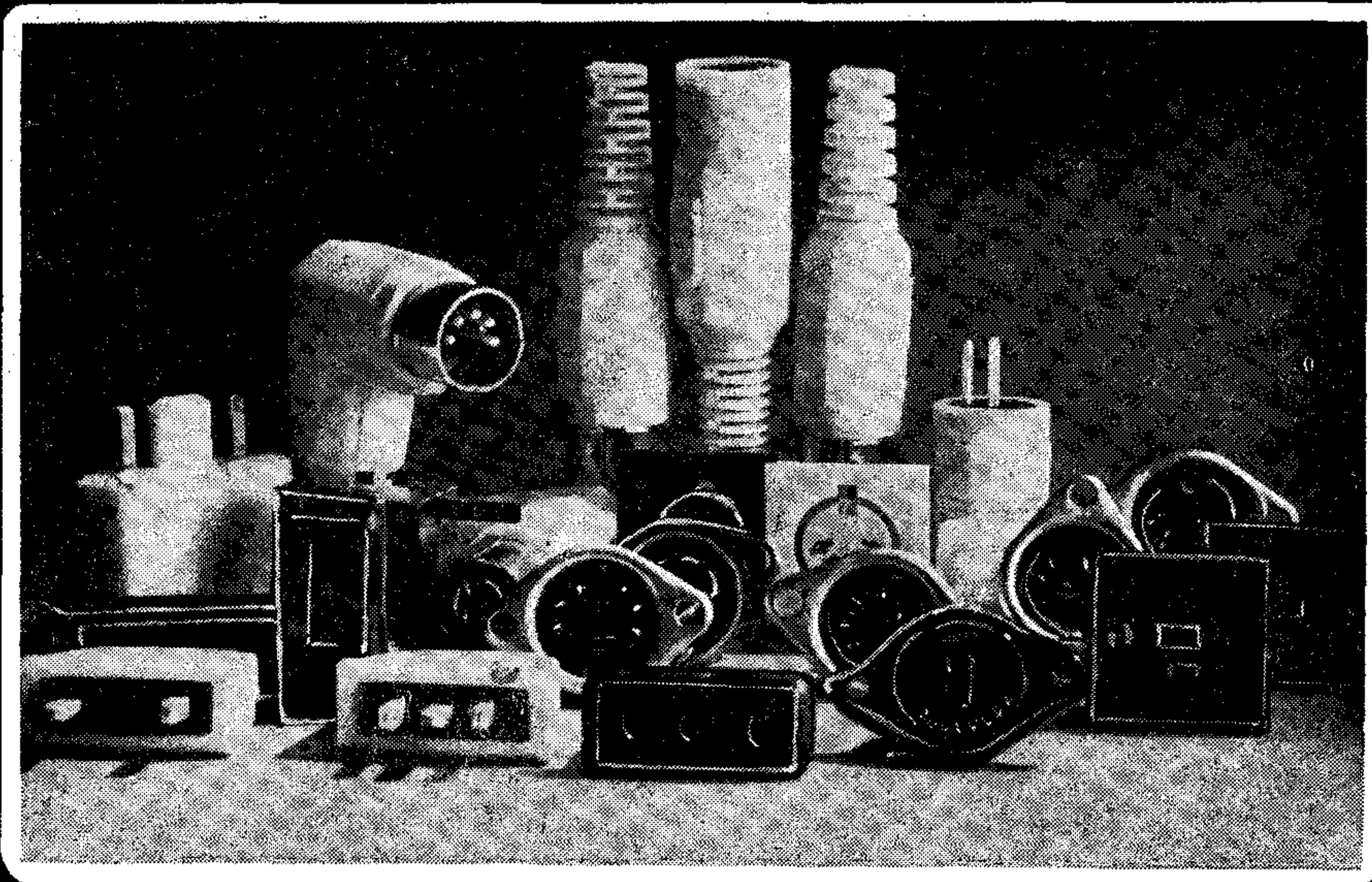
A BHG

közzükségleti csatlakozó
programja keretében széles
választékban gyárt kiváló
minőségű híradástechnikai
csatlakozókat.

Csatlakozóink megfelelnek az IEC-, KGST-ajánlásoknak, valamint az MSZ 05, a DIN és a TGL szabványoknak.

Az érintkezők viszonylagosan nagy érintkezőnyomást, kedvező és állandó értékű átmeneti ellenállást biztosítanak. Csatlakozóink galvanikusan felületkezeltek, melyeket nagy fokú tartósság és üzembiztonság jellemez.

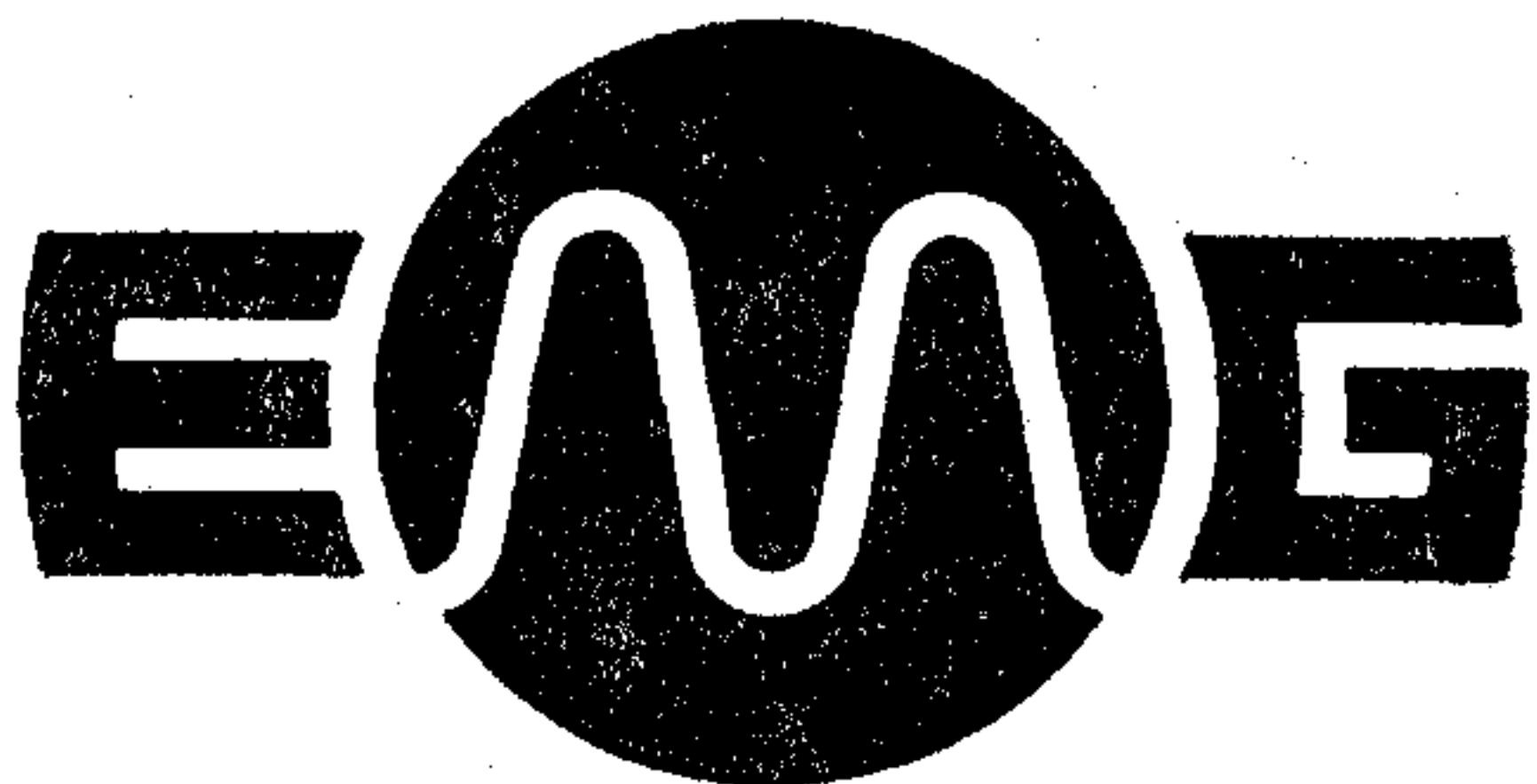
Termékeink egyaránt alkalmasak kis- és nagyfrekvenciás tartományban híradástechnikai, műszeripari és távközlési berendezésekhez.



Beszerezhetők:
az Iparcikk
Kiskereskedelmi
Vállalatoknál,
az Ezeremester
Uttörő- és Ifjú-
sági Kereske-
delmi Vállalat-
nál, valamint
a BHG Híradás-
technikai Vállal-
lat szaküzleté-
ben, Bp. XI.,
Fehérvári út 31.

BHG

Híradástechnikai Vállalat



ELEKTRONIKUS MÉRŐKÉSZÜLÉKEK GYÁRA

Telefon: 837 - 950

Telex: 22 - 4535

1163 Budapest, XVI. Cziráky u. 26 - 32.

ÚJ GYÁRTMÁNYOK AZ ELEKTRONIKUS MÉRŐKÉSZÜLÉKEK GYÁRÁBAN

Az Elektronikus Mérőkészülékek Gyára az elektronikában, az adatfeldolgozás terén és az ipar területén előforduló különféle mérésekhez, vizsgálatokhoz, számításokhoz, szabályozásokhoz és vezérlésekhez szükséges elektronikus mérőkészülékeket, berendezéseket fejleszt és gyárt.

A gyár termékei négy karakterisztikus gyártmánycsoportba sorolhatók: elektronikus mérőkészülékek és mérőrendszerek, az elektronikai ipar technológiai mérőberendezései, szervezéstechnikai eszközök és számszámítógépvezérlések.

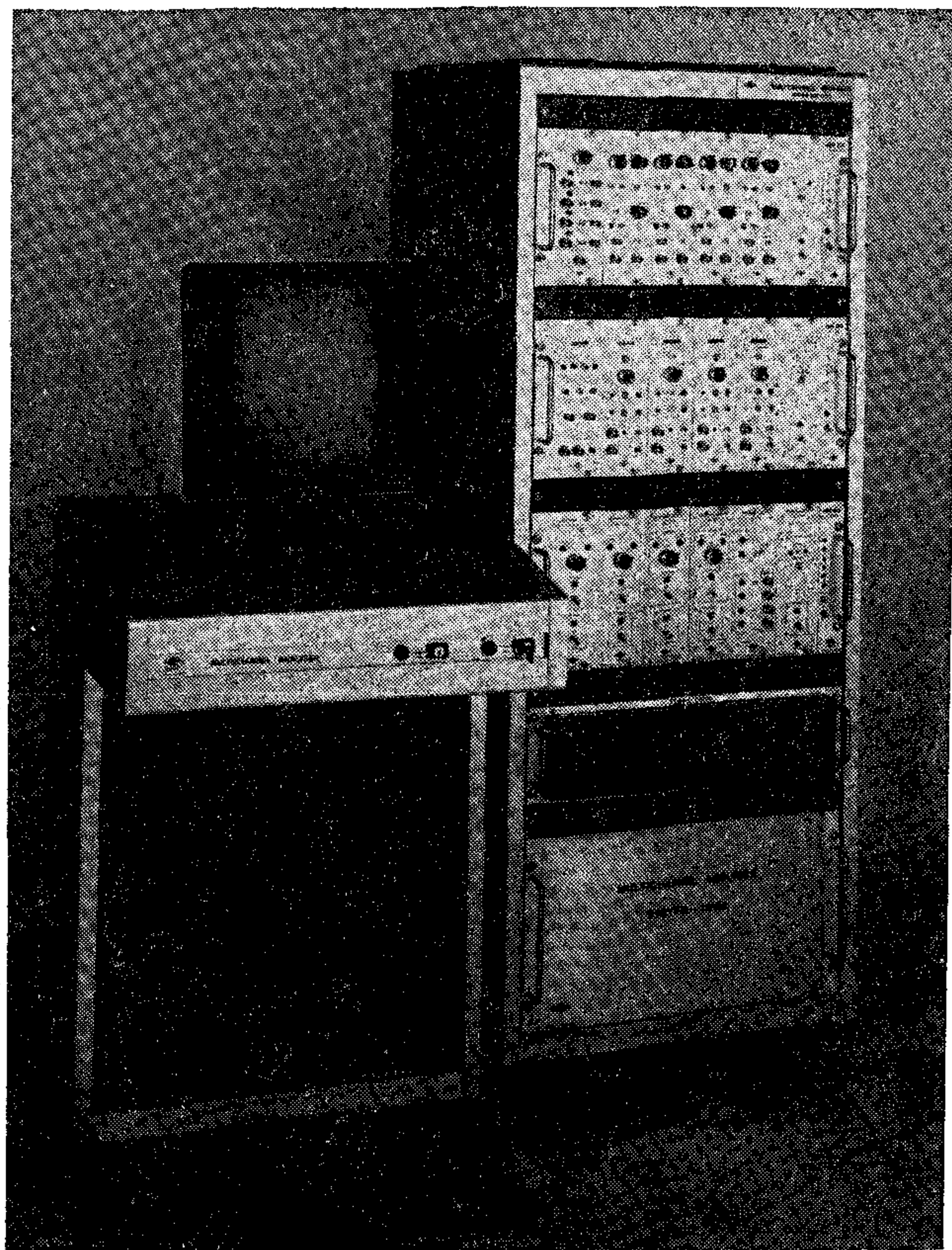
Az első csoportba tartoznak a hagyományos elektronikus mérőkészülékek: szinusz-, impulzus- és függvénygenerátorok, oszcilloszkópok, moduláció- és torzításmérők, sokcsatornás analízátorok.

A műszerek közül megemlíthetjük a 12 567 típusú programozható függvénygenerátort, mely a 0,01 Hz... 10 MHz közötti frekvenciatartományban biztosítja a funkciógenerátor alapjelek (szinusz, háromszög, négyszög, impulzus, fűrészfűrés) előállítását. A különböző indítási üzemmódok (TRIG, GATE, BURST, PLL×N, PLL+N), valamint a modulációs üzemmódok (AM, FM, LIN/LOG SWEEP, VCO) igen nagy szabadságot biztosítanak a szükséges jelalakok beállításához. INT X—TAL REF üzemmódban kristálypontosságú frekvencia-beállítás lehetséges. ARBITRARY üzemmódban tetszőleges jelforma beállítása lehetséges, a jelforma mágnesszalagon tárolható és visszaolvasható, a teljes jel vagy annak tetszőlegesen kiválasztott része visszajátszható. A beépített IEC 625 és RS 232C interfész teljes távvezérlést biztosít a készülék összes üzemmódjában.

A 79 815 típusú intelligens, mikroprocesszoros regisztráló készülék, amely számítógépek, programozható kalkulátorok, elektronikus mérőrendszerek grafikus perifériájaként alkalmas szerkesztett vagy számított ábrák, mérési eredmények, függvények feliratozott regisztrálására. Az A/3 papírméretre beállítható rajzolási felületre dolgozó készülék karaktereinek mérete, írásképe programozható: kétszínű rajzoláshoz tollváltással rendelkezik. Kezelését, használatát magasszintű paraméterállító és rajzoló utasítások segítik. Bemeneti 2 Kbyte kapacitású puffer tárral rendelkezik.

A készülék felbontóképessége 0,1 mm, holtzónája $\pm 0,2$ mm. Az interfészek (IEC 625, RS 232C és párhuzamos) elősegítik a rendszerekhez történő csatlakoztatást.

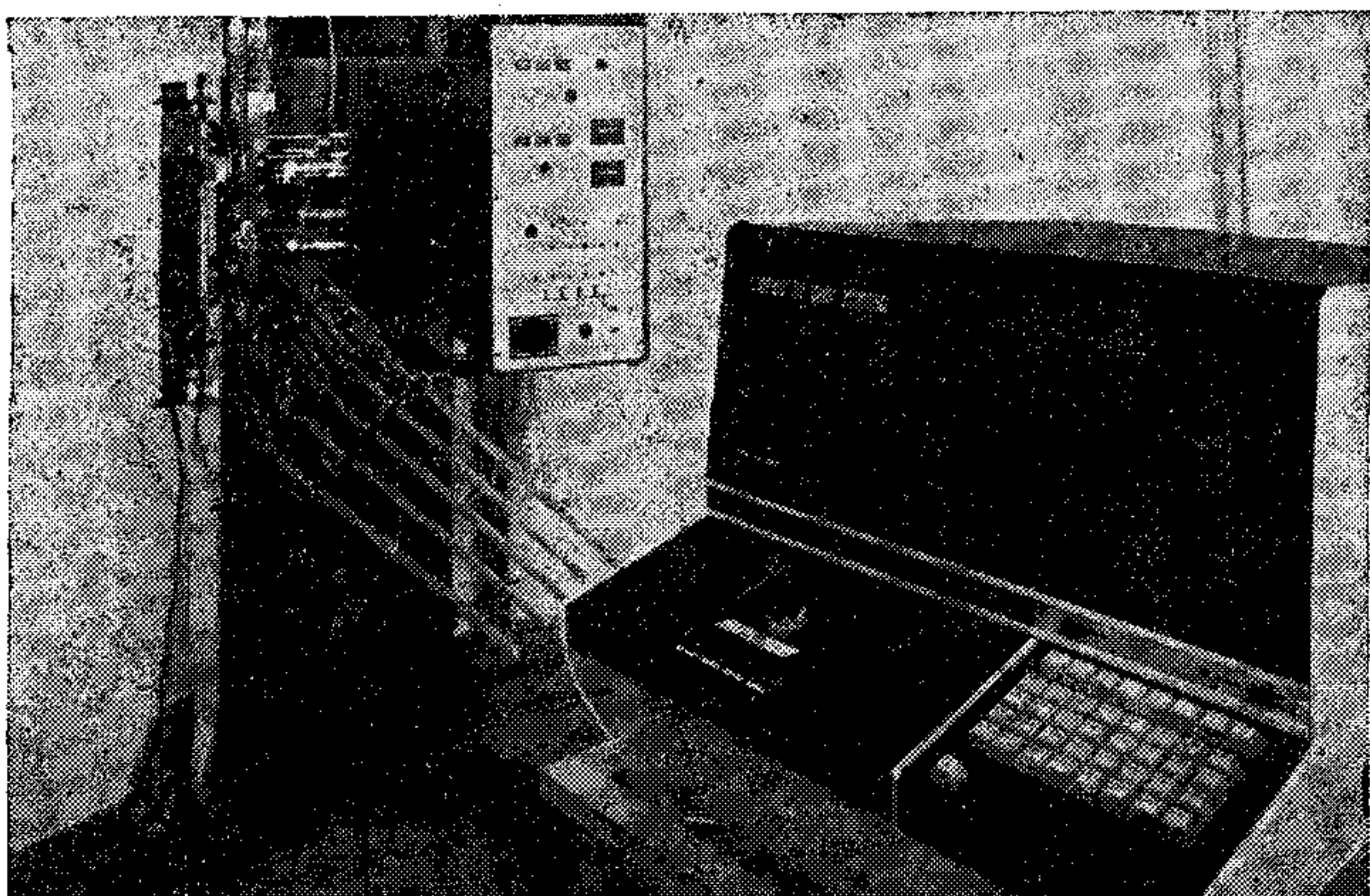
A 38 000 típusú sokcsatornás analízátor rendszer elsősorban a nukleáris fizika mérőeszköze, főleg gamma-spektrumok felvételére és feldolgozására szolgál. Ezenkívül jól használható minden olyan mérési folyamatnál, ahol nagy sebességgel sok adatot kell összegyűjteni és feldolgozni, pl. a neutron spektroszkópiában, röntgenspektroszkópiában, a biofizikában vagy a gépipari mérés technika egyes területein. A készülék 8192 csatornás adatgyűjtő tárral rendelkezik és négycsatornás impulzus-amplitúdó analízist, ill. nyolccsatornás multiscaler üzemmódot tesz lehetővé.



A rendszer 64 Kbyte ROM és 64 Kbyte RAM kapacitású tárral rendelkező adatfeldolgozó processzora analízátorspecifikus utasításokkal bővített BASIC nyelven programozható.

A második csoportot az elektronikai ipar technológiai mérőberendezései képezik. Ide a különböző félvezető vizsgáló készülékek, félvezető karakterisztika ábrázolók, jelanalizáló készülékek és mérőrendszerek tartoznak.

A 19 680 típusú lineáris IC vizsgáló rendszer nagysebességű, sokoldalú automatikus mérésre, osztályozásra és válogatásra szolgáló mérőrendszer. A mérhető lineáris IC eszközök nagy száma következtében a gyakorlatban előforduló vizsgálatok döntő többsége elvégezhető segítségével. A mérőprogramok írása a beépített billentyűzettel interaktív módon, rendkívül egy-



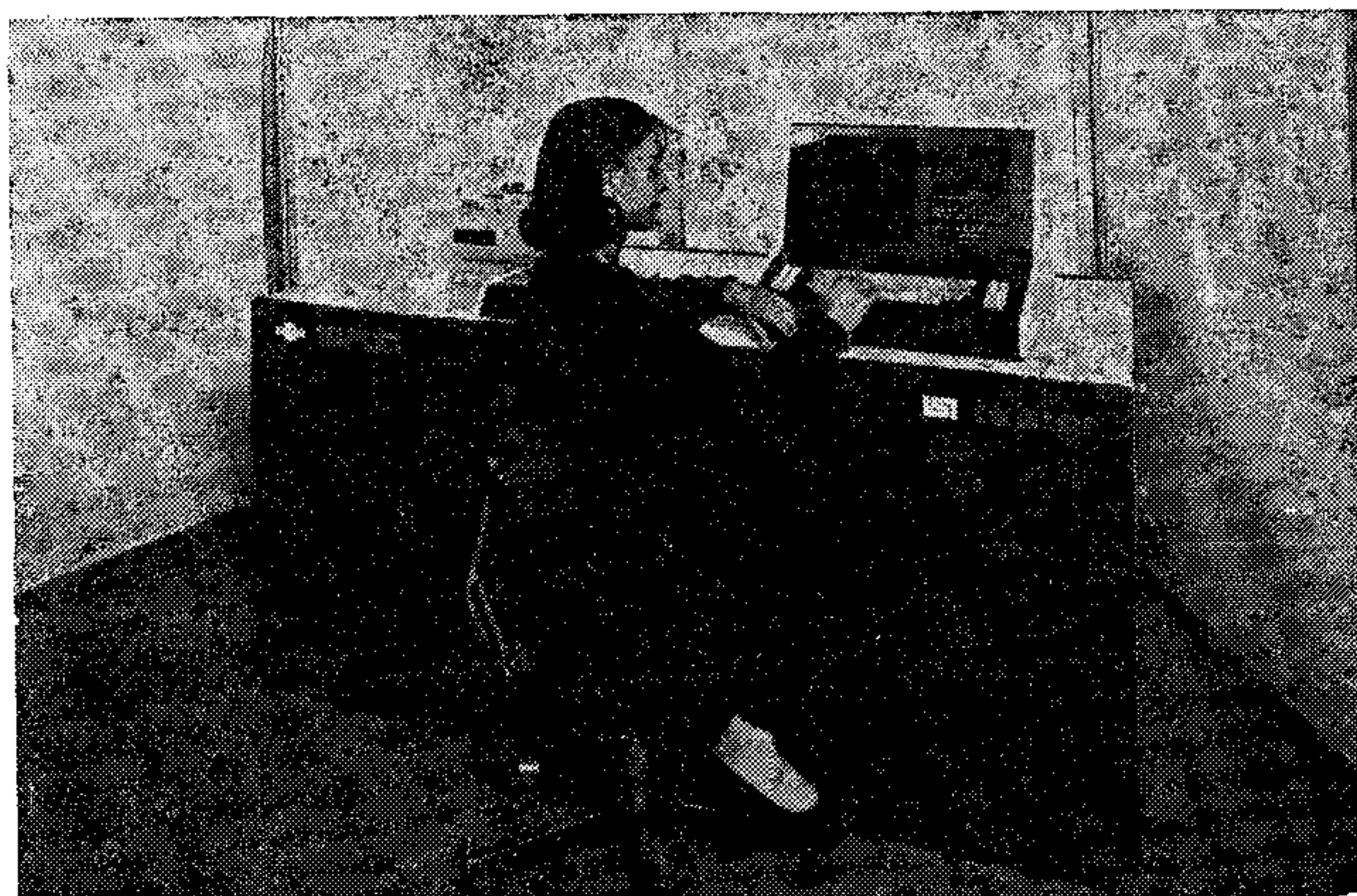
szerűen történhet, de a készülék számos gyárilag betöltött mérőprogrammal is rendelkezik. A mérési eredmények nagyméretű, jól olvasható kijelzőn jelennek meg, de a beépített interfész áramkörök segítségével külső berendezésekkel dokumentálhatók is. Sorozatvizsgálathoz adagoló is csatlakoztatható. A készülék a mért integrált áramköröket öt minőségi osztályba sorolja.

A 19 700 típusú digitális LSI, VLSI integrált áramkör mérő készülék alkalmas max. 64 kivezetésű digitális LSI integrált áramkörök worst case vizsgálatára, a DC paraméterek és a funkcionális működés ellenőrzésére 5 MHz tesztsebesség és 500 ps mérési idő-felbontás mellett. Diszkoperációs rendszer (DOS) alatt futó ATLSI magasszintű mérésorientált programnyelv teszi lehetővé a felhasználó számára az egyszerű programkészítést, valamint a hatékony önellenőrző és önHITELESÍTŐ tesztek futtatását. Az LSI memóriák vizsgálatánál mikroprogramozott pattern processzor állítja elő a nemzetközileg alkalmazott jelmintákat. Mérhető RAM 256 K×6 bit, ROM, BROM, EPROM, EAROM 64 K×8 bit. A katalógus LSI áramkörök, mikroprocesszorok, periféria chippek és a felhasználói (custom, semi-custom) eszközök flexibilis ellenőrzését speciális pattern processzor biztosítja. A mérőberendezés szabványos interfész felülettel, programokkal illeszthető CAD, CAT, CADMAT rendszerekbe. A készülék alkalmazható tokozott áramkörök vizsgálatára automatikus adagoló csatlakoztatásával, továbbá szeleten történő mérésre szeletmérővel, mind az integrált áramkörök gyártóinál sorozatvizsgálatra, mind a felhasználóknál a beérkező anyagok ellenőrzésére.

A karakterisztika ábrázolók közül megemlíjtjük a 1577 típusú digitális tárolású karakterisztika ábrázoló és analizáló rendszert. A teljesen újszerű felépítésű műszernél az analóg jelek (áramok, feszültségek) digitális leképzésével lehetőség nyílik azok korlátlan idejű tárolására, a tárolt adatok különböző csoportosítása révén különböző megjelenítési módokra (pl. két- vagy több eszköz karakterisztikájának együttes megjelenítésére különálló vagy közös koordináta rendszerben vagy egyes karakterisztikák egymás utáni megjelenítésére). A képernyőn egyidejűleg max. 16 görbe ábrázolható. Elektronikus tűrés mérő generátort és hálózati zavarmentesítőt is tartalmaz. Az alap mérőegységgel 1600 V-ig, ill. 16 A-ig, a nagyáramú mérőegységgel 1000 A-ig végezhető mérések. A félvezető eszközök bemeneti, kimeneti, ill. transzfer karakterisztikái egyaránt felvehetők.

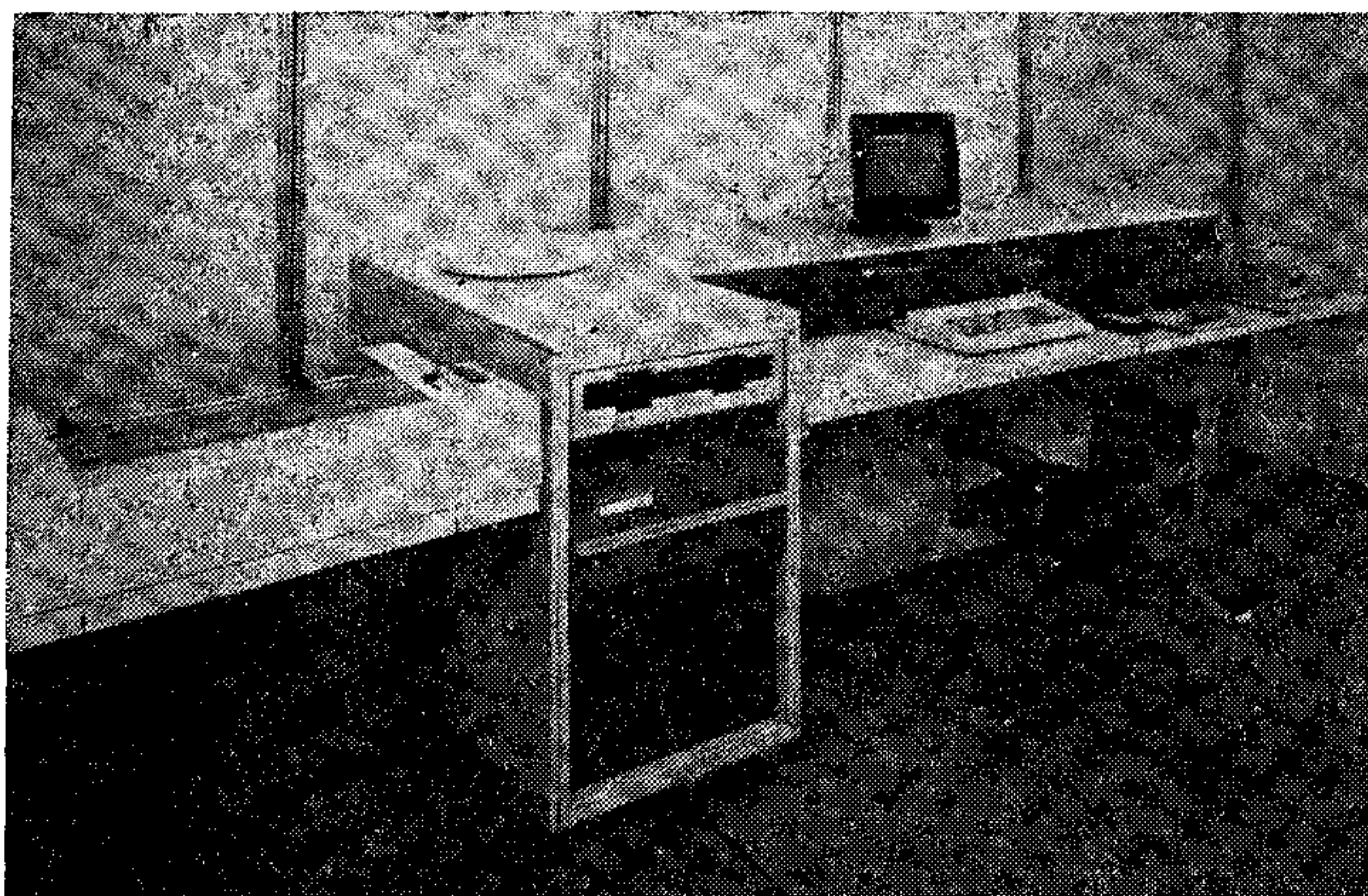
A mikro-, mini processzorok kombinációs és szekvenciális hálózatok, sin rendszerek vizsgáló készüléke az 19 690 típusú mikroprocesszoros logikai állapot analizátor. Segítségével a vizsgált rendszerek működése követhető, az esetleges hardware és software hibák könnyen megkereshetők, kiküszöbölhetők. A készülék a bemeneti impulzusfolyam kívánt szakaszát memorizálja, beépített display egységén megjeleníti mnemonikus alakban vagy idődiagramban. A legnépszerűbb mikroprocesszorokhoz opcionális bemeneti egységek állnak rendelkezésre (8080, 8085, Z80, 8086).

A 19 400 típusú in-circuit tester számítógéppel vezérelt mérőautomata a szerelt nyomtatott áramkörti kártyák ellenőrzésére szolgál. A berendezéssel in-circuit és korlátozott funkcionális vizsgálatok végez-



hetők. Az in-circuit vizsgálat során zárlat/szakadás ellenőrzés, hiányzó, hibás vagy helytelenül beültetett alkatrészek felderítése, az integrált áramkörök működőképességének ellenőrzése lehetséges. A vizsgált alkatrésznél a kapott eredmény közel független az áramkörben levő többi alkatrésztől: ezt védőáramkörök (guard), illetve az impulzusmérés (backdriving) tesztek lehetővé. A kiépítéstől függően legfeljebb 1024 analóg, vagy 960 digitális vagy 480 hibrid+32 analóg mérőpont mérhető; a maximális kártyaméret 330×432 mm. A mérés pneumatikus befogóban tűágy segítségével

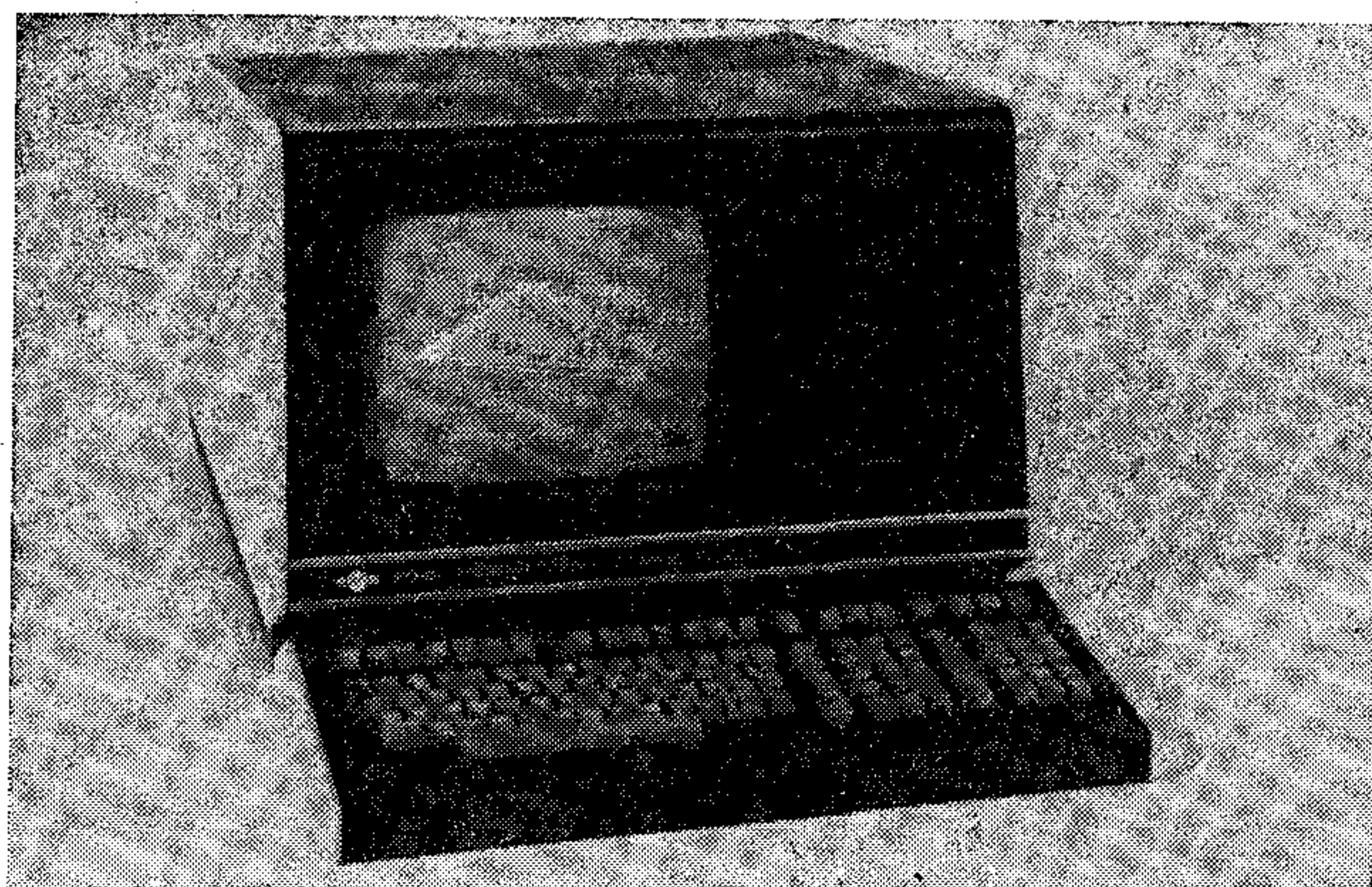
történik. A készülék a mérőprogramokat automatikusan állítja elő, míg saját működésének ellenőrzését önellenőrző programokkal végzi. A szerelt nyomtatott áramköri kártyák szükséges bemérési, javítási idejét, valamint költségét, az élőmunka ráfordítást a készülék alkalmazása nagymértékben csökkenti.



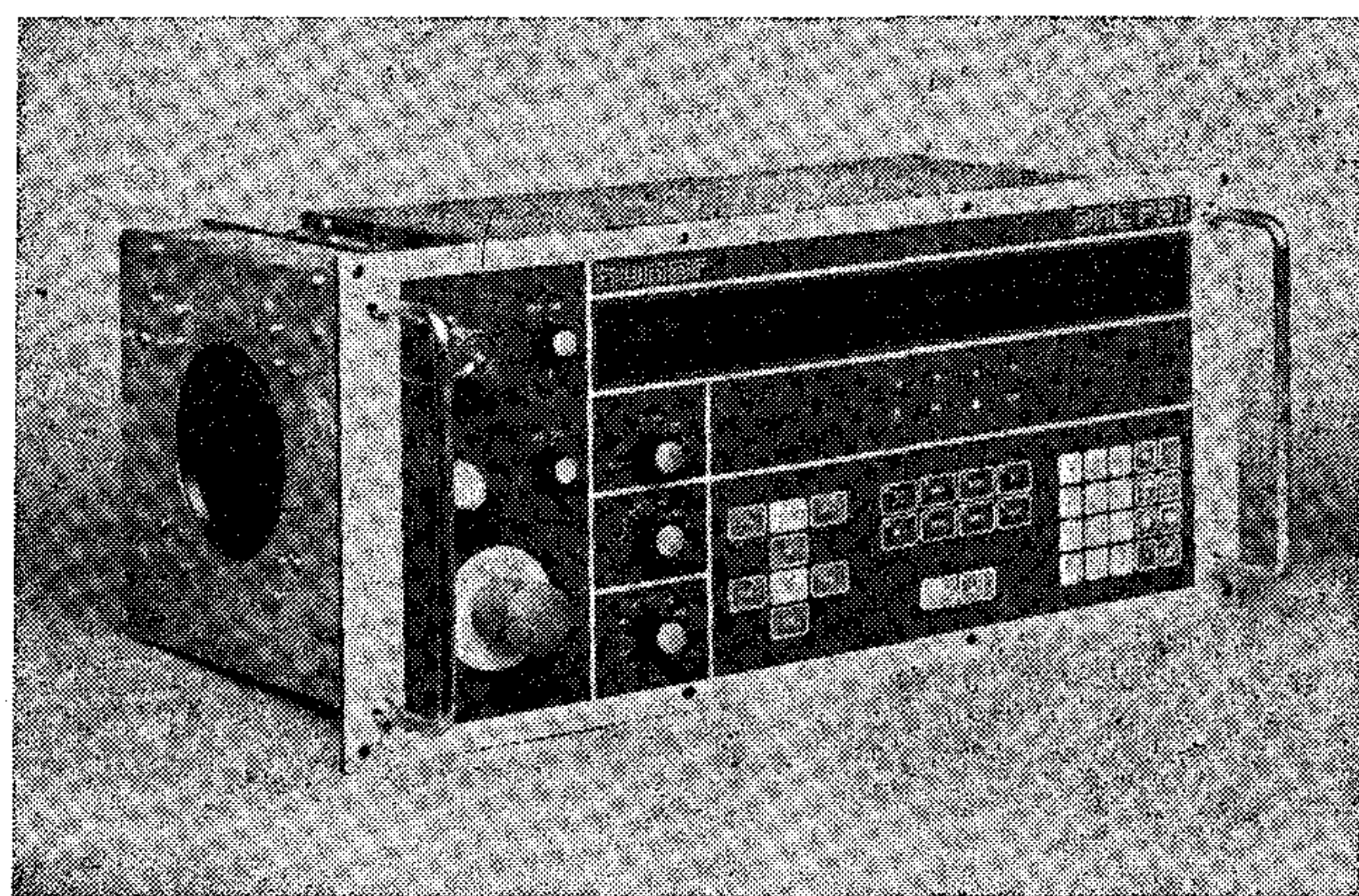
A harmadik csoportba tartozó berendezések alkalmazása a mérnöki munkák gépesítésére, igazgatási folyamatokban történő felhasználására terjed ki.

A 777 D típusjelzésű programozható grafikus számológép műszaki-tudományos számításokra, mérőrendszerek vezérlésére, közepes méretű adatfeldolgozásra és — grafikus bővítéssel — az előbbiekhöz kapcsolódó kétdimenziós grafikus feladatokra, függvények ábrázolására alkalmas. A készülék egy bitszelelt mikroprogramozott főprocesszort (AM 2901) és három INTEL 8085 perifériális processzort tartalmaz. A beépített perifériák: 31 cm képátlójú alfanumerikus-grafikus megjelenítő képcső, két mérőrendszer interfész. Külön kábelen csatlakozó írógépbillentyűzet és alfanumerikus grafikus szélesnyomtató. A készülék programozási nyelve kiterjesztett BASIC. A kiterjesztés fő irányai: filekezelés, mérőrendszer-vezérlést támogató utasítások, grafikus utasítások, mátrixkezelés, stringek kezelése, bővített függvény- és utasításkészlet.

A HUNOR mikroprocesszoros, a típustól függően 2—5 tengelyes, 0,01—0,001 mm-es pontosságot biztosító vezérlések alkalmasak különféle egyenáramú,



illetve aszinkron előtoló szervomotoros hajtásokkal ellátott szerszámgépek vezérlésére. Alapvető tulajdonságuk a kézi úton, tasztaturáról történő könnyű programozhatóság. Az egyes gépfajtákra (eszterga, maró, köszörű, élhajlító, törpe megmunkáló központ stb.) alkalmazott vezérlések, a beépített géporientált fixciklusok, geometriai számítások a pálya és szerszámkor-



rekció a vezérlés használatát nagyban megkönnyítik és szolgáltatásai alkalmazkodnak az alapgép technológiai igényeihez. A beépített alfanumerikus kijelző, a csatlakoztatható display, a lyukszalagról, magnetofonról vagy programelőkészítő egységről kiolvasott programok a vezérlés flexibilitását szolgálják.

Bármely alkalmazástechnikai kérdésben az EMG (837—950) készséggel áll felhasználóink rendelkezésére.

Csépe László



**ELEKTRONIKUS
MÉRŐKÉSZÜLÉKEK
GYÁRA**

1163 Budapest, XVI. Cziráky u. 26 - 32.

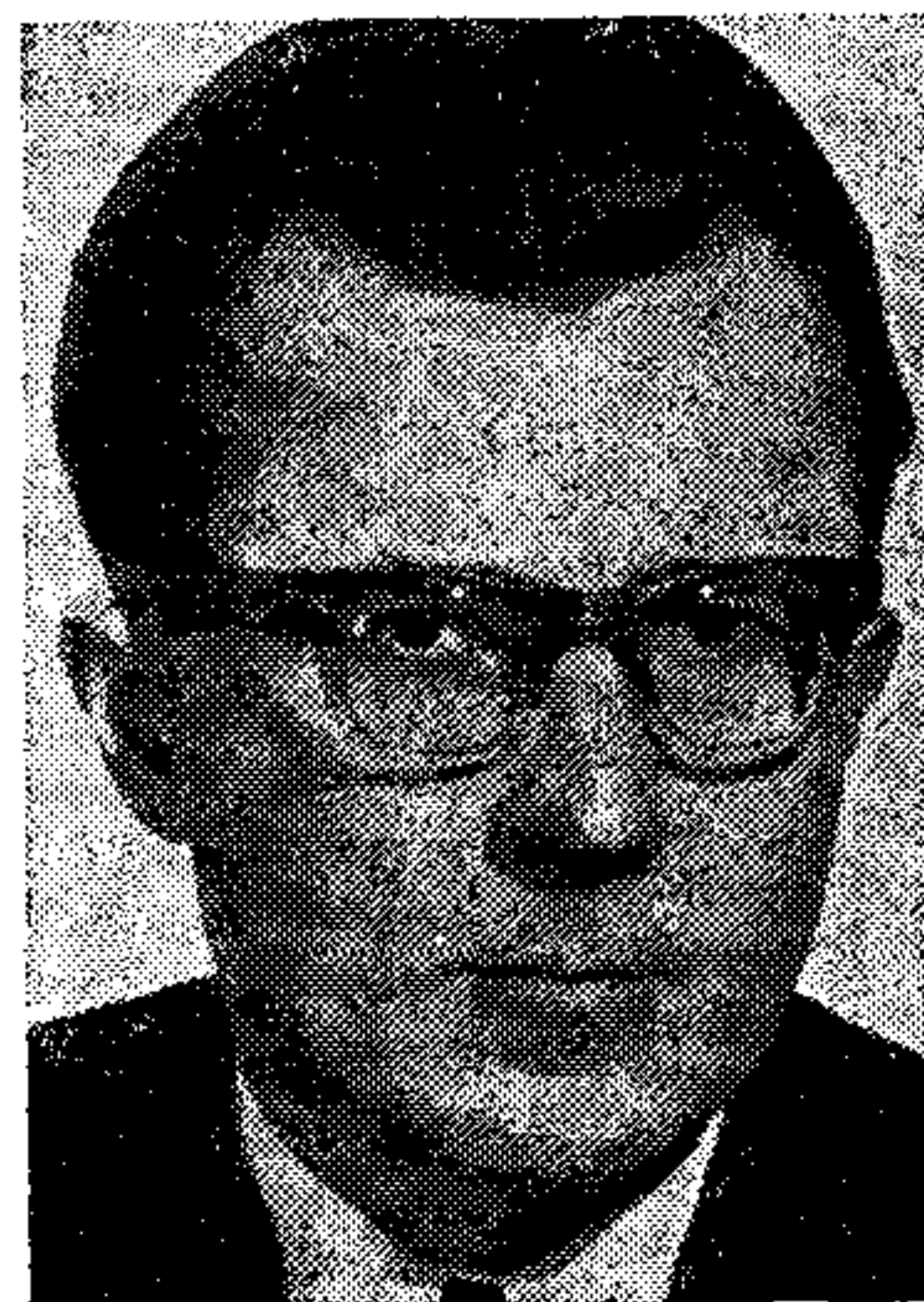
Telefon: 837 - 950

Telex: 22 - 4535.

A mikrohullámú sugárzás élettani hatásai

DR. SZABÓ D. LÁSZLÓ—DR. PREDMERSZKY
TIBOR

Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és
Sugáregészségügyi Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A Szerzők áttekintést adnak a mikrohullámú sugárzás élettani hatásai hazai kutatásának történetéről. Méltatják Almássy György érdemeit e kutatások feltételeinek megteremtésében. Összefoglalják saját, legfontosabb kísérleti eredményeiket. Korszerű kísérleti besugárzó-, mérő- és értékelő rendszert fejlesztettek ki. Csirkeembrión végzett kísérletekben fejlődési rendellenességet figyeltek meg atermális besugárzási szinteknél. Bizonyították, hogy 1 mW/cm^2 teljesítménysűrűség mellett emlős állatokon idegrendszeri hatás már nem mutatható ki (2450 MHz frekvenciánál).

A mikrohullámú sugárzás élettani hatásainak kutatása a világ néhány országában a két világháború között kezdődött el. A kísérleti kutató munkák eredményei a második világháborút követő években jelentek meg. Az 1948—1980 közötti időszak e témával foglalkozó legfontosabb eredeti közleményeit egy gyűjteményes kötetben a közelmúltban tették közzé [1]. Ilyen irányú kutatások hazánkban csak az 1960-as évek első felében kezdődtek el.

Ez időben kezdte el Almássy György támogatásával Masszi György a mikrohullámú sugárzások biológiai hatásának vizsgálatát [2]. Az elmúlt két évtizedben Masszi György és munkatársai ebből a témakörből több mint 30 szakközleményt jelentettek meg.

A sugárvédelem kérdéseivel ebben az időben Magyarországon Dióssy József és Predmerszky Tibor foglalkozott (3.4.). A munkahelyi sugárvédelmi mérések hazai megindítója és hosszú ideig vezetője, Vámos László volt. Tapasztalatait több, mint féltucat közleményben publikálta (elsősorban a Honvéddorvosban, Fizikai Szemlében stb.). Magyar nyelven eddig legteljesebb irodalmi áttekintést Pintér István közölte 1967-ben.

A műszaki közvélemény számára a mikrohullámú sugárzás és biológiai hatásait Almássy György Mikrohullámú Kézikönyvében írta le (1973).

A mikrohullámú berendezések széles körű hazai elterjedése a sugárvédelemmel intézményesen foglalkozó Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet (OSSKI) számára az 1970-es évek végére, mind ellenőrzési, mind kutatási szempontból feladatult adta a hazai munkahelyek és a környezet mikrohullámú sugárvédelmével való intenzívebb foglalkozást. A kutató munkában a kísérletes vizsgálatok elsősorban a mikrohullámú sugárzásnak a csirkeembrióra kifejtett hatásával foglalkoztak.

DR. SZABÓ D. LÁSZLÓ

1957-ben a Leningrádi Orvostudományi Egyetemen dokto-
rált. 1961-ig a Semmelweis
Orvostudományi Egyetem
Biokémiai Intézetében volt
tanársegéd. Azóta az Országos
„Frédéric Joliot-Curie”
Sugárbiológiai és Sugáregészség-
ügyi Kutató Intézet mun-
katársa, 1970 óta tudományos
osztályvezetője. Két évtizedes
ionizáló sugárbiológiai ta-
pasztalatait hasznosítva, 1980

óta vezeti a nemionizáló su-
gárzások (elektromágneses,
illetve lézer sugárzások) bio-
lógiai hatásaival foglalkozó
kutatásokat. Sugárbiológiai
és sugáregészségügyi szak-
orvos. Érdeklődése kiterjed a
nem-ionizáló sugárzások su-
gárvédelmi kérdéseire is. Ed-
dig mintegy 100 szakközle-
mény, számos monográfia,
ill. lexikonfejezet szerzője.
Több hazai és nemzetközi
tudományos szervezet veze-
tőségének tagja.

E vizsgálatok eredményeiről Szabó D. László és munkatársai a Magyar Biofizikai Társaság Vándorgyűlésén számoltak be 1979-ben. A kísérleti feltételek megteremtésében nagy szerepet vállalt Almássy György, akivel 1980-tól kezdve nagyon szoros együttműködés alakult ki.

Az OSSKI-ban végzett kísérletes kutatómunka jelentős külföldi visszhangot kapott 1981-ben a Győrött rendezett magyar—osztrák közös Sugárvédelmi Konferencián (5). Ezt követően számos hazai és külföldi szakmai fórumon számoltunk be a mikrohullámú sugárzások élettani hatásainak vizsgálataival foglalkozó kísérleteink eredményeiről.

Újabb magyar nyelvű összefoglaló 1982-ben jelent meg Almássy György és munkatársai tollából (6). A Budapesten megrendezett MICROCOLL-on nagy érdeklődéssel fogadták a külföldi kollégák is Almássy György előadását, amelyben beszámolt az addig végzett közös munkánk eredményeiről [7]. A Távközlési Kutató Intézet (TKI) és az OSSKI között kialakult szoros együttműködés igényes kísérletes kutatásokhoz nyújtott lehetőséget. Így tudunk bekapcsolódni a nemzetközi úrkutatási feladatok újabb témakörébe is. Kétoldalú kutatási együttműködés alakult ki a nem-ionizáló sugárzások biológiai hatásainak kutatásában az osztrák seibersdorfi Kutató Központtal [8].

Hosszas előkészítés és számos tervezet után megjelenés alatt van szakembereink által elkészített MSZ 16 260—85. számú szabvány, amely a nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzások munkahelyi és környezeti határértékeit rögzíti.

Almássy György segítségével megteremtett kísérleti feltételeink között elért *legfontosabb eredményeink:*

1. Kifejlesztettük a mikrohullámú sugárzás élettani hatásainak vizsgálatára alkalmas első hazai besugárzó-, mérő- és értékelő rendszert.

2. Kísérleteinkben csirkeembriókon kimutattuk, hogy 2450 MHz frekvenciánál a különböző korú embrió mikrohullámú sugárérzékenysége fordítva arányos az embrió életkorával.

3. Vizsgáltuk a mikrohullámú sugárzás hatását az idegrendszerre, aminek munkahelyi sugárvédelem szempontjából nagy a jelentősége. Azt találtuk, hogy 2450 MHz frekvenciánál 5 mW/cm² teljesítménysűrűség mellett a vizsgált elektrofiziológiai paraméterek egy része (EKG, impedancia stb.) jelentősen megváltozik, míg mások (EEG, testhőmérséklet stb.) nem változik meg. A vizsgált paraméterek egyike sem változik meg 1 mW/cm² teljesítménysűrűség mellett.

4. Vizsgálati eredményeink, amelyek egybevágóak számos jónevű külföldi laboratórium eredményeivel, jó alapot szolgáltatnak a hazai sugárvédelmi szabvány kidolgozásához [9], [10], [11], [12], [13].

5. Az elmúlt évek során végzett, nagyszámú munkahelyi és környezeti ellenőrző mérések adatainak értékelése, a vonatkozó nemzetközi irodalom átfogó feldolgozása és saját kísérleteink eredményei kellő alapot szolgáltatnak arra, hogy a hazai intézményes mikrohullámú sugárvédelmet az ionizáló sugárvédelemhez hasonlóan megszervezzük.

IRODALOM

- [1] Biological Effects of Electromagnetic Radiation. Edited by J. M. Osepchuk, IEEE Press, New York, 1983
- [2] Masszi György: Biológiai anyagok ion- és vízkötésének vizsgálata nagyfrekvenciás és mikrohullámú módszerekkel. Kandidátusi értekezés, 1973
- [3] Dióssy József: Műszeripari Kutató Intézet Közleményei, 1963
- [4] Predmerszky Tibor: Műszeripari Kutató Intézet Közleményei, 1963
- [5] Predmerszky, T., Ballay, L., Bölöni, E., Szabó, L. D., Vámos, L.: Investigations of Microwave Radiation Exposure Acta Physica Acad. Sci. Hung. 52, 479—486, 1982.



DR. PREDMERSZKY
TIBOR

1943-ban a budapesti Orvostudományi Egyetemen doktorált. Ekkor már kutató

munkát végzett. 1947-től tud. munkatárs az Orsz. Munkaegészségügyi Intézetben. 1963-tól az Orsz. „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézetben osztályvezető, 1966-tól 1984-ig igazgatóhelyettes, azóta tud. szaktanácsadó. 1980-tól az Orsz. Munkavédelmi Képző- és Továbbképző Intézetben a Munkaegészség-tan tanszékvezetője. 1961-ben kandidátusi, 1981-ben doktori tudományos fokozatot szerzett. Kutató munkája a különböző sugárzások biológiai hatására, az ellenük való védekezésre és az egészségi kockázat értékelésére irányul.

- [6] Almássy György, Szabó D. László, Ballay László: Mikrohullámú sugárzások biológiai hatásai. A TKI Közleményei, 27, 15—45, 1982.
- [7] Almássy, G., Szabó, L. D., Ballay, L., Bölöni, E.: Biological Aspects of Microwave Radiation Proc. of the Seventh Colloquium on Microwave Communication, vol. 1. 478—482, Budapest, 1982.
- [8] Die Kontrolle allfälliger Beeinträchtigungen der Gesundheit von Menschen durch nicht-ionisierenden EM-Strahlungen. II. Hochfrequenz- und Mikrowellenfelder im Frequenzbereich 10 kHz—3000 GHz. ÖFZS, 1—293, 1985.
- [9] Szabó L. D., Thuróczy Gy., Almássy Gy., Ballay L., Bodó M., Kubinyi Gy., Predmerszky T.: Mikrohullámú sugárzások élettani hatásai. HTE Mikrohullámú Szeminárium Közleményei, 349—352. 1985.
- [10] Pressman, A. S.: Electromagnetic Fields and Life. Plenum Press, New York, 1970.
- [11] Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation Edited by M. Grandolfo. Plenum Press, New York, 1983.
- [12] Nonionizing Radiation Protection. WHO Regional Publ. No. 10. Edited by M. J. Suess, Copenhagen, 1982
- [13] Proc. of US—USSR Workshop on Physical Factors—Microwaves and Low Frequency Fields. A Report by the National Institute of Environmental Health Sciences, May 1985.

СОДЕРЖАНИЕ

INHALT

CONTENTS

Д-р Петрик, О.:

Взаимодействия электроники и точной механики

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. No 6.

Статья дает краткий исторический обзор о развитии точной механики и электроники. Она определяет основные понятия тематики. Статья исследует взаимодействие двух областей, строящихся повидимому на разном физическом фундаменте. Она распространяется о тенденции уменьшения размера, о решении микропривода и об определяющем значении точной механики в производстве электронных деталей.

Д-р Марко, С.:

Исследование и разработка ферритовых материалов и приборов СВЧ

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. No 6.

В статье дается краткий обзор о проводимой в Институте Дальней Связи (ТКИ) деятельности в области НИР и ОКР пассивных и активных ферритовых приборов (клапаны, циркуляторы, гироманитные YIG фильтры и т. д.), а также ферритовых материалов СВЧ, включая их измерения. Описывается история и важнейшие результаты этой деятельности, а также представляются соображения о будущих планах.

Д-р Кендереш, М.:

Новые направления в измерительной технике СВЧ

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. No 6.

Техника измерения в диапазоне сверхвысоких частот играет все более важную роль в области научно-исследовательских работ и производства.

Область ее применения также развивается в промышленности и лечении. По этому сама измерительная техника СВЧ развивается быстро, появляются новые средства и методы. Важным результатом развития техники измерительных приборов является применение цифрового управления. Вследствие этого повысилась точность и скорость измерений, открывалась возможность перед автоматизацией измерений, что в своей очереди уменьшила стоимость измерения. В статье описываются некоторые новые методы измерения для реализации этих новых принципов. В заключение рассматривается применение техники измерения СВЧ для промышленных и медицинских целей.

Д-р Барани, А.:

Моделирование полупроводниковых приборов СВЧ

в режиме большого сигнала

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. No 6.

В статье рассматривается моделирование транзисторов СВЧ в режиме большого сигнала с описывающими функциями с двумя входами. Излагаются разработанные для измерения описывающих функций методы, калибровка системы измерения и коррекция ошибок измерений. После этого представляется применение предлагаемой модели для проектирования усилителей мощности СВЧ, испытания стабильности усилителей и передачи модуляции.

Д-р Сабо Д. Л. д-р Предмерски Т.

Физиологические эффекты микроволновых излучений

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. No 6

Авторы сообщают об истории изучения физиологических эффектов микроволновых излучений в Венгрии. Пишут о роли профессора Г. Алмаша в

создании условий экспериментальных работ. Кратко сообщают о своих самых значительных результатах. Разработана первая в Венгрии система, в которой можно облучать животных, измерять изменения показателей и оценить результаты. В экспериментах на куриных эмбрионах авторы находили тератогенные извращения при нетепловых уровнях микроволновых излучений. Доказано, что при мощности 1 мВ/см^2 микроволны на исследуемые параметры (ЭКГ, ЭЭГ, импеданс и т. д.) не действуют (если частота 2450 МГц).

Д-р Тарнай, К.:

Повышение квалификации инженеров-конструкторов для конструкции и применения интегральных схем по заказу

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. № 6.

В статье описываются целевые установки, учебный материал, методы и опыты обучения курсов для повышения квалификации, текущих с 1982 года.

Применение автоматов для проектирования в электронике

Чургаи, А.—Рошка, Т.—Абош, И.—Балинт, Л.—Радвани, А.—Солгаи, П.—Шароши Й.—Варади И.

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. № 6.

Повышение сложности электронных деталей позволяет новые пути электронизации в промышленности, в нашей стране в электронике. Но, огромные проблемы являются в методах проектирования. В статье представлены несколько принципов решения этих проблем и различные экспериментальные результаты. Один из этих является система «РС ТРМ», которая базируется на ЭВМ «ИБМ ПЦ» и был уже проведен в промышленности.

Д-р Каша, И.:

Деловая деятельность Дьердь Алмаша

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1986. № 6.

Дьердь Алмаш (1919—1984) начиная с 1950 года руководил научно-исследовательской и опытно-конструкторской работой в области техники измерения СВЧ, и после этого принял участие в обосновании деятельности т. н. КПК (конструирование, производство, контроль). В профессиональной общественной жизни, помимо многочисленных других поручений, он является генеральным секретарем Общества Техники Связи. В Будапештском Политехническом Институте, а также и в других высших учебных заведениях он содействовал в обосновании знания молодых инженерных поколений. В статье хотелось бы дать краткий обзор об основных чертах деловой деятельности Дьердь Алмаша обосновав перечнем написанных его книг и литографированных лекций и статьей, а также заявленных патентов

Dr. Ing. Petrik, O.:

Wechselbeziehungen zwischen Elektronik und Feinmechanik

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

Der Aufsatz gibt zuerst einen kurzen, historischen Überblick der Entwicklung von Feinmechanik und Elektronik. Dann werden die Wechselbeeinflussungen von diesen zwei virtuell verschiedenen physikalischen Grunde aufgebauten Gebiete grundsetzlich untersucht. Man studiert insbesondere den Miniaturisierungstendenz, die Lösung des Mikromanipulators und zuletzt die bedeutende Rolle der Feinmechanik in der Herstellung der mikroelektronischen Bestandteilen (Stromkreisen).

Dr. Markó, Sz.:

Über die Entwicklung und Forschung im Bereich der Mikrowellen-Ferriten und Ferrit-Bauelementen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

In der Arbeit wird es über die in Ungarn, im Forschungsinstitut für Fernmeldewesen auf dem Gebiet von den modernen Mikrowellen-Systemen und Einrichtungen unentbehrlichen passiven, non-reziprok Ferrit-Bauelementen (Isolatoren, Zirkulatoren, giromagnetischen (YIG) Filtern, usw.) und im Bereich von den Mikrowellen-Ferriten und in deren messtechnischen Beurteilung ausgeübten Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, weiterhin über deren Kurzgeschichte, wichtigsten Ergebnisse und über die Zukunfts-Pläne berichtet.

Dr. Kenderessy, M.:

Neue Trends der Mikrowellen-Messtechnik

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

Die Mikrowellen-Messtechnik spielt eine zunehmende Rolle in der Entwicklung, in der Produktion, und hat einen ständig grösser werdenden Anwendungsbereich in der Industrie und in der Therapie. Wegen der Vielfältigkeit des Einsatzbereichs erscheinen immer wieder neue Geräte und Verfahren. Als eine von den wichtigsten Errungenschaften gilt der Einsatz von der digitalen Steuerung. Dadurch hat man höhere Messgenauigkeit und Geschwindigkeit erreicht

und die hat auch automatische Messungen ermöglicht, die die Mess-Kosten weiter reduziert haben. Die Arbeit berichtet über einige neuen Verfahren zur Verwirklichung der beschriebenen Prinzipien, und zum Schluss beschreibt auch einige industriellen- und medizinischen Anwendungen.

Dr. Baranyi A.:

Modellierung der Hochsignalmikrowellenbauelementen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

Die Artikel beschäftigt sich mit der Modellierung der Hochsignalmikrowellentransistoren durch Zweitorbeschreibungsfunktionen. Es bietet ein Verfahren für die Messung der Beschreibungsfunktionen, für die Kalibrierung des Mess-Systems und für die Korrigierung der Messfehler an. Das Modell wird für die Entwicklung des Mikrowellenleistungsverstärkers verwandt. Die Stabilität und die Modulationsübertragung des Verstärkers wird auch übergeprüft,

Dr. Szabó L.—Dr. Predmerszky, T.:

Die physiologischen Wirkungen der Mikrowellenstrahlungen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

Die Verfasser geben einen Überblick der Geschichte der Forschung der physiologischen Wirkungen der Mikrowellen in Ungarn. Sie würdigen das Verdienst Georg Almássy's in der Verwirklichung der Vorbedingungen zur Forschung. Sie haben die wichtigsten experimentellen Ergebnisse zusammengefasst: es wurde ein modernes Bestrahlung-Mess- und Auswertung-System entwickelt; eine teratogene Wirkung zeigte sich an den Hühnerembryos, die mit 2450 MHz Frequenz bei athermalen Verhältnissen bestrahlt wurden; es wurde bewiesen, dass 1 mW/cm^2 Leistungsdichte auf das Nervensystem keine Wirkung ausübt.

Dr. Tarnay, K.:

Postgraduate education of design engineers for integrated circuit design and application

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

The paper informs about the aims, topics, education methods and results of the since 1982 running postgraduate course.

Csurgay, A.—Roska, T.—Abos, I.—Bálint, L.—Radványi, A.—Szolgay, P.—Sárosy, J.—Váradi, I.:

Die Verwendung der Automaten in dem Entwurf von Elektronik

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

Die Steigerung der Komplexität der elektronischen Bauelemente öffnet neue Wege für die Industrie, besonders für elektronische Industrie, die breite Anwendung der elektronischen Technologie zu verwirklichen. Sobald aber fundamentale Probleme kommen hervor in der Methodologie der Entwurfes. Einige Ideen diese Probleme zu lösen und einige experimentale Ergebnisse sind in dieser Artikel gezeigt. Eine der Letzten (PC/TPM) war in die Industrie schon eingeführt mit der Hilfe der IBM PC (oder kompatibel) Personal Computer.

Dr. Kása, I.:

Fachtätigkeit von György Almássy

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

György Almássy (1919—1984) war Leiter der mikrowellentechnischen Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Forschungsinstitut für Fernmeldetechnik (TKI) seit 1950 und beteiligte sich an der Begründung der Tätigkeit auf dem Gebiet „Entwurf, Fertigung und Prüfung“. Im wissenschaftlichen Leben betätigte er sich, neben vielen anderen Aufträgen, als Generalsekretär des Wissenschaftlichen Vereins für Nachrichtentechnik. Er trug zur Schaffung neuer Wissensgrundlagen für die jüngeren Ingenieurgenerationen an der Technischen Universität und anderen Institutionen des Hochschulwesens bei. Dieser Artikel möchte einen kurzen Überblick über die wichtigsten Züge der Fachtätigkeit von György Almássy geben und versucht sie zu dokumentieren. Aus diesem Grund enthält der Artikel das Verzeichnis seiner Bücher, Zeitschriftenartikel und Patente.

Dr. Eng. Petrik, O.:

Interactions between the electronics and the precision mechanics

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

The paper gives first of all a brief survey about the development both of the precision machinery and the electronics. Then will be the connections between these apparently physical different structured field thoroughly investigated. It will be afterwards the miniaturisation tendency, the solution of the microinch actuators and the important role of the precision mechanics in the production of the microelectronic circuits (elements) in particular studied.

Dr. Markó, Sz.:

Research and Development of Microwave Ferrites and Ferrite Devices

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. No 6.

The paper gives account of the research and development activity carried out in the Research Institute for Telecommunication, Hungary in the field of the passive, nonreciprocal ferrite devices (isolators, circulators, gyromagnetic (YIG) filters, etc.) indispensable to the up-to-date microwave systems and instruments as well as in the field of microwave materials and their measurements. The brief history, the main achievements, and the future trends of this R/D activity are shortly dealt with in the paper.

Dr. Kenderessy, M.:

Novel trends in microwave measurements

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. No 6.

Industrial and medical procedures frequently call for microwave measurements, resulting in a high development rate of methods of measurements and in the appearance of new technical devices. The advent of digitally controlled microwave instrumentation resulted in better accuracy, higher measurement speed and in the realization of automatic measurement systems, with a consequent reduction of measurement costs. A few examples characterizing these trends are presented, and the application of microwave techniques in the industrial and medical environment is outlined.

Dr. Baranyi, A.:

Modeling large signal microwave devices

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. No 6.

Modeling of large signal microwave transistors by two-port describing functions is presented. The method for measuring the two-port describing functions, the calibration of the measuring system and the error correction procedure are outlined. Finally, the proposed model is applied to design microwave power amplifiers and to investigate the stability and modulation transfer function of amplifiers.

Dr. Szabó L.—Dr. Predmerszky T.:

Physiological effects of microwave radiation

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. No 6.

The authors reviewed the history of the research of the physiological effects of microwaves in Hungary. They commemorated the merit of Georg Almásy as the establisher of the research facilities. They summarised their most important experimental results: it was developed a modern irradiation-measuring-

and evaluating system; they observed teratogenic effects in experiments performed on chick embryos at the frequency 2450 MHz at athermal level; they verified on mammals that no effects can be estimated on the nervous system at the power density of 1 mW/cm².

Dr. Tarnay, K.:

Weiterbildung von Entwurf-Ingenieure für den Entwurf und Anwendung von Kundenschaltschaltungen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. Nr. 6.

Die Ziele, das Unterrichtsmaterial, die Unterrichtsmethoden und die Erfahrungen der seit 1982 laufenden Weiterbildung werden erörtert.

Cyurgay, A.—Roska, T.—Abos, I.—Bálint, L.—Radványi, A.—Szolgay, P.—Sárossy, J.—Váradi, I.:

The use of automata in the electronic design

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. No 6.

The steady increase of the complexity of electronic devices open new ways for the industry, especially for the electronic industry, in the wide range application of electronic technology. At the same time, tremendous difficulties arise in the design methodology. Some ideas to overcome these problems are presented and some experimental results are shown in the paper. One of these (PC/TPM) has been introduced in the industry using an IBM PC compatible personal computer.

Dr. Kása, I.:

The Professional Activity of György Almásy

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1986. No. 6.

György Almásy (1919—1984) directed the microwave measurements R&D in the Research Institute for Telecommunications (TKI) since 1950. Later his responsibility was to establish the complex design-manufacturing-testing activity in the TKI. He was the General Secretary of the Hungarian Scientific Society for Telecommunications as well as respected member of several professional societies. As a professor of the Budapest Technical University he made considerable contribution to the professional education. The paper provides a short survey of the professional activity of György Almásy and contains the list of his books, lecture notes, papers and patents.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Tófalvi Gyula. Szerkesztőség címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 531-027. Kiadja: a DELTA Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató leányvállalat, Budapest, Garay u. 5. 1442. Telefon: 215-440. Felelős kiadó: Dr. Varga György igazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási Irodánál (HELIR, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a HELIR 215—96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 180 — Ft egész évre 360,— Ft. Egyes szám ára 30,— Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: a „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H—1389 Budapest, Postafiók 149. és a Magyar Média, 1392 Budapest, Pf. 279. 86-253.

HU ISSN 0018—2028

Index: 25 375

85-1762—Szegedi Nyomda. Felelős vezető: Surányi Tibor igazgató