



**A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA**

**XXXVI. évfolyam
B U D A P E S T**

1985

9

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXVI. évfolyam 1985. 9. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXI. évfolyam 1985. 9. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

III. évfolyam 1985. 9. szám

Felelős szerkesztő:

DR. TÓFALVI GYULA

Szerkeszti a szerkesztő bizottság

A szerkesztő bizottság elnöke:

HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:

ANGYAL LÁSZLÓ

MÉREY IMRÉNÉ

SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ

*

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

HTE

Rovatvezető: Mérey Imréné

Dr. Flesch István

Forintos György

Gál Ferenc

BHG

Rovatvezető: Angyal László

Tudományos szerkesztő: Dr. Frajka Béla

Bernhardt Richard, dr. Elsler Péter,

dr. Gosztony Géza, dr. Kerpán István, Klug

Miklós, Laczkó Endre, Sztalos Ákos

MEV

Rovatvezető: Kászonyi László

Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz

Balogh Albert, Csornai László, Czermann

Mihály, Hidas György, Huszka Zoltán,

dr. Ligeti Róbertné, dr. Mátay Géza,

dr. Motál György, Schödl Ervin

ORION

Rovatvezető: Jakubik Béla

Tudományos szerkesztő: Dr. Frigyes István

Csernoch János, Froemel Károly, Szabó

Károly, Szász Gerő

REMIX

Rovatvezető: Rippel Géza

Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz

Balanyi Szilveszter, Bodnár László, Kovács

Gyula, Mészáros Sándor, Molnár László

TKI

Rovatvezető: Dr. Baranyi András

Tudományos szerkesztő: Dr. Lajtha György

Dr. Henk Tamás, Dr. Kása István, Megyesi

Csaba, Dr. Sárkány Tamás, Dr. Simonyi Ernő

TERTA

Rovatvezető: Bánsághi Pál

Tudományos szerkesztő: Dr. Gordos Géza

Baján Tibor, Benedek Elek, Kovács Oszkár,

Hutter Mihály

*

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

ROVATOK

Egyesületi élet

Rendszertechnika

Kapcsolástechnika

Vezetékes technika

Fénytvádközlés

Vezeték nélküli technika

Adástechnika

Vételtechnika

Mikroelektronika

Alkatrésztechnika

Hálózatelmélet

Elektromágneses problémák

ROVATGAZDÁK

HTE (H)

TKI (□)

BHG (#)

TERTA (↔)

ORION (*)

MEV (Λ)

REMIX (Δ)

ROVATTÁRSÁK

BEAG

BME

BRG

EMO

El. szöv.

FMV

GAMMA

HTSZ

HAGY

HTV

KONTAKTA

KŐPORC

KFKI

M. Posta

ML

MM

MFKI

TUNGSRAM

DR. VALKÓ IVÁN PÉTER:

Új tranzisztorok 385

Popov-Konferencia Moszkvában 393

DR. KÓCZY T. LÁSZLÓ:

Tárolt programvezérlésű telefonközpontok operációs rendszere 394

DR. BARTOLITS ISTVÁN:

Az 5ESS-PRX rendszere 406

14. Nemzetközi Televízió Szimpózium, Montreux 1985 413

KENDROVICS ÁGNES—DR. KOVÁCS JÁNOS—

DR. SZABÓ ZOLTÁN:

16-QAM modulátorok és demodulátorok 414

A Hannoveri Vásárról dióhéjban 419

A Világ Hírközlési Fórum Speciális Ülése 420

Könyvismertetés 421

ELEKTRONIKA Átviteltechnikai Szövetkezet:

ET—110 átviteltechnikai mérőhely 422

Tartalmi összefoglalások 431

Új tranzisztorok

DR. VALKÓ IVÁN PÉTER
BME Elektronikus Eszközök Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk új, nagysebességű tranzisztorok egy fajtáját ismerteti. Az alapanyag galliumarzenid, amelyben az elektronok mozgékonyasága jóval nagyobb, mint szilíciumban. Ezt már korábban is kihasználták mikrohullámú GaAs térvezérlésű tranzisztorokban. Nem adalékolt anyagban még nagyobb a mozgékonyaság, de kevés a mozgásképes elektron. Vékony réteggel megfelelően kialakított heteroátmenet azonban elektronban feldúsult csatornát hoz létre a nem adalékolt GaAs felületén. Az elektronok potenciálvölgyben vannak, csak az átmenettel párhuzamos síkban mozoghatnak. Ezen az elven a MOS tranzisztorokhoz hasonló működésű diszkrét eszközöket és integrált áramköröket alakítanak ki, amelyek különösen 77 K hőmérsékletre lehűtve igen gyors működésre képesek. Heteroátmenettel egyéb érdekes kísérleti eszközök is készülnek.

Nagy sebességigény

Volt egy időszak — a 70-es évek elején — amikor úgy tűnt, hogy a tranzisztor rohamos fejlődése átmegegy a beérésbe. Valahogy úgy, mint a vevőcső pályája az 1930-as évtizedben: a jellegzetes típusok kialakulnak, az alaptechnológiák szintén. Következik a finom részletek aprómunkája. A nagy változások pedig áthúzódnak az elektronika szomszédos területeire.

Az újabb évtized, a 80-as, azután rácsfolt erre a hitre. Megint felgyorsult az iram; egyre-másra jöttek a közlemények új tranzisztorfajtákról.

Hogy a félvezető fizikában még lappangtak ki nem használt lehetőségek, az természetes. Hogy a technológia folytonos tökéletesedésével ezek elérhetőbbek lettek, az is érthető. De persze ez nem lett volna elegendő, ha nem lép fel a gazdaság részéről is egy új ösztökélő igény. Ez az igény a korábbiaknál gyorsabb eszközöket sürgetett, részben mint kapcsolókat, részben mint mikrohullámú erősítőket.

A komputerok sebessége, amit a ciklusidővel, az egy egyszerű részműveletre jutó átlagos idővel szokás kifejezni, eleinte nagyon gyorsan fejlődött. Eljutott odáig, hogy egyes csúcstípusok — például a Cray 1 — már másodpercenként egymás után 100 millió műveletet voltak képesek végezni. És ha akadtak is feladatok, pl. a meteorológiában, amelyekhez ez sem volt elegendő — kínálkozott más megoldás. Ez volt az új felépítési rendszer: több párhuzamosan dolgozó, de egymással kommunikáló logikai egység, amely egyszerre foglalkozik egy nagyobb probléma egyes részfeladataival.

Amióta azonban a „szuperkomputer” az emberi észjáráshoz alkalmazkodó, a bonyolult folyamatokat „valódi időben” áttekinthető számítógép lett az új célkitűzés, már a Cray ciklusideje sem elég rövid. A fejlesztők legalább egy nagyságrenddel tovább szeretnék jutni.

Beérkezett: 1985. IV. 3. (A)

DR. VALKÓ IVÁN PÉTER

1935-ben Stuttgartban szerzett fizikusmérnöki oklevelet. 1952-ben a műszaki tudományok kandidátusa, 1963-ban a műszaki tudományok doktora, 1979-ben a Drezdai Műszaki Egyetem tiszteletbeli mérnök-doktora lett. 1936-1949 között az Egyesült Izzó Kutatólaboratóriumában, 1949-1952 között a Távközlési Kutató Intézetben dolgozott. Részt vett az Állami Műszaki Főiskola megalapításában és vezette annak Híradástechnikai Tagozatát. 1952-től 1982-ig a BME oktatója volt, előbb

a Vezetéknélküli Híradástechnikai Tanszék docense, majd 1957-1977 között az Elektronikus Eszközök (régebben Elektromoscsövek és félvezetők) Tanszék vezetője. 1963-ban lett egyetemi tanár. 1953-1972 között a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet elektronikus laboratóriumát is vezette. Előbb akusztikával, majd elektroncsövekkel, később félvezető eszközökkel és integrált áramkörökkel foglalkozott, számos publikációja és öt szakkönyve jelent meg. Jelenleg az MTA Vákuumtechnikai és Elektronikus Eszközök Bizottságának elnöke.

Mit is jelent ez? A gép működését a ciklusidővel jellemzik, az elemi eszköz, a tranzisztor (vagy tranzisztorpár) működését pedig a be- és kikapcsolási tranziens idővel, illetve az ezek átlagának nagyjából megfelelő „terjedési késéssel”. A két fogalom között nincs teljes korreláció: egyik különböző egyedi eseménysorozatokból képzett statisztikus átlag, a másik fizikai összefüggésekből és anyagi-geometriai jellemzőkből következik. A gyakorlat mégis ad valami fogódzót: úgy tűnik, a terjedési késés minimális elérhető értéke közel két nagyságrenddel kisebb, mint a megfelelő kapcsolóelemeket alkalmazó és megfelelő felépítésű gép ciklusideje. Eszerint a számítástechnika új igénye olyan tranzisztor, amely a kapcsolás műveletét 10 ps (10^{-11} másodperc) nagyságrendben teljesíti.

Változás következett be a mikrohullámú technikában is. A mikrohullámú összeköttetések „klasszikus” korszaka elsősorban a 2-6 GHz frekvenciatartományt használta fel, mellette árnyékképletét élte a 10-15 GHz-es tartomány. Az ennél nagyobb frekvenciák más területen (pl. magfizika) kerültek alkalmazásra. Amint azonban az utóbbi években a távközlési műholdak fejlődésével aktuálissá vált a műholdas műsorszórás, fellángolt az érdeklődés a 30 GHz-nél is nagyobb, milliméteres sáv iránt, talán 80 GHz-ig.

A két terület igénye tehát hasonló.

Konstrukcióban azonban jelentős az eltérés a kétféle alkalmazástól függően. Ennek az egyik oka az, hogy a töltéstárolási jelenségek egészen más fontos-

ságúak a digitális logika nagyjelű áramköreiben, mint a mikrohullámú gyakorlat kisjelű analóg köreiben. A másik ok az, hogy a digitális logikai eszközök fejlődésének lényegében az integrálás lendülete szabott irányt. Ezen a fronton a szilícium szinte napjainkig egyeduralkodó maradt. Váltakozó hadiszerencsével folyt a bipoláris és tervezérlésű MOS tranzisztorok harca.

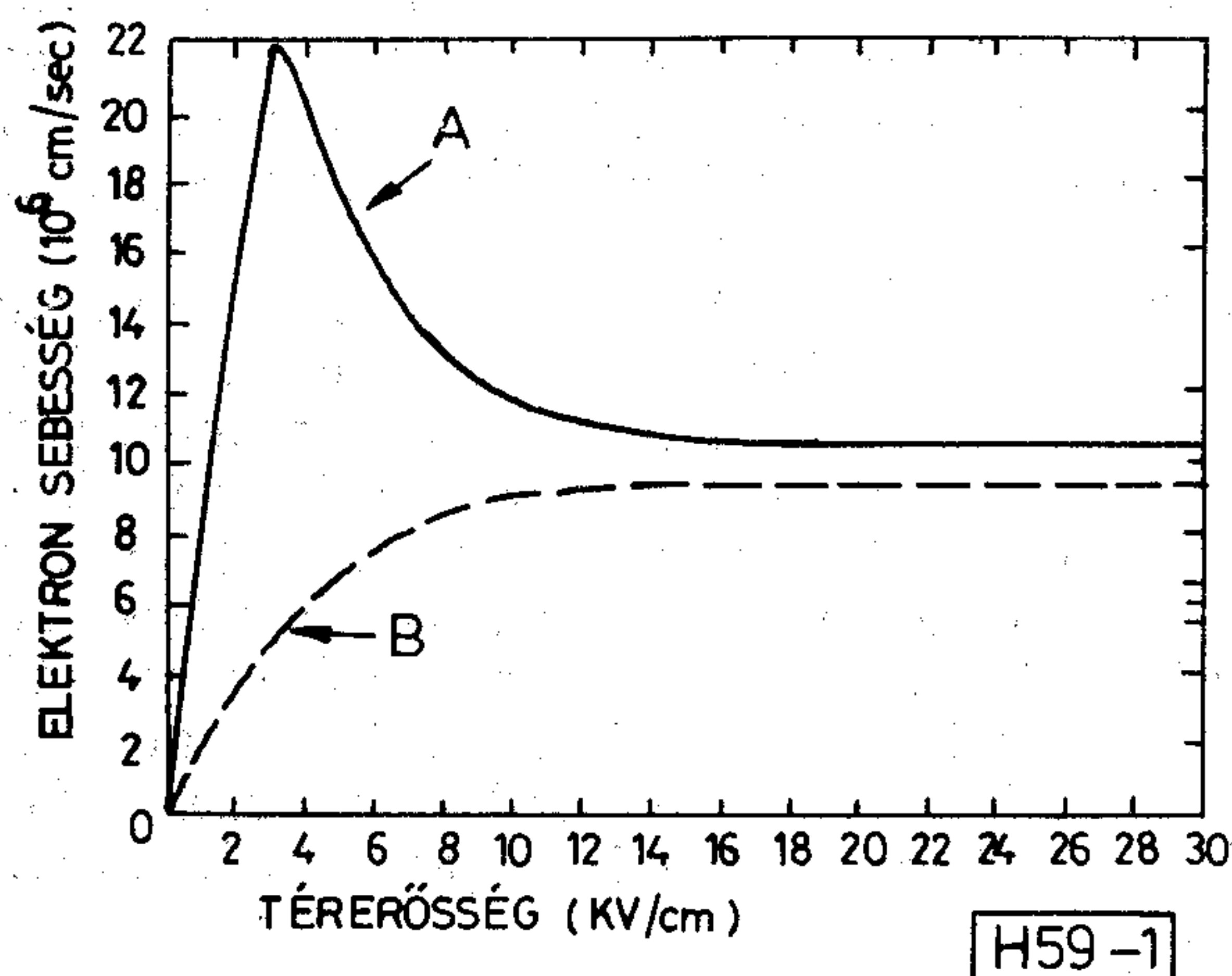
Bipoláris tranzisztorokkal gyorsabb kapcsoló áramkörök alakíthatók ki; különösen ECL megoldásban, amely elkerüli a telítési üzemmódot (amikor a tranzisztorban mindkét átmenet nyitott). ECL köröket tartalmaz a CRAY 1 is. A MOS köröknek viszont kisebb a fogyasztásuk, ami ugyancsak fontos szempont. Itt a pálmát a CMOS tranzisztorpár viszi.

A két szempont — sebesség és fogyasztás — egyidejű értékelésére szokták használni a terjedési késés és veszteségi teljesítmény szorzatát, a kapcsolási energiát. Értéke ma p_j (10^{-12} joule) és f_j (10^{-15} joule) nagyságrendek között található.

Elektronok a gallium-arzenidben

A mikrohullámú technika korábban nem elégedett meg a szilícium tranzisztor nyújtotta lehetőségekkel. Korán tért át ugyan — bár nem teljes mértékben — a csőről a szilárdtest eszközökre, de sokáig főleg különböző kétpólusokat használt. Egyik nevezetes eszköze lett a Gunn-oszcillátor. Talán ez irányította a mikrohullámú világ figyelmét általában a gallium-arzenid (GaAs) felé.

Röviden emlékeztetünk a Gunn-oszcillátor alapját képező jelenség lényegére. Egyszerű körülmények között GaAs-ben a szabad elektronok effektív tömege kicsi és mozgékonyasága nagy, ha azonban kellően nagy energiát vehetnek fel, egy részük nagyobb effektív tömegű, kisebb mozgékonyaságú állapotba lép át. Az átlépésnek csak bizonyos kritikus térerősség ($E_{krit} \approx 3,2$ kV/cm) fölött van számottevő valószínűsége. Ez az állapotváltozás instabilitást okozhat az elektronok térbeli eloszlásában. Ez pedig áramkörileg a minta negatív ellenállásaként jelenhet meg.



1. ábra. Elektronsebesség nagy tisztaságú gallium-arzenidben a térerősség függvényében, szobahőmérsékleten. Összehasonlításul a szaggatott görbe mutatja a nagy tisztaságú szilícium viszonyait

Mindezt a jól ismert elektronsebesség—térerősség görbéről lehet leolvasni (1. ábra). Ezt azonban úgy kell tekintenünk, hogy a különböző elektronoknak a szóródások által kialakított átlagos sebességére vonatkozik. A görbe első szakaszának nagy mozgékonyasága ($\mu \approx 8500$ Vs/cm²) csak igen tiszta anyagra vonatkozik, amelyben az adalék koncentrációja 10^{15} atom/cm³-nél kisebb. Már 10^{16} /cm³ adalékolás lecsökkenti a mozgékonyaságot, a tisztább anyagban viszont a hőmérséklet erős csökkentése a mozgékonyaság jelentős növekedését idézi elő.

Figyelembe kell azonban vennünk, hogy a görbe a fizikai folyamatok eredményeként adódó egyensúlyi állapotokat adja vissza és ezek kialakulásához bizonyos relaxációs idő (néhány tized ps) szükséges. Ha az eszköz méretei miatt még ez az idő sem áll rendelkezésre, túllövészerű sebességértékek lépnek fel, amelyek itt nagyobbak, mint a szilícium esetében.

A teljesség érdekében beszéljünk arról az esetről is, amikor a térerősség egészen rövid szakaszon, igen rövid futási idő alatt hatásos. — Ilyenkor az elektronok részben elkerülik a szóródást, sebességük ballisztikus lesz, nagyobb értékű, mintha a mozgékonyaságból adódna. Az anyag sáv szerkezete természetesen mindenképpen határt szab a sebességnek. A kvantummechanika szerint

$$v = \frac{1}{\hbar} \frac{\partial W(k)}{\partial k}, \quad (1)$$

ahol $W(k)$ az elektronenergia és a k hullámszám kapcsolatát megadó diszperziós összefüggés, $k = p/\hbar$, p az impulzus és $2\pi\hbar = h$ (Planck-állandó) [1].

A GaAs sáv szerkezetéből v maximális értéke körülbelül 1×10^8 cm/s-ra adódik, de ez a gyakorlati körülmények között el nem érhető érték. Itt jegyezzük meg, hogy a termikus sebesség szobahőmérsékleten (sőt még 77 K hőmérsékleten is) jóval nagyobb, mint a szilíciumban kiadódó 10^7 cm/s érték.

Kérdés, hogy mi az összefüggés az elektronsebesség és az eszközök sebessége között.

A tervezérlésű tranzisztorokban az egységnyi áramerősítésnek megfelelő f_1 frekvenciahatár akkor áll be [2], ha a nyelő áramában fellépő i_D kimenőjel és a vezérlő elektróda által felvett, lényegében kapacitív i_G jel abszolút értéke egyenlő:

$$|i_D| = |g_m U_{GS}| = |j\omega_1 C_G U_{GS}| = |i_G| \quad (2)$$

itt g_m meredekség, C_G lényegében a vezérlő elektróda és az árampálya (csatorna) közötti kapacitás.

(2)-ből $\omega_1 = 2\pi f_1$ miatt

$$f_1 \approx \frac{g_m}{2\pi C_G} \approx \frac{1}{2\pi} \frac{\partial I_D / \partial U_{GS}}{\partial Q / \partial U_{GS}} \approx \frac{1}{2\pi} \frac{\partial I_D}{\partial Q} \quad (3)$$

Ha feltételezzük, hogy a töltéshordozók v_e átlagos sebességgel haladnak keresztül az L hosszúságú csatornán, tehát $Q = \frac{I_D L}{v_e}$, akkor a MOS tranzisztorok elméletéből jól ismert

$$f_1 = f_t \approx \frac{1}{2\pi} \frac{v_e}{L} \quad (4)$$

közelítő összefüggésre jutunk, mely azonban kissé optimista becslést ad, mert a mellékhatásokat — például a vezérlő elektróda és nyelő közti kapacitást, a forrás, illetve nyelő kontaktus ellenállását és az árampályának a vezérlő elektróda által nem takart folytatását — nem veszi figyelembe.

Digitális, lényegében nagyjelű alkalmazások esetében is szokás (4) összefüggés szerint a futási időből kiindulni:

$$t_d = \frac{L}{v_e} = \frac{L}{\mu E} = \frac{g_m}{C} \quad (5)$$

és ezt tekintik a terjedési késés minimális értékének. Ez az okoskodás azonban helytelen, mert az analóg esetben a meredekség munkaponti értékével számolunk és természetesen C is munkaponti kisjelű paraméter. A nagyjelű kapcsolási késésben a meredekség helyébe a teljes áramváltozás és feszültségváltozás G_m hányadosa lép, C kapacitás helyébe a csatornában levő és a feszültség változtatásával eltüntethető töltés és a feszültségváltozás $\bar{C}$ viszonya; de ez még kiegészül a parazita kapacitásokkal:

$$t_d \approx \frac{G_m}{\bar{C}}. \quad (6)$$

Az így meghatározott t_d érték egy 2...5 tényezővel nagyobb (5)-nél. De ez sem elég, mert az integrált chipen figyelembe kell venni az összeköttetés okozta késést is, ami a terjedési késés többszöröse is lehet, az integrálás mértékétől és a technológia méretfinomságától függően [3].

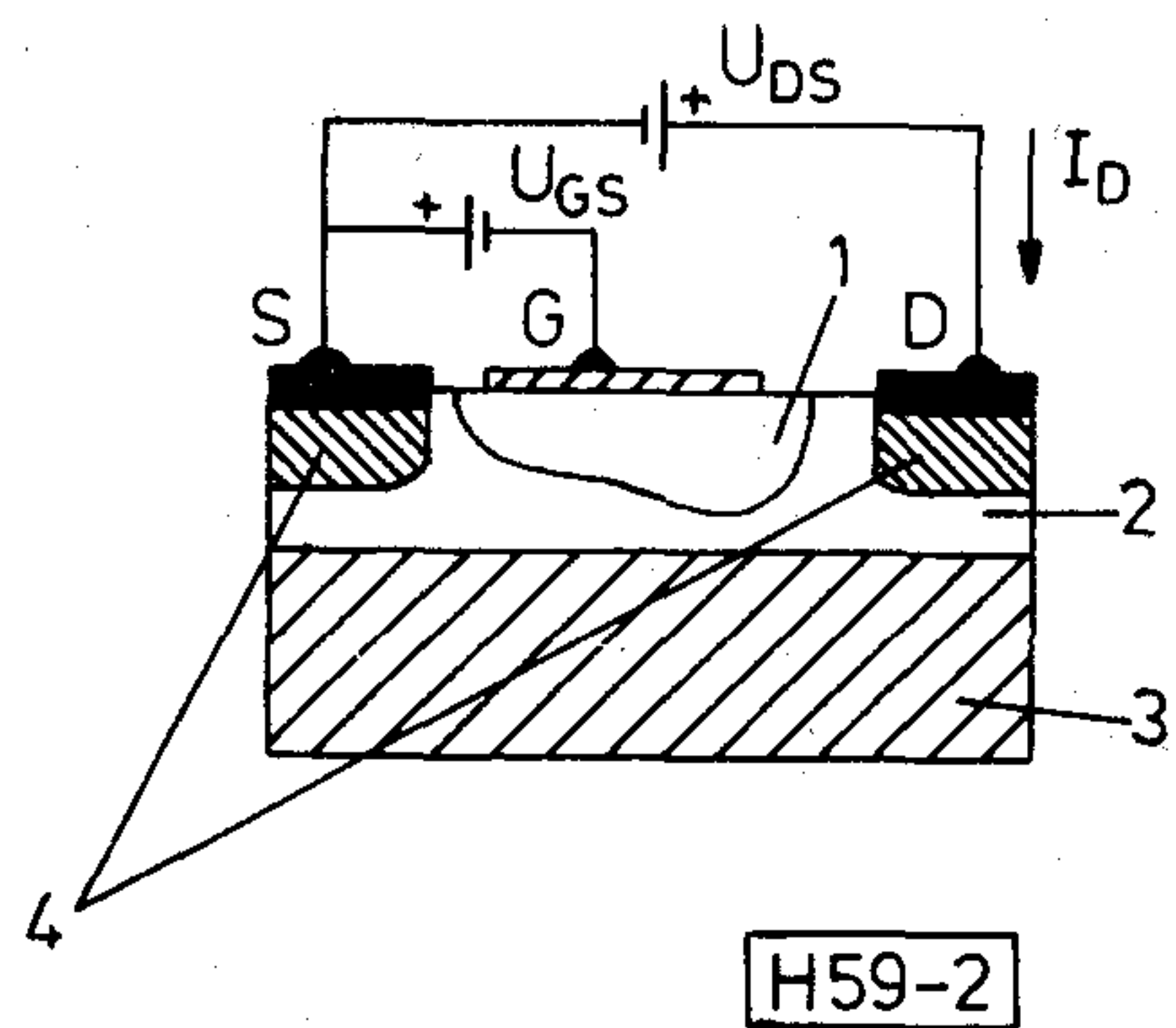
A gallium-arzenid MESFET

Az előző megfontolások eredetileg azért terelték a figyelmet a GaAs-re, mert abban a mozgékonyaság ötször akkora, mint a szilíciumban. Tudjuk, ennek csak kis térerősségnél van jelentősége. Ma lényegesebbnek tartjuk, hogy a sebességtúllövés miatt egy kisméretű GaAs eszközben nagy térerősség mellett egy adott töltésmennyiség sokkal gyorsabban szállítható, mint szilícium eszközben. (Ez természetesen elektronvezetésre vonatkozik; a lyukak sebessége GaAs-ben csekély.) Világos tehát a GaAs tranzisztor előnye.

A GaAs technológiája azonban sokkal nehezebb. Két összetevőből kell előállítani, bonyolult a tisztítása, nincs SiO_2 -hoz hasonló pompásan passzíváló oxidja stb. Sokáig úgy látszott tehát, hogy a várható előnyök nem érik meg a fáradságot.

A 60-as évek végén azonban a szilícium-technológia eredményeire támaszkodva már tovább tudtak lépni. Megszületett a jól használható GaAs tranzisztor — mégpedig mikrohullámú kiadásban. Nem bipoláris, nem is MOS jellegű, hanem az ún. MESFET (2. ábra), vagyis Schottky-átmenetes (fém—félvezető) térvezérlésű tranzisztor.

Itt az átmenet diffúziós feszültsége a fémét negatívabbá, a félvezetőt pozitívabbá teszi (mintegy 0,6...1 volt). A szükséges erőteret a fém oldalán többlet-elektronok felületi töltése, az n típusú félvezetőben kiürített réteg donor-ionjainak töltése biz-



2. ábra. MESFET szerkezete. 1 — tértöltésréteg, 2 — n GaAs, 3 — félvezető GaAs hordozó, 4 — erősen adalékolt n^+ zónák, S — forrás, D — nyelő, G — vezérlő elektróda

tosítja. Kívülről adott feszültséggel pedig változtatni lehet a kiürített réteg, illetve a félvezetőben megmaradt nem kiürített, tehát jól vezető rész vastagságát.

A felépítés némileg a MOS tranzisztorra emlékeztet. A hordozó itt úgynevezett félvezető GaAs kristálylapka. A „félvezető” olyan anyag, amely tartalmaz ugyan bizonyos arányban szennyezéseket, de ezek hatástalanná vannak téve megfelelő kompenzáló adalék segítségével. Ez a gyakorlatban többnyire néhány ppm Cr, amely a GaAs fajlagos ellenállását igen nagyra teszi. A hordozóra epitaxiával visznek fel vékony (pl. $0,3 \mu\text{m}$ vastagságú) n típusú ($N_D \approx 10^{17}/\text{cm}^3$) réteget. A forrás és nyelő igen erősen adalékolt zónái, amelyeket például ionimplantációval állítanak elő, néhány μm távolságban lehetnek egymástól, de maga a Schottky-átmenetes vezérlőelektróda rövidebb, pl. $1 \mu\text{m}$, újabb típusoknál ennél is kisebb hosszúságú. (A felületen erre merőleges irányban — szélességben — az elektródák kiterjedése jóval nagyobb lehet, pl. $100 \mu\text{m}$.)

A korábban elterjedt típus a D-MESFET, amelyben a vezérlő elektródára adott negatív feszültséggel lehet a kiürítést növelni, bizonyos küszöbfeszültséggel az elektronpályát úgyszólván egészen elzárni. Az újabban, főképpen digitális áramkörökben alkalmazott E-MESFET-ben külső vezérlő feszültség nélkül nem folyik áram, mert az epitaxiális réteget az átmenet diffúziós feszültsége teljesen kiüríti. Csak néhány tized V pozitív vezérlő feszültség hatására (itt ez a küszöbfeszültség) indulhat meg az áram.

A régebbi típusú, hosszabb csatornájú MESFET-ekre az egyszerű elméletet lehetett alkalmazni. Eszerint a működés lényegileg megfelelt a MOS tranzisztorénak. Megfelelő pozitív U_{DS} nyelőfeszültséggel a csatornában a nyelő felé haladva az áram okozta feszültségesés és a kiürítés vastagsága nő, a vezető árampályáé csökken. A gyakorlatban úgy választják meg a feszültségeket, hogy egy, a nyelőhöz közeli pontban beáll az elzáródás. A nagyon rövid maradék útszakasz veszi fel az U_{DS} feszültség jelentékeny részét. Így ott nagy térerősség lép fel, amely igen nagy sebességgel röpíti a töltéshordozókat a nyelőhöz.

A későbbi, rövidcsatornás GaAs eszközökre azt az elméletet nem alkalmazhatjuk [2]. Nagyon sok eset-

ben mondhatjuk azonban, hogy a pálya itt is két szakaszból áll, csak hogy az elválasztó pont nem a teljes elzáródás beállta, hanem az a hely, ahol a forrástól kiindulva növekvő térerősség eléri a kritikus értéket. Ehhez elég lehet már néhány tized voltnyi feszültség. A nyelőfeszültség legnagyobb része pedig a pálya maradékkis szakaszára esik, amelyben a korábban említetthez hasonló instabilitás, úgynevezett *domain* alakul ki. Ebben az elektronok zöme már nagy tömegű és kis mozgékonyaságú, tehát az igen rövid szakaszra aránylag nagy feszültség és igen nagy térerősség jut.

Számos közelítést alkalmazva, erre az esetre is kimutatható a (4) összefüggés érvényessége.

A hetvenes évek vége nem hozott újabb látványos áttörést; némileg finomodott a tranzistorok geometriája (kisebb csatornahossz) és eredmények voltak — bár durvább geometriával — az integrált digitális GaAs áramkörök kifejlesztésében. Fordulatot a 80-as évtized hozott; felfedezték, hogyan lehet GaAs-ben a töltéshordozók sebességét növelni. Tudnunk kell ugyanis, hogy a MESFET epitaxiális rétegében valóban használt, kellően adalékolt gallium-arzenidre az 1. ábra csak általános alakjában érvényes, mert a tényleges mozgékonyaság $4000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ alatti.

Mire jó a heteroátmenet?

Persze el lehet érni az ideális $9000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ mozgékonyaságot is, ha az anyagot annyira megtisztítjuk, hogy az adalékatomok aránya csekély, pl. $10^{13}/\text{cm}^3$ körüli legyen. Ebben az esetben már nem is az ionok okozta szóródás, hanem az atomrács hőrezgései korlátozzák a mozgékonyaságot. Csak hogy ekkor az elektronok koncentrációja is $10^{13}/\text{cm}^3$ lenne; ilyen gyenge vezetőképességű anyagból nem érdemes eszköz készíteni; roppant kicsi lenne az áram és a meredekség. A nagyobb adalékolás viszont, amint láttuk, lerontja a mozgékonyaságot.

Kínálkozik azonban egy megoldás arra, hogy a szinte adalékoltalan réteget elektronban gazdaggá tegyük. Mégpedig egy szomszédos, erősen adalékolt, kémiai más összetételű félvezető rétegből [4]. Erre akkor van mód, ha a két anyag egykristályos szerkezetben érintkezik; ez a heteroátmenet. Ezt a megoldást először L. Esaki javasolta, ő azonban eredetileg a „szuperrács” elnevezésű dobostortaszerű sokréteges szerkezetre gondolt.

A két anyag kilépési munkája általában nem egyforma. Mivel termikus egyensúlyban a Fermi-szintek azonosak, ebből diffúziós feszültségkülönbség adódik, amelyet jól ismert módon tértöltésrétegek tartanak fenn. Csak hogy rendszerint a tiltott sáv szélességek sem egyformák, a sávhatároknál tehát ugrás is felép. Ez olyan potenciálgátat követel meg, amelyet legalább egyik oldalán felületi töltésnek kellene fenntartani. Fémen ez könnyen valósulna meg, félvezetőben viszont valamennyire megközelíti egy, töltéshordozóban erősen feldúsult, esetleg inverziós réteg.

A heteroátmenetes tervezérlésű tranzistor ezt a jelenséget használja ki. A két félvezető anyag GaAs és alumíniumgallium-arzenid ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$). Az utóbbi anyag tulajdonságai természetesen függenek az alu-

mínium x részarányától. Az alábbiakban közlünk néhány fontosabb adatot [5]:

a tiltott sáv szélessége	$W_g = (1,424 + 1,25\chi) \text{ eV}$
relatív diel. állandó	$\epsilon_r = 13,1 - 3,1\chi$
elektronaffinitás	$\chi = (4,07 - 1,06\chi)$
effektív elektrontömeg	$m_{effn} = (0,067 + 0,083\chi)m_0$
effektív lyuktömeg	$m_{effp} = (0,48 + 0,21\chi)m_0$

m_0 a szabad elektron tömege.

Az effektív állapotsűrűségek az effektív tömegek $3/2$ hatványával arányosan változnak. Az adatok szobahőmérsékleten érvényesek. $\chi=0$ vonatkozik természetesen a GaAs-re.

Az elektronaffinitás a vákuumszint és a vezetési sáv alsó határa közötti energia- vagy potenciállépcsőt jelenti. Két anyag érintkezésénél — termikus egyensúlyban — a vákuumszint folytonos, tehát az elektronaffinitás különbsége az U_c sávhatárban jelenik meg mint ΔU_c különbség. Például a táblázat szerint, ha $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ és GaAs alkot heteroátmenetet, ott $\Delta U_c \approx 0,32 \text{ V}$.

Ezt a potenciálkülönbséget az AlGaAs oldalán pozitív, a GaAs oldalán negatív töltésnek kell fenntartania. Ha az AlGaAs réteg n típusú, benne kiürített réteg keletkezik. Ha a GaAs réteg szabad töltéshordozóban szegény, felülete elektronokban feldúsul. Ez képezheti egy térvezérlésű tranzistor vezető csatornáját.

Megfelelő körülmények között a GaAs felületén kis mennyiségben a Fermi-szint a vezetési sávba kerül: a félvezető elfajul. Így tehát, bár a GaAs nincs adalékolva, a heteroátmenetnél mégis annyi elektron van benne, ami szinte fémhez hasonló vezetést biztosít, csekély vastagságban. Az elektronok egy energiavölgybe vannak zárva. Az AlGaAs felől is, de a nem adalékolt GaAs réteg belseje felől is a tiltott sáv tartja vissza őket; mozgásuk csak az átmenettel párhuzamos irányokban szabad. (Kétdimenziós elektrongáz). A néhány nm vastagságnak megfelelő kiterjedésű elektrongáz alkotja a tranzistor vezető csatornáját. Ezt a két végén a szokásos erősen adalékolt forrás és nyelő zóna határolja, a vezetési viszonyokat pedig az AlGaAs réteg fölé helyezett fém vezérlő elektróda befolyásolja.

Az új tranzistorfajtát az irodalomban nagy elektronmozgékonyaságú tranzisztornak, modulációs adalékolású tranzisztornak vagy kétdimenziós elektrongáz tranzisztornak nevezik. (HEMT, MODFET, TEGFET = high electron mobility transistor, modulation-doped field-effect transistor, two-dimensional electron gas field-effect transistor.)

A tranzistor megvalósítását az epitaxiás eljárás tökéletesítése tette lehetővé. A közönséges epitaxia a III—V vegyületeket folyékony fázisból vagy gáz-atmoszférában kémiai reakciókkal állítja elő a hordozókristály felületén. A molekuláris nyaláb epitaxiában (MBE) az összetevő anyagok molekulái nagy vákuumban érkeznek megfelelő arányban a viszonylag alacsony hőmérsékletű kristályfelületre. A nyaláb az adalékokat is kellő arányban tartalmazza. A nyalábok útját komputerrel vezérelt gyors működésű mechanikai zárral nyitják-csukják. Ezzel a módszerrel tudják a rétegszerkezetet tetszés szerinti csekély

vastagsággal hirtelen változtatni. A fémorganikus kémiai gőzből való leválasztás (MOCVD) csaknem hasonló eredményekre képes.

A tranzisztor elvi felépítését a 3. ábrán mutatjuk be. A rétegezés bonyolultabb, mint ahogy előbb leírtuk. A félszigetelő hordozóra először a korábban említett nem adalékolt GaAs réteget viszik fel 1–2 μm vastagságban, amely a maradék (mintegy $10^{13}/\text{cm}^3$) szennyezés miatt rendszerint enyhén p jellegű. Föléje azonban először egy nagyon vékony, 10–20 atomnyi, nem adalékolt szétválasztó AlGaAs réteg kerül és csak azután következik a 20–60 nm vastag, $5 \times 10^{17} - 2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ szilícium koncentrációval adalékolt n^+ AlGaAs, amelyben majd kialakul a kiürítés. Ha a szétválasztó réteg hiányozna, a donorionok olyan közel kerülnének a nem adalékolt réteg felületén kialakuló elektrongázhoz, hogy terük megzavarná az elektronmozgást. Az AlGaAs tetejére még egy vékony GaAs réteget szoktak felvinni, ez biztosítja a forrás és nyelő zóna jó csatlakozását a fémelektrodákhoz. A csatorna fölött azonban ez a réteg hiányzik, mert a fém vezérlő elektródát enyhe marás után süllyesztve viszik fel.

Vizsgáljuk először önmagában a heteroátmenet viszonyait termikus egyensúlyban, tehát tekintsük végtelenül távolinak a vezérellektróda Schottky-átmenetét (4. ábra).

Mivel az AlGaAs réteg erősen adalékolt, abban a Fermi-szinthez közel van a vezetési sáv U_c alsó határa.

A heteroátmenet miatt U_c értékében fellépő ΔU_c ugrás megfelel a két anyag elektronaffinitása közötti különbségnek (lásd a táblázatot). Ehhez az adalékolt anyagban a sávhatár meggörbül, mert az átmenetnél kiürített réteg keletkezik. A görbülés mértéke a 2. ábra szerint U_h . Ha az anyag dielektromos állandója ϵ , adalékolása N_D , az összefüggés U_h és a kiürítés w mélysége között

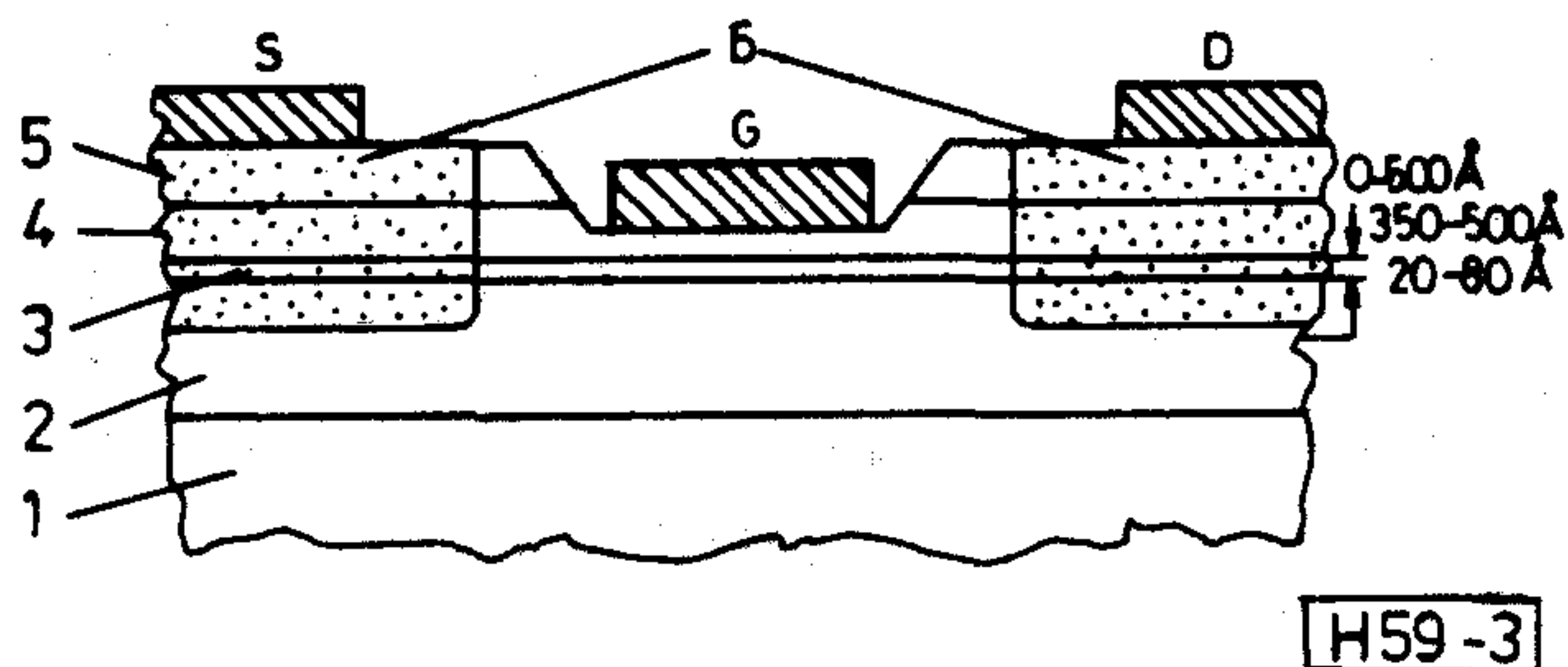
$$U_h = \frac{qN_D w^2}{2\epsilon}, \quad (7)$$

ill.

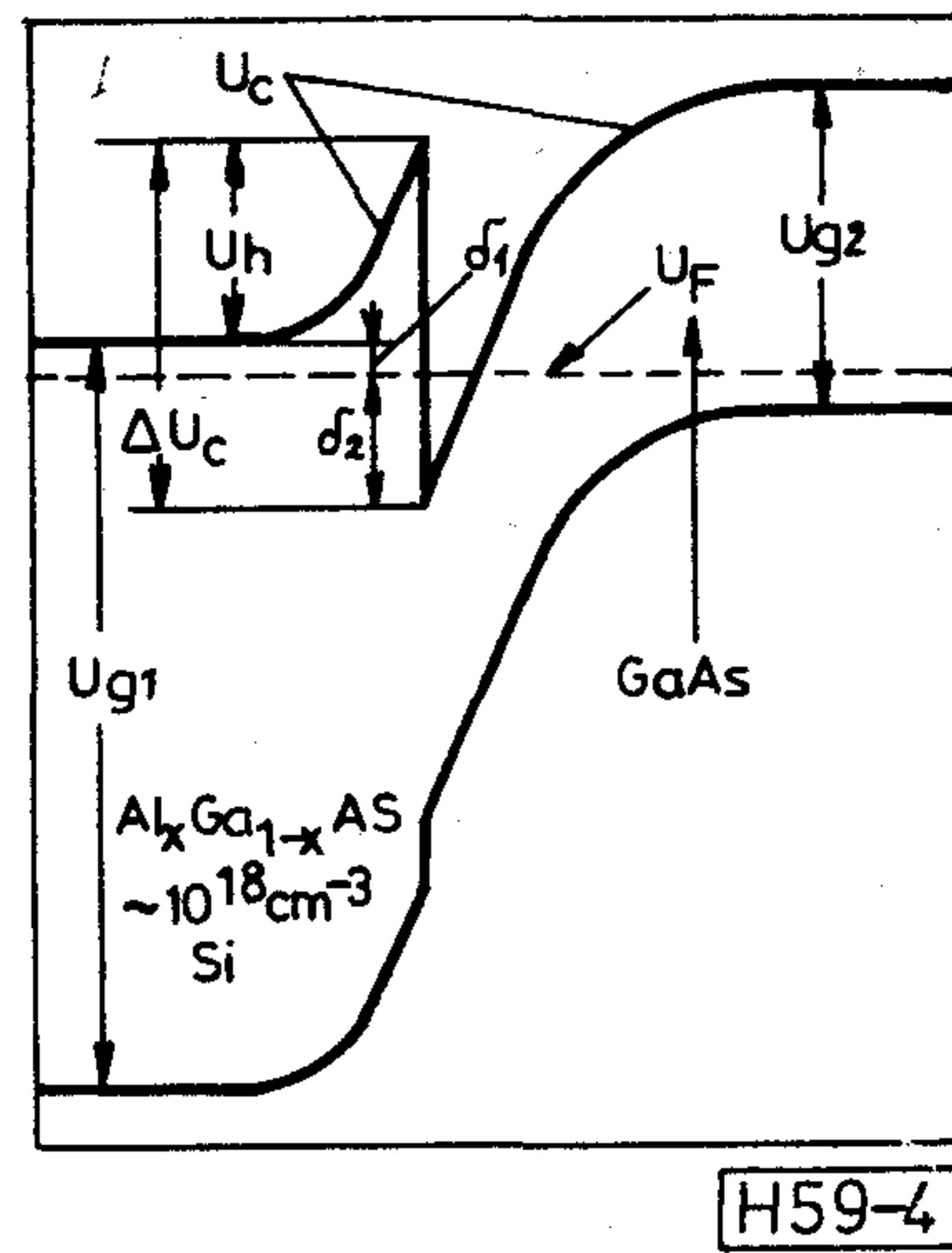
$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon U_h}{qN_D}}. \quad (7a)$$

A 4. ábrán láthatjuk U_h kapcsolatát ΔU_c -vel:

$$U_h = \Delta U_c - \delta_1 - \delta_2 \quad \text{itt} \quad \delta_1 = U_F - U_c$$



3. ábra. Nagy elektronmozgékonyosságú térvezérlésű tranzisztor szerkezete, 1 — hordozó, 2 — nem adalékolt GaAs réteg, 3 — nem adalékolt AlGaAs réteg, 4 — n^+ adalékolású AlGaAs, 5 — vékony n GaAs, 6 — erősen adalékolt n^+ zónák



4. ábra. Heteroátmenet termikus egyensúlyban. Jelezve az elektrongázzal betöltött alsáv. Jelölések magyarázata a szövegben

az AlGaAs réteg belsejében, ahol már nincs kiürítés. A nagy adalékolás miatt δ_1 kis érték.

δ_2 az az érték, amellyel a GaAs felületén az U_F szint alá kerül a vezetési sáv alsó határa. Így jön ott létre az n_s felületi elektrontöltés, amely nagyjából egyensúlyt tart a donorionok másik oldali tértöltésével:

$$qn_s \approx qN_D w. \quad (8)$$

A valóságban itt az elektronoknak is van bizonyos mélységi eloszlásuk néhány nm átlagértékkel [6]. n_s szokásos mértékegysége cm^{-2} .

n_s biztosításához a Fermi-szintnek csak kevésbé kell behatolni a vezetési sávba, tehát δ_2 is csekély. A valóságban persze az összefüggések jóval bonyolultabbak. Ennek főleg kvantumfizikai okai vannak; a vázolt viszonyok között a potenciálgát keskeny háromszögű alakja miatt a vezetési sávban elfoglalható elektronállapotok nem alkotnak folytonos sáv-részletet, hanem különálló alsávokat. Az impulzusmomentumok felületre merőleges összetevője ugyanis kvantált. Ennek figyelembevétele mellett még a megszokott Boltzman-statisztika helyett is a bonyolultabb Fermi–Dirac-statisztikát kell alkalmazni [7], ha az alsávokat meg akarjuk határozni.

Korrekcíót hoz a számításba az a — már említett — néhány nm vastag, nem adalékolt AlGaAs réteg is, amelyet a kiürítés donorionjai által előidézett hatás csökkentése végett közbeiktatnak. Másik szerepe ugyanaz, mint egy a töltés közé iktatott dielektrikumé; csökkenti a szükséges töltések nagyságát, amelyek egy adott potenciálkülönbséget fenntartanak. Ha a vastagság e , akkor ennek figyelembevételével

$$U_h \approx \frac{qN_D}{2\epsilon} w_1^2 + \frac{qN_D w_1}{\epsilon} e, \quad (9)$$

$$w_1 \approx \sqrt{\frac{2\epsilon U_h}{qN_D} + e^2} - e \quad (10)$$

$$qn_s \approx qN_D w_1 \quad (11)$$

ahol w_1 a kiürített réteg csökkent vastagsága.

A (8) és (11) összefüggéseket azért fogadhatjuk el, mert a nem adalékolt GaAs réteg tértöltése a két dimenziós elektrongázon kívül nagyon csekély, n_s értéke $N_D = 10^{18}$ atom/cm³ adalékolású AlGaAs és $e = 3$ nm esetében 10^{12} /cm² elektron közelében van.

Heteroátmenetes tranzisztor

Ilyenek a heteroátmenet viszonyai termikus egyensúlyban. Mi történik a tranzisztorstruktúrában, amelyben az n^+ jellegű AlGaAs réteg vékony ($d \approx 20 \dots 60$ nm), és másik oldalán ott van a vezérlő elektród (5. ábra)?

A Schottky-átmenet *itt* is kiürítést okoz, amelyet a vezérlő elektródára adott pozitív feszültség csökkent, negatív feszültség növel. Ha ez a kiürítés a réteg belsőjében úgy ér véget, hogy a heteroátmenethez tartozó kiürítést nem befolyásolja — a viszonyok olyanok, mint a termikus egyensúly esetében.

Ha azonban a kiürítés ennél a határértéknél, amely természetesen az AlGaAs réteg adalékolásától és vastagságától is függ, nagyobb mértékű (nagyobb pozitív töltésre van szükség), akkor már áttérjed a heteroátmenetre is, és — mivel az AlGaAs oldalon már úgy sincsenek elektronok — a GaAs oldal elektronrétegének felületi sűrűségét csökkenti.

A sávgörbülés többi részét a mélyebben fekvő tértöltés réteg veszi fel. Még negatívabbá téve a vezérlő elektróda feszültségét, végül oda jutunk, hogy az adalékolt AlGaAs réteg teljes d vastagságában a kiürítés érvényesül, annyira, hogy a vezetési sáv U_c határa még a heteroátmenetnél is ΔU_c magasságban van a Fermi-szint fölött (5b ábra). Ez már kizárja azt, hogy a GaAs felületén kétdimenziós elektrongáz alakuljon ki. Ez a vezérlő feszültség, amely megfelel a MOS tranzisztorok küszöbfeszültségének, a következőkben írható fel:

$$U_G = U_T = \Phi_M - \Delta U_c - \frac{qN_D d^2}{2\epsilon}, \quad (12)$$

ahol Φ_M a vezérlő elektróda Schottky-átmenetének

diffúziós feszültsége. Elektrongáz akkor van, ha U_G pozitívabb (kevésbé negatív), mint U_T . A tranzisztor működés másik határa a termikus egyensúly beállta, amely megszünteti a vezérlés lehetőségét, $U_G = U_H$ értéknél érhető el és a (7), (10) és (12) egyenlet alapján számítható ki:

$$\frac{qN_D}{2\epsilon} (d - w_1)^2 = \Phi_M - U_H. \quad (13)$$

A tranzisztor gyakorlati működtetésében általában a nyelőre adott feszültség elég nagy ahhoz, hogy a csatornamenti feszültségesés miatt egy, a nyelőhöz közeli pontban

$$U_{GS} - U_{csat} = U_T \quad (14)$$

beálljon, tehát az elektrongáz által alkotott jó vezetés véget érjen. A MOS tranzisztornál megismert módon a fennmaradó rövid útszakaszon extrém nagy térerősség röpíti át az elektront a nyelőhöz, telítési sebességgel.

A pálya valamely (elzáródás előtti) x pontjában a töltéssűrűség értéke egységnyi szélességre vonatkoztatva:

$$qn_s(x) = Q(x) = \frac{\epsilon}{d_1} [U_{GS} - U_T - U_{csat}(x)]. \quad (15)$$

Itt d_1 a vezérlő elektróda és az elektrongáz közötti teljes távolság: $d_1 \approx d + e$.

Az áram (a parazita elemek hatásának elhanyagolásával)

$$I = Q(x) v(x) \quad (16)$$

és kis térerősségeknél $v(x) = \mu E(X)$ alapján a klasszikus MOS tranzisztorhoz hasonlóan

$$I = \frac{\epsilon \mu}{2d_1 L} (U_{GS} - U_T)^2. \quad (17)$$

Nagy térerősségeknél már a pálya korai szakaszán beáll a sebesség v_{sat} maximális értéke és az áram függése U_{GS} vezérlő feszültségtől fokozatosan lineárisává válik.

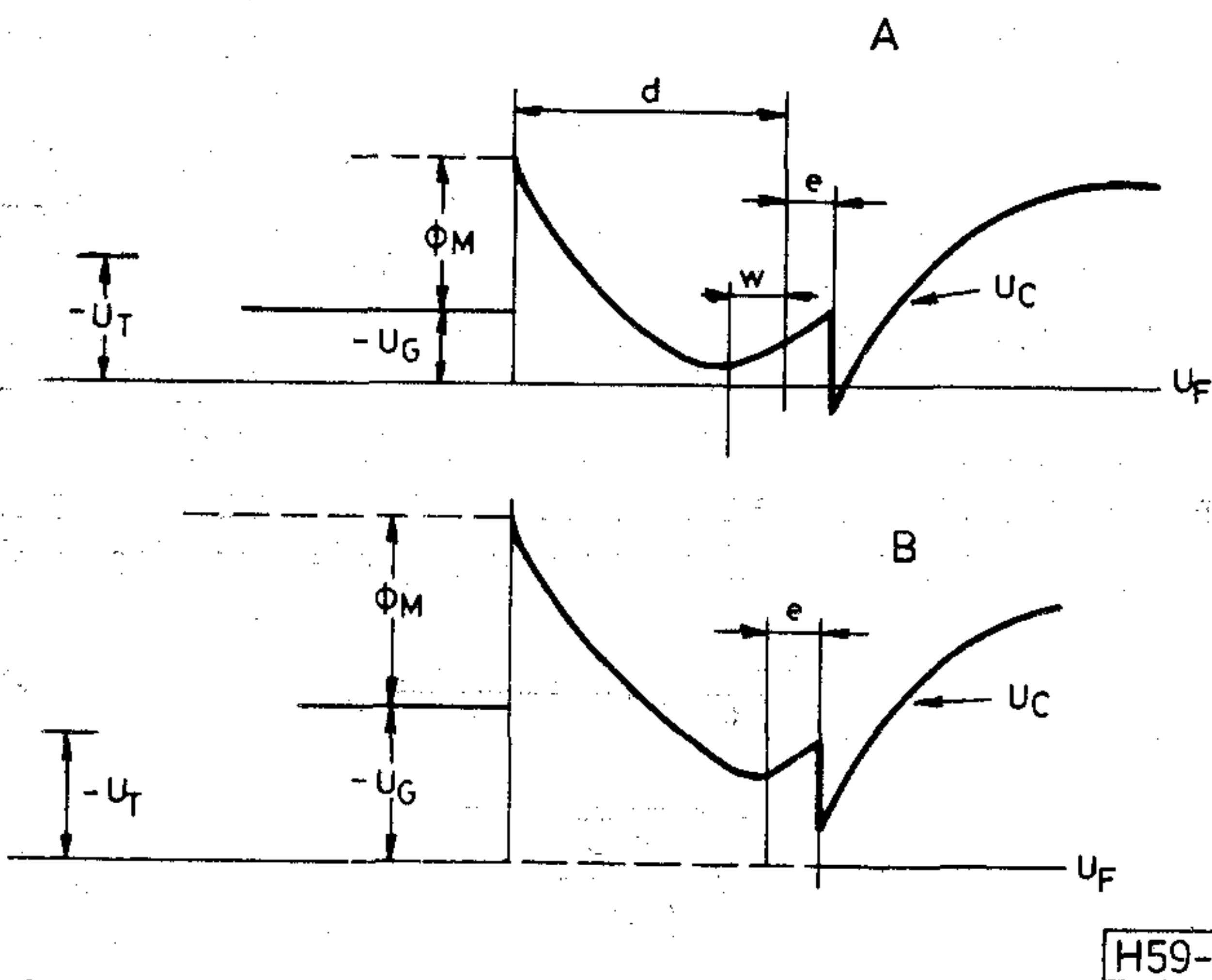
Gyakorlati viszonyok

Az új tranzisztor valóban sok előnyt mutat fel a GaAs MESFET-tel szemben.

Elérhető igen nagy meredekség, mert a vezérlő elektróda és csatorna közti távolság nagyon kicsi, 30–60 nm körül van. Még ennél kisebb is lehet az E–MESFET-hez hasonló megoldásban, mikor tehát vezérlőfeszültség nélkül nincs elektrongáz és pozitív az U_T küszöbfeszültség. Ha még emellett igen nagy az AlGaAs réteg adalékolása, a vastagság egy számítás szerint akár 15 nm-re is csökkenthető.

Lényeges, hogy a karakterisztika kezdő szakasza kevésbé görbült, ami azt jelenti, hogy a nagyjelű terjedési késés kifejezésében szereplő G_m értéke jobban megközelíti a kisjelű g_m értéket, mint a MESFET-nél.

Különösen az integrálás szempontjából nagy előny



5. ábra. Energiaviszonyok a vezérelt tranzisztorban. A — elektrongáz létrejön, B — U_G túlságosan negatív

az is, hogy az áram/igénybevett terület hányadosa magasabb, mint más tranzisztoroknál.

Végso, de nem utolsó előny a nagyobb mozgékony-ság alapján várható nagyobb sebesség. Igaz, hogy itt az első lelkesedést bizonyos kiábrándulás követte. Való tény, hogy $8-10\,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ tényleg elérhető volt szobahőmérsékleten. Itt már a mozgékony-ságot a rács hőrezgése, a fononok által okozott szóródás korlátozza. Ezért is előnyös (de elvileg más szempontból is kedvező) a hűtés, mégpedig 77 K-re, ami könnyen megoldható folyékony nitrogénnel. Az így lehűtött elektrongázban a mozgékony-ság (kis tér-erősséggel mérve) több mint tízszeresére emelkedik, ami még nagyobb várakozást keltett.

Itt azonban rendkívül nagy térerősségek lépnek fel a gyakorlatban már azért is, mert éppen a (4) egyenletre való tekintettel célszerű a műszakilag megvalósítható legrövidebb csatornahosszat választani. (Megjegyezzük, hogy a kis méretekkel járó kis feszültségek miatt itt nem kerül sor arra, hogy az elektronok átkerüljenek a fővölgyből a mellékvölgyekbe, tehát a csatornában felléphet nagyobb tér-erő a „kritikus” értéknél, anélkül, hogy instabilitás-ra kerülne sor.)

Igy például a ma már az elektronsugaras technológia eszközeivel elérhető $L=0,25\text{ }\mu\text{m}$ és $U_{DS}=0,5\text{ V}$ esetében a térerősség átlaga 20 kV/cm . A csatorna mentén természetesen a nyelő felé növekvő az érték.

A leegyszerűsített számításból adódó $2\times 10^8\text{ cm/s}$ vagy éppen $2\times 10^9\text{ cm/s}$ sebességre persze nem számíthatunk, hiszen az — amint láttuk (1) — fizikailag lehetetlen is lenne. Elméleti számítások szerint azonban (8) körülbelül $4\times 10^7\text{ cm/s}$ a várható tényleges telítési sebesség. Úgy tűnik viszont a kísérletek alapján, hogy az elektronsebesség ennél alacsonyabb telítési értéket mutat, ez szobahőmérsékleten mintegy $1,5\times 10^7\text{ cm/s}$ és 77 K hőmérsékleten $2\times 10^7\text{ cm/s}$. Egy durva becslés a (4) egyenlet szerint ennek alapján is 100 GHz fölötti határfrekvenciát mutatna ki. A valóságban azonban a parazita mellékhatások némileg lerontják a nagyfrekvenciás viselkedést. (Ilyen pl. a forrás és nyelő kontaktusellenállása és a nyelő-vezérlőelektróda közötti C_{DG} visszacsatoló kapacitás.)

Azt is meg kell jegyeznünk, hogy ez a nagy elektron mozgékony-ságú tranzisztor még rendelkezik bizonyos gyerekbetegségekkel. Ez különösen áll az alacsony hőmérsékletű üzemmódra, melytől pedig olyan sokat várnak. Egyes kísérletekben tapasztalnak itt a karakterisztikában instabilitást, hiszterézist, esetleg a karakterisztika „összeomlását”. Az utóbbi szemléletes kifejezés azt jelenti, hogy az áram alacsony értéken marad és nem vezérelhető. Az okok felderítésére és a kiküszöbölésére élénk kutatás folyik. Annyi már bizonyos, hogy — bármilyen jó eljárás is a molekuláris nyaláb epitaxia: a két félvezető határfelülete így is bővelkedik még hibahelyekben, csapdákban, és ezek zavarják az alacsony hőmérsékletű működést (9).

Van egy szempont, amelyből nézve az új tranzisztor mindenképpen alul marad a GaAs MESFET-tel szemben. Ez pedig a sugárzásokkal szemben való ellenállás. Az AlGaAs ugyanis kellemetlenül sugár-érzékeny anyag. Ez erősebb árnyékolást tesz szükségessé.

Az első megvalósított tranzisztorok Japánban születtek meg, 27 elemből álló integrált gyűrűs oszcillátor formájában (9), mégpedig 17 ps kapcsolási idővel. Ezt az értéket később 10 ps alá sikerült le-szorítani, különböző kutatóintézetek közlései szerint. A gyűrűs oszcillátor azonban csupán az eszköz lehetőségeinek bemutatására alkalmas, más haszna nincs. Később készítettek már háromfokozatú integrált erősítőt 20 GHz frekvenciára és integrált frekvencia-osztó logikai köröket is, amelyekben a terjedési késés 20 ps alatt volt. 1984 még gyorsabb kapcsoló áram-köröket és meglepően kis zajú mikrohullámú tranzisztorokat hozott [10].

További fejlemények

A heteroátmenet bevonulása a tranzisztorteknikába érdekes további fejlődési irányokat indított el. Az egyik sokat ígérő új lépés a Bell laboratóriumból származik [11]. Lényege az, hogy GaAs alapon a CMOS-hoz hasonló, integrálható komplementer tranzisztor-párat alakítanak ki. Ennek azelőtt azért nem volt gyakorlati realitása, mert a lyukvezetési MESFET-ben a lyukak sebessége az alacsony mozgékony-ság miatt nagyon kicsi volt. Történtek azonban sikeres kísérletek olyan heteroátmenetes FET előállítására, amelyben a nem adalékolt GaAs réteg egy vele határos p-AlGaAs rétegből kap lyukakat és ezek alkotnak az átmenet közelében elfajult rétegben kétdimenziós „lyukgázt”. Ezzel sikerült 77 K hőmérsékleten $5000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ mozgékony-ságot elérni.

Az integrálás azonban nem volt magától értetődően megoldható. Azt a zsebtechnikát, amely a szilícium CMOS készítésében szokásos, a GaAs-nál nem lehet alkalmazni.

Végül is megszületett a megoldás. A tranzisztor párja itt egy olyan elektronvezetési GaAs MESFET, amelynek aktív rétege nem közvetlenül a félszigetelő hordozó, hanem egy közbeiktatott p-AlGaAs rétegen foglal helyet. Ez a réteg nincs káros hatással a MESFET működésére, sőt a kialakuló nagy potenciálgát a szokásosnál biztosabban zárja el az elektronok útját a hordozó felé. Az AlGaAs réteg pedig ugyanaz, amely a másik tranzisztorban jut tényleges szerephez. Ebből persze az is következik, hogy alatta nem közvetlenül a félszigetelő hordozó van. Közvetlenül a hordozóra először (körülbelül $1\text{ }\mu\text{m}$ vastagságban) nem adalékolt GaAs kerül, majd erre a szokásos pár nm vastag, nem adalékolt AlGaAs után az előbb említett p-típusú AlGaAs réteg, amelynek adalékolása a megvalósított kísérletben $2\times 10^{18}\text{ atom/cm}^3$ Be volt. Ezzel képezik ki a lyukvezetési tranzisztort. Az alsó GaAs rétegbe is mélyen benyúló mart árok választja el a két eszközt egymástól.

Az elektronvezetési MESFET aktív rétege körülbelül $0,5\text{ }\mu\text{m}$ vastag n GaAs. Ebben a csatorna klasz-szikus módon alakul ki, a fölötte levő vezérlő elektróda feszültségének hatására. A lyukvezetési eszköz tetejéről ezt a GaAs réteget eltávolítják, és a vezérlő elektróda természetesen közvetlenül az AlGaAs réteggel alkot Schottky-átmenetet (6. ábra).

Szobahőmérsékleten nagyon kicsi a lyukvezetési eszköz meredeksége, de 77 K hőmérsékleten már megközelíti az elektronvezetési elemét. Az előállított

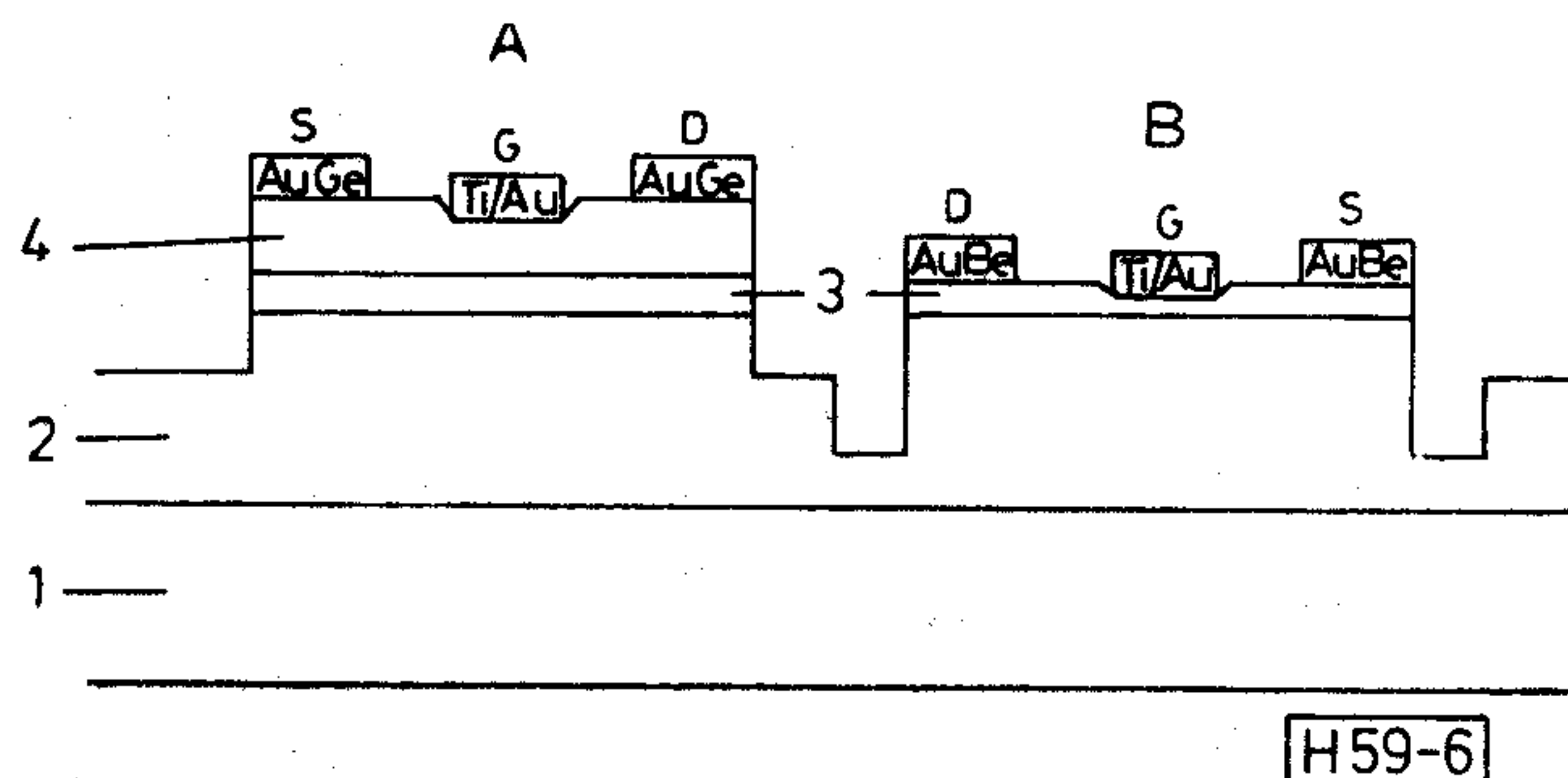
tranzisztorpárok, amelyekben a csatornahossz $2\ \mu\text{m}$ volt, már $1\ \text{V}$ tápfeszültség alatt is jól működtek.

Ez a friss eredmény azért figyelemreméltó, mert az új komplementerpár a szokásos szilícium CMOS-nál gyorsabb, fogyasztása pedig kisebb. A két mennyiség szorzatában talán még nagyságrendi javulás is elérhető lenne.

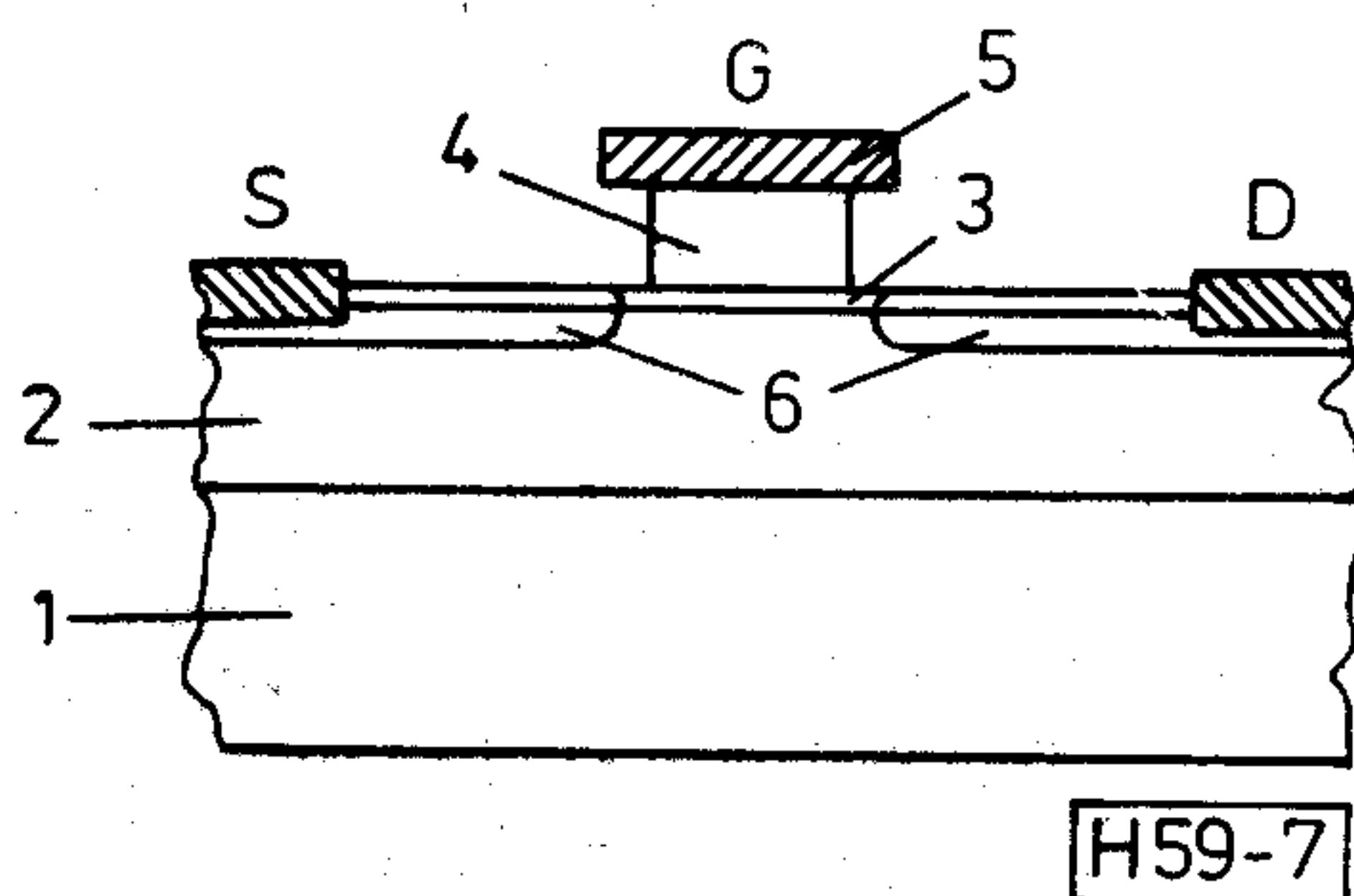
Egy másik új, érdekes eredmény: az IBM laboratóriumában a heteroátmenet felhasználásával teljesen egykristályos szerkezetben állítottak elő a MOS tranzisztorhoz hasonló elvű eszközt. Nagy előnye, hogy a tolerancia szempontjából kevésbé kényes, mint a nagy elektronmozgékonyosságú tranzisztor, vagy akár a GaAs MESFET. Alapja az a felismerés, hogy a kellő tisztaságú AlGaAs nagy tiltott sáv szélessége és kis elektronmozgékonyossága miatt igen jó szigetelő. Lehet tehát olyan tranzisztort kialakítani, amelyben a félvezető nem-adalékolt GaAs; a dielektrikum nem-adalékolt AlGaAs, a vezérlő elektróda pedig igen erősen adalékolt n^+ GaAs réteg, amelynek ohmos kontaktusa van (7. ábra).

A hordozó félszigetelő GaAs. A molekuláris nyaláb epitaxia módot ad az egyes rétegek felvitelére úgy, hogy azok egykristályos szerkezetet alkotnak a hordozóval. A szilícium MOS szerkezete ezzel szemben bonyolult: kristály, amorf, polikristály rétegeződés: ez elvi hátrány a bipoláris tranzisztorhoz képest. Ezt a hátrányt az új szerkezet kiküszöböli.

Sokkal fontosabb az a gyakorlati előny, hogy a küszöbfeszültség beállítása nem kényes.



6. ábra. Komplementer térvezérlésű tranzisztorpár heteroátmenetes p -eszközzel. 1 — hordozó, 2 — nem adalékolt GaAs, 3 — p^+ AlGaAs, 4 — n-GaAs A — elektronvezetési, B — lyukvezetési eszköz



7. ábra. Heteroátmenetes térvezérlésű tranzisztor GaAs vezérlő elektródával. 1 — hordozó, 2 — nem adalékolt GaAs, 3 — nem adalékolt AlGaAs, 4 — erősen túladalékolt n^+ GaAs, 5 — ohmos kontaktus a vezérlő elektródához, 6 — implantált zónák

Amint láttuk, a nagy elektronmozgékonyosságú tranzisztorban a küszöbfeszültség (12) szerint:

$$U_T = \Phi_M - \Delta U_C - \frac{qN_D d^2}{2\epsilon} \quad (18)$$

Itt Φ_M a vezérlő elektróda és az n AlGaAs közötti potenciálgát, ΔU_C az elektronaffinitásbeli ugrás, N_D az AlGaAs réteg adalékolása, d a vastagsága. A kívánt küszöbfeszültség beállítása N_D és d értékének megfelelő megválasztásával lehetséges, ezért mindkét paramétert kis toleranciával kell megvalósítani.

Az új eszközben azonban Φ_M és ΔU_C majdnem azonos, mivel mindkét oldalon ugyanaz az anyag van, ugyanis a heteroátmenetnél itt is kialakul az elektron-gáz, amely az elektronokat itt a forrás és nyelő zónákból nyeri. Itt tehát a vezetési sáv határa minimális mértékben van a Fermi-szint felett, míg a vezérlő elektróda oldalán az erős adalékolás miatt sávhatár és Fermi-szint közel egybeesik.

A (12) egyenlet jobb oldalának harmadik tagja nem veszélyes többé, mert annyira kicsi, hogy N_D szórásának sincs jelentős befolyása. A küszöbfeszültség közel 0 [12].

Előny az is, hogy az AlGaAs rétegben nem folyhat a hasznos árammal párhuzamos parazita áram, és — mivel a réteg nem adalékolt — a két átmeneten kevesebb lesz a csapda. Az elkészítés pedig lényegében homogén művelet; egyetlen, programozott, molekuláris nyaláb epitaxiás eljárás.

A kísérleti eszközök egyelőre elsősorban alacsony hőmérsékleten (77 K) mutattak kitűnő működést. Összehasonlítás kedvéért kitérünk a heteroátmenetes bipoláris tranzisztorra is, bár az itt tárgyalt új irányzatokkal szemben az a gondolat, hogy a heteroátmenetet bipoláris tranzisztorban hasznosítsák, nagyon régi. Már felmerült Shockley 1948-as szabadalmi bejelentésében. Krömer 1957-ben javasolt olyan tranzisztort, amelyben az emitter tiltott sáv szélessége nagyobb, mint a bázisé. Ebben (példának npn szerkezetet véve) potenciálgát tartja vissza a bázisban a lyukakat attól, hogy az emitterbe lépjenek, tehát az emitterhatásfok értéke 100% lesz.

Ezért a bázist erősen, az emitternél is sokkal erősebben lehet adalékolni. Ha pedig ez így van, a bázis lehet nagyon vékony (pl. 10 nm) anélkül, hogy veszedelmesen megnőne a bázisellenállás. A vékony bázisban viszont kicsi lesz a rekombináció valószínűsége, és így a transzporttényező is megközelítheti a 100%-ot. Ez viszont azt jelenti, hogy β áramerősítési tényező könnyen 1000 fölé emelkedhet. Ha az átmenetnél a kétféle anyag összetétele nem hirtelen, hanem fokozatosan megy át egymásba (ami a molekuláris nyaláb epitaxiával megvalósítható), további előny lép fel: az elektronok nagy energiával lépnek be a bázisba. Ilyen esetben kisebb a szóródás és az elektronok szinte ballisztikusan mozognak, sebességük a bázisban is tovább nő, még $4 \times 10^7\ \text{cm/s}$ értéket is elhagyhat.

A (4) összefüggést ugyan nem alkalmazhatjuk minden további nélkül a parazita mellékhatások miatt, a határfrekvencia azonban elvi számítások szerint így is megközelítheti, vagy elhagyhatja a 100 GHz értéket.

Nagyjelű kapcsoló működésben viszont kisebb a heteroátmenetes bipoláris tranzisztor fölénye, mert az (5) egyenlet a töltéstárolási késleltető hatásokat nem veszi figyelembe. Igaz, hogy ezeket az ECL áramkör kiküszöböli, de a megnövekedett fogyasztás miatt ez nem mindig használható.

Technológiai szempontból a bipoláris típus még sokkal nehezebb feladatot jelent, mint a heteroátmenetes térvezérlésű tranzisztor.

IRODALOM

- [1] J. B. Socha, L. F. Eastman: Comment on single carrier space charge controlled conduction vs-ballistic transport in GaAs devices at 77K. *Elect. Dev. Lett.* EDL 3, p. 27, 1982.
- [2] Gottwald, P.: Mikrohullámú félvezető eszközök, p. 173. Műszaki Kiadó, Budapest, 1985.
- [3] P. M. Solomon: A comparison of semiconductor devices for high speed logic. *Proc. IEEE* 70, pp. 489–609, 1982.
- [4] L. Esaki and R. Tsu: Superlattice and negative differential conductivity in semiconductors. *IBM J. Res. Develop.* 14, pp. 61–68, 1970.
- [5] Tomizawa et al.: Monte-Carlo simulation of AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistors. *IEEE Trans. El. Dev.* ED31, pp. 382–385, 1984.
- [6] T. C. Hsieh et al.: Carrier density distribution in modulation doped GaAs–AlGaAs quantum well heterostructures. *Solid State El.* 26, pp. 1173–1180, 1983.
- [7] D. Delagebeaudeuf, N. T. Linh: Metal (n) AlGaAs-GaAs two dimensional Electron Gas FET. *IEEE Trans. El. Dev.* ED29, pp. 955–960, 1982.
- [8] B. R. Nag, M. Debroy: Electron Transport in submicron GaAs channels at 300 K. *Appl. Phys. A. Solids and Surfaces*, 31, pp. 65–70, 1983.
- [9] T. Mimura et al.: A new field-effect transistor with selectivity doped GaAs/n AlGaAs heterojunction. *Jap. J. Appl. Phys.* 19, pp. L 225–L 227, 1980.
- [10] R. Chao et al.: Quarter micron gate length microwave HEMT's. *El. Lett.* 19, pp. 894–896, 1983.
- [11] R. A. Kiehl, A. C. Gossard: Complementary p-MESFET and n HB MESFET (AlGa) As Transistor. *El. Dev. Lett.* EDL-5, pp. 521–523, 1984.
- [12] P. M. Solomon et al.: A GaAs gate heterojunction FET. *El. Dev. Lett.* EDL-5, pp. 379–382, 1984.

Popov-konferencia Moszkvában

A Popov Rádiótechnikai, Elektronikai és Híradástechnikai Egyesület 1985. május 21. és 23. között rendezte meg 40. nemzetközi tudományos konferenciáját.

A konferencia ülészaka egybeesett a nagy honvédő háború győzedelmes befejezésének 40. évfordulójával, és ez különösen fontos jelentőséget tulajdonított e tudományos konferenciának.

A konferencián harminchat szekcióban 250 előadás hangzott el, ebből 218 előadást a szovjet szakemberek, 32 előadást a külföldi delegációk résztvevői tartottak meg, beleértve hazánkat is.

A konferencián részt vettek a Szovjetunió mellett a szocialista országok, így Bulgária, Csehszlovákia, az NDK, Lengyelország, Magyarország, a Koreai Népi Demokratikus Köztársaság. Több tőkés országból is érkeztek előadók, illetve résztvevők, így Görögországból, az NSZK-ból, az USA-ból és Olaszországból is.

A szekcióüléseken általában 15–20 perces előadá-

sok hangzottak el, ezeket alkalmanként rövid vita is követte.

A plenáris üléseken az alábbi témákban hangzottak el előadások:

- hírközlés a nagy honvédő háború idejében;
- a kozmikus rádióelektronika a béke és alkotás szolgálatában;
- a rádiózás és a televíziózás perspektívái a Szovjetunióban;
- adaptív robotok alkalmazása a termelő rendszerekben;
- a száloptikai hírközlés fejlődésének perspektívái, amelyről röviden kiemeljük, hogy az egész konferencia egyik legjobb előadása volt.

Hazánk részéről a Híradástechnikai Tudományos Egyesület 6 fővel, a Posta Rádió és Televízió Műszaki Igazgatósága 2 fővel, a Távközlési Kutató Intézet pedig 15 fős delegációval képviseltette magát.

Dr. Kapor József

Tárolt programvezérlésű telefonközpontok operációs rendszere

DR. KÓCZY T. LÁSZLÓ

BME Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a mintegy 20 éves múltú visszatekintő tárolt programvezérlésű telefonközpontok operációs rendszereinek, ezen belül elsősorban az ütemezési megoldásoknak adja áttekintését. A történeti fejlődéssel összhangban először az egyszerű és összetettebb időosztásos, majd a fejlettebb funkcióosztásos megoldásokat ismerteti, melyeket összefoglalva funkcióorientált ütemezéseknek nevezhetünk. A második rész a különböző hívásosztásos, majd a virtuális processzoros ütemezési algoritmusokra mutat példákat — ez utóbbiak a folyamatorientált eljárások. A befejezésben az ütemezési rendszereknek a modern univerzális célú konkurens operációs rendszerekben való elhelyezkedésére mutat rá.

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedben a hazai kapcsolástechnikai szakemberek érdeklődésének is középpontjába kerültek a tárolt program vezérlésű központok. Ez különösen igaz, amióta a BHG-ban megindult a tpv — először kvázielektronikus, majd teljesen elektronikus — központok gyártása, illetve a jelenleg is intenzíven folyó fejlesztési munka, melynek eredményeiről és jövőbeli útjairól a Híradástechnikában is számos tanulmány számolt be — itt csak az utóbbi évek néhány cikkére utalunk: [1], [2], ill. [3], [4].

A konkrét rendszerek, központcsaládok ismertetése mellett azonban — úgy véljük — nem érdektelen az általánosabb, a nemzetközi eredményeket is feldolgozó áttekintés sem; célunk a jelen tanulmányban a különböző, ismertebb kapcsolástechnikai gyártó vállalatok néhány fontos terméke alapján kiemelni a közös vagy éppen eltérő jellegzetességeket. Természetesen nincs mód a korlátozott terjedelem keretei között teljes képet adni, e helyett csupán a tpv központok vezérlő szoftverjének egyik leglényegesebb komponensét, az operációs rendszert, s ezen belül is a feladatok ütemezésének megoldását vizsgáljuk. Célunk olyan áttekintés nyújtása, amely a konkrét szakirodalmat tanulmányozók számára egyfajta globális szemléletet ad, s ezáltal az ismertett rendszerek működésének megértését könnyíti, de esetleg a fejlesztők számára is tartalmaz néhány ötletet.

Mielőtt rátérnénk a fentiekben körülhatárolt téma elemzésére, előrebocsátunk néhány általánosabb gondolatot a tpv szoftver rendszerekkel kapcsolatban. E rendszerekkel szemben támasztott funkcionális és gazdasági jellegű követelmények nagy mértékben meghatározzák a struktúrát és az általános jellemzőket. E követelmények közül a legfontosabbakat az alábbiakban foglaljuk össze:

- *valós idejű vezérlési sebesség*, gyors reakcióidő a beavatkozást igénylő változások esetén;

DR. KÓCZY T. LÁSZLÓ

1975-ben szerzett a Budapesti Műszaki Egyetemen a Villamosmérnöki Kar műszer- és irányítástechnika szakán oklevelet, ugyanitt 1976-ban kutató és fejlesztő irányú szaktudományi oklevelet. 1977-ben a fuzzy matematikai módszerek és alkalmazásuk témakörében a BME-n kapott egyetemi doktori fokozatot. 1976-tól a BME Híradástechnikai Elektronika Intézet tud. segédmunkatársa, majd tanársegéde, 1983-tól adjunktusa. Közben 1982/83-ban egy tanévet töltött a BHG Fejlesztési Inté-

zetében ipari tapasztalat-szerzésen. Részt vett több a BHG-val, ill. a TKI-val közös fejlesztési munkában. Számos publikációja jelent meg fuzzy matematika, útkeresési eljárások és tpv vezérlési kérdések témakörben. A Mathematical Reviews recenzense, tagja az Amerikai és a Lengyel Matematikai Társulatnak, a HTE IB vezetőségének és több MTESZ egyesületnek, továbbá a Karközi Alkalmazott Matematikai Munkaközösség Szervező Bizottságának, ill. a KAMM Füzetek és a KAMM Bulletins szerkesztőségének tagja.

- igen nagy megbízhatóság;
- *változtathatóság* mind egy terméken, termékcsaládon belül a konkrét helyszíntől függő igényeknek megfelelően; mind pedig az új technológiák, új szolgáltatások bevezetését lehetővé téve üzem közben;
- a karbantartás és üzemeltetés automatizálása a költségek csökkentése érdekében.

E követelmények közül az első meghatározza az egyes szoftver funkciók végrehajtásának módját, mely éppen az operációs rendszer ütemezési feladatköréhez kapcsolódik. Az adott környezeti ponton jelentkező információ (pl. ívponti állapotváltozás) meghatározott időn belüli feldolgozást, beavatkozást igényel (pl. tárcsahang indítás). Ez azonban feltételezi az észlelés gyors bekövetkezését is. Az észlelés — feldolgozás — beavatkozás funkció hármas elvégzésére rendelkezésre álló idő meghatározza azt a maximális periódushosszat, amelyen belül meg kell teremteni az adott feladatokat elvégző összes program aktivizálódásának és lefutásának a lehetőségét. Természetesen, ha az adott környezeti ponton az adott perióduson belül nem érkezett információ, a tényleges aktivizálás nem következik be. A program-egységek ilyen periodikus vagy legalábbis ciklikus indítása, ill. az indítás lehetőségének megadása jelenti az operációs rendszer ütemezési feladatkörét. A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy az ilyen ütemezésre feltétlenül jellemző lesz a ciklikus szervezés — amely valamilyen értelemben minden tpv központban megtalálható.

Beérkezett: 1985. május 20-án (#)

A megbízhatóság követelménye szintén erősen érinti az ütemezés kérdését, a konkrét ütemezési alaptechnikák ugyanis külső vagy belső zavarok, információtorzulások hatására a központ működésének bizonyos funkciókieséseit, vagy akár maradó károsodását (természetesen szoftver károsodását) idézhetik elő. Ezeknek a problémáknak a megoldására természetesen léteznek olyan eljárások, amelyekkel az ütemezési alapszert kiegészítve, megbízható rendszert lehet létrehozni.

Nagyon lényeges a változtathatóság kritériuma, amelyet mind funkcionális, mind pedig piaci tényezők erősen motiválnak. Ez a kritérium az egyik előidézője a tpv szoftverek szigorú *moduláris felépítésének*, mely a teljes rendszer funkcionális modularitását követi. (Egy további, hasonlóan erős ok a fejlesztési „technológia”, amely a világ valószínűleg ez idáig létrehozott legnagyobb méretű szoftver rendszereinél csak kvázifüggetlen modulok előállítása formájában képzelhető el.) A programok moduláris megoldása viszont kihat az egyes programblokkok aktivizálásának, „felütemezésének” az egy-egy módjára is.

A karbantartás, üzemeltetés összefügg a fentebb már említett kérdésekkel, elsősorban a megbízhatósággal és a modularitással. Külön probléma az automatikus karbantartást, adminisztratív jellegű tevékenységet végző programok ütemezése. Ellentétben a kapcsolástechnikai funkciókkal, ezek a modulok többnyire nem igényelnek szigorú időhöz kötött futást, így aktivizálásuk történhet kevésbé merev rendszerben: az ilyen feladatok elnevezése háttérjob.

E bevezetés végén megadjuk a tpv központokban található vezérlő szoftver funkciócsoportjainak áttekintését (l. 1. ábra). A szoftver rendszer 3 fő egységből tevődik össze:

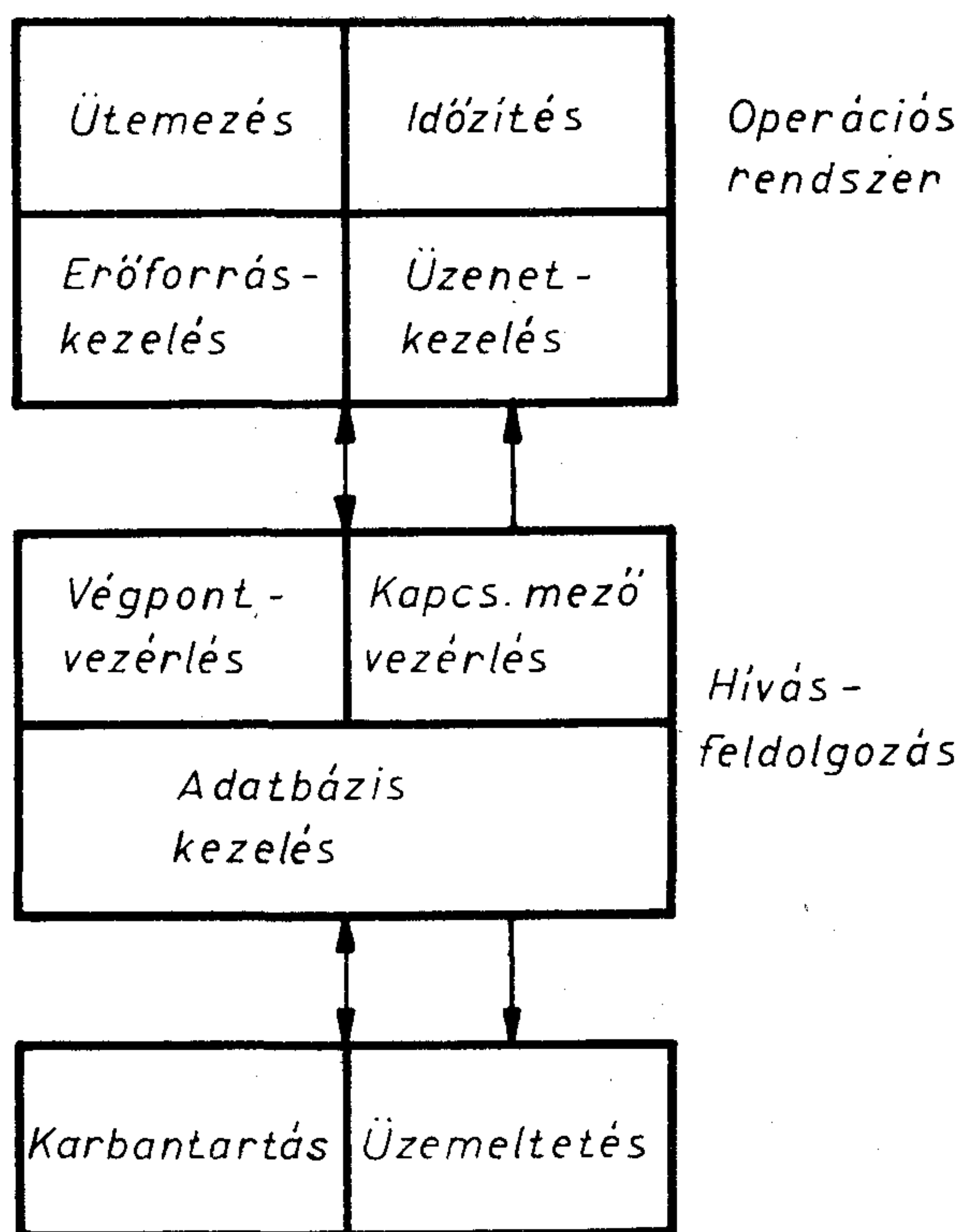
- *Operációs rendszer;*
- *Hívásfeldolgozó rendszer;*
- *Karbantartó és üzemeltető rendszer.*

Az operációs rendszer feladatait négy csoportba oszthatjuk.

- A ciklikusan végrehajtandó feladatok és a háttérjobok *ütemezése*;
- Mindenfajta tevékenység *időzítése*;
- A rendszerben található különböző *erőforrások* (pufferek, várakozó sorok) *kezelése*;
- A vezérlő rendszert alkotó processzorok, ill. a programmodulok közötti *üzenetek kezelése*.

A tényleges kapcsolástechnikai funkciókat a következő csoportokba szokás sorolni:

- *Végpont* (terminális pont) *vezérlés*, amelybe az előfizetői vonalak, trónkók, speciális feladatú ívponti áramkörök, jelgenerátorok, jelvezők, vizsgálóáramkörök stb. letapogatása és működtetése tartozik;
- *Kapcsolómező vezérlés*, amelybe a keresztpontok, összekötő áramkörök stb. állapotainak nyilvántartása, lefoglalásuk, működtetésük stb. tartozik;
- A fenti két csoporthoz kapcsolódó nagy mennyiségű *adat kezelése*, az *adatmező karbantartása*.



H75-1

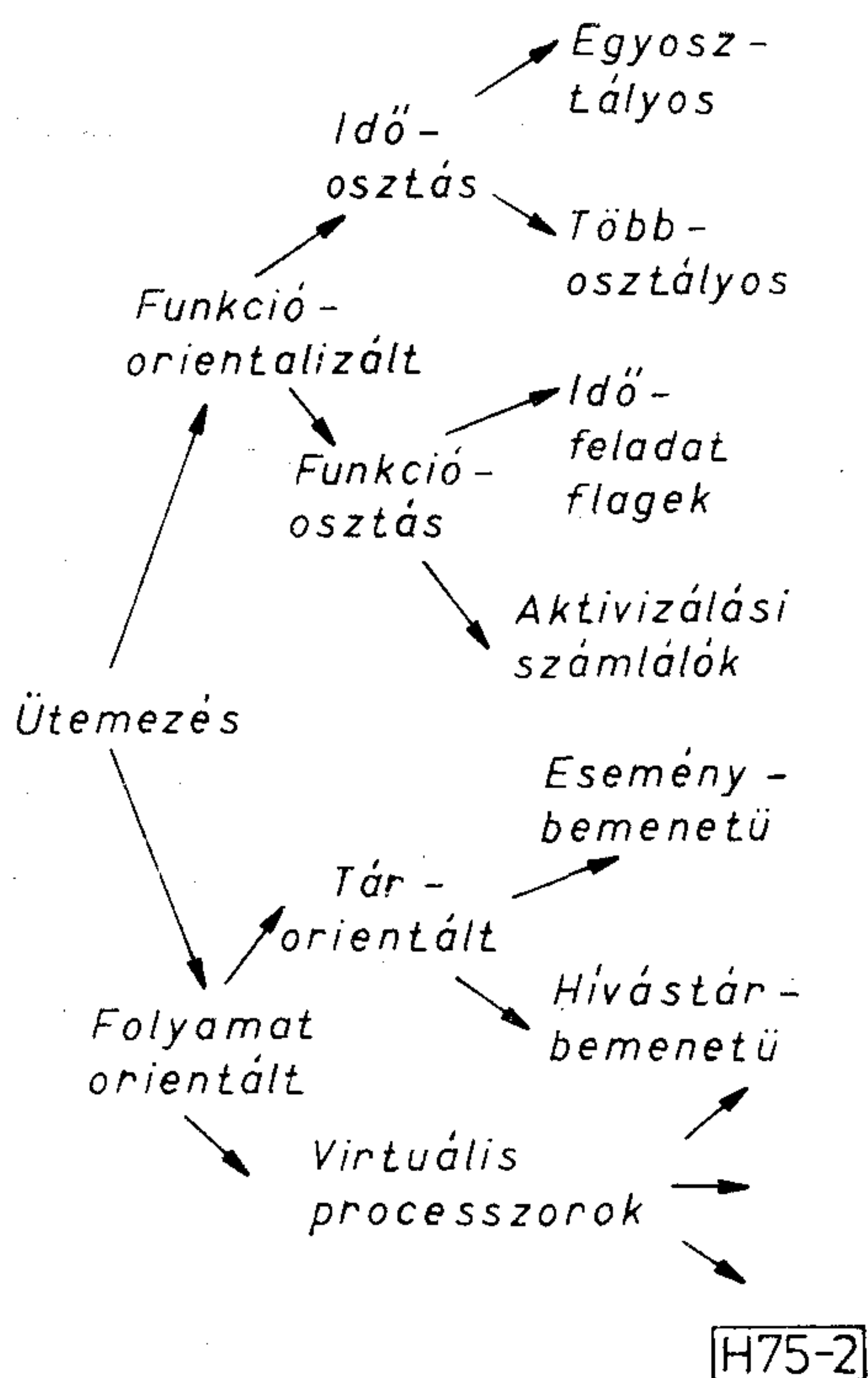
1. ábra. Tpv szoftver alkotóelemei

Végül a karbantartás és üzemeltetés csoportba összefoglalható számtalan feladat, amely programterjedelemben, a teljes rendszer nagyobbik felét képezi. Ennek részletesebb elemzésével itt nem foglalkozunk, mivel az ütemezés kérdéséhez kevésbé közvetlenül kapcsolódik.

Megemlítjük, hogy a tpv központok környezetében még számos további szoftver egység is található: a fejlesztést, gyártást és üzembe helyezést, valamint a karbantartást és üzemvitelt támogató számítógépes ill. tpv rendszerek programjai. Mivel azonban ezek magával a központtal csak áttételes, off-line kapcsolatban állnak, a szoros értelemben vett tpv központ szoftverhez nem sorolhatók.

2. Az ütemezési elvek osztályozása

Vizsgálatainkat a továbbiakban az operációs rendszerre, azon belül is a feladatok ütemezésének kérdésére szűkítjük. A téma klasszikus szakirodalma a különböző központokba alkalmazott ütemezési módszereket három típusba sorolja: egyszerű időosztásos, funkcióosztásos és hívásosztásos elvre [5]. Hasonló osztályozást alkalmazott korábban e tanulmány szerzője is — az utóbbi típus élesebb kettéosztásával kiegészítve [6]. Megállapíthatjuk azonban, hogy az előbbi két típus — további rokon eljárásokat is idesorolva — lényegi vonásaiban erősen hasonló. Az ún. hívásosztásos módszer viszont — az eseményorientált ütemezést is ideszámítva — az újabb rendszerekben alkalmazott folyamatszémleletű, virtuális pro-



2. ábra. Ütemezési elvek családfája

cesszoros feldolgozási elv alapjait tartalmazza, ezek az eljárások tehát egy második fő csoportot alkotnak. A két alaptípus elnevezésére javasoljuk a következő kifejezéseket: *függőorientált*, ill. *folyamatorientált* ütemezés.

A függőorientált ütemezés alaptípusai közé a következő — egyre fejlettebb változatok — sorolhatók:

- egyszerű időosztás;
- többosztályos időosztás;
- idő-feladat flages aktivizálás;
- aktivizálási számlálók módszere.

Az utóbbi kettő a „függőosztásos” megoldás merev és rugalmasabb változata.

A folyamatorientált ütemezés *tárorientált* és *virtuális processzoros* megoldásokat foglal össze. A tárorientált megoldás két alaptípusa az *eseménybemenetű* és a *hívástárbemenetű* ütemezés. A 2. ábrán a fenti típusok „családfáját” látjuk.

A *függőorientált* ütemezés általános jellegzetessége az, hogy a végrehajtandó feladatok tényleges elosztásától függetlenül az ütemezés mindig a függők merev sorrendjében történik. Kissé leegyszerűsítve: ha pl. egy központban egy adott időszakban egyáltalán nincs olyan épülő beszédkapcsolat, amely egy előfizetői készülékre tárcsahang kiadását igényelné (mert az adott időszakban, ill. azt közvetlenül megelőzően nem kezdeményezett egyetlen előfizető sem hívást), a megfelelő időpontokban mégis aktivizálódik a tárcsahang kiadását végző program, majd valamilyen munkalista alapján önállóan dönt arról, hogy tényleges beavatkozást az adott ciklusban nem kell végeznie. Az egyes módszerek között a lényegi különbség abban rejlik, hogy az egyre fejlettebb változatokban az aktivizálás időpontjai, illetve a periodi-

citások egyre jobban követik az adott feladat ténylegesen szükséges aktivizálási gyakoriságát s így a processzoridő egyre jobb kihasználását jelentik.

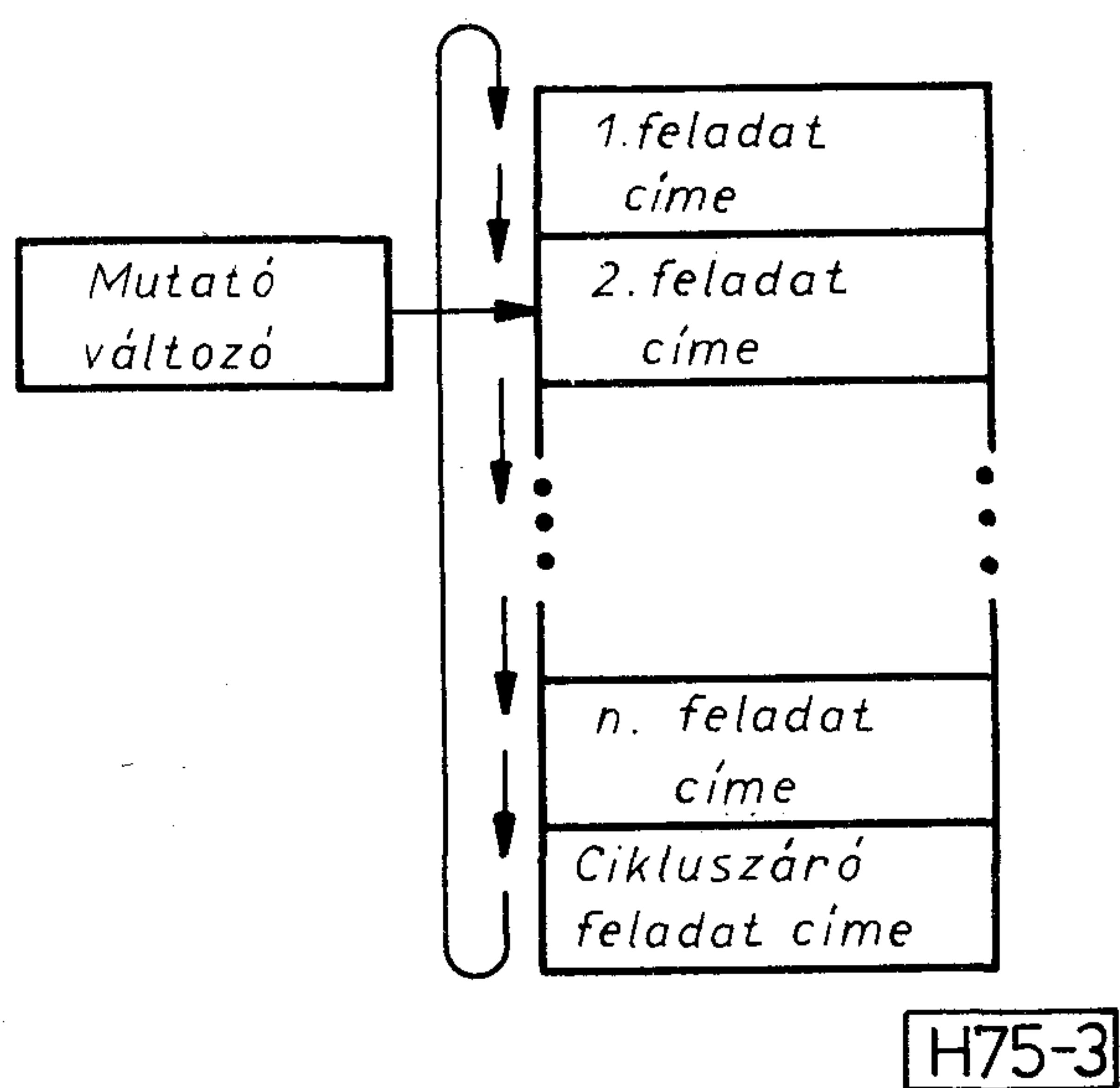
Az időosztásos változatok hátránya, hogy az aktivizálás tényleges konkrét időpontja sem mindig definiált, a függőosztásos módszerek, ezt a problémát lényegében kiküszöbölték. Az összes idesorolható ütemezési módszer közös hátránya azonban, hogy függőtől függő, nagy méretű munkalistákat feltételeznek, melyek között az információáramlást kizárólag maguk az egyes függőket ellátó programok biztosítják — ez az egyes programok felelősségét megnöveli, hiszen a tranziens jellegű hibák is katasztrofális követelménnyel járhatnak — egy vagy több hívás felépítése, illetve felügyelete szempontjából. Végül azt is megemlítjük, hogy a függőorientált ütemezéshez olyan funkcionális programblokkok illeszkednek, melyek — a szigorú feladatsztérválasztás miatt — minden esetben egyedi döntési mechanizmust igényelnek, vagyis a funkcionális programblokk és az adatbázis közötti szoftver interfész semmilyen szempontból nem szabványosítható.

A fenti csoporttal ellentétben, a folyamatorientált ütemezésnél mindig a tényleges feldolgozási igényeknek megfelelő programok aktivizálódnak, így ez az elv optimálisához közeli időkihasználást jelent. Természetesen ennek a kedvező tulajdonságnak ára is van: az aktivizálás mechanizmusa körülményesebb, illetve időigényesebb. Előnye azonban, hogy homogén jellegű adatbázist használt, ami a különböző függők egységes rendszerbe történő összeépítését és a programadatbázis interfész egységesedését eredményezi. Említésre méltó, hogy itt az információk átadása az egyes függők között nem dinamikus módon, a programfüggők közbejöttével történik, hanem az adatbázis lényegében statikus módon hordozza a programok által folyamatosan kezelt adatokat, így a tranziens függőkiesések csupán az állapotátmenetek késleltetését idézhetik elő, s nem kerülhet sor a teljes információ vagy információcsoport végleges elvesztésére. A súlyos működési hibák természetesen itt is vezethetnek katasztrofális következményekre.

A következőkben részletesen ismertetjük az egyes ütemezési elveket.

3. Az időosztásos ütemezés

Az ütemezés legkezdetlegesebb megoldása az *egyszerű időosztásos ütemezés*. Ennek lényege az, hogy az egyes funkcionális modulok közül kiválasztják a leggyakoribb aktivizálást (felütemezést) igénylőt, és ehhez alkalmazkodik az összes többi programblokk aktivizálása is. Az így alkalmazott periodicitás, pl. 25 ms, nyilvánvaló, hogy számos program esetén felesleges gyakoriságot jelent, hiszen többnyire elegendő a néhányszor 100 ms-os reakcióidő, amely természetesen az információészlelés sebességére is megenged pl. 100 ms-ot. A programok rögzített sorrendjét a feladatcím tábla adja (3. ábra). Ebben a táblázatban sorban el vannak helyezve a végrehajtandó feladatoknak megfelelő aktivizálandó programblokkok kezdőcímei. Az ütemező feladata csupán



3. ábra. Feladatecímtábla szerkezete egyszerű időosztásnál

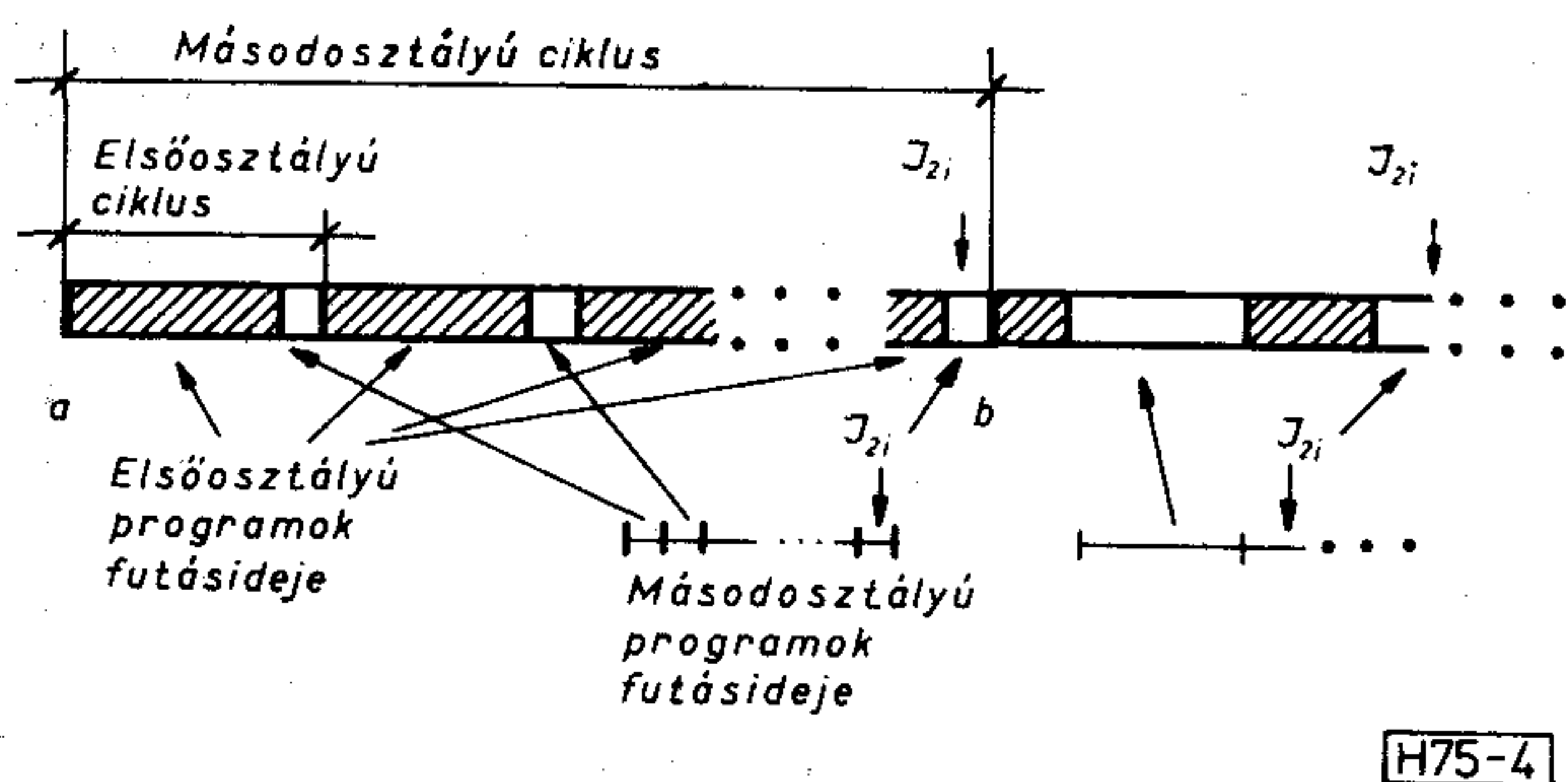
annyi, hogy a címeken valamilyen mutatóváltozó segítségével végiglépkedjen, s az egyes feladatok végrehajtását indítsa. E feladatoknak megfelelő programok saját maguk döntenek el, hogy az adott ciklusban végzendő-e tevékenység, illetve hogy hány beszélgetéssel, terminállal stb. kapcsolatban. A programok végén mindig visszatérés az ütemezőbe szerepel. A feladatecímtábla végén általában egy olyan speciális program található, amely voltaképpen az ütemezési rendszer része, ennek feladata a cikluskezdet visszaállítása, pl. a mutatóváltozó tartalmának kiinduló helyzetbe való visszaírása stb.

E megoldás hátránya, hogy a legszigorúbb követelményhez igazodik, így az időkihasználás nagyon rossz. Lényegesen jobb a helyzet a *több feladatosztályt megkülönböztető időosztásos* megoldásnál. Ekkor az egyes programblokkok az aktivizálási gyakoriság előírt minimális értéke szerinti osztályokba vannak rendezve, pl. 20–150 ms, 200–1500 ms, 2–60 s stb. Az egyes osztályokon belüli besorolásnál természetesen a szigorúbb követelmény a mérvadó. A legegyszerűbb megoldásnál az osztályok száma 2–3, mindegyik osztály külön feladatecímtáblával rendelkezik. Az ütemezés alapciklusa a leggyakoribb behívás periódus-ideje, minden alapcikluson belül mindenik, az első prioritási osztályba tartozó program aktivizálásra kerül. Tegyük fel, hogy az alapciklusidő 20 ms, ekkor a helyesen méretezett vezérlőjú központban a 20 ms-onként aktivizált programok együttes futási ideje (a felütemezés idejét is beleértve) 20 ms-nál lényegesen kevesebb lesz. (Pl. 10 ms.) A fennmaradó üres időben történik a 2. osztályú feladatok végzése, természetesen a 2. feladatecímtábla alapján. Legyen pl. a 2. osztály programjainak ütemezési gyakorisága 200 ms, ekkor egy másodrendű ciklus (200 ms) alatt ezen feladatok számára rendelkezésre álló összidő pl. 100 ms lesz. (Hiszen 200 ms alatt 10-szer futnak a ciklusonként 10 ms-ot igénybe vevő 20 ms-os programok.) Ha nincs több feladatosztály, az összfutásidő megközelítheti a fennmaradó 100 ms-ot, ha van további osztály is, természetesen nem használható ki a 100 ms sem.

Minden méretezés alapjául valamilyen feltételezett forgalmi terhelés szolgál. A valóságban azonban előfordulhat, hogy a tényleges forgalmi érték akár lényegesen túllépi a tervezett csúcserőértéket. Ekkor az adott forgalom által érintett programok futási ideje megnövekszik, hiszen ha pl. egy 20 ms-os ciklusban 30 előfizető emelte fel a kézibeszélőjét, a hurokzárás észlelő és erre reagáló (t-hangot kiadó) program futási ideje lényegesen magasabb, mint ha csak 3 hurokzárás történt. (Bár az sem igaz, hogy a futásidők aránya 10-szeres, hiszen bizonyos vizsgálati lépéseket el kell végezni akkor is, ha az adott vonalon nem történt változás: éppen e vizsgálatok alapján dönt a program, hogy további tevékenységre szükség van-e.) Ha ez az összfutásidő növekedés elér egy kritikus értéket, veszélybe kerül a többi feladatosztályba tartozó programok aktivizálásának a lehetősége. Ha az előbbi példa adatait tekintjük 2 feladatosztály esetén, a ciklusonként tervezett maximális futásidő legyen osztályonként 10 ms, illetve 80 ms. Ekkor a tervezett forgalmi értékek esetén 200 ms-onként $200 - 10 \cdot 10 - 80 = 20$ ms üresjárási idő marad. Ennél kisebb forgalom esetén természetesen még nagyobb ez az idő. Az ilyen üresjárási időt általában ki szokták használni, az ún. háttér-feladatok futtatására (karbantartás rutinszerű ellenőrzései stb.). Ha azonban az első osztályú feladatok összfutásidője 20%-kal megnő a tervezett értékhez képest, az üresjárási idő eltűnik: $200 - 10 \cdot 12 - 80 = 0$. További növekedés esetén már negatív volna ez az érték, a gyakorlatban ez azt jelenti, hogy — mivel az első osztályú feladatok futtatása mindig az elsődleges — a második osztályú programok közül néhány egyáltalán nem kerülhet aktivizálásra a 200 ms-os cikluson belül! Ha ez több cikluson keresztül ismétlődik, a központ már nem teljesíti feladatát.

Ilyen esetben egy lehetséges megoldás a ciklushossz rugalmas tágítása. Ebben a megoldásban az egyes ciklusok hossza a túlterhelésnek megfelelően nő, tehát a tényleges aktivizálás gyakorisága az előírt érték alá csökken. Ez természetesen megint csak oda vezet, hogy egy bizonyos határon túl a központ nem tudja teljesíteni feladatait.

Megfigyelhetjük azt is, hogy a fenti ütemezési módszernél kellemetlen tény a második és esetleg további osztályba tartozó feladatok tényleges aktivizálási időpontjának igen bizonytalan volta. Egy második osztályú feladat futása kezdődhet a másodrendű ciklus (pl. 200 ms) vége felé, ha az első osztályú feladatok a másodrendű ciklus első részében nagyon sok időt lefoglaltak (*4a ábra*); vagy az elején, ha az első osztályú feladatok futása általában nagyon rövid idő alatt befejeződött (*4b ábra*). A J_{2i} -vel jelölt második osztályú feladatot végző program mindkét esetben nagyjából azonos ponton aktivizálódik a saját osztálya számára rendelkezésre álló összfutásidőn belül. Ez azonban a tényleges másodrendű cikluson belül nagyon eltérő időpontot jelenthet. Ha egy *a* típusú ciklust *b* típusú követ, ez azt eredményezi, hogy a valóságban 200 ms-nál lényegesen kevesebb, ha fordítva, *b* típusút követ *a* jellegű ciklus, akkor pedig lényegesen több idő telik el a J_{2i} program két aktivizálása között. Ez az idő pl. 20 ms-os és 200 ms-os ciklusidőknél elvileg



H75-4

4. ábra. Második osztályú feladat (J_{2i}) sorra kerülése különböző terheléseknél

kb. 20 ms és 380 ms között mozoghat! Ha egy b típusú ciklust a típusú követ, amelyik *túlterhelt* és J_{2i} nem is kerül futásra, ez az idő 380 ms-nál jóval nagyobb is lehet. Az első értékek általában nem jelentenek nagy problémát, a felső határ közelébe eső idők viszont már okozhatnak hibát. Szerencsére az ilyen szélső értékek sorozatosan csak akkor fordulhatnak elő, ha maguk a ciklusidők is rugalmasan tágulnak. A ciklusok időzítése viszont már az operációs rendszer általános időzítő feladatkörével függ össze, melyet itt részletesen nem tárgyalunk.

Az időosztásos ütemezés fentiekben ismertetett két alapváltozatát ilyen közvetlen formában, illetve önmagában a tényleges rendszerekben nem alkalmazzák (éppen a fentiekben említett nehézségek miatt).

Röviden ismertetjük azonban a második változat továbbfejlesztett megoldását, melyet a BHG által gyártott EPEX központcsalád (nem EP μ) elemeinek céljára fejlesztettek ki [7]. E megoldás lényege az, hogy az összes ütemezendő feladat címei egyetlen táblázatban szerepelnek (tetszőleges sorrendben). A feladatcím táblával párhuzamosan létezik egy feladatosztály flegtáblázat, amely jelzi az adott program osztálybasorolását. Lehetőség van olyan feladatok ütemezésére is, amelyek az aktivizálási gyakoriság szerinti osztályok egyikébe sem sorolhatók: a csak bizonyos feltételek teljesülése esetén felütemezendő programok (pl. ha a program számára üzenet érkezett, vagy a program számára üzenetküldési lehetőség adódott). A táblázatok szerkezetét 1. az 5. ábrán. Bármely feladat ütemezési gyakoriságát a 0., 1., 2. vagy 3. osztályba való tartozás határozza meg; megengedett ugyanannak a feladatnak (programnak) több osztályba való egyidejű besorolása is. A 0. osztály egyébként speciális, a vezérlő szoftver belső működéséhez szükséges alapprogramok számára van fenntartva, az 1–3. osztály a 10 ms, 100 ms és 2500 ms felütemezési gyakoriságot jelenti. Mindig a 0. osztályba tartozik a ciklust lezáró ún. újraütemező (1. feljebb). Példánk mutatja, hogy valamely program ütemezése történhet ciklikusan és feltételtől függően is. A mindenkor aktivizált feladat ütemezésének „oka”, vagyis az adott felütemezést előidéző flag rögzített helyen rendelkezésre áll, tehát az egyes feladatok mindig el tudják dönteni, hogy az adott aktivizálás miatt, ill. milyen célból történt.

Ez utóbbi módszernek továbbra is hátránya az

Címtábla	0. osztály	1. osztály	2. osztály	3. osztály	1. felt.	2. felt.	
1. feladat címe	0	1	0	0	0	0	...
2. feladat címe	0	0	1	0	0	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...
n. feladat címe							
Cikluszáró feladat címe	1	0	0	0	0	0	...

H75-5

5. ábra. Ütemezési táblák EP központoknál

egyes feladatok tényleges futáskezdeteinél megmutató bizonytalanság — pl. egy első osztályba tartozó feladat két aktivizálása között extrém esetben 19 ms (sőt, a rugalmas ciklushossznövelés miatt még ennél több) is eltelhet, nagy előnye azonban, hogy egyetlen egységes feladatcím táblázatot tartalmaz, így az egyes programok üzem közbeni kiiktatása, helyettesítése más, esetleg másik osztályba tartozó feladattal, nem okoz problémát.

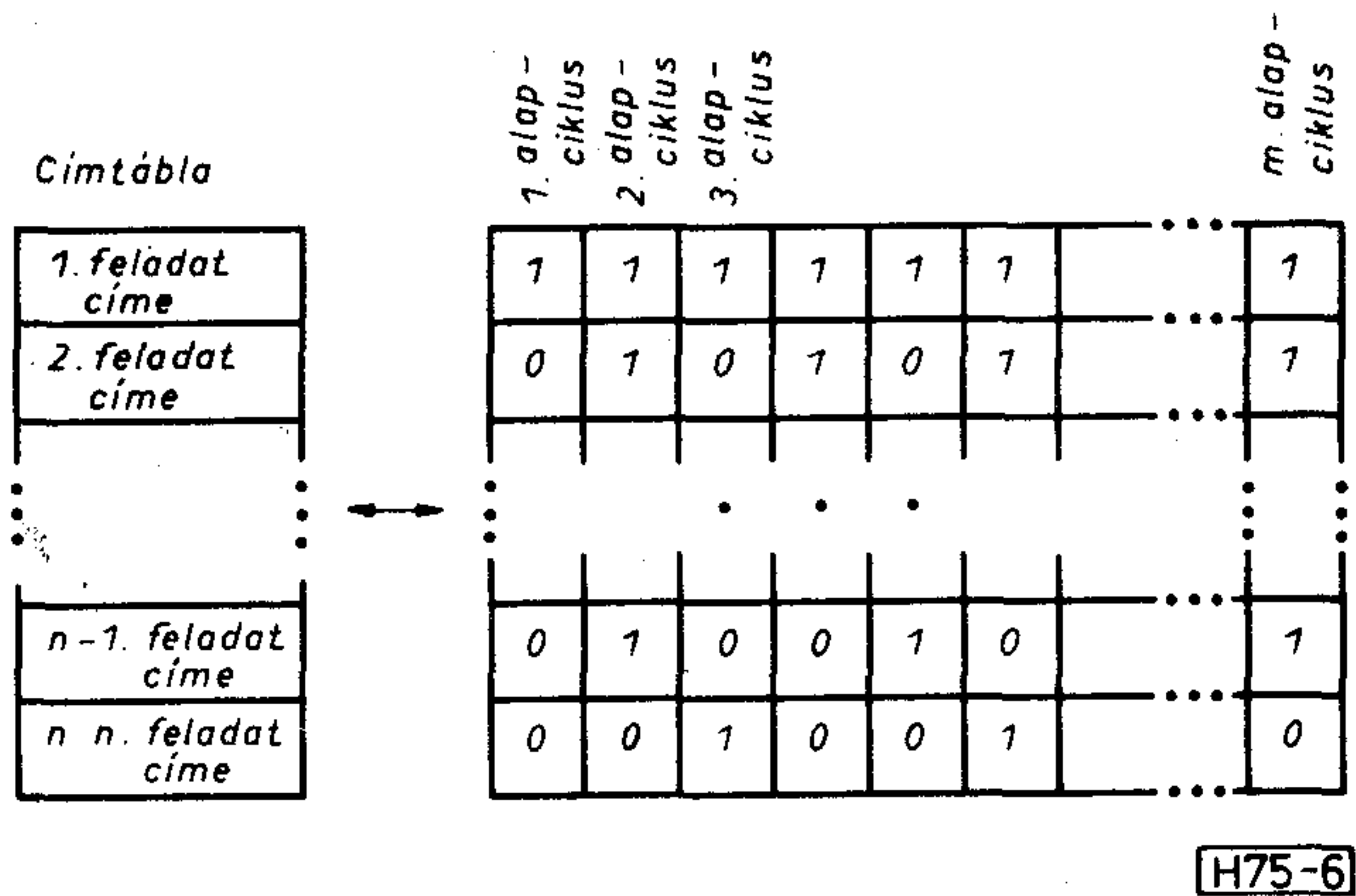
A következőkben rátérünk a funkcióorientált ütemezés fejlettebb változatára, az ún. funkcióosztásos elv ismertetésére.

4. A funkcióosztásos ütemezés

Az ún. funkcióosztásos ütemezési elv alkalmazásának célja az, hogy az egyes programblokkok felütemezésének konkrét időpontja jól kézben tartható legyen. Lényege az időosztásos megoldásával egyezik, itt azonban a feladatok merev osztálybasorolása helyett lehetőség van az előírt aktivizálási gyakoriság nagy pontosságú betartására. Az ütemezés alapja itt is valamilyen rövid időtartamú ciklus, az egyes feladatok aktivizálása azonban elvileg az alapciklus idő tetszőleges többszörösével történhet.

Klasszikus, merevebb változata a *feladat-idő flag-táblázatos* módszer. Ez az elv került alkalmazásra a Bell Laboratories első ESS központjaiban [8], [9]. A megoldás lényegét a 6. ábra segítségével ismertetjük. Az ütemezendő feladatok címtáblázatához egy olyan további táblázat kerül hozzárendelésre, amely az alapidő ciklus valamilyen véges többszörösére (m) tartalmazza az ütemezési tervet. A táblázat egy oszlopa az ütemezés egy alapciklusát szimbolizálja, az oszlop i . pozíciója az i . feladat aktivizálásának előírását tartalmazza, ha értéke 1. A flag 0 értéke esetén az adott ciklusban az adott program nem kerül behívásra. Legyen az alap ciklusidő t , ekkor vannak olyan programok, amelyek aktivizálása csak $2t, 3t, \dots, \frac{m}{2}t$ időközönként szükséges, ezeknél a feladatoknál csak minden 2., 3. ill. $\left(\frac{m}{2}\right)$. oszlopban 1 a flag értéke, a többi oszlopban 0.

A fenti módszer lényege, hogy tetszőleges üteme-



6. ábra. Feladat-idő flag táblázat (ESS központoknál)

zési gyakoriság esetén $\pm t$ pontossággal meg lehet adni az ugyanazon program két felütemezése között eltelt időt. Az időosztásos megoldásnál ez az érték elvileg csak $\pm mt$ volt — az mt ciklusidejű prioritási osztály esetén. A flagtáblázat hátránya, hogy nagyon sokféle behívási gyakoriság esetén mérete igen nagy.

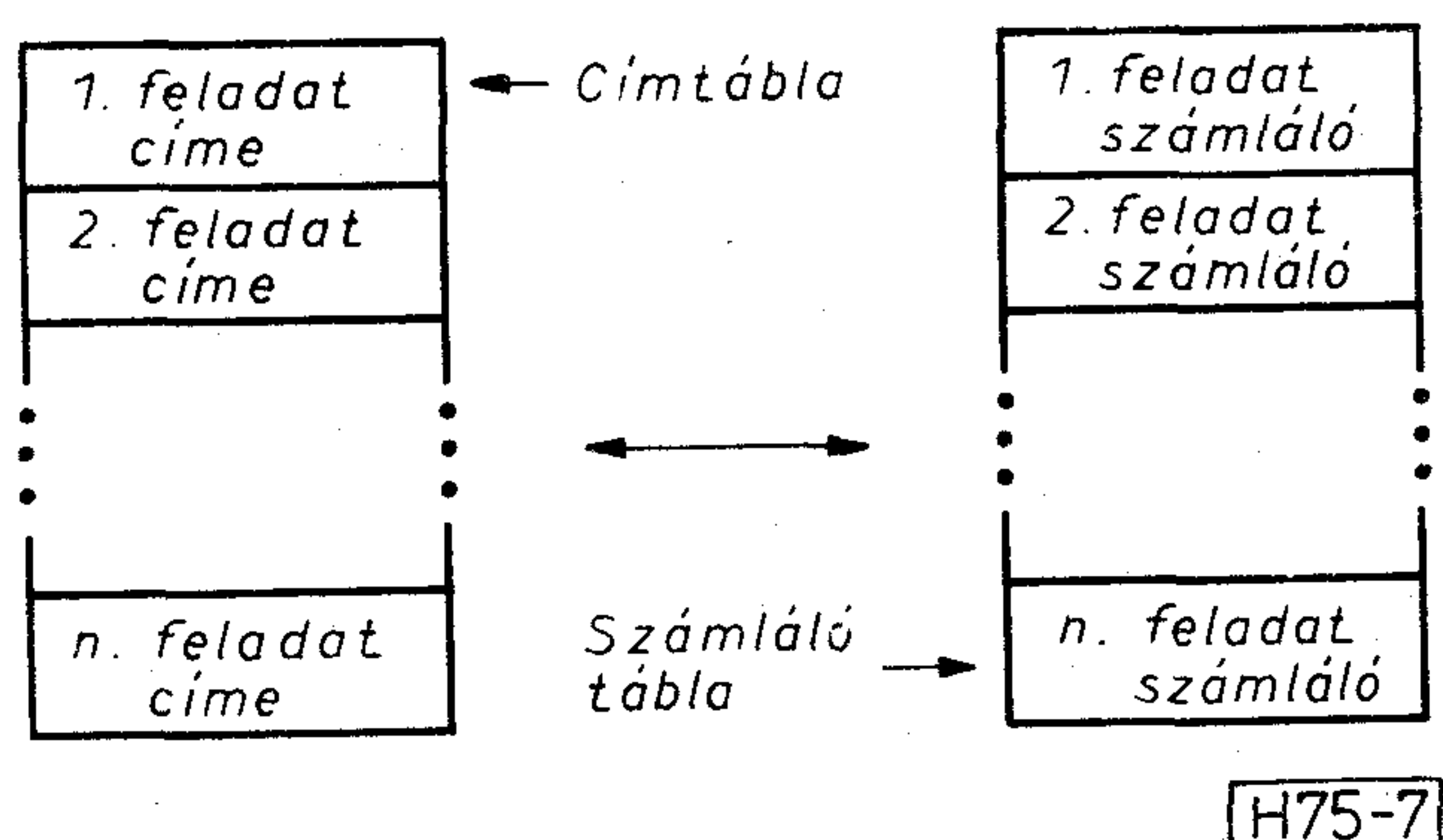
Megjegyezzük azonban, hogy már a korai ESS központoknál is összetettebb ütemezési megoldást alkalmaztak, nem a fenti funkcióosztásos megoldás alkotta az ütemező rendszer egészét. A teljes rendszer alapja egy időosztásos hurok, amelyben a nem szigorú behívási gyakorisággal rendelkező programok ciklikus aktivizálása folyik. E programok között szerepel azonban egy, a hívástárak információi alapján, az ún. tranziens hívástár feldolgozási feladatokat végző rutinokat aktivizáló program is. Ennek a működése már az ütemezési elvek másik csoportjába tartozik, ez ugyanis egyszerű példája a hívástár bemenetű hívásosztásos ütemezésnek. A fenti keretbe illeszkedik az időzített megszakítás által indított funkcióosztásos ütemező — tulajdonképpen ezek ürejárési idejében történik a nem fix gyakoriságú programok ciklikus felütemezése.

Példaként megemlíti, hogy az ESS No. 2. rendszerénél az alapciklusidő 25 ms, az időosztásos ciklus ideje pedig kb. 100 ms. Jellemző, hogy a kötött ütemezési gyakoriságú processzorok behívási periódusai között ennél nagyobb érték is található: pl.: az MFC számjegyküldő program 150 ms-onként hívódik be. (Ha ugyanis két behívás között a távolság lényegesen kisebb volna, a vétel biztonságát veszélyeztetné.) Az aktivizálás pontossága tehát nem csak a maximális, hanem a minimális aktivizálási időköz szempontjából is lényeges. A fenti adatok összehasonlítása végett megadjuk az ESS család lényegesen korszerűbb tagjának, az ESS No. 4-nek hasonló időadatait [10], [11]: Az alapciklus hossza 10 (+3) melyhez 11–35 ms időtartamú időosztásos ciklus tartozik. Az időadatok jelentős eltérését az magyarázza, hogy a központcsalád első tagjainál számos olyan funkciót huzalozott vezérlésű interfészáramkörök láttak el autonóm módon, amelyeket a korszerűbb rendszerekben már a tpv vezérlő vett át. Megemlíti, hogy a nagy kapacitású No. 1 típusú központokban folyamatosan kicserélték a vezérlő rendszert a No. 4-ben alkalmazott No. 1A jelű pro-

cesszorra, ill. a vezérlő szoftver is korszerűsödött. (Erre a kérdésre a későbbiekben még visszatérünk.)

A funkcióosztásos ütemezés legrugalmasabb változataként említjük az *aktivizálási számlálók* alkalmazását. Ezt a megoldást alkalmazták az L. M. Ericsson által kifejlesztett AXE és rokon központok központi vezérlőjében [12]. A megoldás lényegét a 7. ábrán szemléltetjük. Minden feladathoz egy szoftver számláló rekesz van rendelve. Az ütemezési alapciklus kezdetekor minden számláló értékét 1-gyel csökkenti az ütemező. Ezután a táblázaton végighaladva, azok a programok kerülnek felütemezésre, amelyeknek a számlálója 0-vá vált. Minden feladat elvégzése után a megfelelő program a számláló értékét újra beállítja, a következő ütemezés idejére. Ez a módszer biztosítja, hogy az alapciklusidő tetszőleges többszöröse legyen valamely feladat behívási időköze, anélkül, hogy ez az ütemezési táblázatok menetét növelné. Természetesen a véletlenszerűen egybeeső sok behívás esete ellen ez a megoldás nem véd, pl. az összes behívási időközök legkisebb közös többszörösének megfelelő periodicitással olyan túlterhelt ciklusok jelentkeznek, amikor minden feladat ütemezésre kellene kerüljön. Ha a legkisebb közös többszörös igen nagy érték (sok relatív prím található az egyes behívási időközök között), az ilyen túlterhelés valószínűsége igen kicsiny. Megfelelő védekezési technikával az ilyen esetek hatása is közömbösíthető. Szintén hátrányos a módszer időigényes volta, szemben az előbbi változattal.

Az AXE rendszerről alkotott pontosabb kép érdekében megemlíti, hogy a fenti, funkcióosztásos megoldás csak a központi vezérlő operációs rendszerére jellemző: az ún. regionális processzorokban ettől teljesen eltérő ütemezési megoldást alkalmaznak. Ennek lényege egy egyszerű időosztásos, egyosztályos ütemezés (l. 2. pont), mely azonban egy megszakításra épített magasabb prioritási osztállyal van kombinálva. Így kerülnek ütemezésre a központi vezérlőből érkező üzenetek hatására aktivizált jobok. Mivel a regionális processzorok alapfeladatukra egyszerű tevékenységet tartalmaz, ahol a futásidő nagymértékben független a forgalomtól (pl. vonali letapogatás nyugalmi állapotban), az időosztásos megoldás itt kielégítő pontosságot eredményez a behívási gyakoriságok szempontjából.



7. ábra. Ütemezési táblák aktivizálási számlálókkal (AX központoknál)

5. A hívásosztásos ütemezés

Az ütemezési elvek osztályozása során említettük, hogy a 3. és 4. fejezetben ismertetett időosztásos és funkcióosztásos ütemezések lényegüket tekintve hasonlóak, ezért egy közös főcsoportba soroltuk őket. Az eddig tárgyalt, funkcióorientált ütemezések elvével élesen szembeállítható a folyamatorientált szemlélet, melynek alapgondolata a *klasszikus hívásosztásos* ütemezési módszerekben jelent meg. Ez az alapgondolat a merev periodicitás helyett a feladattól függő, rugalmasan ciklikus felütemezés megvalósítását tűzi ki célul. A módszer lényegének ismertetéséhez vezessük be először a *hívástár* fogalmát.

A hívástár a memóriában elhelyezett olyan információcsomag, mely nem valamely áramkörhöz, ívponthoz, hanem egy fennálló, vagy kezdeményezett állapotban levő híváshoz tartozik. Ennek megfelelően a hívástárak nem állandó, hanem a hívásszituációtól függő, változó tartalmúak, illetve az egy időben a rendszerben található hívástárak száma is változhat, 0 és egy adott maximális érték között. (Ez utóbbit a rendelkezésre álló memóriaterület, illetve a forgalmi kapacitás szabja meg.) Néhány rendszerben a hívástár technikai kivitelezése bonyolultabban történik, pl. a logikailag egységes hívástár fizikailag több, nem összefüggő memóriaterületen található kisebb blokkból tevődik össze, ezek között fix, áramkörfüggő rész is lehet.

E helyen nem feladatunk a hívástárak különböző megoldásainak, fejlődésének ismertetése, csupán példaként utalunk egy — klasszikusnak számító — jellegzetes társzerkezetre [9]. Az ESS No. 2 központban a nem beszédállapotban levő híváshoz rendelt ún. tranzienst hívásrekord egy lehetséges kitöltése látható a 8. ábrán. A tár első szava a hívás feldolgozásában soron következő program kezdőcímét és egy vezérlő flaget tartalmaz. A második két szó a hívott és a hívó azonosítóját adja meg, a legfelső biten a kategória (előfizető vagy trónk) található. A következő elem különböző státuszinformációkat ad meg, pl. itt lehet jelezni, ha konferenciabeszélgetés épül fel vagy ha az első szabadút keresési kísérlet sikertelen volt. Az időzítés a különböző fázisok esetén előírt várakozási idők, leidőzítési időpontok stb. mérését segíti. Hasonlóan tárolásra kerül a már beadott számjegyek száma és a különböző célokra lefoglalt áramkörök azonosítója.

Természetesen a különböző rendszerekben alkalmazott hívástármegoldások eltérőek, közös azonban, hogy mindig tartalmazzák a hívó és a hívott fél azonosítóját, a hívásfelépítés (vagy lebontás) fázisára vonatkozó státuszinformációt és a hívás kapcsán lefoglalt rendszer-erőforrások (áramkörök, memóriablokkok stb.) adatait. A hívástár tehát minden lényeges információt tartalmaz a hívás statikus állapotára nézve. Nem dönthető el azonban egy hívástár alapján, hogy egy adott pillanatban egy hívás állapotában valamilyen változásnak be kell-e következni — ez ugyanis mindig külső vagy belső események hatására történik. Az események érzékelése általában áramkörorientált módon történik — letapogatással vagy megszakítással — természetesen pl. egy belső időzítés lejártá csak képletesen tekinthető va-

Aktivizálandó program címe		flag
kat.	Hívó	
kat.	Hívott	
Kül. státusz információk		Időzítés
Hívó regiszter		
Számjegyszám		Hívó szolg. á.k.
		Hívott szolg. á.k.
Összekötő áramkör v. cím		

H75-8

8. ábra. Példa hívástár szerkezetére

lamely „áramkör” jelzésének, itt ugyanis egy szoftver modul felel meg a letapogatandó objektumnak.

A hívástárak és események kettőssége adja a hívásorientált ütemezési elv lényegét. Bármely akció ütemezését valamely összetartozó hívástár — esemény pár észlelése indítja. A hívástárak valamilyen puffterületen, esetleg láncban vannak elhelyezve. A hívástárorientált ütemezési változat esetében az ütemező a nem üres hívástárakat veszi sorra — valamilyen jól definiált sorrend szerint. A hívástárban található azonosítók közül megállapítható, hogy mely események vonatkoznak az adott hívásra (ha ilyen esemény adott pillanatban egyáltalán tartózkodik a rendszerben). A hívásállapot—esemény párok alapján valamilyen döntési mechanizmus segítségével az ütemező meghatározza a végrehajtandó job(ok) adatait és felütemezi a megfelelő programo(ka)t. Előfordulhat, hogy az állapoteseemény pár még kevés információt ad a hívás fázisváltásához, ilyenkor további programok futtatása válhat szükségessé, melyek olyan további információkat (ún. pszeudoeseeményeket) generálnak, amelyek alapján a hívás új fázisa meghatározható. A felütemezett program(ok) a hívástár tartalmának megváltoztatásáról is gondoskodik(nak).

A hívástárorientált hívásosztásos ütemezés természetesen önmagában nem alkalmas egy teljes ütemezési rendszer megoldásaként. Vannak ugyanis olyan szituációk, amelyek a hívástárak végigkövetésével nem ismerhetők fel. Így pl. a híváskezdeményezéseket jelző események még nem vonatkoznak semmilyen meglevő hívástárra: éppen ezek alapján kell új hívástárat generálni. Technikailag ez többnyire úgy történik, hogy az összes potenciális hívástérületek két csoportra vannak osztva: az üres, „nemlétező” tárok csoportjára és az aktív tárok csoportjára. A híváskezdeményezés hatására egy üres tár átkerül az aktív tárok csoportjába (pl. egy kontrol flag átírásával vagy átláncolással) és kitöltődik a hívó azonosítója, valamint a kezdeményezésnek megfelelő állapot. Természetesen további akciókra

is szükség van (pl. tárcsahangkiadás indítása). Innen kezdve már alkalmazható a hívásorientált ütemezés.

A kifejezetten áramkörorientált feladatok (pl. vonalak letapogatása, eseménydetekció) minden esetben a funkcióorientált ütemezés valamilyen megoldása szerint kerülnek aktivizálásra. Utaltunk már az ESS központcsalád első elemeinél alkalmazott egyes ütemezési rendszerre, ennek lényege a funkcióosztás-hívástárorientált hívásosztás kombinációja (vö. [5], [8], [13], [9]). Ezeknél a rendszereknél a hívástárakon történő előrelépés egy kifejezetten erre a célra alkotott gépi utasítás segítségével történik, mely a megfelelő pointert a soron következő hívástár kezdő címére állítja rá.

A fentiekben ismertetett elv jellemzői a következők:

- Az információk továbbítása nem a funkcionális programok feladata, hanem a híváshoz kötött hívástáré, így egy-egy program tranziens hibája a hívások feldolgozásában általában nem okoz maradandó rendellenességet.
- Az esemény és hívásállapot (és esetleg pszeudo-esemény) bemenetű döntések mechanizmusa jól egységesíthető, pl. rekurzív fastruktúrával realizált állapotátmeneti tábla segítségével. Ez a funkcionális programok egyszerűsödését eredményezi. (Vö. [5], [6].)
- Bizonyos funkciók (az alapvetően eseményindításúak) ebbe a rendszerbe közvetlenül nem illeszthetők bele, tehát az elvet minden esetben kombinálni kell valamilyen funkcióorientált megoldással.
- A hívástárak állandó és kimerítő letapogatása lehetővé teszi ezek szoftver karbantartását. Ugyanakkor az események puffertérületei (várakozó sorai, láncai) nincsenek jól kézben tartva, mivel itt a keresés asszociatív jellegű. A megoldást tehát mindig ki kell egészíteni valamilyen eseményorientált karbantartási algoritmussal is.

A hívásosztásos ütemezés másik lehetséges megoldása az *eseményorientált* ütemezés. Ennek kezdeti formája a fenti rendszerhez hasonló, itt azonban az események várakozó sora, láncra kerül ciklikus letapogatásra, majd az eseményhez tartozó hívástár asszociatív jellegű megkeresése (pl. esemény által érintett ívpont keresése, mint hívó azonosító) után hasonló jellegű döntés következik, mint a hívástárorientált megoldásban [5], [6]. Ez a megoldás már a következő fejezetben tárgyalandó virtuális processzoros ütemezési elvet valósítja meg, bár erősen korlátozott formában. Az eseményorientált hívásosztás jellemzői:

- A funkcionális programok tranziens *hibáival szemben* ugyanúgy *védett*, mint a hívásorientált rendszer.
- A *döntési mechanizmus* szintén egyszerűsíthető.
- Nincs feltétlenül szükség a kiegészítő funkcióorientált ütemezésre, bár a gyakorlatban ez általában még megtalálható. (Vö. az ESS No. 4-nél alkalmazott megoldást: [10], [11].)
- Az eseménypufferek folyamatos letapogatásával szemben *nem történik meg a hívástár terület*

tek automatikus karbantartása, ezt tehát külön programmal kell elvégezni.

A következő fejezetben részletesen tárgyaljuk az alapvetően eseményorientált hívásosztásos megoldásból kifejlődött virtuális processzorok elvén alapuló ütemezési rendszert.

6. A virtuális processzorok elvén alapuló ütemezés

Ha az 5. fejezetben tárgyalt hívásosztásos ütemezési elvet összehasonlítjuk a 3. és 4. fejezetek különböző funkcióorientált eljárásaival, jelentős különbséget észlelhetünk közöttük. Míg az idő-, illetve funkcióosztásos megoldások az elvégzendő feladatokat a konkrét forgalmi szituációtól független típusokba sorolják, melyek konkrét programhoz kötöttek, s ezek ütemezése a feladattípusok rögzített sorrendjében történik, a hívásosztás lényege éppen a felmerülő feladatok forgalmi helyzettől függően súlyozott, a mindenkor igényeket megfelelő erőforrás felhasználással történő megoldása. Ez utóbbi módszer tehát lényegesen rugalmasabb, így alkalmasabb a hívások számos fázisának kezelésére és egyéb, pl. karbantartási célokra is. Továbbra is hangsúlyozzuk azonban, hogy bizonyos fázisokban, mint pl. a vonalak ciklikus letapogatása, a merevebb funkcióorientált ütemezés kiválóan illeszkedik a problémához.

A jelen fejezetben az ütemezés területén alkalmazott legmodernebb megoldások közös jellemzőit szeretnénk összefoglalni, e megoldások bonyolultsága miatt azonban ezt csak az eddigieknél általánosabb keretek között tesszük meg. A megoldás alap gondolataként induljunk ki az elvégzendő feladatok néhány jellegzetességéből.

A kapcsoló központokban megvalósított vezérlési rendszer számos *alrendszerre* bomlik. Az erős tagolás jól illeszkedik a méret-, változtathatósági és egyéb okokból is szükségszerűen kialakított moduláris szerkezethez. Az alrendszer forgalmával tulajdonképpen egy-egy konkrét hívás kezeléséig és/vagy egy-egy híváskezelési funkcióig is lemehetünk. Ebben a szemléletben — az alrendszerek közé természetesen a karbantartási, üzemeltetési és egyéb funkciókat is besorolva — igen *nagy számú*, egymástól vezérlési szempontból kevésbé függő, illetve csak üzenetjellegű kommunikációs kapcsolatban álló, egymáshoz képest aszinkron módon zajló alrendszerhez, ún. *folyamathoz* jutunk. Ezek mindegyike egy-egy szekvenciális automata modelljével írható le, hiszen kimerete (hatásai, elküldött üzenetei) a bemenetek (kapott üzenetek, külső információk) adott sorozatának a függvényeként alakul ki — a korábbi bemenetek lényeges megőrzendő információit az alrendszer belső állapota tárolja [14]. Egy-egy alrendszer határait az alábbiak szerint érdemes megvonni:

- az alrendszeren belül legyen erős funkcionális összetartozás (kohézió);
- az alrendszeren kívüli feladatokkal (más alrendszerek) a vezérlés csatolása legyen minél lazább (*aszinkronitás*).

A fentieknek megfelelő folyamatok mindegyike belülről úgy látja, mintha a processzor kizárólag vele

foglalkoznék, s mindazok az időszakok, amikor a valóságban más folyamatok futnak, belülről nézve nem léteznek, mivel ekkor a folyamat *felfüggesztett* állapotban van. Az operációs rendszer és ezen belül elsősorban az ütemezés feladata ilyen megközelítésben az, hogy minden folyamat számára biztosítsa a saját *virtuális processzor* használatát.

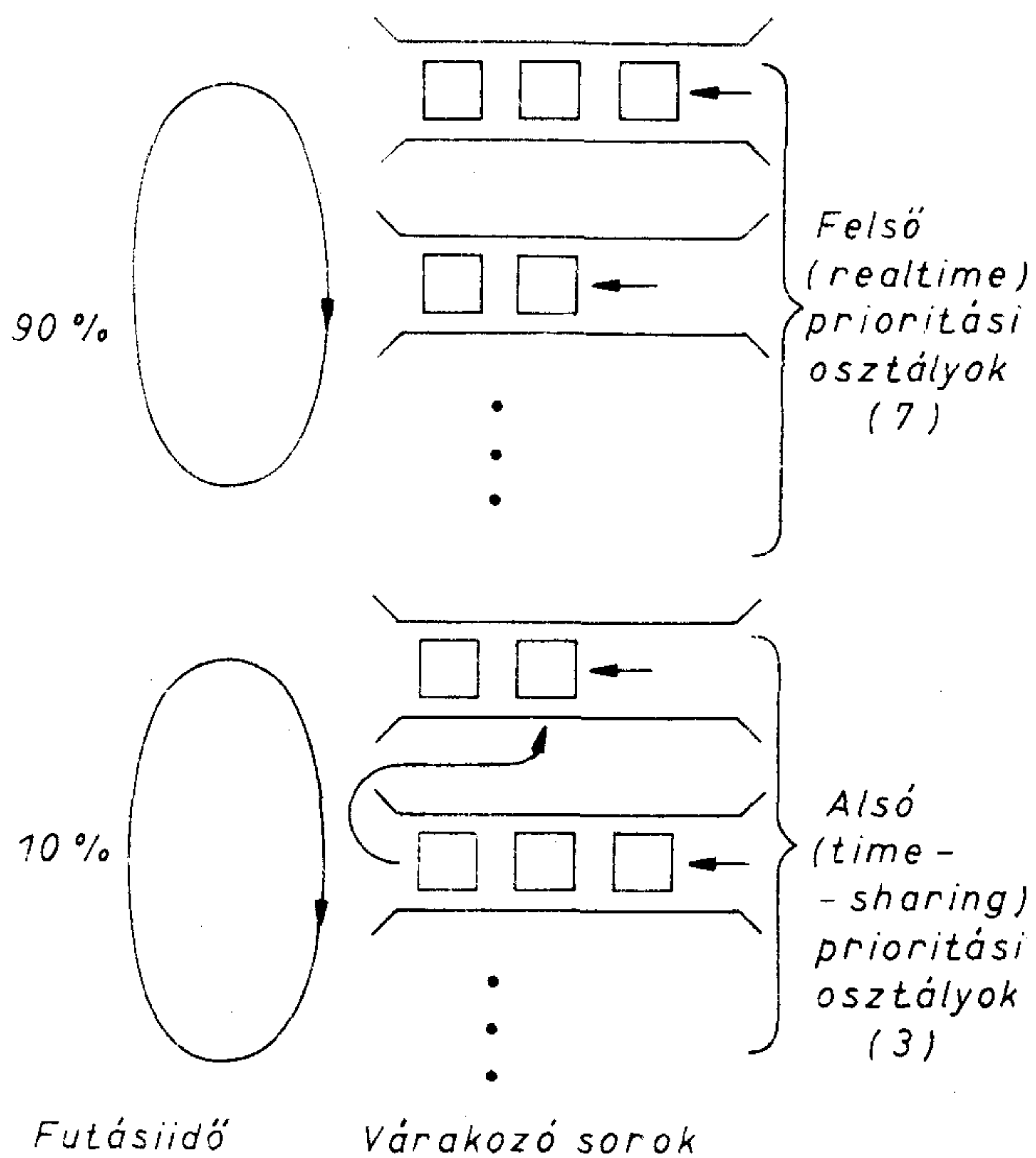
A fentiekben vázolt szemlélet természetesen nem csak a kapcsolóközpontokon belüli feladatokra vonatkozhat. Hasonló alrendszerek jelentkeznek minden nagyobb volumenű valós idejű vezérlési irányítási feladaton belül, így pl. a számítógépes folyamat-szabályozásban. Nem meglepő tehát, hogy az egyidejűleg, egymáshoz képest aszinkron módon zajló folyamatok programozásának irodalma és gyakorlata a tpv kapcsolástechnikához hasonlóan a 60-as évekre nyúlik vissza — s eredetileg a kapcsolástechnikától meglehetősen függetlenül fejlődött. Az ún. *konkurrens* programozás alapirodalma számos olyan gondolatot felvet, melyek a legújabb tpv központokban felhasználásra kerültek (l. pl. [15], [16], [17]). A konkurrens programozás első alkalmazásai, illetve a kifejlesztett módszerek jellegükben a tpv kapcsolástechnikai ütemezések első csoportjával, a funkcióorientált ütemezéssel egyeznek, élesen jelentkeznek a rokonság pl. a [16]-ban ismertetett elvek és a [12] alapján leírt aktivizálási számlálók módszere között. Legjellemzőbb ezekre az ütemezésekre az alrendszerek (folyamatok, funkcióorientált programok) állandó száma, melyet az operációs rendszer közvetlenül változtatni nem tud. Az alrendszerek tényleges működésében azonban a kapcsolóközpontok esetében kezdettől fogva jelentkezett a környezettől függő feladatmennyiség ingadozása. A rögzített alrendszer — (job típus-) szám esetén ez az egyes programok futási idejének igen erős változásában nyilvánult meg, mely az ütemezési módszerek használhatóságának erős korlátját is jelentette. A változó folyamatszám ezt a problémát a lehető legrugalmasabban oldja meg — természetesen a vezérlő rendszert túlterhelő forgalom hatását semmilyen ütemezési technika sem tudja eltakarni.

A vázolt virtuális processzoros közelítés természetesen még sokféle konkrét megoldást megenged. Az ITT 1240 (System 12) rendszere [14] pl. az elosztott architektúrának megfelelően terminális-pont orientált folyamatokra épít. Ez a technika viszonylag egyszerűen áttekinthető, programblokkonként lényegében függetlenül tesztelhető, ill. cserélhető szoftvert eredményez, melyet különösen a teljes program „réteges” szerkezete biztosít. Ennek lényege a következő: minden terminális jellegű hardver elemet egy hozzárendelt szoftver kezel. E kettő együtt adja a „virtuális terminált”. A virtuális terminálok kezelését egy olyan következő programszint végzi, amely a külvilágtól csak funkcionális tartalmú üzeneteket kap — ezt az alsóbb szintre már konkrét, de logikai jellegű üzenetek formájában adja át, a fizikai parancsok csak a legalsó szinten jelentkeznek. Ez a technika lehetővé teszi, hogy pl. a teljes terminális hardvert úgy kicseréljék (természetesen a működtető handler programokkal együtt) hogy pl. az ütemezés szintjén semmilyen változtatást ne kelljen végezni, hiszen a folyamatok funkcionális jellemzői ettől még változatlanok maradhatnak.

Az egyes alrendszerek (folyamatok) természetesen nem egyenrangúak, a prioritási osztályok az egyes virtuális processzorok aktivizálódásának egymáshoz képesti tényleges idejét meg kell hogy szabják. A Bell—Northern DMS—100 családjánál [18] az SOS elnevezésű operációs rendszer a folyamatok 8 prioritási osztályba történő besorolását teszi lehetővé, a folyamatok ún. vezérlő blokkja tartalmazza a prioritási címkét (0—7). Az ütemező az aktivizálásra várakozó folyamatok közül először a legmagasabb prioritásúakat választja ki, az azonos prioritású, egyidőben aktivizált folyamatok egymás között az egyszerű időosztáshoz hasonló elven osztoznak meg az időn. E rendszernél a nagy gyakorisággal végzendő feladatok a központi vezérlőtől függetlenül autonóm módon zajlanak, így az egyes folyamatok futása viszonylag hosszabb lehet. Az ütemezés alapciklusa 6,25 ms, egy folyamat azonban max. 6 ciklus idejét foglalhatja el. (Ilyen hosszú aktivitás azonban igen ritkán, csak néhány speciális hívásfeldolgozási feladatnál fordulhat elő, l. később.) A gyakorlatban egy-egy folyamat 1, legfeljebb 2 ilyen időrést foglal le. A meglepően hosszú idők magyarázata abban a megközelítésben rejlik, hogy a virtuális processzoros folyamatszemléletű ütemezésnél az ütemező már igen bonyolult s így maga az aktivizálás a futásidővel összemérhető nagyságú idősebességet jelez. Hosszabb összefüggő futásnál az aktivizálás rezszi ideje százalékosan kisebb. Ennek szellemében az SOS ütemező lehetőleg mindaddig hagyja a folyamatot futni, amíg az minden, az adott információk ismeretében elvégezhető tevékenységet elvégzett, s végül önként mond le a futásról (valamilyen újabb üzenetre, leggyakrabban időzítésre fog várakozni, vagy megszünteti önmagát). A 6 ciklus utáni „erőszakos” futásmegszakítás elsősorban védekezési célú: így nem fordulhat elő, hogy egy hibás folyamat, mely önként nem mond le a futásról, megbénítja az ütemezést.

A hívásfeldolgozási és más sürgős, lehívási gyakorisághoz kötött folyamatok mellett természetesen a DMS rendszerben is vannak háttérfeladatok: olyan karbantartási, üzemeltetési jobok, amelyek aktivizálása soha nem sürgős, de amelyek futása természetesen szintén szükséges a helyes működéshez. Ezek a folyamatok az alsó három prioritási osztályt alkotják s így előfordulhatna, hogy a magasabb prioritású folyamatok hosszabb ideig állandóan kiszorítják őket a futásból. Ennek elkerülésére a teljes futási idő 10%-ában kizárólag ezek a folyamatok kerülnek aktivizálásra (9. ábra). Az ütemezés tehát a következők szerint zajlik: Az ütemező megvizsgálja, hogy vannak-e folyamatok a legmagasabb prioritású osztály várakozó sorában. Mindaddig, amíg ez nem üres, e folyamatok kapják meg az őket tartalmazó processzort. Ha ez kiürült, következik a második várakozó sor stb. Ha közben újabb folyamat jelentkezik futásra egy magasabb osztályban, az éppen aktív folyamat lemondásig fut, de utána újra a magasabb prioritási sor kerül kiürítésre. A futásidő meghatározott szeletében ugyanezen szisztéma szerint az alsó 3 osztály várakozó soraiban levő folyamatok kerülnek felütemezésre.

A hosszú futású folyamatok olyan módon kerülnek el a 6,25 ms-onként beérkező megszakítást (mely újra az ütemezőbe adja vissza a vezérlést), hogy ezt a



H75-9

9. ábra. Feladatok ütemezési rendje (folyamatok aktivizálása) DMS központoknál

megszakítást maszkolni lehet. $6 \times 6,25$ ms után azonban a maszkolás automatikusan leidőzítésre kerül.

A fenti rendszerre még a ki/beviteli pontok megszakításai rakódnak, melyek a legmagasabb prioritású folyamatnál is jogosultak a futás felfüggesztésére. Az ütemező megszakításhoz hasonlóan itt is lehetőség van az időszakos maszkolásra.

Érintettük már a különösen hosszú aktivitási idejű folyamatok kérdését. A DMS-100-ban alkalmazott megoldás e szempontból összetettebb, mint a korábbiak, pl. a Northern Telecom SP-1 központjában megvalósított rendszer. Ennek lényege a rövid folyamataktívítási idő (max. 1–2 ms), mely természetesen egy-egy hívás „életében” sokszori folyamataktívizálást jelent. A rövid futási idő a hívások sok rövid fázisra való bontását teszi szükségessé, ennek az előnye az, hogy a folyamatok soha nincsenek aktív állapotban, ha funkcionálisan várakozni kénytelenek (pl. külső válaszra, pszeudoesemény beolvasására). A nehézséget itt az jelenti, hogy a bonyolult, különleges hívások (pl. pénzbedobás készülékről történő hívás) esetén a folyamatok felfüggesztett állapotban igen sok (közbenő) adatot kell tárolnia, s a következő aktivizáláskor bonyolult algoritmus szerint kell dönteni a továbbiakról. Ehhez a szemlélethez az egyes folyamatok által igényelt virtuális processzor egységes volta illeszkedik, tehát itt — szélső értékben — egyetlen, igen bonyolult program futása fogja jellemezni a folyamatok aktivitását.

A DMS-100 családnál a nem túl bonyolult hívások felépítésére ugyanez a megoldás került alkalmazásra. A különlegesebb eseteket viszont saját virtuális processzor (különböző programmal) bonyolítja le, lehe-

tőség szerint olyan hosszú futással, hogy minimális adat őrzésére legyen csak szükség két aktivizálás között. Ilyenkor általában a híváskezdeményezéstől a tárcsázási hang kiadásáig, a tárcsázás befejezésétől a hívás teljes felépítéséig stb. felfüggesztés nélkül fut a folyamat (a tárcsázást magát autonóm egység bevételezi). A hívások kvázinyugalmi fázisaiban (pl. beszédállapot) a folyamatok teljesen megszüntetik önmagukat, a hívásra vonatkozó információkat csupán egy egyszerű hívástár tartja nyilván.

Maguk a folyamatok általában a következő elemekből épülnek fel [20]:

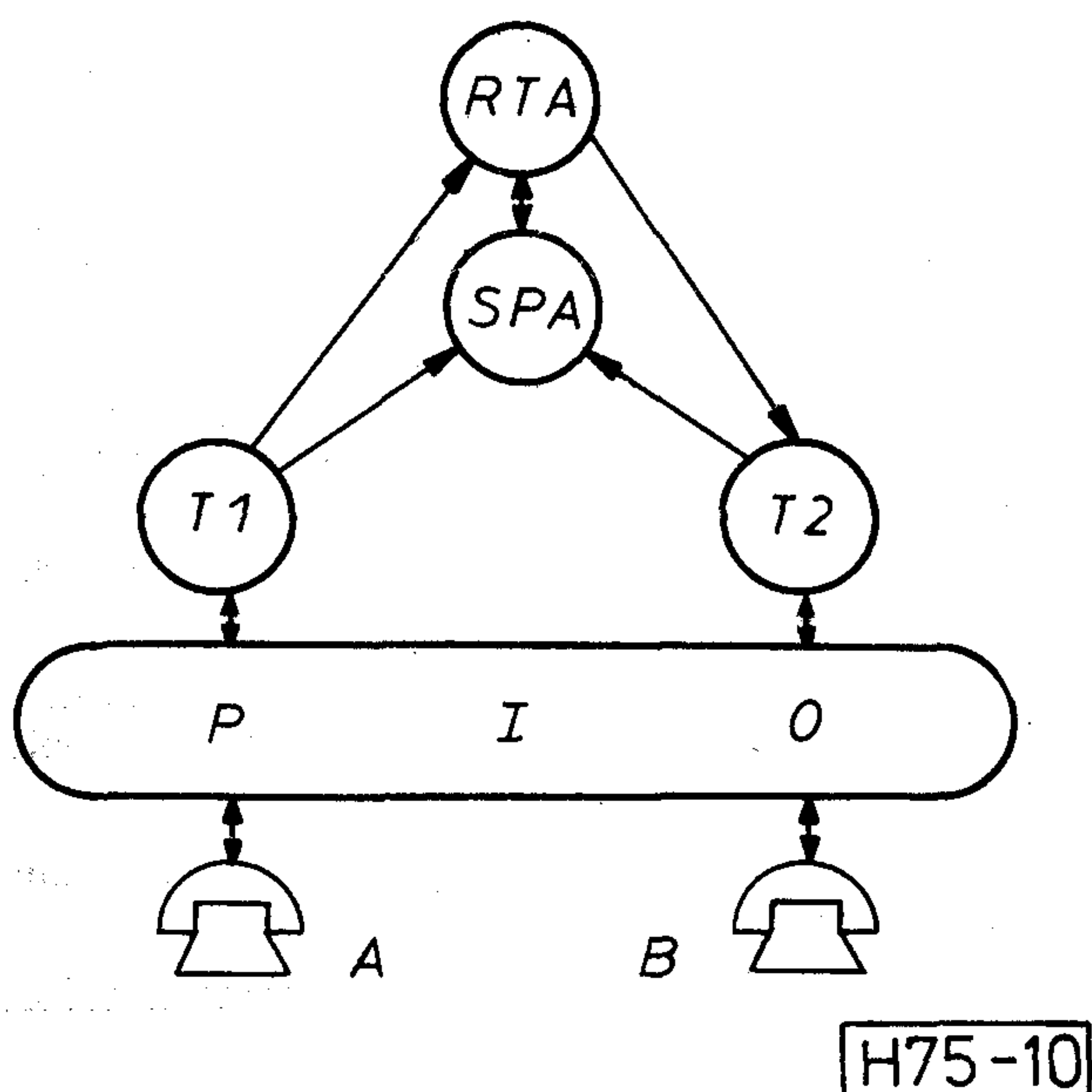
- *folyamatvezérlő blokk* (PCB), amely tartalmazza a folyamat mindenkor prioritását, állapotát stb.;
- *saját stack* (csak a folyamat számára hozzáférhető adatokkal);
- *globális címinformációk* (több folyamat által közösen használt adatterületek címei);
- a folyamat *programja* (mely aktivizálás esetén a folyamat futását valósítja meg).

Az adatok tárolásának különböző lehetőségei természetesen más megoldásokat is megengednek, így a DMS-100-nál a hívástárak ideiglenesen a folyamatok belső adattárolásának feladatait is nagyrészt ellátják.

Az ESS No. 5 központokban a folyamatok nem hívás, hanem híváskezelési funkció szerint különülnek el, ezért van szükség a saját belső tárolásra. A rendszerben megtalálható fontosabb híváskezelési folyamatok: kapcsolóút felépítés és lebontás, útkeresés, illetve végponti választás, konfigurációs adatok kezelése, terminálkezelés (hívó és hívott fél), perifériák kezelése (letapogatás stb.). Ezek mellé adminisztratív, karbantartó (hibakezelési), programkezelési (üzemközbeni módosítás stb.) folyamatok társulnak. Ez a szemlélet [20] közel áll a System 12 rendszeréhez [14]. Egy egyszerű hívás felépítésében pl. a 10. ábrán látható folyamatok vesznek részt.

A PIO (periféria ki/beviteli) folyamat letapogatja a híváskezdeményezést, majd létrehozza a T1 hívó oldali terminálkezelő folyamatot. A választás befejezéséig PIO és T1 látja el a feladatokat, ezután T1 az információkat az RTA (útkereső és végpont választó) folyamatnak küldi el. A kiválasztott útvonal felépítését SPA (útfelépítő és -lebontó) folyamat végzi el, ugyanez a folyamat hozza létre a T2 hívott oldali terminál folyamatot. A hívott oldal állapotát PIO segítségével T2 állapítja meg és erről jelzést küld T1-nek stb.

A fentiekben összefoglalt, az ESS No. 5 rendszerben alkalmazott konkurrens programozási technika egyébként szervesen épül a korábbi Bell-központtípusok modernizálása kapcsán kialakult, a 3. és 4. fejezetben ismertetett eljárásoknál hatékonyabb, rugalmasabb ütemezést alkalmazó operációs rendszerekre. A már említett, a No. 1 és No. 4 központok céljaira alkalmas 1A típusú processzor teljesen új alapszoftvert is alkalmaz [21] ennek ütemezési technikája implicit módon a virtuális processzoros megoldást közelíti: A feladatok megoldásának ütemezőben rögz-



10. ábra. Egy hívás felépítésében részt vevő folyamatok terminálorientált virtuális processzoros megoldásnál (ESS No. 5-nél)

zített sorrendje helyett itt maguk a feladatok (tulajdonképpen folyamatok) hordozzák azokat az azonosítókat, amelyek alapján a mindenkori prioritás eldönthető. Ennél az átmeneti rendszerrel problémát okoz, hogy míg a merevebb megoldásoknál az ütemező között működése miatt fel sem merülhetett, hogy két egymást követően felütemezett program működése egymást akadályozza, a ritka virtuális processzor szemléletű megoldásoknál viszont minden folyamat aktivizálódásakor a futáshoz szükséges környezet (pl. stackból) beállítódik, ennél az átmeneti rendszerrel egyes programok között interferencia jöhet létre. A megoldást a programok keresztirányú blokkolása adja, minden olyan program (folyamat), amely futását még nem fejezte be (felfüggesztett állapotban van), az ütemező számára megadja azokat a programokat (ill. programcsoportokat) amelyek futása a felfüggesztett állapot alatt nem megengedhető. Az ütemező mindig a legmagasabb prioritású, nem blokkolt programot aktivizálja.

E megoldás azonban csak ideiglenes volt, a 80-as évek elejére kialakult az ESS központok és más a Bell Laboratories által gyártott telefoniai berendezések egységes vezérlője és operációs rendszere [22]. Ez az operációs rendszer valósítja meg a már tárgyalt ESS No. 5 konkrét alapszoftverjét, de a No. 1A és No. 4 központok nagyarányú kapacitásnövelését is (ez utóbbiaknál pótlólagos 3B20D processzor hozzáillesztésével, az ún. APS változatban). Az általános célú DMERT (ill. UNIX) operációs rendszer rugalmassága és lehetőségei maximálisak, alkalmazási területei messze túlnyúlnak a távközlésen [23]. A teljes prioritási hierarchia 16 szintet tartalmaz, ebből a 3 legalsó a nem valós idejű (egyszerű time sharing) folyamatok számára. Az ütemezés alapgondolata hasonló a DMS 100-nál ismertetettéhez, mindig a legnagyobb prioritású várakozó sor kiürítése történik először. Az aktivizálást kérő folyamatok saját szintjük várakozó sorának mindig a végére

kerülnek, ez biztosítja, hogy szinten belül megvalósulhasson a ciklikus felütemezés. A magasabb prioritási folyamatok általában megszakítják az alacsonyabb szintű folyamat futását s csak ezek futásról való lemondása után tér vissza az ütemező a megszakított folyamathoz (ilyenkor azonban ez természetesen nem kerül a várakozó sor végére, csak saját futásról való lemondása után). Érdekes a felfüggesztés és aktivizálás együttes idejére vonatkozó adat: a jellemző érték, kb. 320 μ s, vagyis a DMERT-nél az ütemezési idővesztés nagyon kicsi.

Az alsó három prioritási szinten belül az operációs rendszer a folyamatok prioritását dinamikusan osztja ki (a valós idejű fokozatok prioritása rögzített), a time sharing szinteken a várakozás hatására növekszik a prioritás.

A folyamatok létrehozása és megszüntetése szintén dinamikus módon történik, a DMERT érdekessége, hogy maga az operációs rendszer is folyamatokra bomlik, melyeket a *rendszer töltő* hoz létre. Az operációs rendszeren kívüli (tehát pl. a központ működését vezérlő) folyamatokat a *folyamatkezelő* folyamat hozza létre, mely maga is a betöltés során létrejött folyamat. További különlegesség, hogy lényegében bármely folyamat létrehozhat új folyamatot önmaga lemásolása útján (ún. folyamat elágazás). Ez a rendszer tetszőleges konkurens program létrehozására és futtatására alkalmas.

A virtuális processzoros ütemezési megoldások áttekintését zárjuk néhány gondolattal, melyek kissé konkrétan összekapcsolják az egyszerű ütemezési alapproblémákat az itt alkalmazott fejlett technikával.

Ha valamely hívást a kezdeményezéstől a megszűnésig (vagy valamilyen közbenső nyugalmi fázisig) egy folyamat kezel, a hívás különböző állapotai miatt más és más aktivitási gyakoriság, tehát ütemezési időköz szükséges. Ez az időköz jellemző az egyes állapotokra, így a folyamat rendelkezésére áll. Minden egyes programfutas végén ez az adat megadja, hogy a program következő futására mikor kell sor kerülni, vagyis a folyamatot mikor kell aktivizálni, ezt az értéket a program elküldött üzenet formájában közli az időzítő folyamattal, amelyik a továbbiakban gondoskodni fog az érintett program megfelelő időpontban történő újraaktivizálásáról — így folyamatunk a futásról lemond és felfüggesztett állapotba kerül. Amikor az időzítő (pl. dinamikusan hozzárendelt belső aktivizálási számlálói segítségével) észleli, hogy egy adott folyamatot indítani kell, elküldi az üzenetet, az ütemező tevékenysége csupán abban áll, hogy az adott pillanatban feldolgozatlan üzenettel rendelkező, tehát aktivizálásra váró folyamatok közül a prioritásnak megfelelően egyet kiválasszon. Természetesen maga az időzítő folyamat is bizonyos időközönként aktivizálást kér, hiszen különben nem tudná a különböző időzítések számlálóját kezelni. (Pl. történhet megszakítás segítségével is.)

Ilyen módon biztosított az, hogy minden feladat a szükséges időpontban (semmi esetre sem előbb) hajtódjék végre, természetesen nagyon sok folyamat egyidejű futásra várása esetén itt is hasonló problémák állnak elő, mint akár egy időosztásos ütemezésnél, torlódás esetén.

A jellegzetes funkcióorientált feladatok (pl. letapo-
gatás) nem híváshoz, hanem továbbra is funkcióhoz
kötöttek, de szintén egy-egy folyamat keretében
kerülnek megvalósításra, a folyamatot aktivitása
alatt (mely ilyen esetben célszerűen rögzített idő-
közönként történik) a funkcióorientált ütemezéshez
hasonló elvű virtuális processzor fogja kiszolgálni.
Az ilyen, rögzített időközű (és viszonylag sűrű)
tevékenységek természetesen nagy prioritást kapnak.
Megállapíthatjuk tehát, hogy e legfejlettebb rend-
szerek alkotóelemként az összes korábbi eljárást
tartalmazhatják, illetve tartalmazzák is.

7. Összegezés

Tanulmányunkban áttekintettük a tpv telefonköz-
pontok operációs rendszerének funkcióit, s kiemelten
foglalkoztunk az ütemezés kérdésével. A tpv központ
szoftver alapvetően konkurrens jellegű, így kezdettől
fogva olyan ütemezési megoldások létrehozását te-
kintették célnak, amelyek sok feladat kvázipárhuzam-
os, egymástól jórészt független megoldását tették
lehetővé.

Az első alkalmazott megoldások az elvégzendő
funkció szerinti merev ciklikus végrehajtást alkal-
maztak, ezeket együttesen funkcióorientált üteme-
zéseknek neveztük. Legfejlettebb változataik, a funk-
cióosztásos rendszerek az egyes feladatok előírt leg-
kisebb végrehajtási gyakoriságának megfelelő rugal-
mas felütemezési rendszert alkalmaztak.

Az előbbi csoporttal szemben áll az a technika,
amikor nem az ütemező rögzített táblázatai, hanem
a magukban a végrehajtandó feladatokban (prog-
ramban, vezérlő blokkban) hordozott információ
képezi az aktivizálás alapját. Ezek kezdeti formája
a híváskezelés feladatait (hívásosztásos ütemezés),
fejlettebb változatai pedig az összes vezérlési fel-
adatot ilyen folyamatszemplétű ütemezéssel valósít-
ják meg. A folyamatok egymástól gyakorlatilag
függetlenek és mindegyikük saját virtuális procesz-
szorát látja végrehajtóként. E rendszerek alkalmazási
köre igen széles körű, ennek megfelelően számos vál-
tozatban fejlődtek ki, az utolsó fejezetben mozaik-
szerű képet igyekeztünk adni a legfontosabb ilyen
megoldásokról; befejezőként a DMERT rendszer né-
hány jellegzetességéről, mely az irodalomból ismert
legfejlettebb konkurrens ütemezési megoldást tar-
talmazza — mindenesetre a tpv telefonközpontok
területén.

I R O D A L O M

- [1] Makay Attila—Hasenauer Miklós—Dr. Reznák
Roxán: TPV telefonközpontok hívásfeldolgozó
feladatainak programozása. Híradástechnika,
1983. No. 1. pp. 27—31.
- [2] Horváth Imre: Magyar fejlesztésű kis kapacitású
digitális alközpontcsalád. Híradástechnika, 1984.
No. 6. pp. 241—247.

- [3] Pató Lajos: A TPV központok folyamatos kor-
szerűsítésének szükségessége és feltételei. Hír-
adástechnika, 1982. No. 11. pp. 505—507.
- [4] Eisler Péter: A kapcsolástechnikai fejlesztések
főbb irányai a BHG-ban. Híradástechnika, 1983.
No. 8—9. pp. 348—350.
- [5] M. T. Hills—S. Kano: Programming electronic
switching systems—real-time aspects and their
language implications. Peter Peregrinus Ltd.,
Stevenage, 1976. 207. p.
- [6] Kóczy T. László: Szoftver a kapcsolástechniká-
ban. Magyar Posta Központja, Budapest, 1983.
229 p.
- [7] Kovács Zoltán—Marosdi János—Szebeni Zoltán:
EP512 műszaki információ: System2 számítá-
stechnikai működtető rendszer. INF6-025034-011.
BHG FI dokumentáció. Bp., 1984. 69 p.
- [8] J. A. Harr—E. S. Hoover—R. B. Smith: Organi-
zation of the No. 1 ESS Stored Program. BSTJ,
1964, No. 5. pp. 1923—1959.
- [9] R. J. Andrews—J. J. Driscoll—J. A. Herndon—
P. C. Richards—L. R. Roberts: No. 2 ESS: Ser-
vice Features and Call Processing Plan BSTJ,
1969. No. 8. pp. 2713—2764.
- [10] T. J. Cieslak—L. M. Croxall—J. B. Roberts—
M. W. Saad—J. M. Scanlon: No. 4ESS: Soft-
ware Organization and Basic Call Handling.
BSTJ, 1977. No. 7. pp. 1113—1138.
- [11] P. D. Carestia—F. S. Hudson: No. 4. ESS:
Evolution of the Software Structure. BSTJ, 1981,
No. 6. Part 2. pp. 1167—2101.
- [12] AXE 10. Data processing system APZ210. Cen-
tral processor subsystem CPS. pp. 8—53. Tele-
fonaktiebolaget L. M. Ericsson. Stockholm, é. n.
- [13] D. H. Carbaugh—G. G. Drew—H. Ghiron—E. S.
Hoover: No. 1 ESS Call Processing. BSTJ, 1964.
No. 5. Part 2. pp. 2483—2533.
- [14] D. A. Lawson: A New Software Architecture for
Switching Systems. IEEE Tr. on Communica-
tions, 1982. No. 6. pp. 1281—1289.
- [15] E. W. Dijkstra: Cooperating sequential pro-
cesses, in: Programming Languages (ed.: F.
Genuys), Academic Press, New York, 1968.
- [16] P. Brinch Hansen: The Architecture of Concur-
rent Programs. Prentice Hall Inc., Englewood
Cliffs, 1977.
- [17] A. N. Habermann: Synchronisation of communi-
cating processes, Commun. of the Asso. Comput.
Mach., 1972, No. 3. p. 143.
- [18] B. K. Penney—J. W. J. Williams: The Software
Architecture of a Large Telephone Switch.
IEEE Tr. on Communications, 1982, No. 6. pp.
1369—1378.
- [19] D. M. Lasker: Module Structure in an Evolving
Family of Real Time Systems. Proc. of the 4th
Int. Conf. of Software Engineering, 1979, pp.
22—28.
- [20] T. Duncan—W. H. Huen: Software Structure
of No. 5. ESS: A Distributed Telephone Switch-
ing System. IEEE Tr. on Communications, 1982,
No. 6. pp. 1379—1385.
- [21] G. F. Clement—P. S. Fuss—R. J. Griffith—
R. C. Lee—R. D. Royer: 1A Processor: Control,
Administrative, and Utility Software. BSTJ,
1977, No. 2. pp. 237—254.
- [22] R. W. Mitze—H. L. Bosco—N. X. DeLessio—
R. J. Frank—N. A. Martellotto—W. C. Schwartz—
R. M. Wolfe: The 3B20D Processor and DMERT
As a Base for Telecommunications Applica-
tions. BSTJ, 1983. No. 1. Pt. 2., pp. 171—179.
- [23] M. E. Grzelakowski—J. H. Campbell—M. R.
Dubman: DMERT Operating System, ibidem,
pp. 303—322.

Az 5ESS-PRX rendszer

DR. BARTOLITS ISTVÁN
BHG Fejlesztési Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk az 5ESS-PRX digitális központ felépítését ismerteti. A központ helyi, tandem, tranzit funkciókat vagy ezek kombinációját tudja megvalósítani igen széles kapacitástartományban. A rendszer néhány száztól egészen 350 ezer előfizetőig vagy tranzit esetben 90 ezer trónkig bővíthető. A tervezésnél figyelembe vették a jövő digitális hálózatának várható sajátosságait és az ISDN koncepciót is. A cikk a központ hardver és szoftver moduljain kívül röviden ismerteti a szoftver fejlesztő rendszert is.

1. Bevezetés

Éppen 20 éve, 1965-ben helyezték üzembe New Jersey állam Succasunna városában az első tárolt-program-vezérlésű központot, a Bell Laboratórium No. 1ESS rendszerét. Az új vezérlési elv bevált és a nagyvárosi No. 1ESS központot hamarosan követte a kisebb No. 2ESS és a rurál célokra szánt No. 3ESS központ. A tároltprogram-vezérlés mellett mindhárom rendszerre az analóg térosztásos kapcsolás volt a jellemző. Történtek ugyan kísérletek az időosztásos kapcsolás megvalósítására már 1959-ben, de az akkori laboratóriumi ESSEX rendszer még megfizethetetlenül drága lett volna az analóg térosztásos központokhoz képest. A hetvenes évek technológiai fejlődése azonban lehetővé tette a szükséges áramkörök gazdaságosabb előállítását, mely nagy kapcsolókapacitás esetén már versenyképes volt. Megszületett az időosztásos kapcsolómezővel működő No. 4ESS, melyből az első 1976. januárjában helyezték üzembe.

A Bell Laboratóriumban 1979-ben kezdték el az új digitális központ, a No. 5ESS tervezését. A fejlesztés előrehaladtával egyre világosabbá vált, hogy egy ekkora rendszer létrehozása akkor lesz igazán gazdaságos, ha az az amerikai piacon kívül is eladható lesz. Az AT&T és a Philips cég 1983-ban egyesült, így a piaci gondok megoldódtak. A közös fejlesztés eredménye a cikkben ismertetésre kerülő 5ESS-PRX rendszer. A központ helyi, tandem, tranzit funkciókat vagy ezek kombinációját tudja megvalósítani igen széles kapacitástartományban. A rendszer néhány száztól akár 350 000 előfizetőig vagy tranzit esetben 90 000 trónkig bővíthető. A moduláris hardver és szoftver kialakítás lehetővé teszi, hogy tiszta analóg, vegyes analóg-digitális, illetve tiszta digitális hálózatba is könnyen beilleszthető legyen. Az 5ESS-PRX központban a legmodernebb technológia érvényesül, az elosztott vezérlést túlnyomórészt 32 bites mikroprocesszorok és 256 Kb-os RAM tokok valósítják meg, a rendszer elemei közötti összekötte-



DR. BARTOLITS ISTVÁN

1978-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. Ezt követően, mint a BHG Fejlesztési Intézet fejlesztő mérnöke, nappali szakmérnök képzésen vett részt a BME Villamosmérnöki Karán a Híradástechnikai

Elektronika Intézetben. Híradástechnikai szakmérnöki oklevelét 1980-ban szerezte meg. „Többprocesszoros rendszerek és alkalmazásuk a távközlésben” című doktori disszertációját 1983-ban védte meg. Szakmai területe: elektronikus tárolt-program vezérlésű telefonközpontok programrendszerének fejlesztése.

tést optikai kábelek biztosítják. Kihelyezett egységei lehetővé teszik az alacsony távbeszélő-sűrűségű területek ellátását. A tervezésnél figyelembe vették a jövő digitális hálózatainak várható sajátosságait és az ISDN koncepciót is.

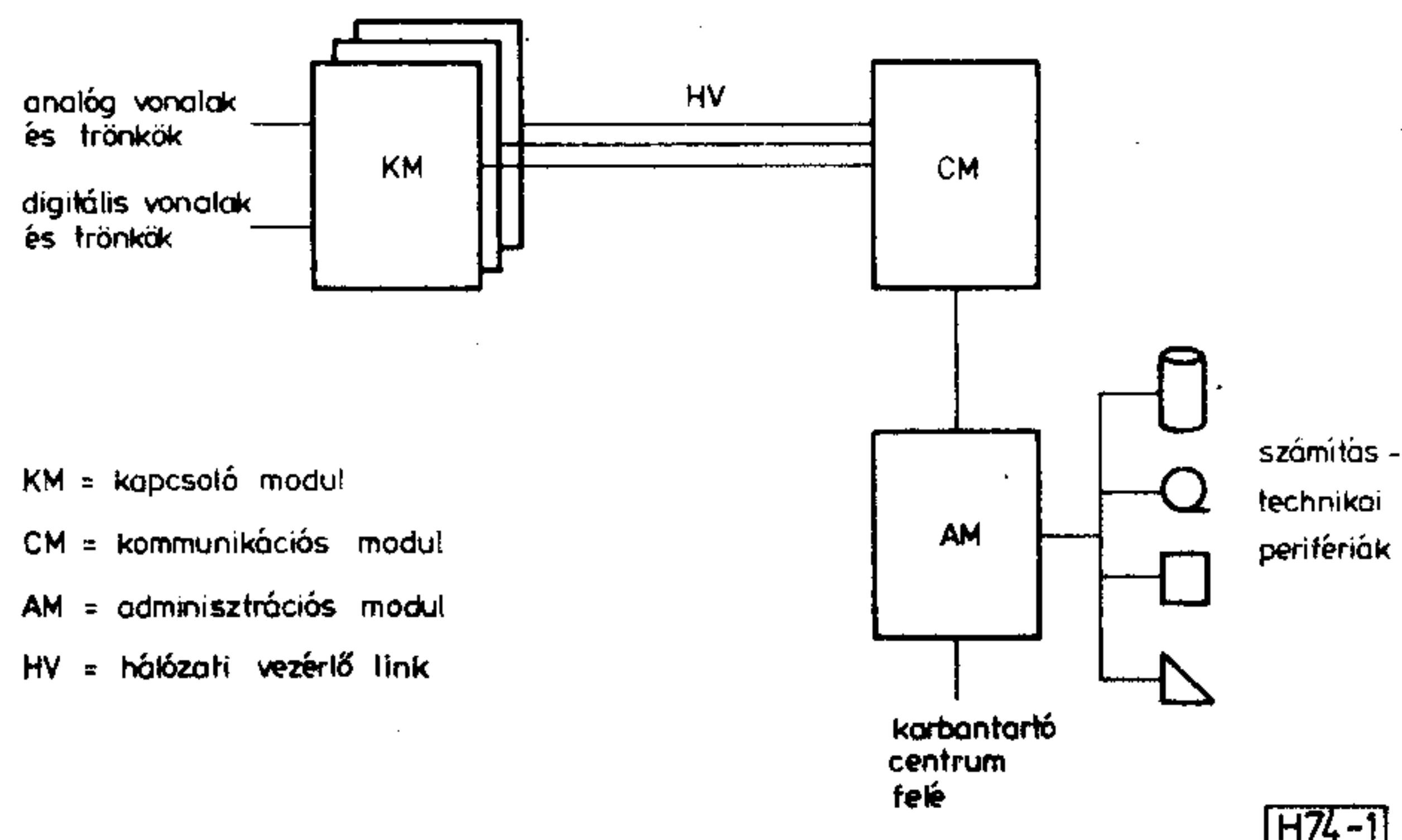
2. Rendszerteknikai felépítés

Az 5ESS-PRX rendszerteknikailag három részre bontható: a kapcsoló modulokra, a kommunikációs modulra és az adminisztrációs modulra (1. ábra).

A *kapcsoló modulhoz* (KM) csatlakoznak az összes külső vonalak, s a hívásfeldolgozás túlnyomó része is itt megy végbe. A központ kapacitását a kapcsoló modulok száma határozza meg, ez teszi lehetővé a könnyű bővíthetőséget is.

A kapcsoló modulok nagyobb távolságra is telepíthetők, ekkor kihelyezett kapcsoló modulként üzemelhetnek. Ez nagy mértékben segíti a hálózat kialakítását, a kisebb települések megfelelő ellátását.

A kapcsoló modulokat optikai kábelek kötik össze a kommunikációs modullal.



1. ábra. Az 5ESS-PRX rendszerteknikai felépítése

A *kommunikációs modul* (CM) a KM-ek közötti kapcsolást hajtja végre a beszéd-, ill. adatvonalakon, valamint biztosítja a vezérlő üzenetek forgalmát a kapcsoló modulok és az adminisztrációs modul között.

Az *adminisztrációs modul* (AM) végzi el mindazokat a feladatokat, melyeket centralizáltan célszerű végrehajtani. A hívásfeldolgozás egyes részein kívül itt helyezkednek el a rendszer egészére vonatkozó karbantartó, üzemviteli és adminisztratív funkciók. Ez a modul biztosítja a felsőbb — több központra közös — karbantartó centrumhoz való csatlakozást is.

Az 5ESS-PRX T-S-T típusú kapcsolást valósít meg. Az időosztásos kapcsolás minden esetben a KM-ben történik. A térosztásos kapcsolás a CM időmultiplex kapcsolója segítségével történik. Egyes esetekben azonban lehetőség van a kapcsoló modulon belüli önálló kapcsolásra is.

Az elosztott vezérlést az egyes modulokban levő processzorok biztosítják. A KM-ek 32 bites mikroprocesszorokat, az adminisztrációs modul a Bell Laboratórium 3B20D processzorát használja. A vezérlő processzorok megbízhatósági okokból mindenütt duplikáltak, mint látni fogjuk, ez a rendszer egyéb alapvető egységeire is jellemző.

A következőkben tekintsük át az egyes modulok felépítését.

3. Kapcsoló modul

A kapcsoló modul feladata kettős. Egyrészt megoldja a hozzá csatlakozó analóg és digitális előfizetői vonalak és trónkók illesztését, másrészt biztosítja ezek vezérlését és kapcsolását. Az utóbbi feladatot végző egységek minden KM-ben megtalálhatók, a periféria egységeket viszont a csatlakozó vonalak típusának megfelelően kell megválasztani. Először a közös egységekkel foglalkozunk.

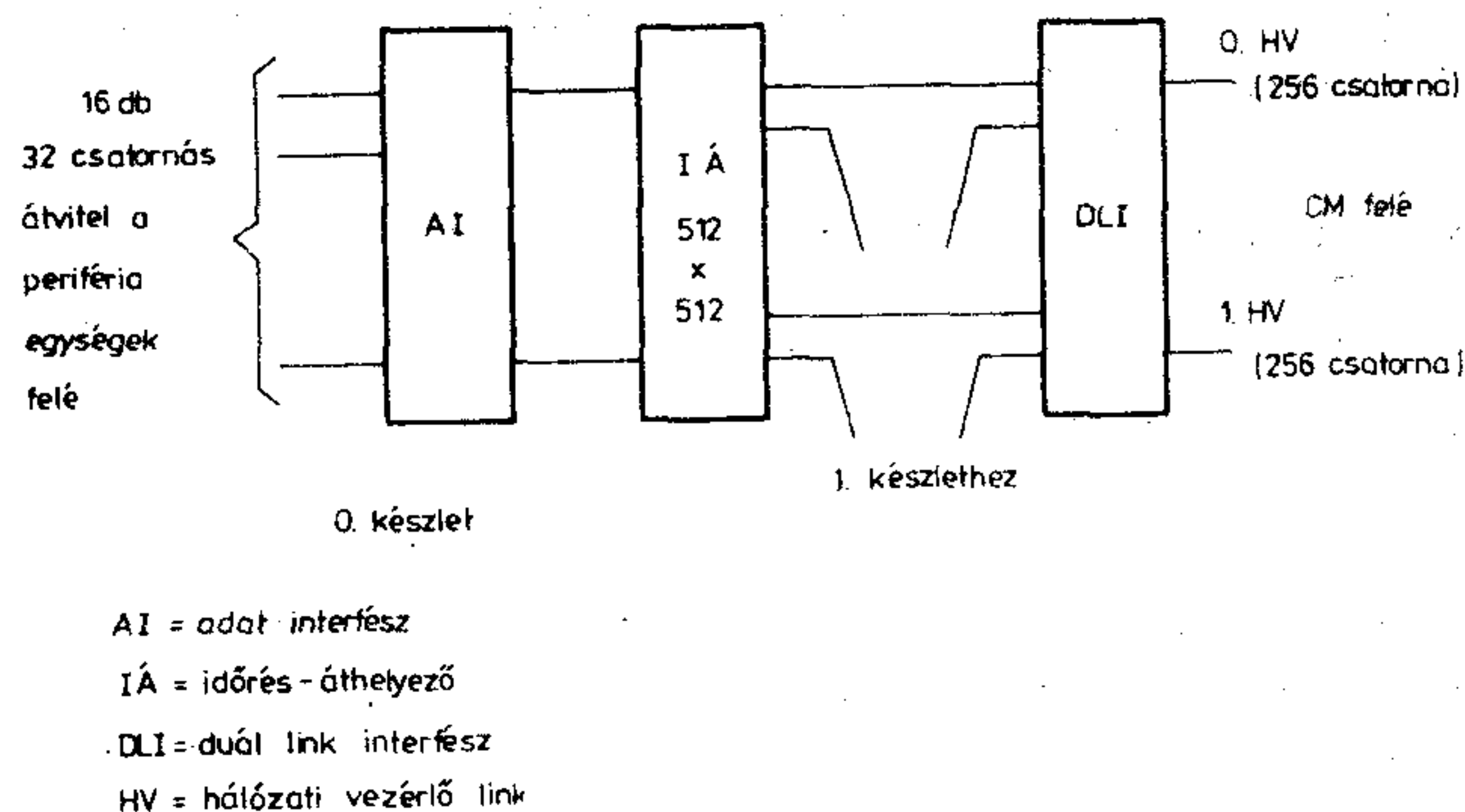
3.1. Kapcsoló modul vezérlő egység

A kapcsoló modul vezérlő egység a duplikált modul processzorból, jelfeldolgozó processzorból és a vezérlő interfészből áll. A modul processzor a kapcsoló modulra csatlakozó vonalak hívásfeldolgozási, hiba- diagnosztikai és üzemviteli feladatait látja el. A jelfeldolgozó processzor a periféria egységek jelzéseit dolgozza fel és továbbítja a modul processzor felé. A vezérlő interfész a különböző vezérlő- és órajeleket továbbítja a periféria egységek felé.

3.2. Időrés-áthelyező egység

Az időrés-áthelyező egység valósítja meg a bemenetre érkező 16 primer PCM multiplex csatorna jeleinek az időosztásos kapcsolását. Az időrés-áthelyező egység a duplikált időrés-áthelyezőtől, duál link interfészből és adat interfészből áll (2. ábra).

Az adat interfész multiplexeli a 16 periféria egység felől érkező PCM jelfolyamot. Az időrés-áthelyező az 512 időrészt két 256 időrészt szállító link felé kapcsolja, melyek a duál link interfészen keresztül a kommu-



2. ábra. Az időrés-áthelyező egység felépítése

kációs modulhoz csatlakozó hálózati vezérlő linkre kapcsolódnak.

Az időrés-áthelyező egység bármelyik periféria időrészt bármely hálózati vezérlő link időréssel össze tudja rendelni. Az időrés-áthelyezőben speciális kapu biztosítja a helyi digitális kiszolgáló egység számára az időrés-hozzáférést. Ez az egység végzi a hang generálási és dekódolási funkciókat. A fenti megoldás segítségével a helyi digitális kiszolgáló egység mind a perifériák, mind a CM felé tud hangjelzéseket küldeni.

Mint a 2. ábrán látható, a duplikáció lehetőséget biztosít a teljes tartalékra való átkapcsolás mellett a részleges átkapcsolásra is. A KM-ből a CM felé összesen négy optikai kábel megy át, melyből egyszerre kettő aktív. Ezek sérülése esetén elegendő a duál link interfészt átkapcsolni.

A modul vezérlő mindkét időrés-áthelyezőt ellátja az aktuális adatokkal, így ennek meghibásodása esetén az átkapcsolás a folyamatos üzemet nem zavarja.

3.3. Csomagkapcsoló interfész egység

A csomagkapcsoló interfész egység a duplikált protokoll kezelőkből, a csomagkapcsoló interfészből és az adat interfészből áll.

A jelenlegi protokoll kezelők a CCITT No. 7 jelzésrendszer, illetve a digitális előfizetők D csatornájának üzenetkezelésére vannak felkészítve. A CCITT No. 7 protokoll kezelő gondoskodik az üzenetátvitelről a 2. és 3. réteg szintjén, a D csatorna protokoll kezelője hasonló feladatokat lát el. A távbeszélő és az ISDN felhasználók aktuális jelzésinformációt a kapcsoló modul vezérlő egysége dolgozza fel.

A csomagkapcsoló interfész hajtja végre a statisztikus multiplexelést és biztosítja a kétirányú csomagkommunikációt a protokoll kezelők között. A felhasználói csomagok kapcsolását az előfizetők között, ill. az előfizetők és az adathálózat között szintén ez az interfész végzi. A csomagok érkehetnek vonalkapcsolt csatornán és továbbíthatók a csomag busz felé vagy fordítva. A KM-ek közötti csomagkommunikáció az időrés-áthelyező és a CM rögzített időréseiben történik.

Az adat interfész multiplexeli a digitális periféria egységek felől érkező adatokat és továbbítja a protokoll kezelők felé és fordítva.

A kapcsoló modul közös egységei után tekintsük át a periféria egységeket.

3.4. Analóg vonali egység

Az analóg vonali egységre csatlakoznak az összes analóg előfizetői vonalak, beleértve a pénzbedobós és PABX vonalakat is. Az analóg vonali egység a BORSCHT funkciókat látja el (mikrofontáplálás, túlfeszültségvédelem, csengetés, felügyelet, kódolás és dekódolás, hibrid, teszt).

Az analóg vonali egység 64 csatornaáramkört tartalmaz, azaz 2 primer PCM csatornán csatlakozik a KM közös egységeihez. A vonali végződések és a csatorna áramkörök között egy félvezetős koncentrátor helyezkedik el, mely 8:1, 6:1, ill. 4:1 arányú koncentrációt valósíthat meg. Az előfizetők a koncentrátoron keresztül bármelyik PCM csatornát elérhetik. Mivel a csengetés és a tesztelés magas szintű jelei nem vihetők át közvetlenül a koncentrátoron, így ezeket a jeleket nem a csatornaáramkörök, hanem a magas jelszintű kiszolgáló áramkörök adják.

Az analóg vonali egység a 8:1 koncentráció mellett 512 vonalat fogadhat, s egy KM-ben ebből 8 darab telepíthető.

3.5. Integrált szolgálatú vonali egység

Az integrált szolgálatú vonali egység a digitális előfizetői vonalak fogadására szolgál. Az egység a 2B+D és a B+D formátumú átvitelre készült fel, lehetővé téve a párhuzamos beszéd- és adatátvitelt. A vonalkapcsolt 64 kb/s-os B csatorna beszédet vagy nagy sebességű adatokat, a 16 kb/s-os D csatorna jelzőüzeneteket vagy csomag típusú adatokat vihet át. A D csatornák a vonali egységen keresztül fixen kapcsolódnak a csomagkapcsoló interfész egységhez, s négy csatorna közösen foglal egy 64 kb/s-os időrészt.

A koncentráció a vonali végződések és az időrészáthelyező között digitálisan történik, aránya 8:1 és 2:1 között változhat. Az egységhez kapcsolható primer PCM csatornák száma nincs rögzítve.

Az integrált szolgálatú vonali egység maximum 512 előfizetőt tud kiszolgálni.

3.6. Analóg trónk egység

Az analóg trónk egység 64 analóg hangfrekvenciás trónk csatlakozását teszi lehetővé 2 primer PCM csatorna felhasználásával. A trónk egység áramkörei két típusba sorolhatók: trónk áramkörök és közös áramkörök. Az előbbiek biztosítják a kódoló, dekódoló funkciókat, az egyenáramú jelzéseket és a teszt hozzáférési lehetőségeket. Az utóbbiak a multiplexelési, tesztelési és alarmadási feladatokat látják el.

3.7. Digitális vonali és trónk egység

A digitális vonali és trónk egység a 2048 Mb/s-os (30+2 csatorna) PCM átvitel számára biztosít közvetlen interfészt, de ide csatlakoztathatók a 30B+D formátumú, illetve a multiplexelt 2B+D formátumú digitális előfizetői csatornák is.

Az egység 16 különböző digitális interfészt tartalmazhat, mely a bejövő csatorna jeleit a belső PCM átvitel formátumára alakítja. Az interfész ellenőrzi a kereteket, detektálja az alarmokat, kerethibákat és értesíti a modul processzort, ha hibát észlelt vagy adott hibaküszöböt túllépett.

3.8. Digitális kiszolgáló egységek

A digitális kiszolgáló egységek feladata a tájékoztató hangok generálása, dekódolása, a dekadikus impulzusok detektálása, a konferencia beszélgetések létrehozása és a hangfrekvenciás tesztelés.

Mint a közös egységeknél említettük, minden kapcsoló modul tartalmaz egy helyi digitális kiszolgáló egységet, mely a hangok generálására és dekódolására szolgál. Mivel a konferenciát és a hangfrekvenciás tesztelést forgalmi szempontokból szükségtelen az összes KM-ben elhelyezni, így ezek a globális digitális kiszolgáló egységben kaptak helyet.

A konferencia áramkörök 3 résztvevősek, de ezek összekapcsolásával 7 résztvevős konferencia is kialakítható. A tesztelő áramkör az összes szükséges sávon belüli hangfrekvenciás tesztelést és mérést el tudja végezni, hangkeltésre is képes a szint- és zajmérések lebonyolításához.

3.9. Analóg kiszolgáló egység

Az analóg kiszolgáló egység az analóg vonalak és trónkok közvetlen tesztelését teszi lehetővé. Az egység egy fémes teszt buszon kapcsolódik rá a vizsgálandó analóg periféria egységre.

3.10. Szövegbemondó

A bemondott szöveg digitális úton kerül tárolásra. A csatornák száma és az üzenet hossza megválasztható. Az egység teljesen elektronikus és mágnesbuborék memóriát használ, így rendszeres karbantartást nem igényel.

A kapcsoló modul felépítése a 3. ábrán látható.

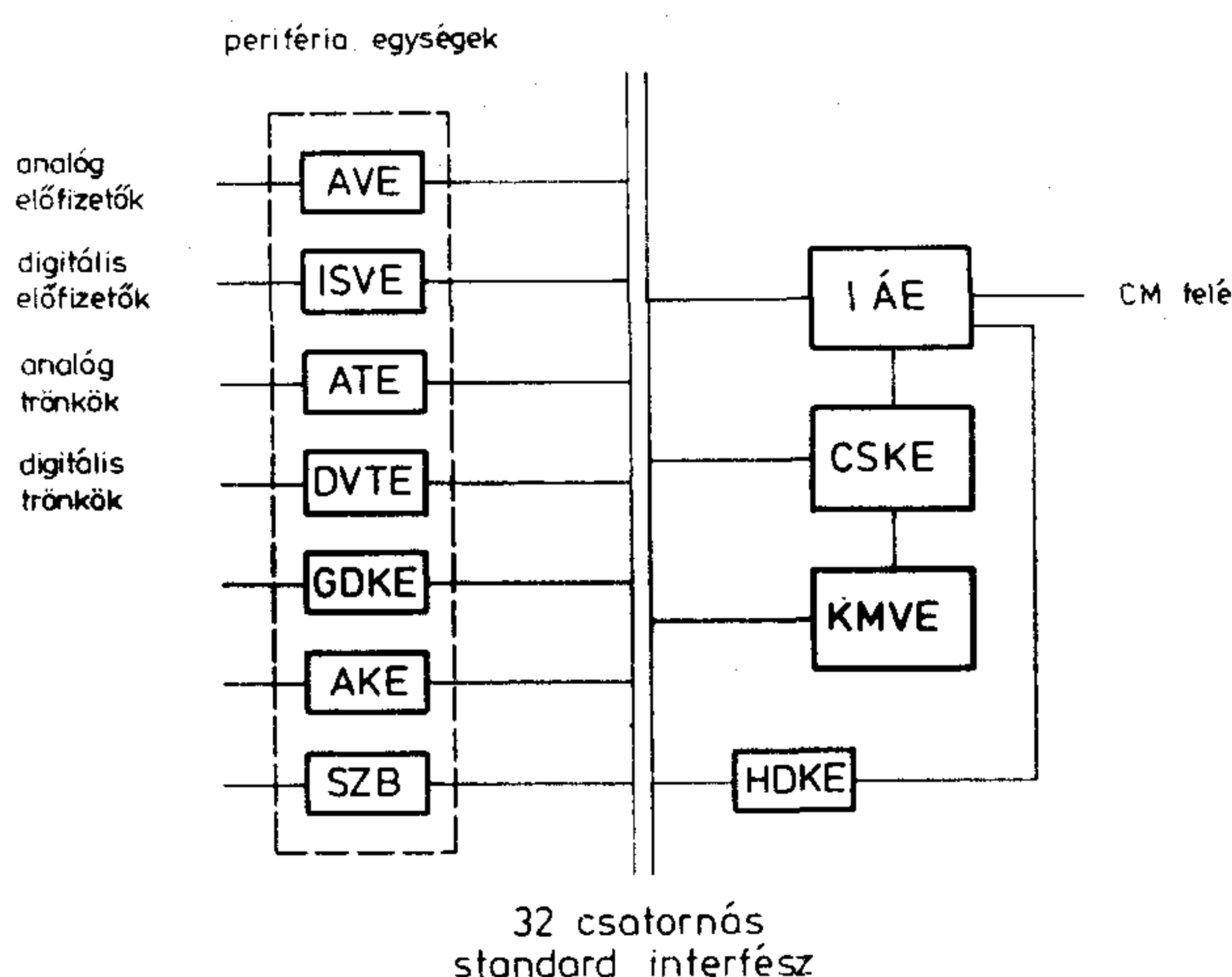
3.11. Kihelyezett kapcsoló modul

Az 5ESS-PRX lehetővé teszi a kapcsoló modulok kihelyezését is. A kihelyezett modulok hardver és szoftver felépítése nem tér el a helyi KM-ekétől. A kihelyezett modul kétféleképpen csatlakozhat a központhoz. Az egyik esetben hagyományos PCM átvitelt alkalmazhatunk, s ezeket egy helyi KM digitális vonali és trónk egységén végződteshetjük. A másik esetben optikai kábelon közvetlenül a kommunikációs modulra csatlakoztathatunk (4. ábra).

A kihelyezett kapcsoló modul 8:1 arányú koncentrációval maximum 4096 előfizetőt tud kiszolgálni. Ha ez nem elegendő, akkor négy kihelyezett KM egy csoporttá szervezhető, ebben az esetben a csoporton belüli hívások nem a kommunikációs modulon keresztül kapcsolódnak.

3.12. Kihelyezett vonali egység

Kisebb vonalszámú, távoli települések előfizetőit tudja kiszolgálni a kihelyezett integrált szolgálatú



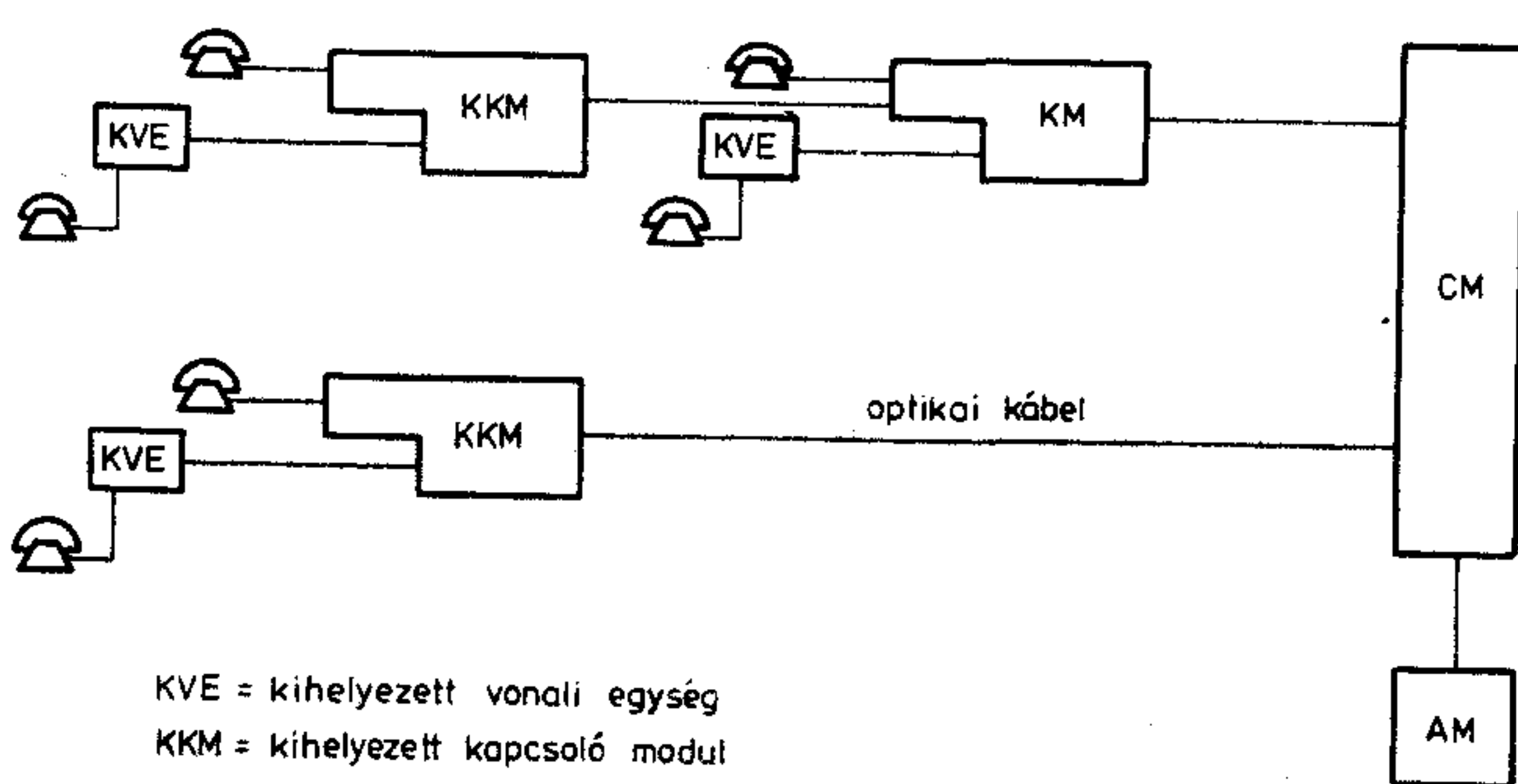
Jelmagyarázat:

AVE = analóg vonali egység
ISVE = integrált szolgálatú vonali egység
ATE = analóg trónk egység
DVTE = digitális vonali és trónk egység
GDKE = globális digitális kiszolgáló egység
AKE = analóg kiszolgáló egység
SZB = szöveg bemondó

IÁE = időrés-áthelyező egység
CSKE = csomag kapcsoló egység
KMVE = kapcsoló modul vezérlő egység
HDKE = helyi digitális kiszolgáló egység

H74-3

3. ábra. A kapcsolómodul felépítése



H74-4

4. ábra. A kihelyezett egységek kapcsolatai a központtal

vonali egység. Az egység digitális PCM csatorna segítségével akár KM-re, akár kihelyezett KM-re csatlakozhat, s maximálisan 512 előfizető kiszolgálását teszi lehetővé.

4. Kommunikációs modul

A kommunikációs modul tartalmazza az időmultiplex kapcsolót és az üzenetkapcsolót. Az időmultiplex kapcsoló a beszéd és adat információk vonalkapcsolását végzi az egyes kapcsoló modulok között, míg az üzenetkapcsoló csomagkapcsolást végez a kapcsoló modulok, illetve a kapcsoló modul és az adminisztrációs modul között.

4.1. Időmultiplex kapcsoló

Az időmultiplex kapcsoló a hálózati vezérlő linkeken keresztül tartja a kapcsolatot a kapcsoló modulokkal.

A kapcsoló modulok felől érkező optikai kábelek egyenként 256 időrés jeleit hordozzák a 32.768 Mb/s sebességű átviteli vonalon. Egy időrés a vezérlő információk számára van fenntartva, a többi 255 időrés a digitalizált beszéd, ill. adat átvitelére szolgál. Az időrés 16 bitet tartalmaznak, ebből 8 bit az átvitt információ, a másik 8 bit belső felhasználású, vezérlő és adatvédelmi jeleket tartalmaz. Mivel egy kapcsoló modul felől két duplikált hálózati vezérlő link csatlakozik a kommunikációs modulhoz, így összesen 512 időrés kapcsolására van lehetőség irányonként.

Az egyfokozatú időmultiplex kapcsoló 30 KM-et tud kiszolgálni alapkiépítésben. A 32×32 -es kapcsoló fennmaradó két iránya biztosítja az üzenetkapcsoló és a tesztcsatlakozó megcímzését. Az alapkiépítés 30-as lépcsőkben bővíthető, ezzel maximális kiépítésben 190 kapcsoló modul csatlakoztatható a rendszerhez.

Az időmultiplex kapcsoló teljesen duplikált egység, a KM-ek felől érkező hálózati vezérlő linkeket megosztottan fogadják. Az éppen aktív adminisztrációs processzor kezeli mindkét kapcsolót, biztosítva a melegtartalék számára az aktuális információkat.

4.2. Üzenetkapcsoló

Az üzenetkapcsoló feladata a hívásfeldolgozással és az adminisztrációval kapcsolatos üzenetek továbbítása a KM-ek, illetve a KM és az AM között. Az üzenetkapcsoló egy üzenetkapcsoló vezérlőt, üzenetprocesszorokat és üzenet interfészt tartalmaz. Megbízhatósági okokból a teljes üzenetkapcsoló is duplikált.

Az üzenetkapcsoló a vezérlő üzenetek továbbításához a CCITT X. 25 protokoll 1. és 2. rétegét valósítja meg. Ez a protokoll tartalmazza a hibadetektálást, a pozitív üzenetnyugtázást és átviteli hiba esetén az üzenet megismétlését is.

4.3. Szinkronizáció

Az 5ESS-PRX szinkronizációs rendszere a CCITT ajánlásoknak megfelelően biztosítja a központ felhasználását helyi, tranzit, illetve nemzetközi központként. Pleziokron üzemmódban egy cézium-sugaras atomórától kapja a szinkronjeleket 10^{-11} pontossággal. Szinkron üzemmódban a külső szinkronizáció a digitális linkeken keresztül biztosított. A hálózati órák duplikáltak, a második óra melegtartalékként üzemel. Szinkron üzemmódban az első óra igazodik a külső referenciához, a melegtartalék ennek a kimenetéhez igazodik.

5. Adminisztrációs modul

Az adminisztrációs modul a duplikált adminisztrációs processzorból, az I/O processzorból és a duplikált diszk fájl vezérlőből áll. Az I/O processzorhoz csatlakoznak a különböző terminálok, nyomtatók és a mágnesszalag egységek, a diszk fájl vezérlőhöz a diszk-meghajtó egységek.

5.1. Adminisztrációs processzor

Az adminisztrációs processzor azokat a feladatokat látja el, melyek elvégzése centralizáltan célszerű, mint pl. az erőforrás allokáció és a globális üzemfelügyelet. A hívásfeldolgozó funkciók közül elsősorban az irányválasztást és az időmultiplex kapcsoló időrés-gazdálkodását vezérli a processzor. Az üzemfelügyeleti feladatok közül itt helyezkednek el a hibadetektálás, diagnosztika azon moduljai, melyek a rendszer egészére vonatkoznak, vagy a kapcsoló modul erre vonatkozó üzeneteit dolgozzák fel.

Az adminisztrációs processzor teljesen duplikált, a melegtartalék itt is az aktuális információkkal rendelkezik.

5.2. Input—output processzor

Az I/O processzort az adminisztrációs processzor vezérli, az utasításoknak megfelelően vezérli az ember—gép kapcsolat legfőbb egységét, a display egységet, a nyomtatót, továbbá a távoli terminálok és a karbantartó centrum felé kapcsolódó adatlinkeket.

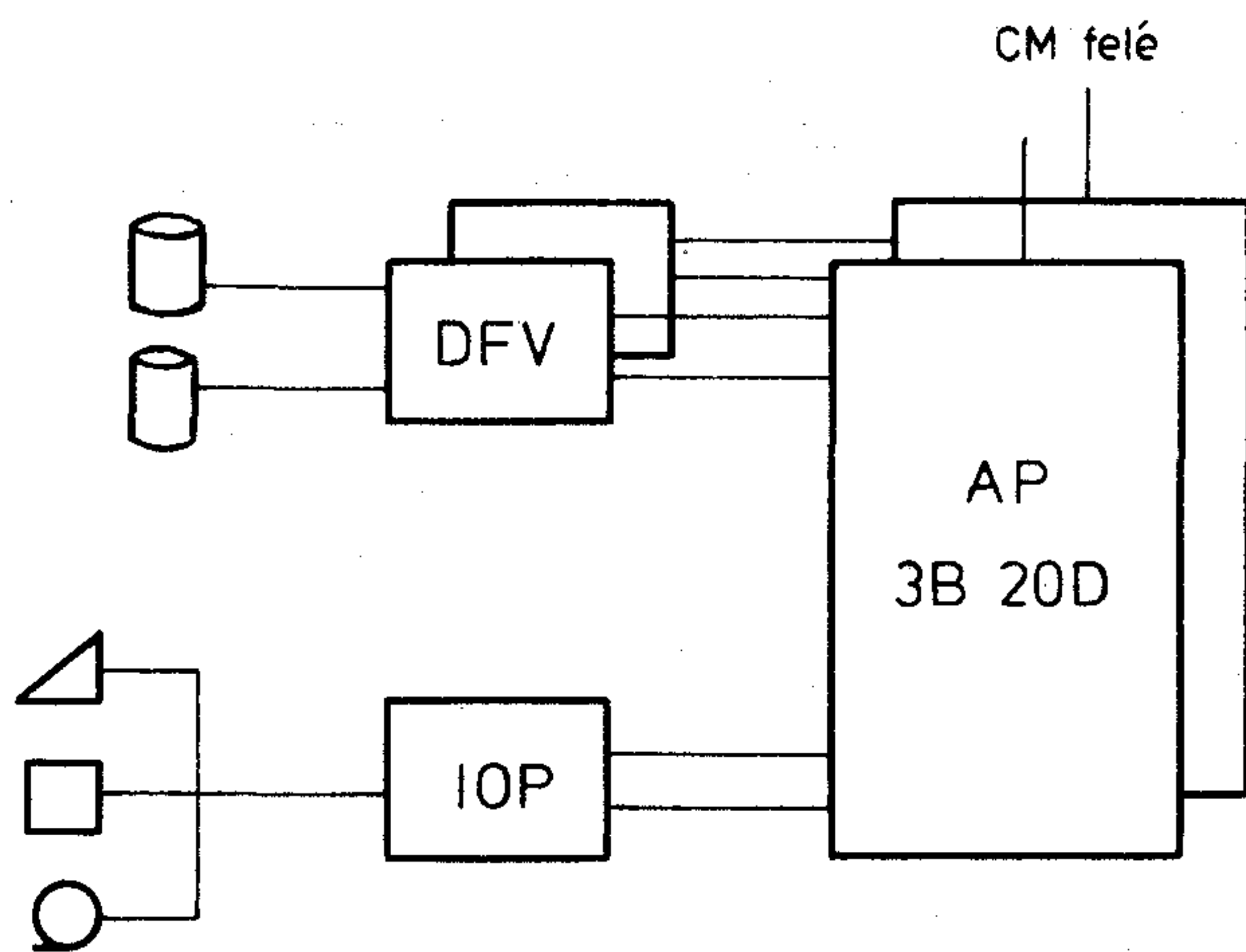
5.3. Diszk fájl vezérlő

Az adminisztrációs processzor és a diszk memória közötti intelligens kapcsolatot a diszk fájl vezérlő biztosítja.

Az adminisztrációs modul vázlatos felépítése az 5. ábrán látható.

6. Az 5ESS-PRX szoftver rendszere

Az 5ESS-PRX teljes vezérlését a szoftver rendszer látja el, ez határozza meg döntően a központ lehetséges felhasználási körét, illetve a szolgáltatásokat. Így érthető, hogy a fejlesztés nagyobb részét a szoftver tervezés, kódolás és tesztelés jelentette.



AP= adminisztrációs processzor

IOP= input output processzor

DFV= diszk fájl vezérlő

H74-5

5. ábra. Az adminisztrációs modul felépítése

A szoftver rendszer kialakításában több tényező játszott közre. A központ gyártása, élettartama alatt mind a technológia, mind a felhasználói igények változnak. Ezeket a változásokat a szoftver rendszernek is követnie kell, lehetőleg oly módon, hogy a rendszer egészét ez ne érintse. Alapvetően befolyásolta a szoftver struktúra kialakítását az a megbízhatósági követelmény is, hogy a specifikáció szerint a teljes központ kiesése 20 év alatt maximum egy óra lehet. Ez a feltétel mind a hardver, mind az adatbázis állandó tesztelését teszi szükségessé. Ezzel együtt azt is biztosítani kellett, hogy forgalmi túlterhelések vagy egyes részegységek kiesése esetén is üzemképes maradjon a központ. A fenti követelmények kielégítését a következő alapelvek teszik lehetővé az 5ESS-PRX szoftver rendszerében.

6.1. Modularitás

A szoftver modularitás és a modulok közötti interfészek pontos meghatározása lényeges mind a hardver változások gyors követése, mind a szolgáltatások flexibilis alakítása szempontjából. Az 5ESS-PRX szoftver rendszere az egyes modulokat adott funkciókhoz rendeli hozzá (pl. számjegy-bevételezés, jelzésanalízis stb.). A modul a többi modulok felé csak a meghatározott interfész-pontokon csatlakozik, a többi modulok számára ennek belső működése rejtve marad. Ez biztosítja, hogy szükség esetén a modulok cserélhetők anélkül, hogy a rendszer egészére ez hatással lenne.

A modulok különböző szintű feladatokat látnak el. Az azonos szinten levő modulok a felettük elhelyezkedő modulok számára „láthatatlanná” teszik az alsóbb szintek részleteit, virtuális gépet alkotnak. A felsőbb szintek moduljainak tervezésekor így csak ennek a virtuális gépnek a tulajdonságait kell figyelembe venni, ami a tervezés hatékonyságát segíti.

6.2. Egységes, processzorfüggetlen nyelv

Az 5ESS-PRX szoftver rendszere szinte kizárólag a Bell Laboratóriumban kifejlesztett, gépfüggetlen C nyelven került megírásra. Ezen a nyelven készültek a fejlesztést támogató programrendszerek is. Az egységes nyelv használata biztosítja, hogy pl. az adminisztrációs modul 3B20D processzorára megírt programok közvetlenül futtathatók legyenek a kapcsoló modul vezérlőjén is.

6.3. Megbízhatóság

A fentebb említett igen szigorú megbízhatósági feltétel teljesítését az egységek duplikálása nagy mértékben segíti. A duplikáció viszont csak akkor használható ki jól, ha a szoftver rendszer megbízhatóan működik és időben észleli a keletkezett hibákat. A megbízható működés egyik garanciája az alapos tesztelés, melyre éppen a modularitás ad jó lehetőséget. Az üzem alatt bekövetkező hardver hibákat és adatbázis anomáliákat mindenre kiterjedő, jól szervezett karbantartó rendszerrel kell felfedni és el-

hárítani. Emellett a gyors karbantartói beavatkozás érdekében nagy jelentősége van a hibakijelzéseknek és a hibát behatároló diagnosztikai programoknak is.

7. Az 5ESS-PRX működtető szoftver rendszere

7.1. Az operációs rendszer

Mint a hardver modulok ismertetésénél láttuk, az 5ESS-PRX elosztott vezérlési struktúrát használ, melyben a processzorok különböző típusúak. Ennek megfelelően a szoftver rendszer legalsó szintjén két különböző általános célú operációs rendszer található. Az adminisztrációs modul 3B20D processzorán a UNIX-RTR (Real Time Reliable) operációs rendszer fut (régebbi nevén DMERT). Ennek fő feladatai a következők:

- a duplikált processzor és a memória kezelése;
- I/O és fájl kezelés;
- adatátviteli vonalak kezelése;
- ember-gép kapcsolat megteremtése.

A kapcsoló modulok hasonló operációs rendszert használnak, szűkített lehetőségekkel.

A két operációs rendszer által kialakított virtuális gépen fut az AM, ill. KM modulban az OSDS (Operating System for Distributed Switching) operációs rendszer. Ez az elosztott rendszer teljesen egységes interfészt alkot mindkét processzortípuson a felügyelete alatt futó programok számára. Más szóval, az így kialakított virtuális gép már nem tartalmaz eltérést a két processzortípuson. Az OSDS fő feladatai a következők:

- folyamatkezelési feladatok (pl. ütemezés, erőforrás kiosztás stb.);
- folyamatok közötti kommunikáció biztosítása (pl. üzenetkezelés);
- a globális adatbázishoz való hozzáférés biztosítása.

Az OSDS felügyelete alatt futnak a hívásfeldolgozással, felügyelettel, adminisztrációval kapcsolatos feladatok.

Az elvégzendő teendők real-time jellegéből kifolyólag nagy számú, független feladatot kell egyidőben kezelnie a rendszernek. Ezeket az 5ESS-PRX terminológia folyamatoknak nevezi. A folyamatok üzenetek segítségével kommunikálnak. Két alapvető folyamatot különböztethetünk meg: a végponti folyamatot és a rendszerfolyamatot.

A végponti folyamatok hívásonként keletkeznek és pl. egy előfizetői vagy trónk végpontot vezérelnek a hívás folyamata alatt. A végponti folyamatok így viszonylag rövid élettartamúak. A végponti folyamat nem feltétlenül előfizetői végponttal kapcsolatos, rövid idejű tesztek is ide sorolhatunk.

Az összes végponti folyamatot a rendszerfolyamatok hívják életre. A rendszerfolyamatokat az OSDS indítja el inicializáláskor, attól kezdve állandóan futnak. Rendszerfolyamat pl. a letapogatás, adatbázis kezelés vagy a hibadetektálás.

A folyamatokat az operációs rendszer felügyeli. Az alaphívások a fentieknek megfelelően két végponti folyamatból állnak: a kezdeményező és a végződő folyamatból.

7.2. A hívásfeldolgozás

A hívásfeldolgozó folyamatok vezérlik a különböző típusú hívások felépítését, felügyeletét, bontását, valamint elvégzik a hívással kapcsolatos adminisztrációt. Az 5ESS-PRX hívásfeldolgozó rendszerének legfelső szintje a szolgáltatás vezérlő alrendszer. Ez alatt található az útkijelölő és végpont-vezérlő, a periféria vezérlő és az adminisztrációs alrendszer.

7.2.1. Szolgáltatás vezérlő alrendszer

A szolgáltatás vezérlő alrendszer végzi az egyes hívások magas szintű vezérlését. A különböző események hatására érkező jelzéseket a hívás fázisának megfelelően dolgozza fel. A szükséges tevékenységek elvégzését meghatározó információkat az alatta futó alrendszerek felé továbbítja.

A szolgáltatás vezérlés túlnyomó része a kapcsoló modulokban helyezkedik el, az adminisztrációs modulban csak kis százaléka található.

7.2.2. Útkijelölő és végpont vezérlő alrendszer

Ez az alrendszer kezeli a végponti áramkörök állapotát és végzi el vezérlésüket. Híváskezdeményezés-kor ennek az alrendszernek a hatására kelnek életre a végponti folyamatok, az információkat pedig a szolgáltatás vezérlő alrendszer felé továbbítja. Az innen visszakapott információk alapján az alrendszer AM-ben elhelyezkedő része elvégzi az útkijelölési feladatokat, illetve ha szükséges, a megfelelő trónkirányok meghatározását.

7.2.3. Periféria vezérlő alrendszer

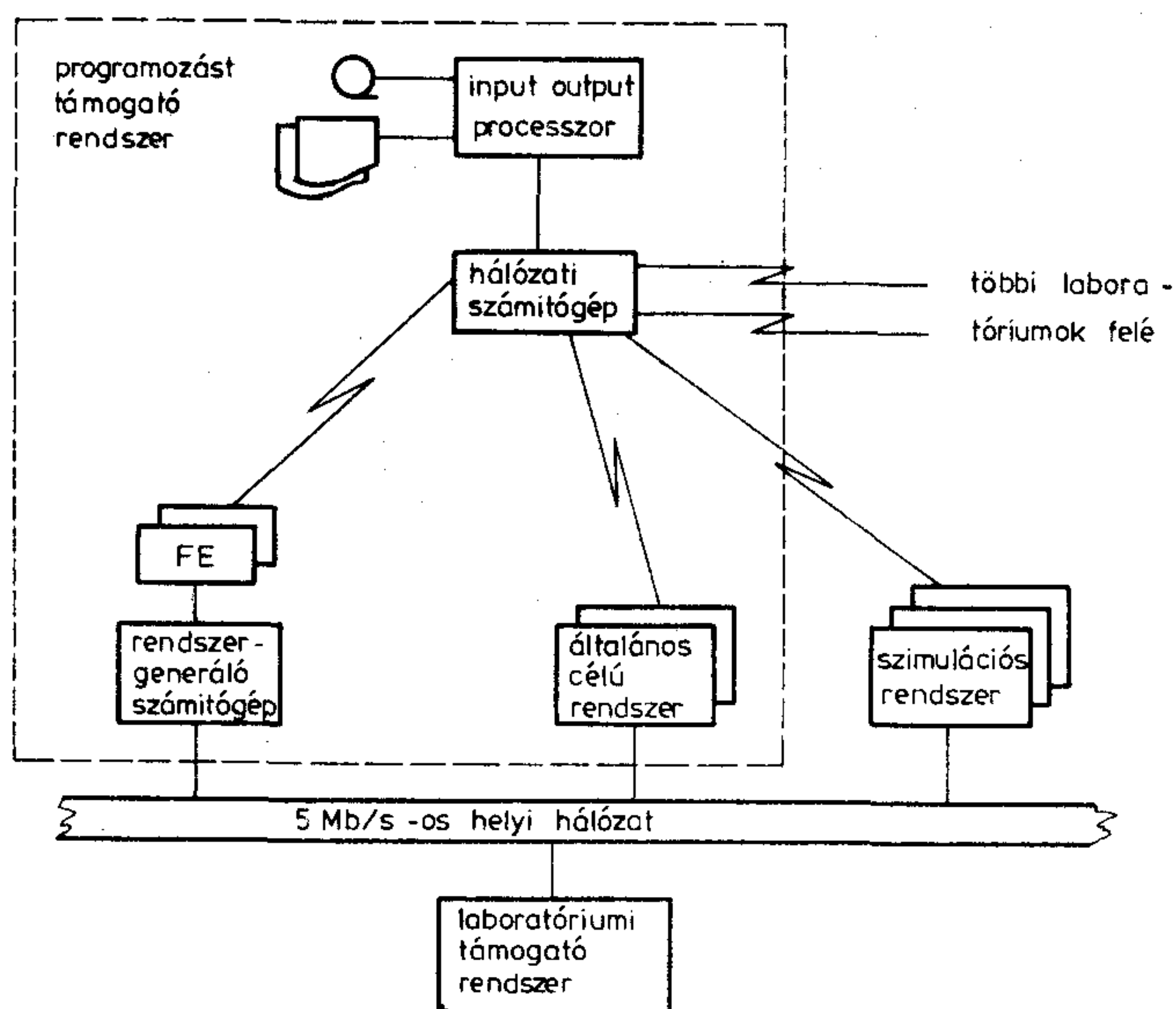
A periféria vezérlő alrendszer működteti az összes kapcsolástechnikai perifériát. Ez a modul az üzemszerű működtetésen kívül lehetőséget biztosít az összes teszteléssel kapcsolatos működtetés elvégzésére is.

7.2.4. Adminisztrációs alrendszer

Az alrendszer elsődleges feladata az üzemeltetés számára szükséges adatok gyűjtése, feldolgozása. Ide tartozik pl. a számlázás, forgalom mérés, hálózati irányítás és a felsőbb karbantartó centrum felé történő adattovábbítás. Az alrendszer részei mind a kapcsoló modulban, mind az adminisztrációs modulban megtalálhatók. Az időigényes feldolgozás az AM-ben történik.

7.3. Adatbázis kezelés

Az adatbázis kezelése a szoftver rendszer egyik leglényegesebb része, ezért ezt külön alrendszer végzi. Az adatok két irányból érhetők el: egyrészt a hívásfeldolgozó rendszer felől, másrészt az adminisztrációs alrendszer felől beavatkozás, módosítás esetén. A kétféle hozzáférés alapvetően különbözik egymástól, mivel a hívásfeldolgozás a gyors hozzáférést, az adminisztrációs alrendszer a flexibilitást és a hibás



H74-6

6. ábra. A számítógépes fejlesztőrendszer egy eleme

adatok bevitele elleni védelmet követeli meg. Az 5ESS-PRX adatbázis kezelő alrendszere a relációs adatbázis segítségével mindkét követelményt jól ki tudja elégíteni. A hívásfeldolgozás az adatbázist táblázatok segítségével közvetlenül el tudja érni, míg a módosításoknál, beavatkozásoknál a rendszer több szempontból teszteli a bevitt adatok helyességét és az új adatbázis ellentmondás-mentességét. Az adatmódosítás interaktív módon, magas szintű támogató rendszer segítségével történik.

7.4. Karbantartó rendszer

Az 5ESS-PRX karbantartó rendszere végzi a processzorok kezdeti betöltését, gondoskodik a folyamatos üzem fenntartásáról túlterhelés, hardver vagy szoftver hiba esetén és biztosítja az ember—gép kapcsolatot a különböző tesztek elvégzéséhez.

7.4.1. Kapcsolási karbantartó alrendszer

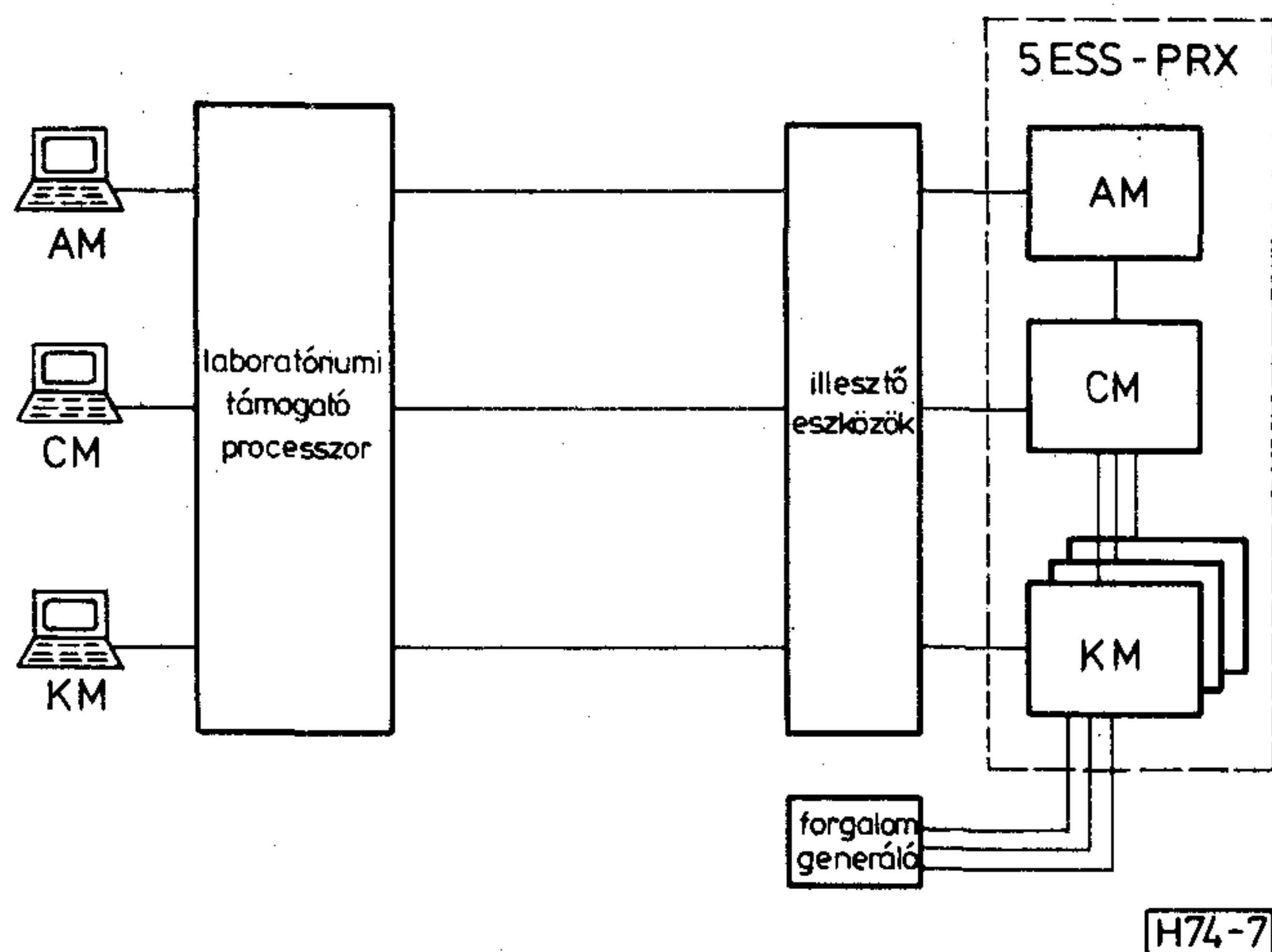
Ez az alrendszer látja el a felügyeletet az AM és a KM processzorai, az üzenetkapcsoló és az időmultiplex kapcsoló felett. Az alrendszer állandóan teszteli az egységeket, felismeri a meghibásodást, elvégzi a hibás egység izolálását és az átkapcsolást a tartalékra. Egyben értesíti a diagnosztikai alrendszert az észlelt hibáról.

7.4.2. Végponti karbantartó alrendszer

A végponti karbantartó alrendszer az egyes vonalak, trónkók, szervizáramkörök felügyeletét látja el folyamatos státusfigyelés és teszthívások segítségével.

7.4.3. Diagnosztikai alrendszer

Hiba észlelése esetén a diagnosztikai alrendszer kapja meg az információt, s az egyes áramköri egységek szisztematikus vizsgálatával határozza be a hiba helyét. Az eredményeket a karbantartó centrum felé továbbítja.



7. ábra. A laboratóriumi támogató rendszer

7.4.4. Állapotfigyelő alrendszer

Az állapotfigyelő alrendszer a szoftver megbízható működését segíti elő. Periodikusan ellenőrzi a különböző pointerok, indexek értékét, a rendszer terhelését, a perifériák és az állapotukat leíró adatok egyezését. Hiba észlelése esetén részleges inicializálást hajt végre az adatbázis megfelelő részein.

7.4.6. Ember—gép kapcsolat

Az 5ESS-PRX központ és az üzemeltető személyzet közötti kommunikáció az ember—gép kapcsolatot biztosító alrendszeren keresztül történik. Az alrendszer a CCITT MML (Man Machine Language) ajánlásainak megfelelően került kialakításra.

8. A szoftver fejlesztést támogató eszközök

A rövid ismertetőből is kitűnik, hogy az 5ESS-PRX szoftver rendszere sok — egymással együttműködő — modulból épül fel, melyek kifejlesztésében, tesztelésében igen sok fejlesztőmérnök vett részt. Ilyen méretű feladatot csak megfelelő kapacitású fejlesztőrendszer és hatékony tesztelési környezet segítségével lehet a kívánt színvonalon elvégezni. Mivel a fejlesztés több, egymástól távol levő laboratóriumban folyt párhuzamosan, így a fejlesztő és tesztelő rendszer számítógép-hálózatot alkot. A hálózat egy eleme a 6. ábrán látható.

A hálózat összes számítógépén a UNIX operációs rendszer biztosítja a fejlesztési környezetet. Mivel ez az operációs rendszer hasonló interfészt biztosít, mint az 5ESS-PRX UNIX-RTR rendszere, így a tesztelési feladatok nehézség nélkül megoldhatók. Mint említettük, a fejlesztést támogató programok ugyanazon a C nyelven készültek, mint a központ működtető szoftvere, ez tovább egyszerűsíti a fejlesztési munkákat.

A támogató eszközök alapvetően négy feladat köré csoportosíthatók:

- programfejlesztés;
- adminisztráció;

- szimulációs teszt;
- valós környezetű teszt.

Az első két feladatot a programozást támogató rendszer segíti. Itt történik az editálás, a fordítás, a teszt generálás, a dokumentációk szerkesztése stb. Az adminisztráció egyik fontos része a Módosítás kezelő rendszer, mely nyilvántartja és ellenőrzi az összes kibocsátott és fejlesztés alatt levő 5ESS-PRX szoftver modult és annak dokumentációját. Az adminisztráció másik része a módosítási kérelmeket, igényeket tartja nyilván.

A harmadik feladatkör végrehajtását a szimulációs rendszer teszi lehetővé. A tesztelendő szoftver modulok ebben a rendszerben szimulált modul-interfészek környezetében futtathatók. A kifejlesztett szimulációs programok segítségével jól lehet modellezni véletlenszerű vagy előre megadott szituációkat, hardver hibákat és egyéb helyzeteket.

A valós környezetű tesztelés a laboratóriumi támogató rendszer segítségével történik. Ez egy mini számítógépből és egy 5ESS-PRX központból áll (7. ábra). A központhoz programozható forgalom generáló egység kapcsolódik, így a modulok valós forgalmi helyzetekben is vizsgálhatók.

- [1] *Andrews, F. T.—Smith, Wm. Bridges*: "No. 5 ESS-Overview" ISS' 81. Montreal.
- [2] *Bauman, S. M.—Carline, R. J.—Nowak, J. S.—Oehring, R.*: "No. 5 ESS Software Design" ISS' 81 Montreal.
- [3] *Davis, H. J.—Janik, J.—Royer, R. D.—Yokelson, B. J.*: "No. 5 ESS System Architecture" ISS' 81. Montreal.
- [4] *Bosco, H. L.—Eisenhart, R. K.—Saal, F. A.—Scheerer, W. G.*: "No. 5 ESS Hardware Design" ISS' 81. Montreal.
- [5] *Ritchie, D. M.—Thompson, K. et al.*: "UNIX time-sharing system" Bell System Technical Journal vol. 57. 1978. július—augusztus, 2. rész.
- [6] *Ritchie, D. M.—Kernighan, B. W.*: "The C programming language" Prentice-Hal, 1978.
- [7] *Beuscher, H. J.*: "No. 5 ESS Maintenance Software" IEEE Transaction on Communications vol. 30. 1982. június.
- [8] *Goebertus, H. J.*: "5 ESS-PRX architecture" Philips Telecommunication Review vol. 42. 1984. szeptember.
- [9] *Lemstra, W.*: "Network planning with 5ESS-PRX" Philips Telecommunication Review vol. 42. 1984. szept.
- [10] *Bourgonjon, R. H.*: "5ESS-PRX Software" Philips Telecommunication Review vol. 42. 1984. szept.

14. Nemzetközi Televízió Szimpózium, Montreux 1985

1985. június 5—12. között Montreux-ben került megrendezésre a 14. Nemzetközi Televízió Szimpózium. A kétévenként megrendezésre kerülő nemzetközi rendezvény célja a világ minden területéről érkező és a tv technika fejlődésével összefüggő kutatási eredmények bemutatása.

A szimpózium előadásainak keretében ismertített kutatási eredmények kerekasztal-konferenciák, ill. megbeszélések alkalmával megvitatásra kerültek, ezáltal is elősegítve a fejlődés egységes irányát.

Napjaink tv-technikai fejlődését a nagymértékű digitális technika jellemzi, amely fejlett háttérpárt és magasszintű elektronikus alkatrészgyártó technológiát követel meg.

A szimpóziumon elhangzott előadások száma 70 volt, amely előadásokat két szekcióban bonyolítottak le. Az előadások mellett mintegy 205 cég mutatta be legújabb eredményeit.

Az előadások és bemutatók közül ezúttal a közvetlen előhordás tv-műsor sugárzás és vétel állt a középpontban. 1986 májusában várható NSZK DBS műhold video- és hangjelei körül alakultak ki viták,

még nem volt egyértelmű, hogy a C-MAC vagy a D₂-MAC jel kerül felhasználásra.

A másik nagy téma az úgynevezett HDTV (nagyfelbontású televízió) volt, amely 1125 sor, 60 félkép mellett a jó minőségű televíziókép reprodukálásán túl a közeljövőben a tv-stúdiók munkáját fogja megkönnyíteni.

Ebben az évben is nagy érdeklődés mutatkozott a kábeltelevíziós rendszerek fejlődése iránt. A fejlődés tendenciája a sokcsatornás és interaktív rendszerekre az optikai hírközlés bevezetésében mutatkozik.

A digitális technika megjelenése lendületet adott a stúdiószintű kamerák, képrögzítő rendszerek, trükk és képkeverő berendezések fejlődésének is. Bemutásra került az RCA által fejlesztett CCD kamera, amely képbontó cső nélkül a képfelbontást félvezető elemekkel valósítja meg hordozható kivitelben, valamint a 8 mm szélességű videoszalagot alkalmazó képmagnóval egybeépített ugyancsak hordozható kamera is. Ez utóbbit a SONY cég fejlesztette ki.

S. Tóth Ferenc

16-QAM modulátorok és demodulátorok

KENDROVICS ÁGNES—DR. KOVÁCS JÁNOS—DR. SZABÓ ZOLTÁN
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

Nagysebességű digitális jelek átvitelénél a 16-QAM a leggyakrabban alkalmazott modulációs mód. A cikk bemutatja a 16-QAM néhány fontos tulajdonságát, tárgyalja a modulátor és demodulátor áramkörök lehetséges felépítését. Végül egy megvalósított modulátor és demodulátor jellemzőit ismerteti.

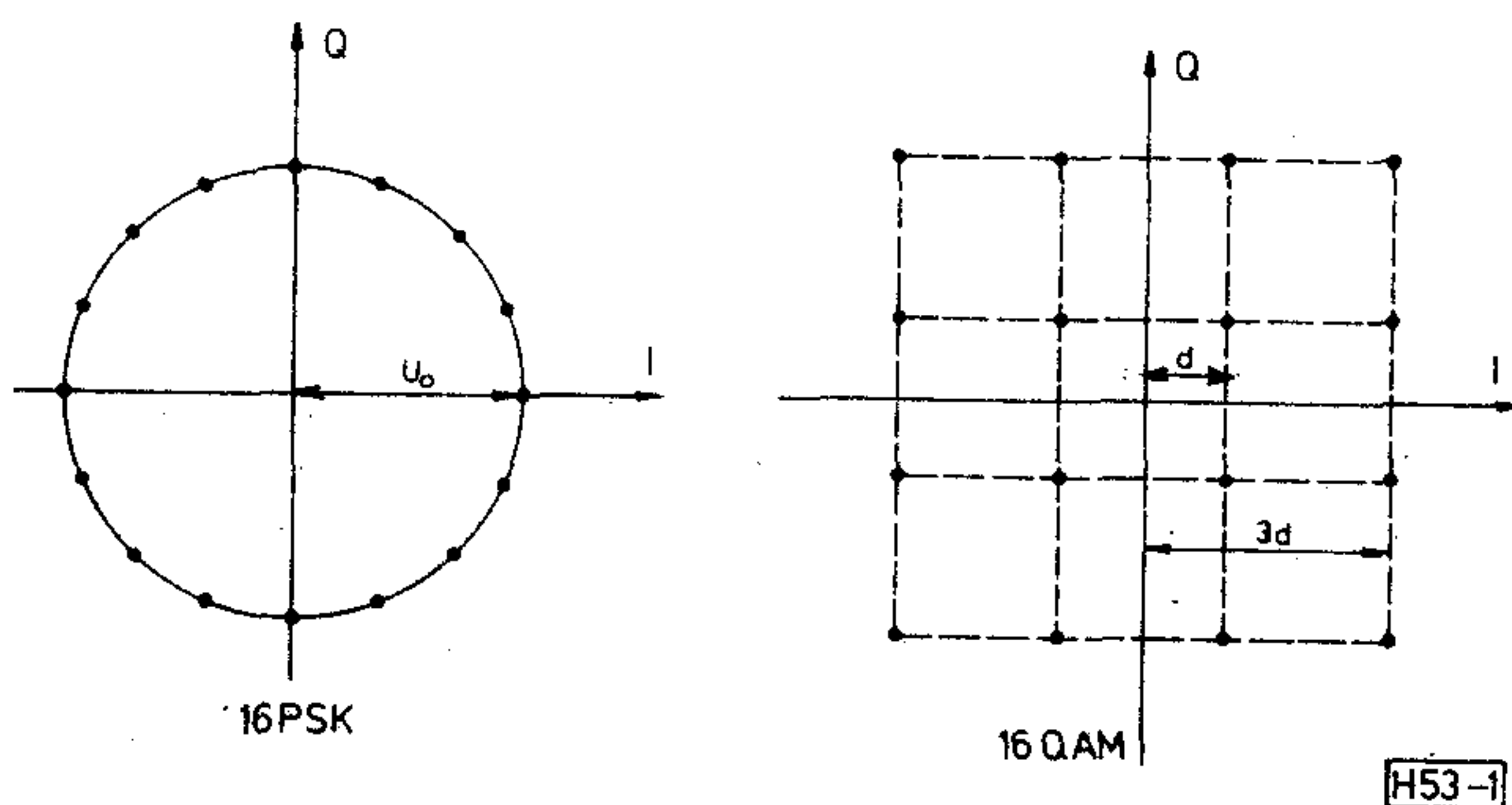
1. Bevezetés

Nagysebességű digitális mikrohullámú berendezésekben a rendelkezésre álló sáv szükségessé teszi a sávot jól kihasználó modulációs módok alkalmazását. Főként M-PSK vagy M-QAM moduláció jöhet számításba, ahol $M=2^n$ formában írható fel, amennyiben n bitet fogunk össze egy szimbólum-má [1].

Az alábbi táblázatban néhány fontosabb modulációs módot tüntettünk fel. Az f_b/B érték a sávkihasználás mértékét jelzi.

n	PSK	QAM	f_b/B
1	2-PSK		1
2	4-PSK	4-QAM	2
3	8-PSK		3
4	16-PSK	16-QAM	4
5	32-PSK		5
6	64-PSK	64-QAM	6

A 140 Mbit/s sebességű jelek átvitelére 40 MHz-es sáv áll rendelkezésre, $f_b/B=3,5$; a táblázatból látható, hogy $n=4$, azaz 16 állapotú moduláció alkal-



1. ábra. A 16-PSK és a 16-QAM jelkészlet

Beérkezett: 1985. IV. 17. (□)

KENDROVICS
ÁGNES

1980-ban szerzett oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának mikrohullámú ágazatán. 1980 óta a

Távközlési Kutató Intézet dolgozója. Tématerülete a közepes és nagysebességű digitális jelátvitel, elsősorban a jelek modulálása és demodulálása.

mazható. A 16-PSK és a 16-QAM jelkészlete az 1. ábrán látható.

A két modulációs mód közötti választás alapja az elérhető hatékonyság és az áramköri bonyolultság lehet. Az 1. ábra alapján a jelkészlet egyes pontjai között a távolságot könnyen kiszámíthatjuk. Az egyes pontok közti távolságot jelölje D_p 16-PSK esetén és D_Q 16-QAM esetén.

$$D_p = \frac{2\pi U_0}{16} = \frac{\sqrt{2}\pi}{8} \sqrt{P_0},$$

ahol P_0 a teljesítmény

$$D_Q = 2d = \frac{2}{3} \sqrt{P_{cs}} = \frac{2}{\sqrt{5}} \sqrt{P_0},$$

ahol P_{cs} a csúcsteljesítményt, P_0 az átlagteljesítményt jelöli.

A 16-QAM hatékonysága jobb, az áramköri bonyolultság közel azonos, így a 16-QAM terjedt el a gyakorlatban. Már több, megvalósított 140 Mbit/s sebességű berendezés létezik.

A cikkben az irodalom alapján összefoglaljuk a 16-QAM modulátor és demodulátor fontosabb kérdéseit.

Áramköri kísérleteket folytattunk 34 Mbit/s sebességű 16-QAM modulátor—demodulátor megvalósítására. Ez a munka egy 140 Mbit/s sebességű 16-QAM berendezés előkísérleteit jelenti.

2. A 16-QAM rendszer főbb jellemzői

Átlagteljesítmény:

$$P_0 = \frac{1}{4} \left[\frac{(\sqrt{2}d)^2}{2} + \frac{2(\sqrt{10}d)^2}{2} + \frac{(\sqrt{18}d)^2}{2} \right] = 5d^2.$$

Csúcsteljesítmény:

$$P_{cs} = 9d^2.$$

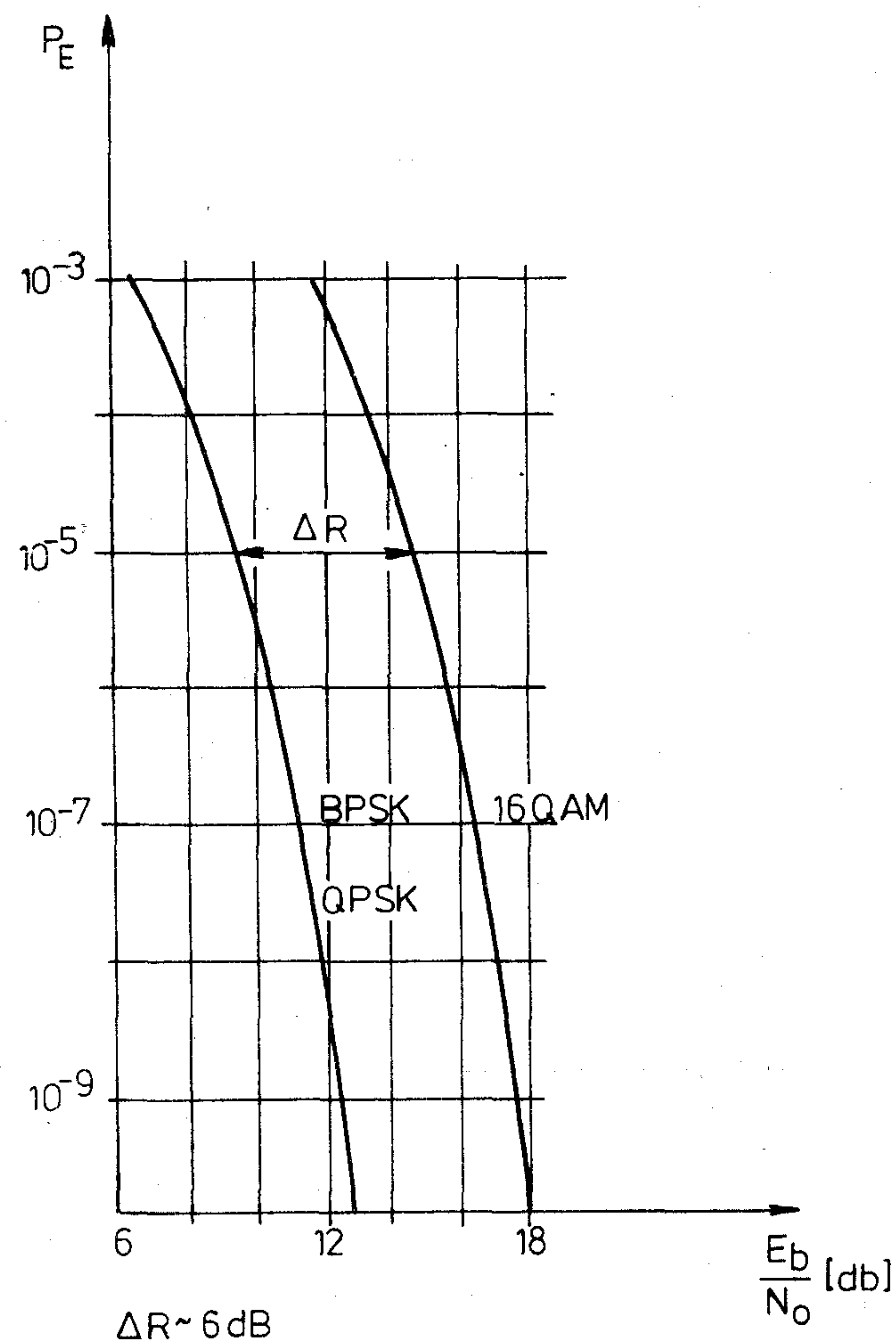
A hibaarány meghatározására több, közelítő kifejezés [1], [3] és görbe [2], [3] található az irodalomban. Az egyes rendszerek közötti összehasonlítást az

E_b/N_0 (bitenergia/zaj-spektrális sűrűség) alapján kiszámított hibaarány szerint végezhetjük el. $E_b = P_{cs} T_b$, ahol P_{cs} a csúcsteljesítmény és T_b a bitidő. Ezekből a görbékől leolvasott különbség adja meg a szükséges adóteljesítmények közti különbséget. A hibaarány görbét különböző modulációk esetén a 2. ábra mutatja.

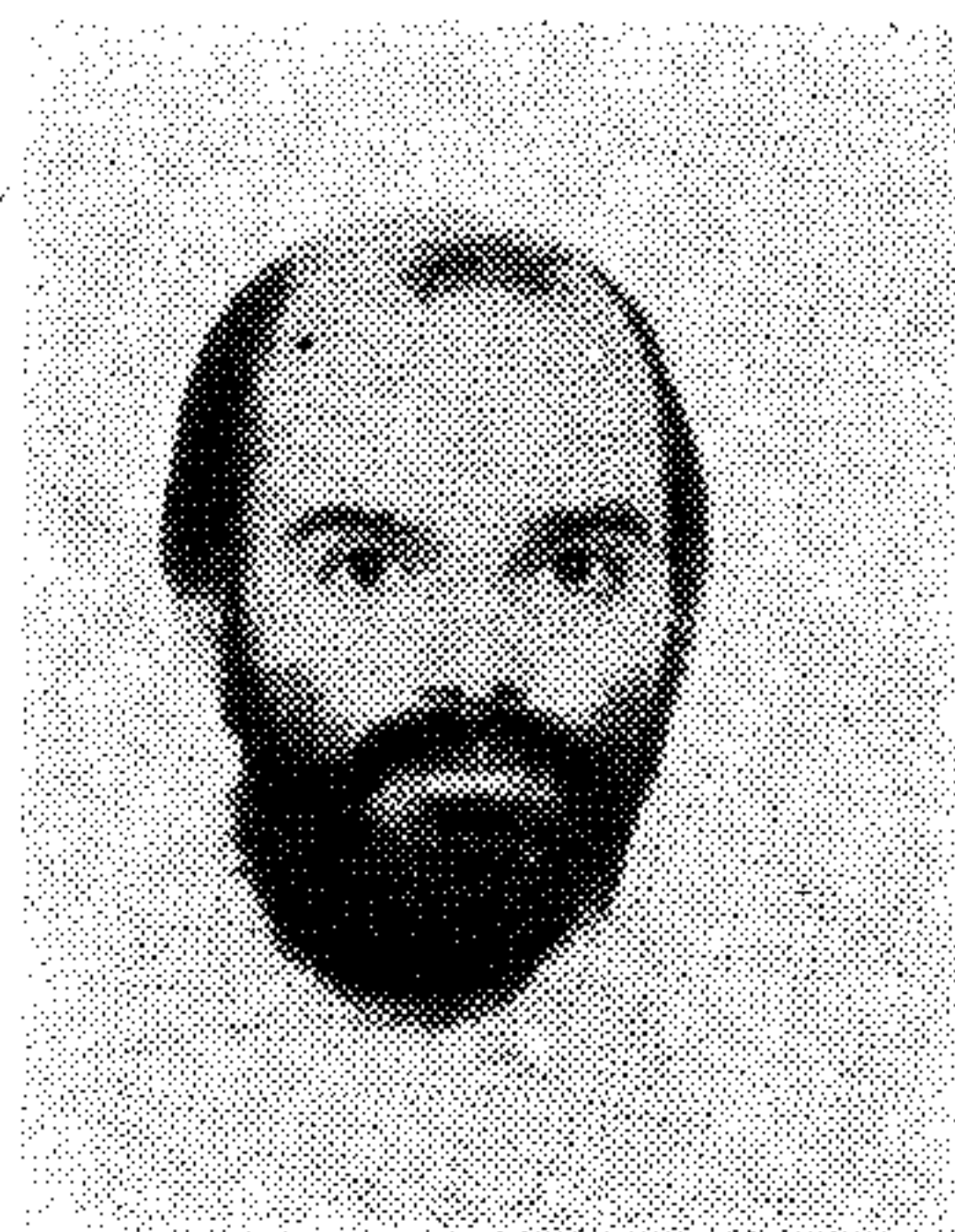
A görbékől leolvasható, hogy kb. 6 dB különbség van a BPSK és QPSK, ill. 16 QAM között. A hatékonyság ennyivel romlik, ez az ára a sávszélességben elérhető nyereségnek.

A nagysebességű jelek átvitelénél a többutas terjedésből származó fading már nem tekinthető az átviteli sávon belül frekvenciafüggetlennek. Így az átvitel során adaptív kiegyenlítőkre van szükség. Ennek a tervezése komoly műszaki feladat [4].

A 16-QAM lényegében négyszintű kvadratúra amplitúdómoduláció. Ezért az átviteli rendszerben levő erősítők linearitása és AM/PM konverziója a berendezés tervezésénél lényeges kérdés [5], [6]. A 2-PSK és a 4-PSK modulációs módoknál ezek a szempontok csak nagyon kis szerepet játszanak. A további tervezési szempontok ugyanazok, mint PSK rendszerekben, nevezetesen:



2. ábra. Hibaaránygörbék PSK és QAM moduláció esetén



DR. KOVÁTS JÁNOS

1980-ban villamosmérnöki, 1983-ban híradástechnikai szakmérnöki diplomát szerzett a BME Villamosmérnöki Kar híradástechnika szakán. 1984-ben műszaki doktori címet szerzett. 1980 óta a Távközlési Kutató Intézet dolgozója, jelenleg tudományos munkatárs. Fő szakmai kutatási területe a digitális jelátvitel. Ezen belül elsősorban közepes és nagy sebességű digitális modulációt tartalmazó jelek koherens detekciójával foglalkozik.



DR. SZABÓ ZOLTÁN

1959-ben végezte el a Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Kar gyengeáramú szakát. Először a BHG-ban, majd az ORION-ban, 1975 óta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik. Digitális mikrohullámú berendezések különböző áramköreinek, elsősorban modulátor, demodulátor áramköröknek a fejlesztésével és rendszerteknikai kérdésekkel foglalkozik. A témakörben több publikációja jelent meg. 1980-ban kandidátusi fokozatot szerzett, e témában írt értekezésével.

- interszimbol interferencia,
- interchannel interferencia,
- a demoduláláshoz szükséges referenciajel zaja és fázishibája,
- a vevőoldali órajel jittere, illetve a mintavétel helyének pontossága,
- a modulátor fázis- és amplitúdóhibája.

Ezeket a kérdéseket itt nem vizsgáljuk, hanem az irodalomra utalunk [5], [6], [7], [8].

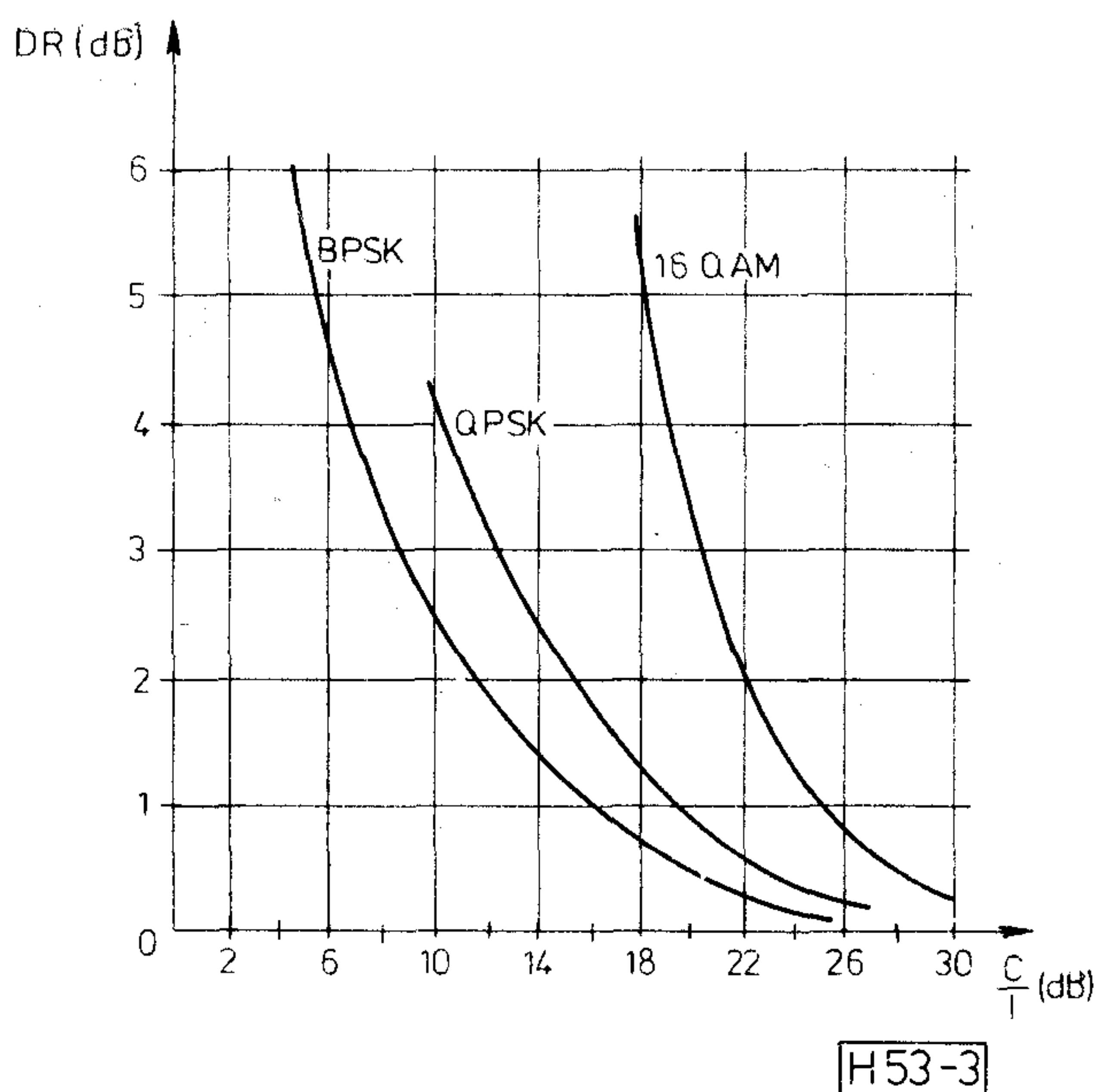
A 16-QAM rendszer mind a zajra, mind a különféle hibákra jóval érzékenyebb, mint a PSK. Ezt néhány összehasonlító ábrával szemléltetjük. A 3. ábra az interferencia által okozott romlást mutatja különféle modulációs módok esetén. A modulátor pontatlansága és a referenciajel fázishibája miatt létrejövő statikus fázishiba hatását az összeköttetés minőségére a 4. ábra mutatja 4-PSK, illetve 16-QAM átvitelnél [15].

3. A 16-QAM modulátor

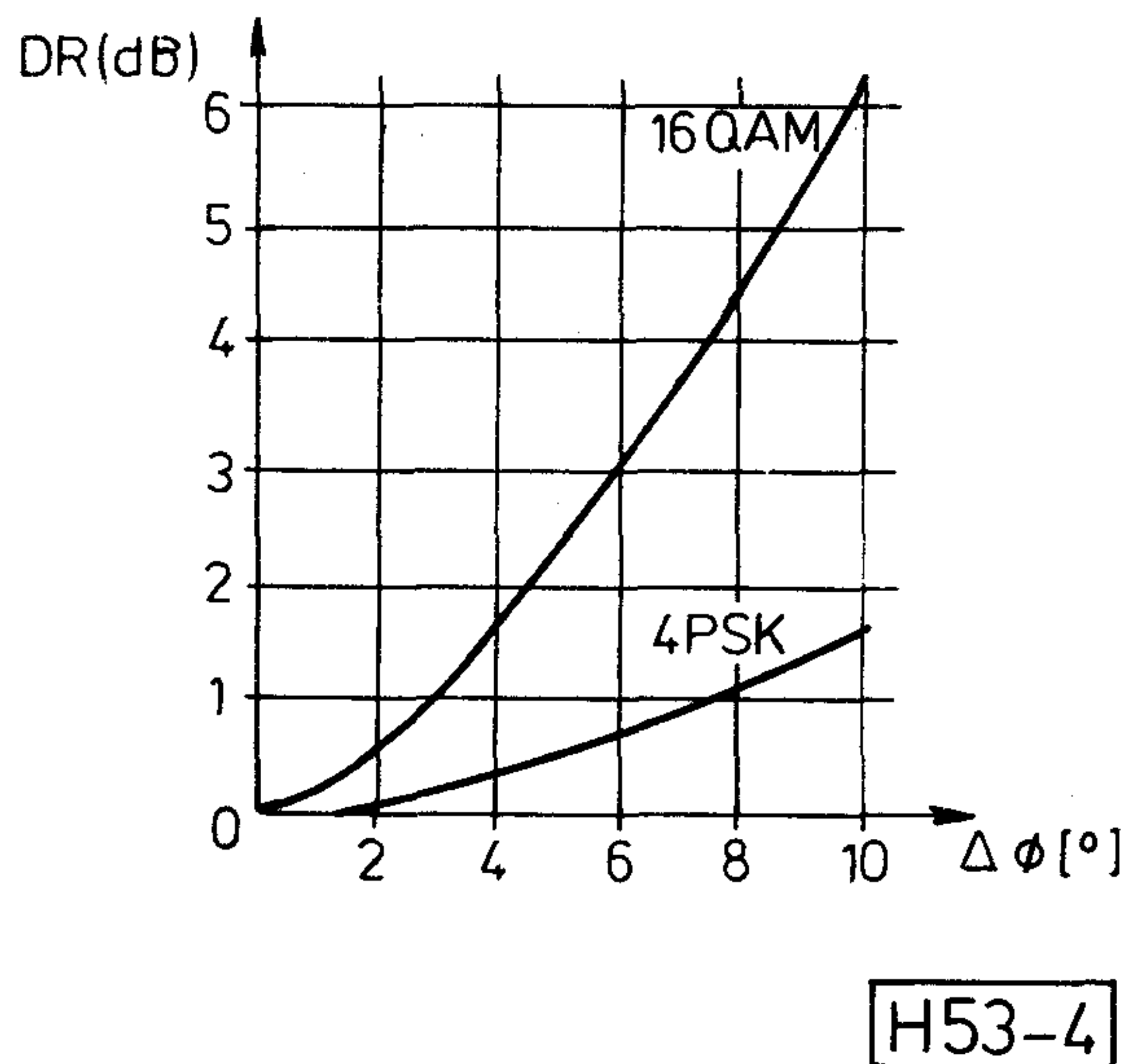
A modulátor megvalósítására kétféle módszer létezik, ezek a következők:

- kvadratúra amplitúdómodulátor,
- két 4PSK modulátor jelének összegzése megfelelő amplitúdóval és fázissal. Ez megvalósítható középfrekvencián vagy mikrohullámon 4PSK modulátorral.

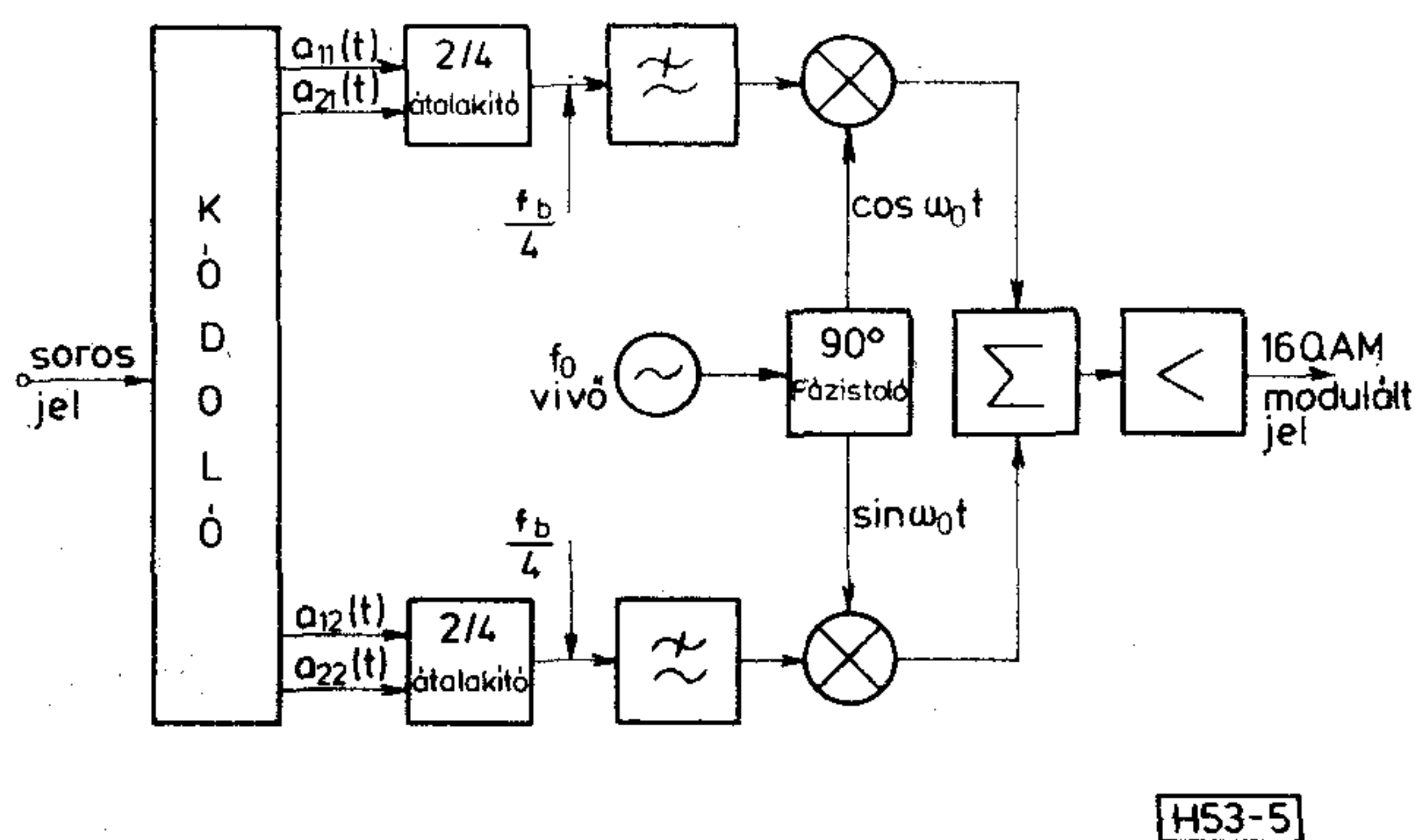
A kvadratúra amplitúdómodulátor blokkvázlatát az 5. ábrán láthatjuk. Az f_b frekvenciájú bináris for-



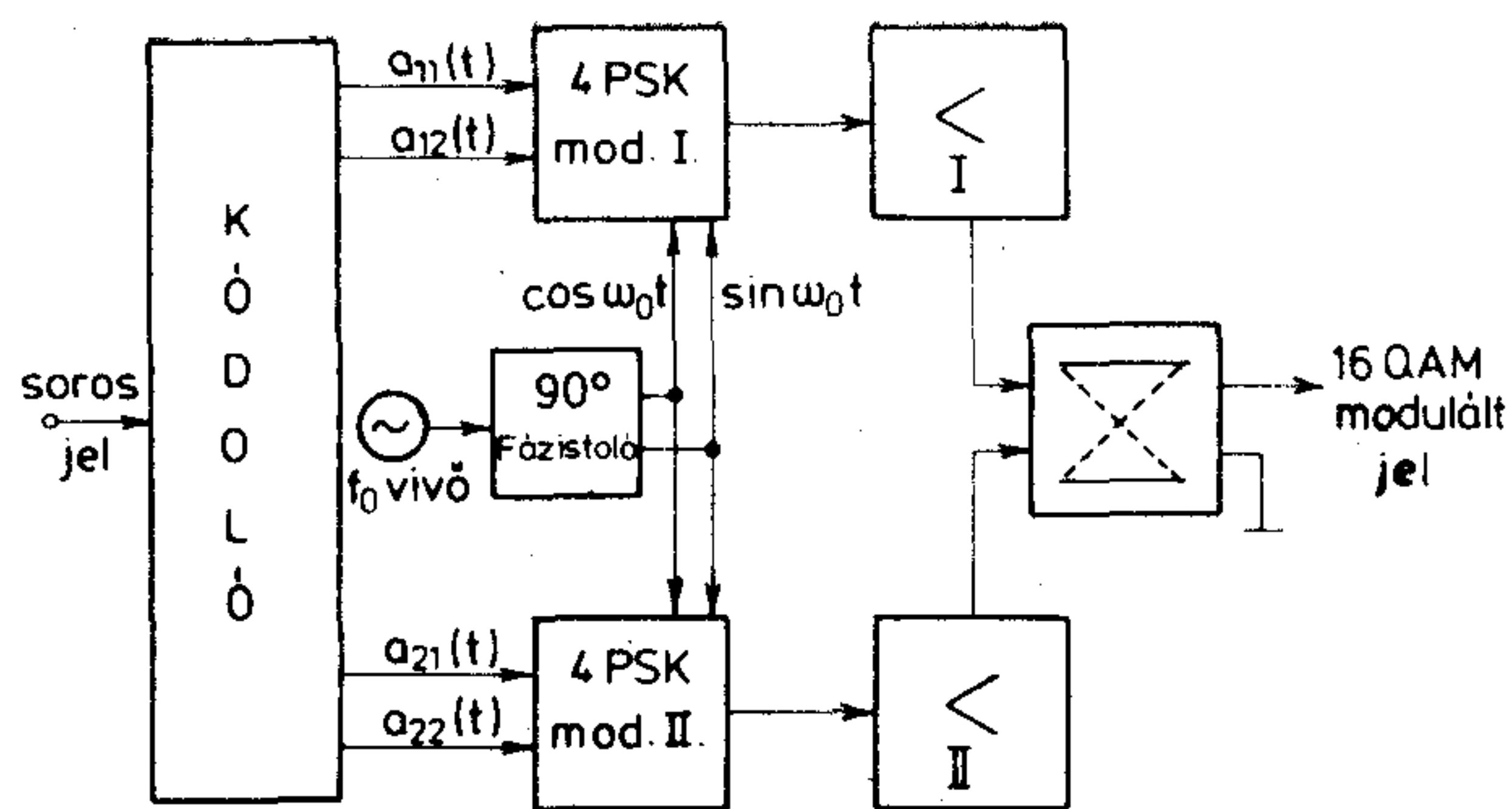
3. ábra. Interferencia hatása az átvitelre



4. ábra. Statikus fázishiba hatása az átvitelre



5. ábra. A kvadratúra amplitúdómodulátor felépítése



6. ábra. A mikrohullámú 16—QAM modulátor elvi vázlata

rásjelet két bináris szimbólumsorozattá konvertáljuk, majd ezeket $M=16$ esetben $L=4$ szintű alapsávi sorozattá alakítjuk át. A szorzó áramkörök amplitúdómodulátorként működnek. A szorzás után a két csatorna jele egymással kvadratúrában lesz, és ezek összegezésével jön létre a 16 állapot. Az áramkör középfrekvencián valósítható meg. A megoldás hátránya, hogy kis AM/PM konverziójú lineáris erősítőre és lineáris szorzóáramkörre van szükség.

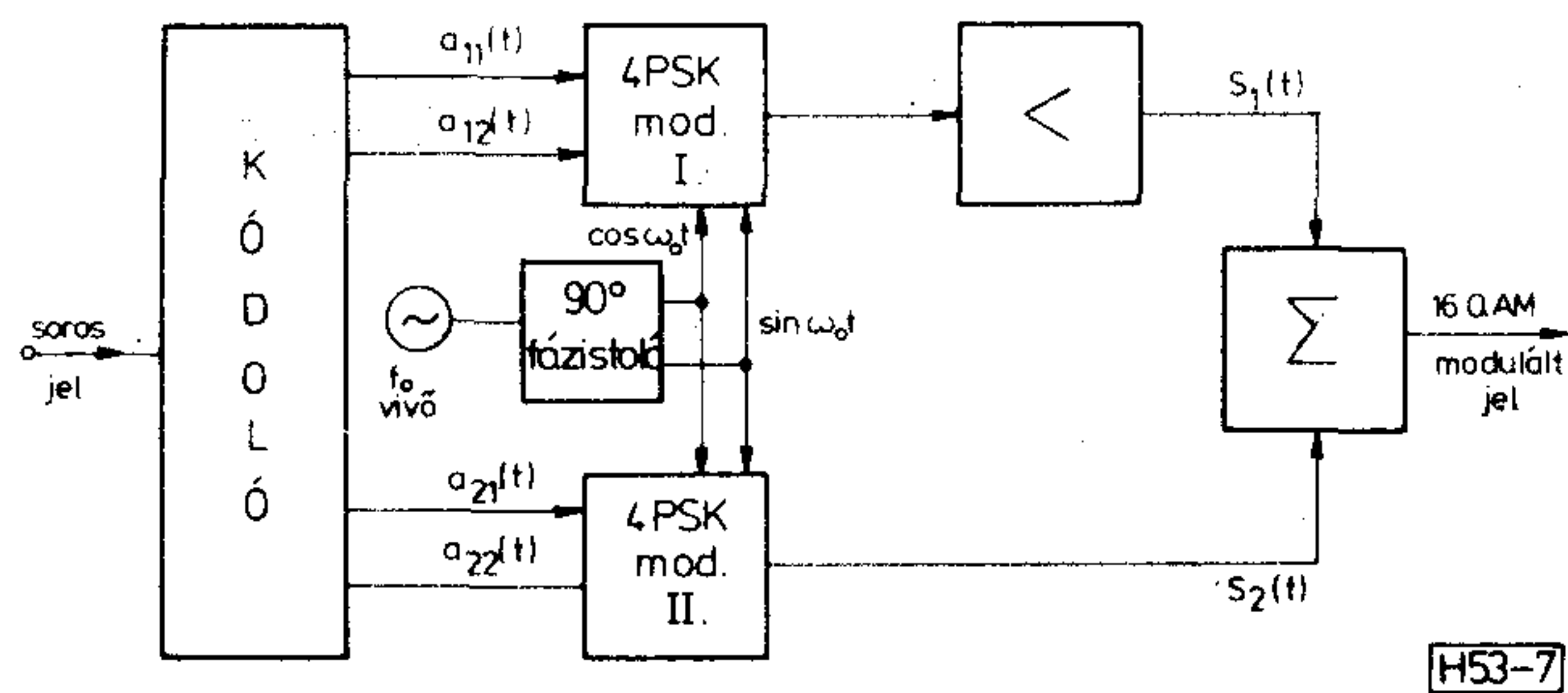
A 16 jelpont rácslakban helyezkedik el a kétdimenziós jeltérben (8. ábra). Az ábrán jól látható, hogy a 16 pont valóban két 4PSK összegzésével jön létre.

A mikrohullámú 16—QAM modulátor könnyen megvalósítható, mivel a négyállapotú fázismodulátor már kifejlesztett, viszonylag egyszerű áramkör [9]. Ennél a megoldásnál fontos követelmény, hogy a két modulátort valamint a két erősítőt azonosra kell tervezni. Az áramkör vázlatos felépítését a 6. ábra mutatja. A bemenő NRZ adatsorozatot soros/párhuzamos átalakítóval két szinkron sorozattá alakítjuk. Az így létrejött kódolt jelek vezérik a 4PSK—I és a 4PSK—II modulátort. A modulátorok kimenetét nemlineáris erősítővel erősítjük. Ez azért tehető meg, mert a jelet az összegzés előtt erősítjük megfelelő szintre, ahol még nincs amplitúdómoduláció.

A KF—4PSK modulátort tartalmazó elrendezés [10] működési elve azon alapul, hogy a 16—QAM jel előállítható két 4PSK modulátorjelének összegzésével. Az összegzésnél biztosítani kell a megfelelő amplitúdó és fázis viszonyokat. Két egyforma 4PSK modulátort alkalmazva az összegzés előtt az egyik ágban 6 dB-lel csillapítani vagy erősíteni kell a jelet (7. ábra).

4. A 16—QAM demodulátor

Elnyomott vivőjű digitális rendszerekben a demoduláláshoz szükséges referenciajelet a vett jelből állítjuk elő. M —PSK moduláció esetén a referenciajel M -edik hatványra emeléssel kapható meg. A vivő-visszaállítás és a demodulálás egymástól függetlenül hajtható végre. 16—QAM esetében ez azonban nem lehetséges. A referencia (vivő) előállítása a demodulálással egyszerre, egyetlen hurokban valósul meg. Ez hátrányos, mivel a döntés során fellépő késleltetés



H53-7

7. ábra. Középfrekvenciás QPSK modulátorokból kialakított 16-QAM modulátor

kedvezőtlen hatással van a hurokstabilitásra és csökkenti a befogási tartományt.

A 16-QAM jel demodulálására többféle eljárás létezik [11], [12], [13], [14]. A 9. ábrán alapsávi jelkezelést alkalmazó megoldást láthatunk [13]. A 16-QAM jelkészletben a pontok fele a QPSK jelkészlet pontjaival megegyezik (ezeknek a pontoknak a fázisa $45^\circ + k90^\circ$, ahol $k=0, 1, 2, 3$). Ekkor a QPSK alapsávi jelkezelés alkalmazható. Ezeket a pontokat a fázisfelismerő áramkör azonosítja, és engedélyezi a mintavételt. Ellenkező esetben — amikor a pontok „rossz” fázisban vannak a mintavevő-tartó tartás állapotba kerül. Az áramkör kizáró vagy kapukkal és ECL Master-Slave tárolóval valósítható meg.

$$g(\varphi, \Delta) = K_m \sum_{i,j} (i \sin \varphi + j \cos \varphi) \{Q[\Delta(2 - i \cos \varphi + j \sin \varphi)] +$$

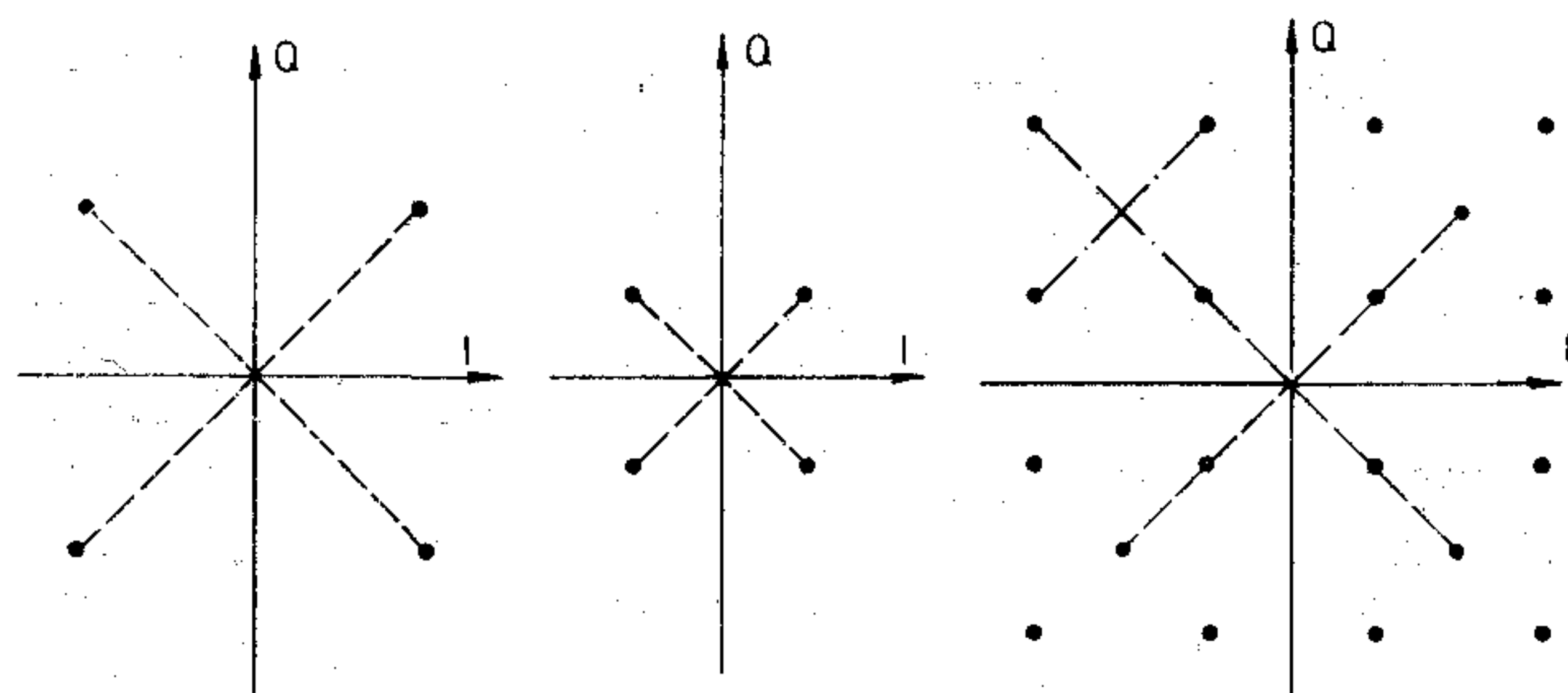
$$+ Q[\Delta(-i \cos \varphi + j \cos \varphi)] + \\ + Q[\Delta(-2 - i \cos \varphi + j \sin \varphi)]\},$$

ahol $\Delta = \sqrt{\frac{\rho}{5}}$ és ρ a jel-zaj viszony. Továbbá K_m konstans, és $i, j \in \{-3, -1, 1, 3\}$; valamint $Q(x)$ a hibaintegrál:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp(-y^2/2) dy,$$

alakban írható fel.

A karakterisztika 90° -onként periodikus és a fázishibának páratlan függvénye. A 12. ábra néhány Δ értéknél mutatja a karakterisztika menetét. Zaj nélküli esetben ($\Delta \rightarrow \infty$) a karakterisztika töréspontos lesz, hiszen ekkor: $Q(x) = 0,5 - 0,5 \operatorname{sgn}(x)$. A másik ha-



H53-8

8. ábra. A 16 jelem kialakulásának szemléltetése

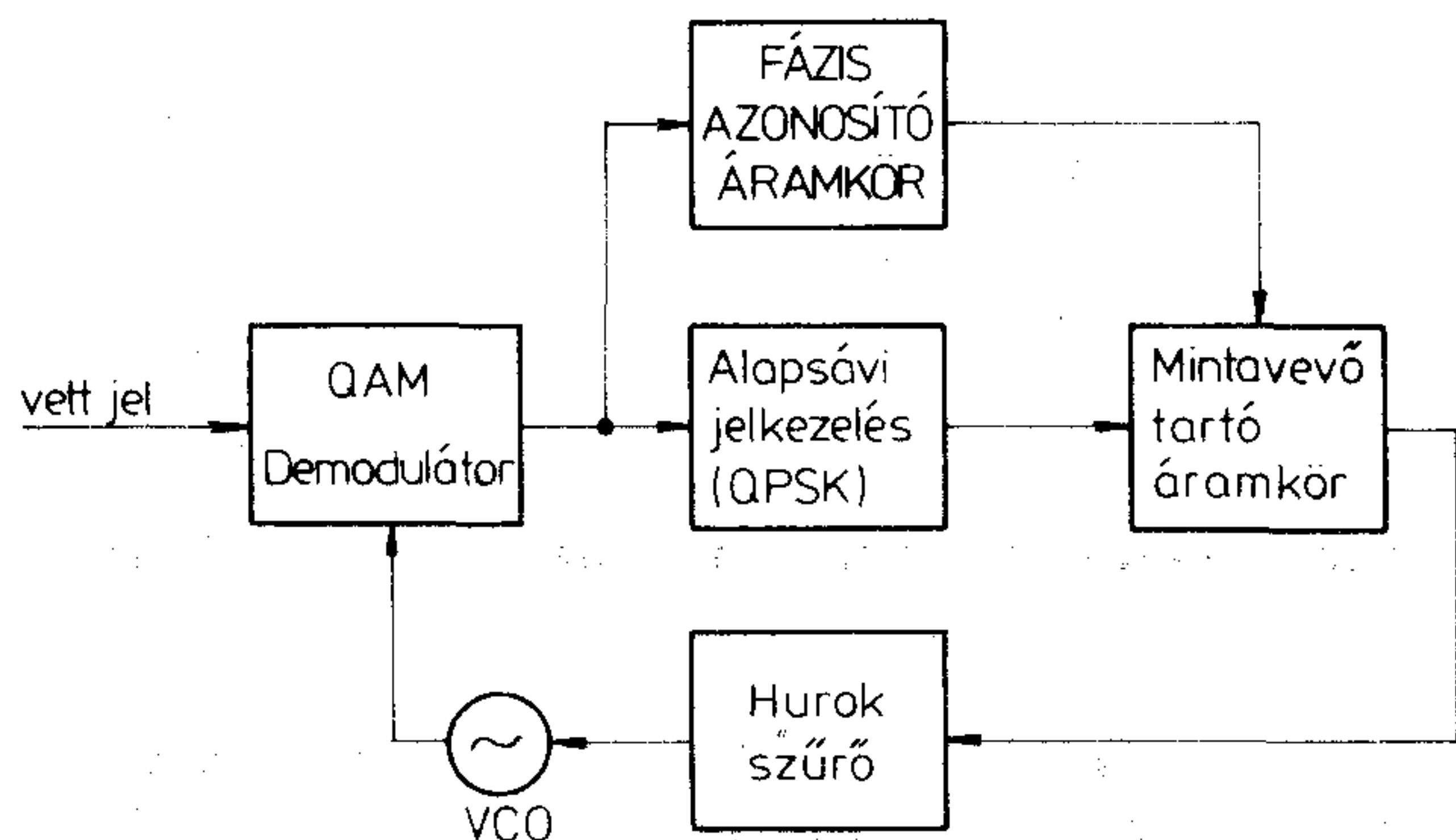
A remodulátorral történő szinkron demodulálás elvét mutatja a 10. ábra [11]. Az áramkör lényegében két QPSK demodulátorból, és az első demodulátor jelének újramodulálására használt kvadratura modulátorból áll. A második QPSK demodulátor bemenőjelét a bejövő modulált jel és a remodulátor kimenő jelének különbsége adja. Ugyanezen jelekből állítja elő a fázisdetektor a VCO-t vezérlő hibajelét.

A kvázi-döntésvisszacsatolt hurkot alkalmazó megoldást [12], [14] irodalmak tárgyalják. A demodulátor működési elvét a 11. ábra szemlélteti. Az amplitúdó-döntést komparátorokból kialakított négy szintű kvantálókval valósították meg. A kvantált jeleket a kvadratura csatorna demodulált jeleivel megszorozva, különbségképzés után kapjuk a hibajelét, amely a hurokszűrőn keresztüljutva a VCO-ra kerül. Az áramkör analízisét a [12] irodalom részletesen tárgyalja. A döntésvisszacsatolt hurokra a PLL klasszikus alapegyenletének alakjában az alábbi egyenletet írja fel:

$$\dot{\varphi}(t) = \dot{\Theta}(t) - KF(p) [Ag(\varphi, \Delta) + N(t, \varphi)],$$

ahol φ a fázishiba, Θ a bejövő jel fázisa, $F(p)$ a hurokszűrő transzfer függvénye, A, K konstansok.

A $g(\varphi, \Delta)$ ekvivalens fázisdetektor karakterisztika nemcsak a fázishiba, hanem a jel-zaj viszony függvénye is, és a következő alakban írható fel:



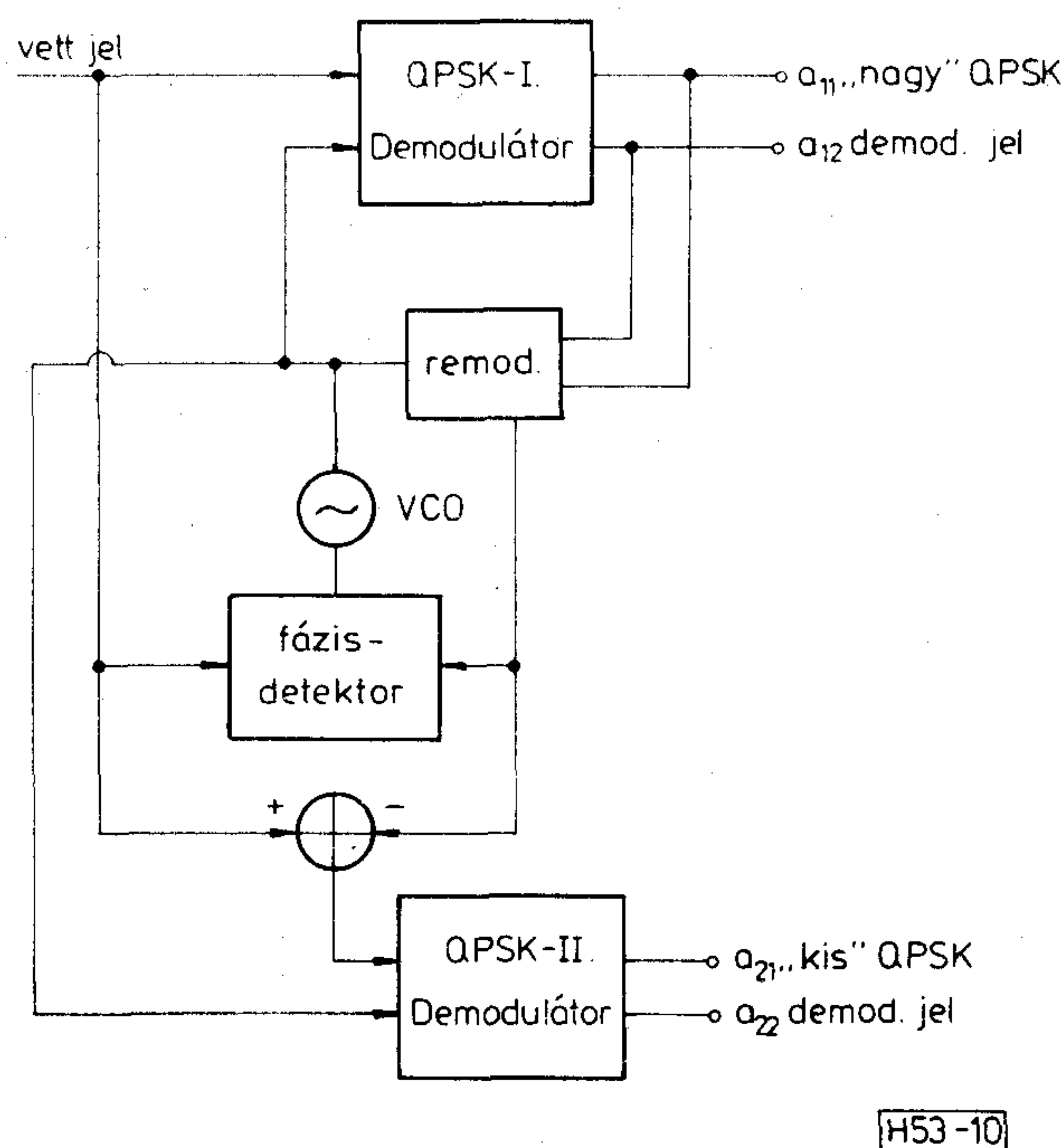
H53-9

9. ábra. Szinkron demodulátor alapsávi jelkezeléssel

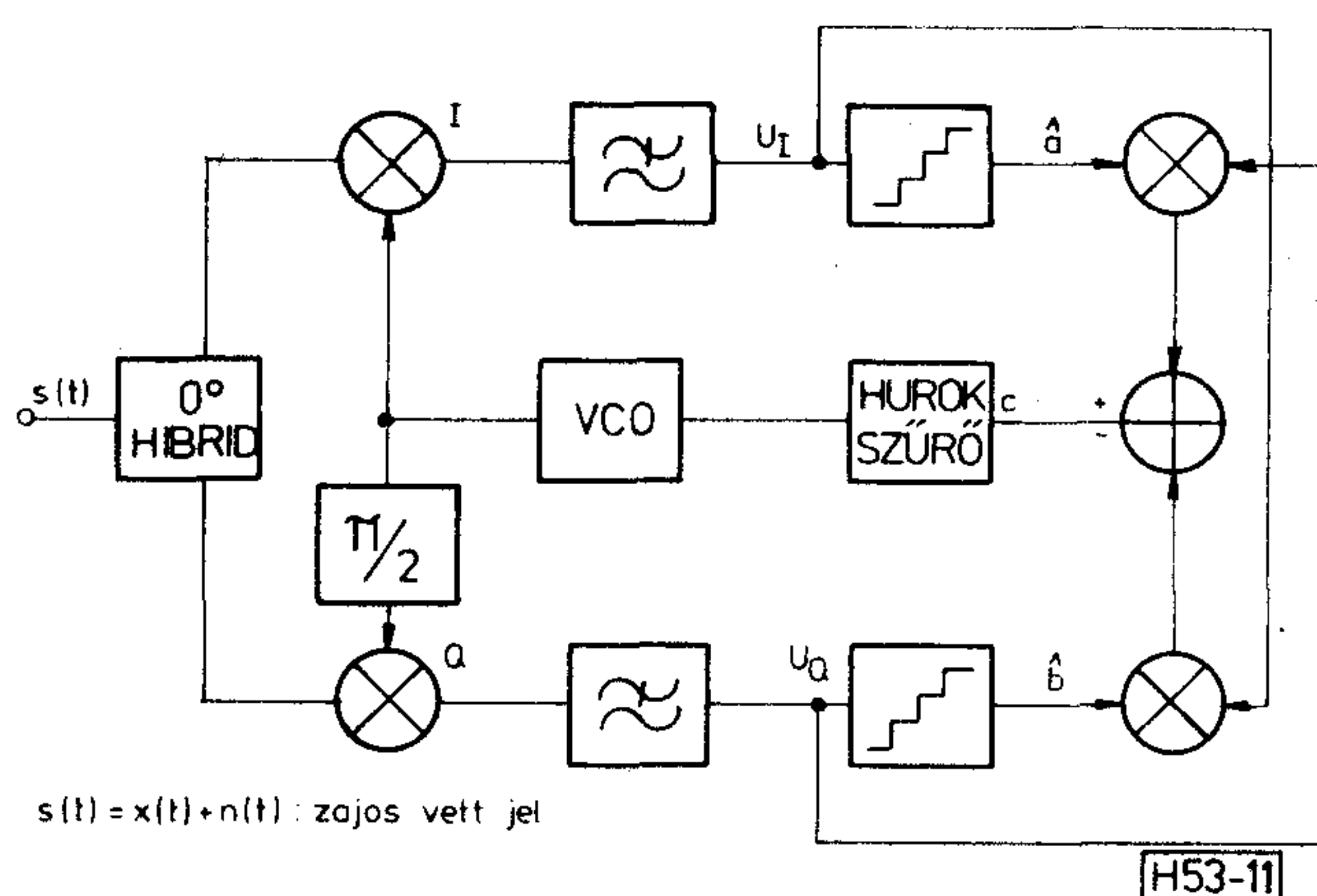
táresetben, amikor a jel-zaj viszony nulla, azaz $\Delta=0$, a karakterisztika $\sin(4\varphi)$ alakú. Az ábrából látható, hogy több nemkívánatos stabil pont is létezik. A zaj növelésekor a karakterisztika „elkenődik”, és így a nemkívánatos pontoknál fellépő meredekség csökken.

5. Megvalósítás, mérések

Az áramkörök fejlesztése során elkészült egy 140 MHz középfrekvencián 34 Mbit/s bitsebességen működő modulátor és demodulátor áramköri laborminta.



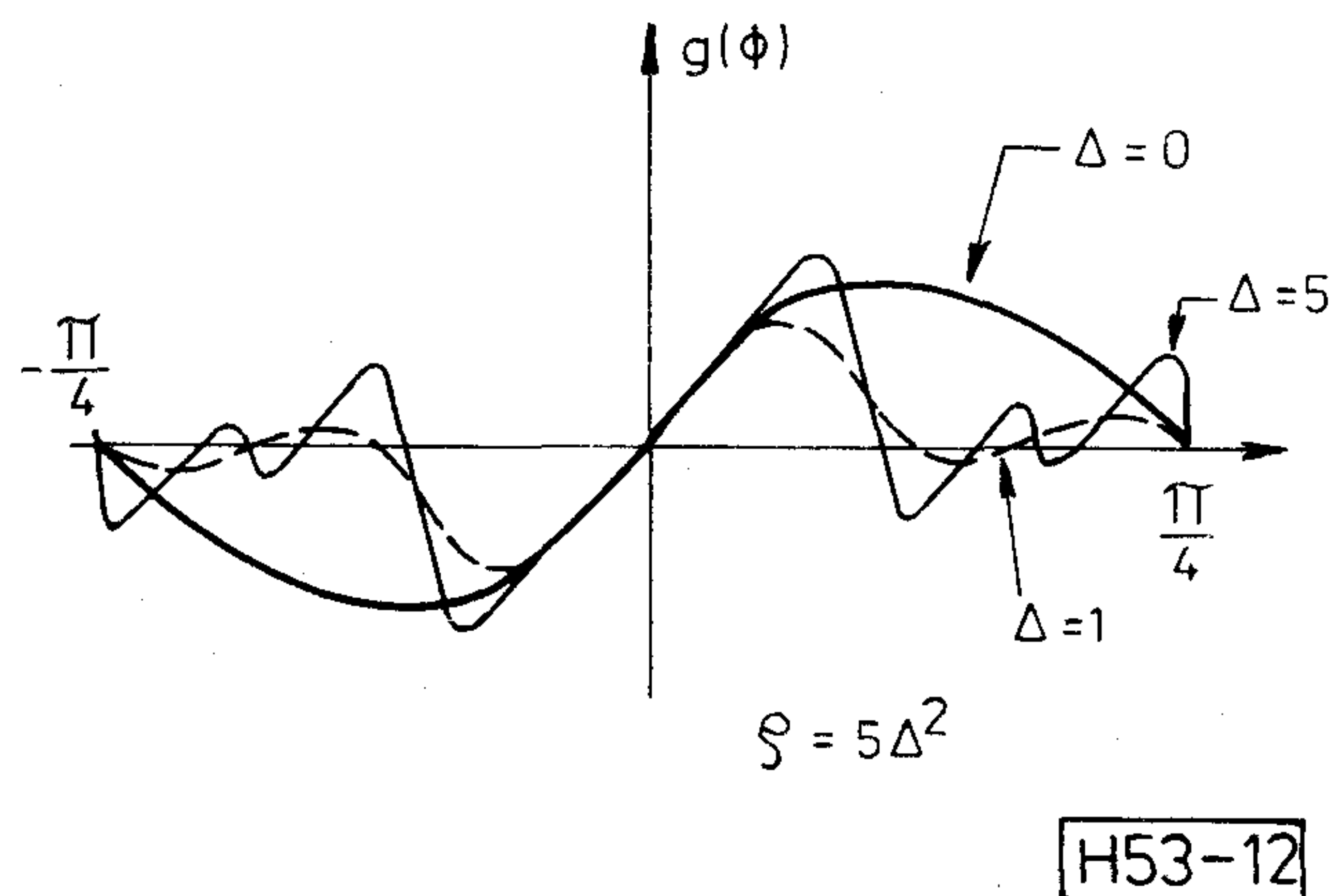
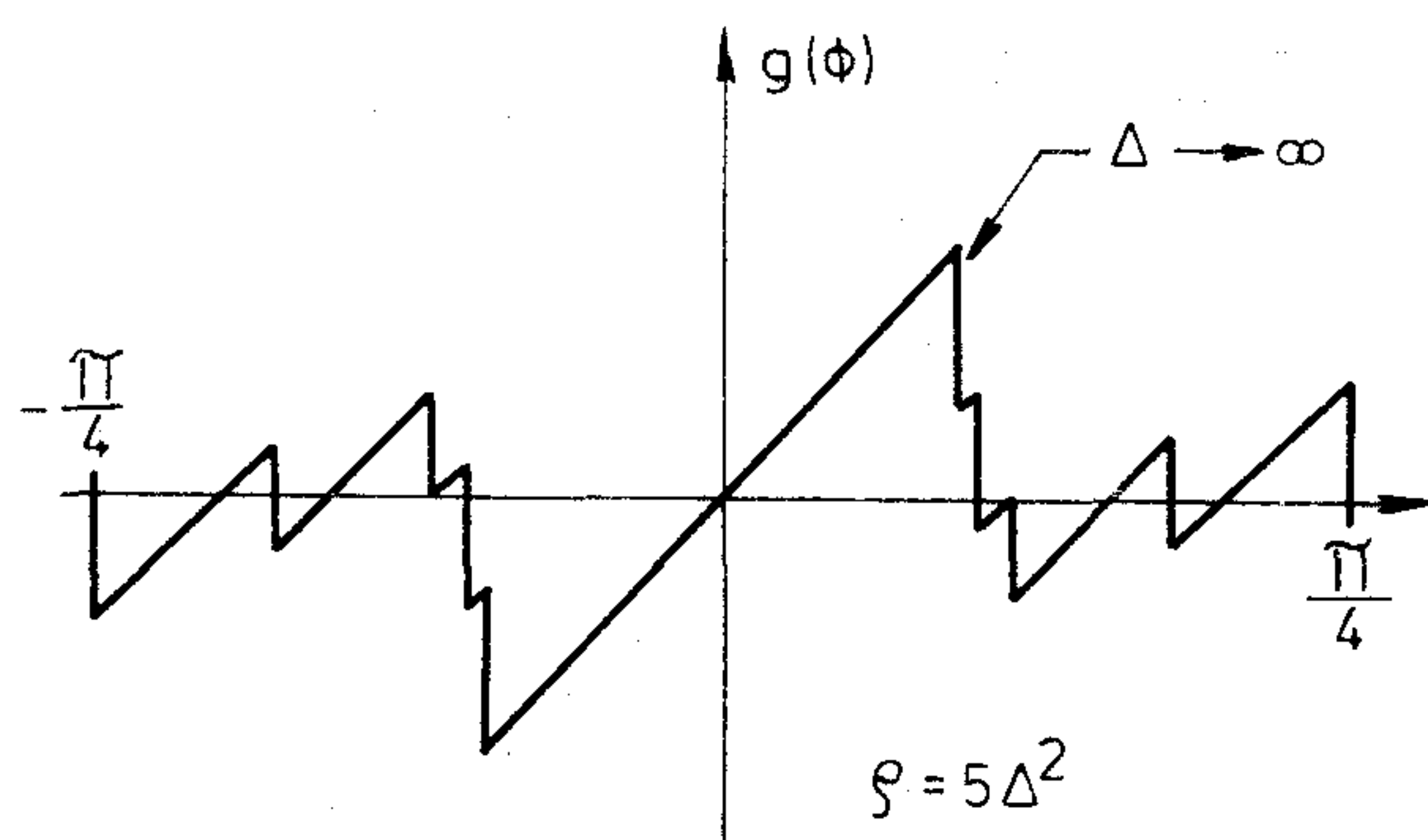
10. ábra. Remodulátor típusú szinkron demodulátor



11. ábra. A kvázi-döntésvisszacsatolt demodulátor elvi vázlata

A realizálásnál a 7. és a 11. ábrán bemutatott modelleket vettük alapul. Szorozóként ring-modulátorokat használtunk. A szorozók és a hibridek MCL gyártmányúak. A kvantáló áramkört három, párhuzamosan kapcsolt komparátorból (μA 760) valamint ellenállásos összegző hálózathból alakítottuk ki. Az alapsávi szorzást TEXAS gyártmányú lineáris négy-negyed-es szorozóval valósítottuk meg. A különbségképző hurokerősítő MOTOROLA μA 733 volt. Hurokszűrőként a szokásos RC „lag-lead” szűrőt alkalmaztuk. A VCO-t varaktoros hangolású tranzisztoros Clapp-oszcillátorral realizáltuk.

A megépített áramkörökön méréseket végeztünk. Az oszcilloszkópon megjelenített szemábrákon a négy szint közötti távolság nem egyezett pontosan meg. Ezt a modulátor és demodulátor áramkörökben alkalmazott hibridek $1-2^\circ$ -os fázishibája, $0,5-1$ dB-es amplitúdóhibája, továbbá áramköri nemlinearitások okozhatják.



12. ábra. A 11. ábra szerinti áramkör fázisdetektor karakterisztikája különböző jel-zaj viszony esetén

Megmértük a befogási-benntartási tartományt. A kapott 80, illetve 100 kHz-es értékek meglehetősen kicsik. Ennek fő oka a hurokban fellépő késleltetés. Ennek csökkentése érdekében gyorsabb komparátorok alkalmazása válik szükségessé. A befogási tartomány növelése ezen kívül valamilyen külső befogás-növelő módszerrel (sweep, diszkriminátor) is elérhető.

A végleges áramköröket 140 Mbit/s sebességre kell elkészíteni. Ehhez csupán kisebb módosítások szükségesek: A már említett gyors komparátor (ECL) alkalmazása itt már elkerülhetetlen. Nagyobb gondot kell továbbá fordítani az amplitúdó és a fázis finombeállítására.

I R O D A L O M

- [1] Frigyes — Szabó — Ványai: Digitális mikrohullámú átviteltechnika. Műszaki Könyvkiadó, 1980.
- [2] Feher: Digital communications. Prentice-Hall, 1983.
- [3] Foselmini — Gitlin — Weinstein: On the selection of a two-dimensional signal constellation in the presence of phase-jitter and Gaussian noise. BSTJ No. 6, 1973.
- [4] Frigyes: Frekvenciadiverziti alkalmazása nagysebességű digitális átviteli rendszerekben. Mikrohullámú Szeminárium közleményei, 16—20., 1985.
- [5] Thaler — Michelfeit: Characterization and performance comparison of high linearity RF power amplifiers for 16-QAM digital radio system, Proc. of ICC Conf. 1983 25, 6. 1—25. 6.5.

- [6] *Amadesi—Mora—Pattini*: Including nonlinear amplifier and predistorter in a bandlimited 16-QAM system. Proc. of ICC Conf. 1983 25, 7. 1—2. 7.5.
- [7] *Borgne*: Comparison of 16, 32, 64, 128 QAM modulation schemes for digital radio systems. ICC 83 Conf. Rec. 1.7. 1—1. 7.5.
- [8] *Kováts—Szabó*: 16-QAM demodulátor tervezése. TKI tanulmány, 1984.
- [9] *Morais—Feher*: NLA—QAM a method for generating high power QAM signals through nonlinear amplification. IEEE COM-30, No. 3., 1982.
- [10] *Washio—Shimamura—Komiyama—Takimoto*: 1,6 Gb/s 16-level superposed APSK MODEM with baseband signal-processing coherent-demodulation, IEEE MTT-26, No. 12, 1978.
- [11] *Miyauchi—Seki—Ishio*: New techniques for generating and detecting multilevel signal formats. IEEE COM-24 No. 2., 1976.
- [12] *Simon—Smith*: Carrier synchronization and detection of QASK signal sets. IEEE COM-22, No. 2. 1974.
- [13] *Horikawa—Murase—Saito*: Design and performance of a 200 Mbit/s 16-QAM digital radio system. IEEE COM-27, No. 12. 1979.
- [14] *Moss—Beyer*: Universal carrier recovery for APK signals. Proc. of the IEEE Vol. 71, No. 7. 1983.
- [15] *Saito—Horikawa—Yamamoto*: 16 QAM carrier recovery PLL for service channel transmission using FSK additional modulation, IEEE COM-30, No. 8. 1982.

A Hannoveri Vásárról dióhéjban

1985. áprilisában 38. alkalommal rendezték meg a hagyományos Hannoveri Vásárt. A vásár mindig híven tükrözte és tükrözi a nemzetközi politikai-gazdasági légkört is. Ez bizonyos mértékben a kelet—nyugati kapcsolatok javuló tendenciáira is utal, miután 1985-ben minden eddiginél több kiállító vett részt közel 50 országból, a látogatók száma pedig meghaladta a 800 ezer főt.

A vásár fő „slágere” a **CeBIT** számítástechnikai szakkiallítás volt. Itt lehetett megismerkedni a **LAN** — a Local Area Network fogalmával. Az adatfeldolgozás, az irodai hírközlő berendezések, valamint az adatátvitel egységes egészzé integrálódik. Az írott szöveget, a hangot, az adatokat, ábrákat, képeket digitális jellel alakítják át, amely az **ISDN** — az integrált digitális távközlési rendszerhez csatlakoztatható. Ilyen rendszert mutatott be a *Siemens*, az *IBM*, a *Wang*, az *NCR*, a *Nixdorf Computer* is. Elképesztő választék volt a személyi számítógépekből.

A **CeBIT**-en megismerkedhettünk az interaktív videotex rendszerek sajátos válfajaival, valamint a kábeles tv térhódításával is. Érdekes volt, hogy a helyszínen mintegy másfél tucat program közül lehetett választani.

A mikroelektronikai kiállítási pavilonban a látogatóknak a mikroelektronika legújabb eredményeit mutatták be, amelyből a mikrokomputerek óriási választéka emelkedett ki, ugyancsak elképesztő variációjú szolgáltatásaival.

A professzionális híradástechnika gyártmányai közül a látogatók a helyszínen ismerkedhettek meg az **ITT-SEL SYSTEM—12** típ. digitális telefonközpontjával, közelebbről a 2500 vonalas konténeres rendszerű központtal. A **SYSTEM—12** típ. központok rendelésállománya 11,5 millió vonalat tesz ki, eddig e rendszert több mint 20 ország vette át.

A híradástechnikai kiállításon a legkorszerűbb memóriatárolós telefon computerekkel lehetett megismerkedni. Ezen túl súlyponti területet képezett a fényvezető kábeles átviteli rendszerek bemutatása is, egészen a fényvezetős integrált átviteli rendszerig. A vásárnak egyébként 11 nagy szakkiallítása volt.

Szükséges még arra utalnunk, hogy 1986 márciusában a **CeBIT** nagy számítástechnikai kiállítást már külön rendezik meg, miután ebben az évben már számos kiállító nem kapott helyet az egyébként óriási méretű pavilonokban. A technológia szakvásárt 1986 áprilisában rendezik meg a CeBIT-től különválva.

Összességében véve az 1985. évi Hannoveri Vásár megfelelő és plasztikus képét mutatta a híradás-, a számítástechnika, a távközlés fejlődési tendenciáinak, amely egyértelműen az integrált, digitális hálózati átviteli rendszer irányában fejlődik.

Dr. Kolozsváry Bálint

A Világ Hírközlési Fórum Speciális Ülése

(Szingapur, 1985. május 14–18-ig)

A Nemzetközi Távközlési Unió (ITU) 1985. V. 14–18. között rendezte ASIA Telecom '85 kiállítását és Fórumát. Ez volt az első alkalom, amikor ilyen rendezvényt az ITU székhelyén, Genfén kívül rendeztek. Hatalmas szerepet vállalt a rendezésben a Szingapuri Távközlési Igazgatóság (Telecoms).

A kiállításon kb. 100 vállalat állította ki termékeit, legkülönbözőbb országokból. Hazánkat a BUDAVOX képviselte.

A kiállítással párhuzamosan került megrendezésre a Világ Hírközlési Fórum speciális ülése, melynek címe: „Az Integrált Szolgáltatású Digitális Hálózat (ISDH) kihívása és realitása, és a mobil hírközlés különös hangsúllyal a gyorsan fejlődő cellás rádió-rendszerekre” volt.

A megnyitó ülésen F. YUNG, a Telecoms Tanácsának elnöke, R. E. Butler, az ITU főtitkára és Dr. TAY ENG SOON államminiszter tartott üdvözlő beszédet.

A soron következő 12 ülésen a következő előadások hangzottak el:

I. ülés: A Világ Hírközlési Fórum Speciális Ülésének megnyitója.

1. GOH SENG KIM, a Telecoms vezérigazgatója:
Az integrált világ hírközlő hálózatának fejlődése.
2. J. DONDOUX, a Francia Posta vezérigazgatója:
Az integrált Szolgáltatású Digitális Hálózatok kihívása és realitása.
3. I. M. ROSS, az ATT elnöke:
A hírközléstechnika változó világa.
Jelenlegi fejlődés a mobil hírközlésben.

II. ülés: Világméreteken az ISDH irányában

1. Y. KITAHARA, NTT alelnöke:
INS — Kihívás a fejlett információs társadalommal szemben.
2. T. IRMER, a CCITT igazgatója:
Az ISDH a CCITT VIII. plenáris ülése után — az alapszolgáltatásoktól az egységes információátvitelig.

III. ülés: Az ISDH politikai kérdései

1. M. WARD, az Ausztrál Posta vezérigazgatója:
Milyen hírközlési szolgáltatások állnak rendelkezésre a jövőben?
2. R. A. FERCHAT, a Northern Telecom elnöke:
Az ISDH izgató új világa.
Gyártó szempontjai az ISDH szabványokkal kapcsolatban.

IV. ülés: A mobil hírközlés helyzete

1. P. OKUNDI, Kenyai Kikötői Igazgatóság vezérigazgatója:
Mobil hírközlés és rurálfejlesztés — technológiai és politikai stratégiák az emberi erőforrások tervezésére, működtetésére és karbantartására.
2. O. LUNDBERG, az INMARSAT vezérigazgatója:
A világ igényei a mozgó hírközlő szolgáltatásokkal szemben.

V. ülés: A cellás rádióforradalom

1. J. C. CARRINGTON, British Telecom vezérigazgatója:
Nemzetközi trendek a cellás rádiószolgáltatásban és a technológiai rés.
2. G. ZEITLER, SEL műszaki igazgatója:
A digitális cellás mobil telefon.

VI. ülés: A cellás rádió gazdasági kérdései

1. G. JEELOF, PHILIPS Igazgató Tanácsának tagja:
Csodálatos kihívás a híradástechnikai szállítók és felhasználók részére: autóból a világméretű hordozható telefonszolgálatba.

2. A. AL-SABEJ, a Kuwaiti Mobil Telefon Társaság elnöke:
A földi mobil piac növekedése egy kompetitív környezetben.

VII. ülés: A mobil rádió szabályozási kérdései

1. W. HILL, Kanadai Hírközlési Osztály vezérigazgatója:
Szabályozott és szabályozatlan mobil rádió szolgálatok.
2. P. DUPUIS, Francia Posta Mobil Szolgáltatásának vezérigazgatója:
A mobil rádióra vonatkozó adminisztratív rádió konferencia előkészítése.

VIII. ülés: ISDH szabványok és technikák

1. K. KOBAYASHI, NEC Igazgató Tanácsának elnöke:
A híradástechnikai ipar alakítása az ISDH igényeinek kielégítéséhez.
2. B. SVEDBERG, LMEricsson elnöke:
ISDH megoldások a világ hírközlési igényeire.

IX. ülés: ISDH szállítók és felhasználók

1. M. P. AKARWALA, Indiai Posta:
Az ISDH képességek és szolgálatok bevezetésének tervezése — a fejlődő országok elvárásai.
2. E. WEISS, az INTUG elnöke:
A digitális jövő — ISDH: a piac igényei.

X. ülés: Az ISDH koncepció és ISDH technológia igényei

1. Sir KENNETH CORFIELD, az STC elnöke:
A 64 kbit/s keskeny sávú átviteltől az optikai kábelben megvalósított széles sávú ISDH-hoz.
2. H. BAUR, SIEMENS elnöke:
Alap- és javított szolgálatok létrehozása az ISDH segítségével.

XI. ülés: ISDH opciók és rugalmasság

1. A. D. WHEELON, HUGHES elnöke:
Műholdas rádióhírközlés az ISDH környezetben.
2. C. FAYARD, CIT Alcatel vezérigazgatója:
Speciális szolgálatok (ISDH) általánosított felhasználása.

XII. ülés: Az ISDH és a cellás rádió. Kulcsfontosságú lehetőségek a világ hírközlési társadalmának

1. DIANA LADY DOUGAN, nagykövet (USA):
A mozgó szolgálat világméretű terjeszkedése a 80-as években.
2. Sir GEORGE JEFFERSON, a British Telecom elnöke:
Előrehaladás az ISDH hírközlés technológiájában és annak szabályozó környezetében.
3. TAKUMA JAMAMOTO, a FUITSU elnöke:
Az új információs korszak felé.

Az előadások anyaga a BHG Műszaki Könyvtárában hozzáférhető.

A Fórum lezárásaként külön ülésen emlékeztek meg az ITU megalapításának 120. évfordulójáról és a Világ Hírközlési Napról. Az Emlékülésen beszédet mondott dr. YEO NING HONG, hírközlési miniszter (Szingapur) és R. E. Butler, az ITU főtitkára, és üzenetet küldött az ENSZ főtitkára, J. PEREZ de CUELLAR.

A Fórum keretében került megrendezésre egy kerekasztal-megbeszélés, melynek címe: „ISDH: az integrált világméretű hírközlő hálózat — szállítók és felhasználók új szerepben” volt.

A kerekasztal elnöke SUNG SIO MA, a Telecom vezérigazgatója volt és felkért hozzászólóként szerepelt T. IRMER, a CCITT igazgatója, J. S. RYAN, a CCITT XI. Tanulmányi Bizottságának elnöke, T. LARSON, a Svéd Posta vezérigazgatója és L. J. RANKINE, az IBM igazgatója.

A kerekasztalnál több oldalról is megvitatták az ISDH különböző kérdéseit és a vitában elismerést aratott Horváth Imre (BHG) hozzászólása, amelynek tárgya az ISDH megközelítése az alközpontok felől volt.

Ugyancsak a fórum keretében Horváth Imre látogatást tett a Telecoms Orchard Office FETEX—150 (Fujitsu) telefonközpontjában, ahol a Telecoms ISDH kísérletei folynak. A szolgáltatások bemutatásakor hangsúlyozták, hogy ezt a kísérletet Fujitsu is csak megvalósíthatósági tanulmányként végzi, gyakorlati bevezetés a 90-es évek előtt nem várható.

A látogatás keretében ismertették a centralizált üzemviteli és karbantartó rendszer működését. A rendszer minden központot magába foglal a szingapuri hálózatban, kivéve az ARF központokat. Kérdésre azt válaszolták, hogy nem rendelkeznek kellő ismerettel az ARF központok területén ahhoz, hogy be tudják illeszteni a rendszerbe. Horváth Imre röviden ismertette a LOTRIMOS rendszer lehetőségeit az ARF központok területén, és felkínálta az együttműködést.

A BHG megbízásából Horváth Imre 1985. május 14-én részt vett a „Missing Link” bizottság jelentése tárgyában tartott konzultáción.

A konzultáción R. E. Butler úr, a CCITT igazgatója röviden ismertette a Sir Donald MAITLAND (Egyesült Királyság) vezette bizottság jelentését, melynek hivatalos címe „Jelentés a világméretű hírközlés fejlesztéssel foglalkozó független bizottság munkájáról”.

A bizottság tagjai a következők voltak: Prof. Dr. Sukhamey CHAKRAVARTY (India), William M. ELLINGHAUS (Egyesült Államok), Abdul Rahman K. AL-GHUNAIM (Kuwait), Dr. Koji KOBAYASHI (Japán), Dr. Volkmar KOEHLER (NSZK), Ófelsége

Mohand LAENSER (Marokkó), Louis-Joseph LI-BOIS (Franciaország), Ófelsége, John S. MALACELA (Tanzánia), Ófelsége Dr. Manuel PEREZ GUERRERO (Venezuela), Ófelsége Jean PING (Gabon), Ófelsége Alioune SENE (Szenegál), Prof. Dr. Alexandru SPATARU (Románia), Ófelsége Achmad TAHIR (Indonézia), Prof. Dr. Leonid E. VARAKIN (Szovjetunió), Ófelsége Armando VARGAS ARAYA (Costa Rica) és Ófelsége Dr. Faisal ZAIDAN (Szaúd-Arábia).

R. E. Butler úr hangsúlyozta a jelentés fontosságát és azt a tényt, hogy a hírközlés fejlesztéséhez szükséges évi mintegy 12 milliárd USA dollár fedezet és az ezt értelmesen felhasználni képes műszaki tanácsadó gárda létrehozása elsősorban politikai kérdés.

A konzultáción elsősorban a fejlődő országok képviselői fejtették ki véleményüket. A konzultáció jóváhagyólag elfogadásra javasolta a jelentést, amit R. E. Butler úr köszönettel nyugtázott.

A fórum során Horváth Imrének lehetősége nyílt a Világ Hírközlési Fejlesztő Központról beszélgetéseket folytatni R. E. Butler, T. Irmer és J. Ryan urakkal. Egybehangzó véleményük szerint az elképzelt szervezet még nem teljesen kialakult, de számunkra a legkézenfekvőbb részvételnek különböző szakértők delegálása volna. Mindhárman hangsúlyozták, hogy az éles konkurenciaharcban előnyös és csaknem kötelező lesz minden érdekelt számára a szervezet támogatása és a munkában való részvétel.

Horváth Imre.

Könyvismertetés

*Volker Aschoff: Geschichte der Nachrichtentechnik
Springer-Verlag Berlin, 1984*

Külföldi könyveket folyóiratunk ritkán ismertet és csak akkor, ha rendkívüli érdekességük indokolja. Ez a munka ilyen. A híradástechnika történetéről rengeteg könyv jelent és jelenik meg, de ezek mind hasonlítanak egymásra az első fejezetekben. Felvonnak a régi görögök, a fáklyatávíró, a kiáltó őrszemlanc, a homokórával kialakított szinkrontávíró, a Dioniziosz-fül... mindaz, amit egyik szerző a másiktól hűségesen átvesz. Ez a könyv más. Bálványtörő, legendamegsemmisítő.

A szerző nem másolja le a megkövesedett vándorló történeteket, hanem visszafelé nyomoz a sokszor hivatkozott forrásoktól az ősforrásokig. Azokat pedig kritikus vizsgálatnak veti alá. Összehasonlítja őket a földrajzi tényekkel, a légköri viszonyokkal, a technológia akkori általános szintjével és mindenekelőtt a tényleges társadalmi igényekkel.

Az eredmény kijózanító. „Dioniziosz füle” csak összefolyó tompa zajt közvetíthetett a zsarnok szobájába... A nagytávolságú optikai vagy akusztikai jelzóláncok tartós fenntartásához olyan ráfordítás és főleg olyan szervezethez lett volna szükséges, amire az ókor birodalmai aligha voltak képesek. (Egy-egy

hadművelet alkalmával persze tűzjelek is juthattak szerephez!) Egyedül a római birodalom rendelkezett azzal az erővel és szervezethez, amelyet az állandó jelzóláncok fenntartása megkövetelt volna. De éppen ezért ki tudta építeni nagyszerű úthálózatát is. Ezzel együtt viszont olyan futárszolgálatot létesíthetett, amely igényeit teljesen kielégítette.

A további fejezetekben a szerző szellemes, hol reális, hol fantasztikus javaslatok tömegével ismerteti meg az olvasót az ókori irodalomtól a XVIII. század végéig. A reálisak épp úgy nem valósultak meg, mint a fantasztikusak, míg Chappe optikai távírója meg nem született. Ezzel, illetve az elektromos távközlés eszméjének első felbukkanásával végződik a komoly, de élvezetes könyv.

A magyar vonatkozásokról sem feledkezik meg a szerző. Érdekes, hogy Kempelen Farkas beszélőgépét a leírás alapján Charles Wheatstone az 1830-as években rekonstruálta és több alkalommal bemutatta. Látogatói között volt (apjával) a gyermek Graham Bell is, akit jóval később — már Amerikában — ez az emlék bátorított fel arra, hogy az emberi hang analízisével és szintézisével foglalkozva eljusson a távbeszélő megalkotásához!

Valkó



ELEKTRONIKA

ÁTVITELTECHNIKAI SZÖVETKEZET

1072 Budapest, Klauzál utca 30.

ET—110 ÁTVITELTECHNIKAI MÉRŐHELY

(200 Hz—18,6 MHz)

A világ távolsági hírközlőhálózata túlnyomórészt vivőfrekvenciás rendszerekből épül fel még ma is. Ezen rendszerek tervezésénél, üzemeltetésénél és karbantartásánál az átviteltechnikai műszerek fontos szerepet játszanak.

A hírközlő hálózatok átviteli tulajdonságai csak olyan mértékben javíthatók, amennyire a rendelkezésre álló műszerek pontossága ezt megengedi. A mérések közül még ma is a szintmérések a legfontosabbak és a leggyakoribbak. Ezek elvégzésére szolgál

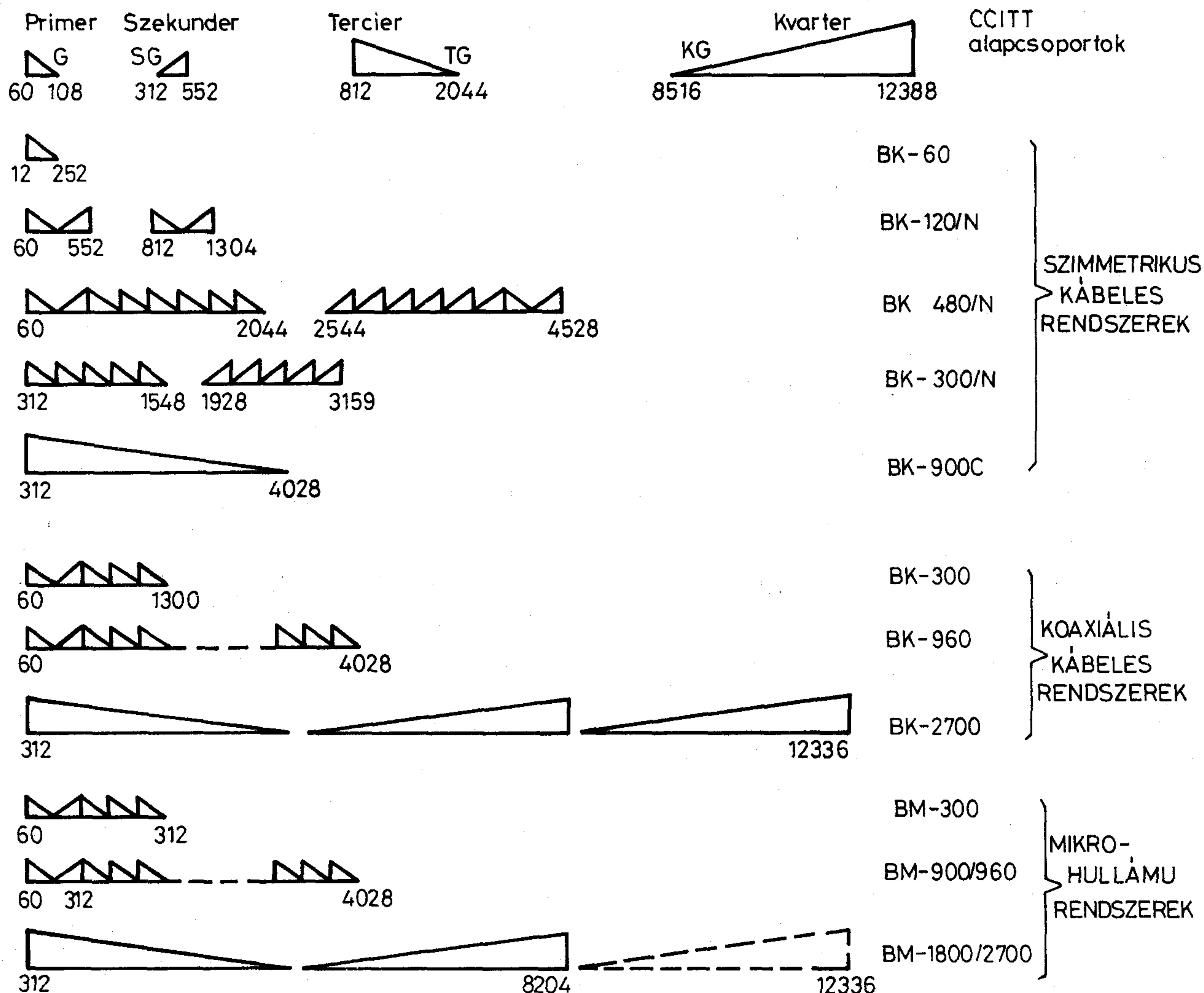
az ET—110 mérőhely. A 2. számú ábrából kitűnik, hogy a mérőhely 200 Hz...18,6 MHz frekvenciatartománya kielégíti valamennyi kis- és nagykapacitású szimmetrikus és koaxiális vivőfrekvenciás rendszer igényeit egészen 3600 csatornáig.

A mérőhely három egységből áll:

- szelektív mérővevőből (ET—110 V),
- mérőadóból (ET—110 A),
- és a mérőfrekvencia beállítására szolgáló frekvenciagenerátorból (ET—110 G).



1. ábra. Az ET-11J típusú mérőhely, mérőadó, mérővevő és frekvencia generátor



2. ábra. A szimmetrikus és koaxiális vevőfrekvenciás hírközlő hálózatok átviteli frekvencia kiosztása

A frekvenciagenerátor állítja elő a mérőadó és mérővevő működéséhez szükséges valamennyi segédjelet. (A modulátorok vivőfrekvenciáit, hitelesítő jelet stb.).

Az ET-110 típusú mérőhellyel végezhető mérések két csoportba sorolhatók:

- A mérések zömét alkotó első csoportba azon mérések sorolhatók, melyeknél az adó és vevő egy helyen van és az adási frekvencia megegyezik a vételi frekvenciával. Ebbe a csoportba tartoznak azok a mérések is, amelyekhez csak az adó vagy csak a vevő szükséges.
- A mérések szerényebb részét képező második csoportba azok a mérések tartoznak, melyeknél az adó és vevő egy helyen van, de az adási és vételi frekvencia különböző.

Az első csoportba sorolt méréseknél a mérőfrekvencia beállításához elegendő egy frekvenciagenerátor-mivel a generátorba épített szinkronizáló áramkör lehetővé teszi az adó és vevő együtthangolását. A második csoportba tartozó méréseknél az adóhoz és a vevőhöz külön-külön frekvenciagenerátor szükséges.

A mérőhellyel végezhető mérések frekvenciatartománya koaxiális csatlakozás esetén 200 Hz—18,6 MHz, szimmetrikus csatlakozás esetén 200 Hz—1,6 MHz. Szimmetrikus méréseknél a pontosság fokozása érdekében két-két szimmetrizáló transzformátort alkalmaztunk mind az adónál mind a vevőnél:

- az egyik hangfrekvenciás mérésekhez használható 200 Hz—20 kHz között,
- a másik a vivőfrekvenciás tartományt fedi le 2—1620 kHz-ig.

A mérővevő a mérési feladattól függően kis torzítású vagy kis zajú üzemmódban használható.

Kétféle mérési sáv szélesség áll rendelkezésre:

- 20 Hz-es sáv szélesség pilot mérésekhez,
- 1,74 kHz-es sáv szélesség zaj méréshez az egyes csatornáknál, vagy a csoportok közötti frekvencia hézagokban.

A vételi érzékenység 1 és 10 dB-es lépésekben változtatható az egész mérési tartományban. A szintleolvasási pontosságot skálanyújtó növeli, ami a műszerskala -1 dB és +1 dB közötti részét kinyújtja a teljes skála terjedeleme.

Kezelését félautomata hitelesítő rendszer, távvezérlési indikátor és szintlogika teszi kényelmessé. A szintlogika kiegyenlíti az üzemmód váltásnál, illetve dB/dBm átkapcsoláskor jelentkező szintkülönbségeket.

A mérőadó kimenőszintje szintén 1 és 10 dB-es lépésekben változtatható. A lépések között a nyújtott skálájú szintmutató műszer alapján, a folyamatos szintszabályozóval interpolálhatunk.

A mérőjel „lágý” kikapcsolását teszi lehetővé a szintletiltó áramkör. Ez szakaszméréseknél igen hasznos, mert a mérőfrekvencia változásának idejére a mérőjel kikapcsolható a rendszer zavarása nélkül. A mérővevő és a mérőadó legfontosabb funkciói távvezérléssel is beállíthatók, így ezen műszerek felhasználhatók egy fejlett automata mérőrendszer felépítéséhez is.

A mérővevővel végzett mérések mérési eredményeinek további feldolgozására két kimenet szolgál:

- egyenáramú kimenet (0–100 μ A),
- váltóáramú kimenet (100 kHz).

A mérőkészlet nagy impedanciájú mérőfejjel és reflexiómérő adapterrel is kiegészíthető.

A MÉRŐHELY RÉSZLETES LEÍRÁSA

ET—110/V mérővevő

Heterodin rendszerű, a szükséges szelektivitást háromszoros frekvencia-áttevessel éri el. Ezt kétszeresen kiegyenlített gyűrűs modulátorok végzik, melyek vivőfrekvenciáit az ET—110/G frekvencia generátor állítja elő (Sy1, Sy2, Sy3).

A mérővevő pontos hangolását az AFC áramkör biztosítja. A szelektivitást sávszűrők határozzák meg. Az 1,74 kHz zajsáv szélességű elektromechanikus sávszűrő a sávközéptől ± 2 kHz-re ~ 80 dB csillapítást biztosít.

A 20 Hz sáv szélességű kvarc szűrő ± 4 Hz-es átteresztő sávban 0,5 dB csillapítású, diszkrét frekvenciák mérésére alkalmas.

A műszer szintlogikája PROM memóriából épül fel, a különböző kezelőszervek ezeknek címvezetéseit vezérlik. A memóriák kimeneteihez jelfogók és analóg kapcsoló áramkörök kapcsolódnak, amelyek 1 és 10 dB-es lépésekben változtatják a vételi érzékenységet. Távvezérlés esetén a memóriák címzése (a vevő kezelőszerveinek lekapcsolása után) kívülről történik. A hitelesítés szintén kezdeményezhető távvezérléssel.

ET—110/A mérőadó

Heterodin rendszerű, a kimeneti mérőjelet két jel különbségéből állítja elő.

$$f_m = f_{sy1} - f_{sy2}$$

A különbségképzést modulátor végzi, melynek vivőfrekvenciája Sy1 csatlakozón, jelfrekvenciája az Sy2 csatlakozón érkezik. A szinkronjeleket az ET—110/G szolgáltatja.

A kimeneti jel szintje három kezelőszerv segítségével állítható be: $u \times 10$ dB-es, $u \times 1$ dB-es osztóval, és a folyamatos szintszabályozóval.

A mérőadó kimeneti szintjét AGC áramkör tartja állandó értéken.

Az $n \times 10$ dB-es lépéseket egy ellenállásokból felépített osztólánc, az $n \times 1$ dB-es lépéseket az AGC áramkör valósítja meg.

A folyamatos szintszabályozás szintén az AGC áramkör vezérlésével történik.

ET—110/G frekvencia generátor

Az ET—110/G frekvencia generátor tervezésénél figyelembe vettük, hogy a szokásos vivőfrekvenciás rendszerekben a virtuális vivőfrekvenciák 4 kHz-es lépésekben követik egymást, valamint, hogy a csatornák kétféle fekvésűek lehetnek.

A frekvencia generátoron a mérőfrekvencia két frekvencia összegként állítható be ($f_m = f_1 + f_2$). A frekvencia kijelzése is két digitális kijelzővel történik.

- f_1 beállítószerveivel áthangolható a mérőhely teljes frekvencia tartománya 200 Hz...18,6 MHz-ig folyamatosan, vagy $n \times 4$ kHz-es kvarcpontosságú lépésekben. Ezek egybeesnek a virtuális vivőfrekvenciákkal.

Az f_1 értéke a baloldali kijelzőről olvasható le.

- A főhangolón beállított frekvencia ± 4 kHz-es tartományon belül módosítható az f_2 finomhangoló segítségével. Ha a mért csatorna egyenesfekvésű, akkor a csatornafrekvenciák a vivőfrekvencia fölött helyezkednek el, ha fordított fekvésű, akkor a vivőfrekvencia alatt. Az f_2 -höz tartozó jobboldali kijelzőről közvetlenül leolvasható a csatornafrekvencia, előjelhelyesen.

A frekvencia generátor előállítja a mérőadó és a mérővevő modulátorainak működéséhez szükséges vivőfrekvenciákat, valamint a mérővevő hitelesítéséhez szükséges 2,5 MHz-es hitelesítő jelet, illetve fogadja a mérővevőből érkező hitelesítő parancsot és AFC információt.

A következő ábrán látható egyszerűsített modulációs séma a három műszer szinkron kapcsolatát szemlélteti. A könnyebb áttekinthetőség érdekében az ábrán vázlatosan feltüntettük a digitális frekvencia kijelzőt is.

A kijelzőkről leolvasható frekvencia értékeket f_1 -gyel, illetve f_2 -vel jelöltük.

A mérőfrekvencia értéke $f_m = f_1 + f_2$.

$f_1 = 0...18,6$ (20) MHz,

$f_2 = -4$ kHz...+4 kHz.

A modulációs sémából kitűnik, hogy a kalibrálásnál a vevő M1 első modulátora 22,5 kHz — f_1 frekvenciájú vivőfrekvenciát kap a második modulátorhoz hasonlóan a Sy2 szinkron csatlakozóról.

Ezalatt a felszabaduló Sy1 vezeték a hitelesítéshez szükséges 2,5 MHz-es jelet továbbítja.

Ábrázoltuk azt is, hogy az AFC áramkör érzékelő része a vevőben, a hibajel képző és beavatkozó része a frekvencia generátorban van.

A 100 kHz-es AFC jel váltó szűrőkön és a Sy3 szinkron vezetéken keresztül jut a vevőből a frekvencia generátor AFC egységébe.

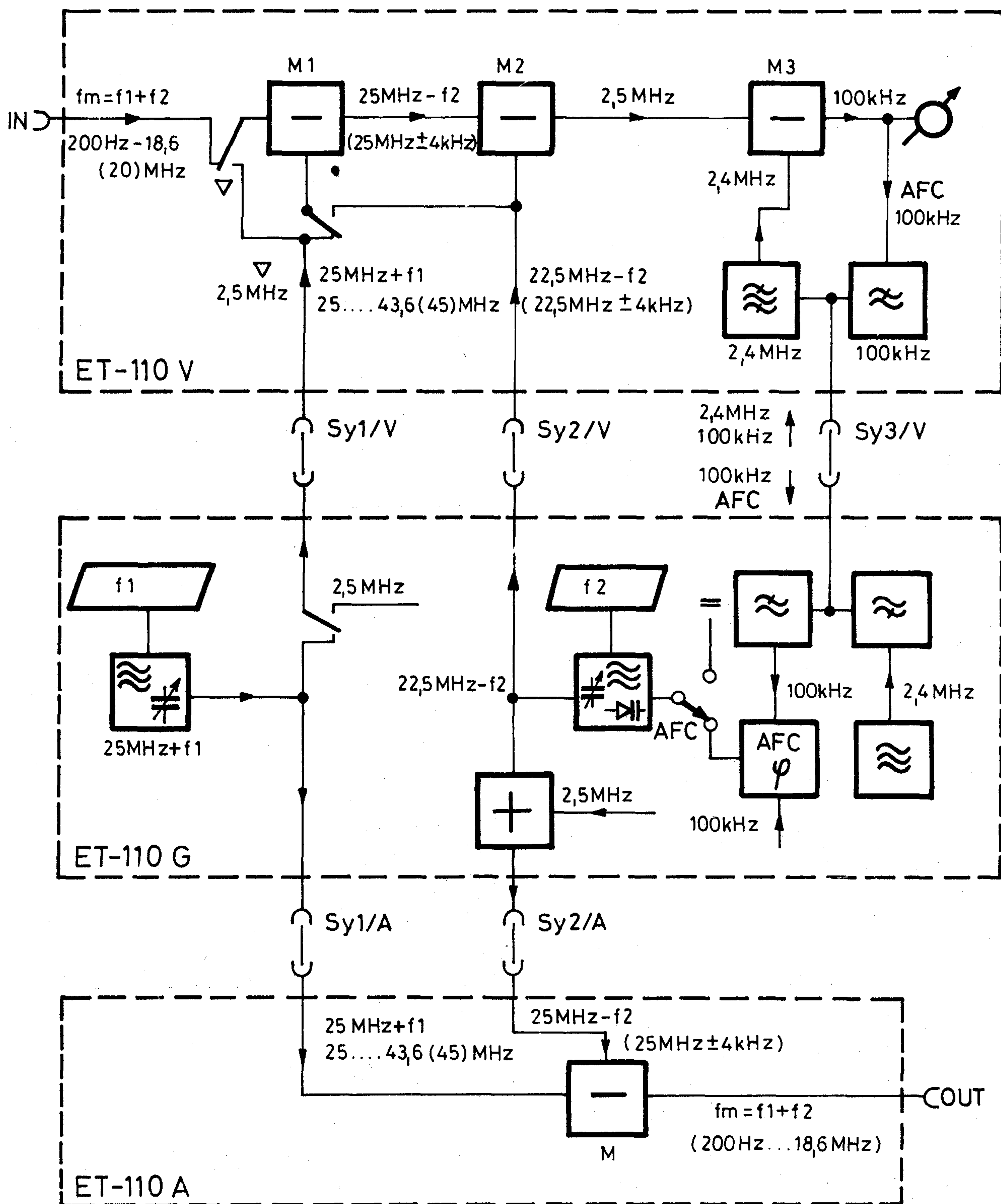
Az AFC egységben levő fázisdetektor a finomhangoló oszcillátor kapacitás diódáját vezérelve fejti ki hatását.

A frekvencia generátor működése a következő tömbvázlat alapján (4. ábra) könnyen követhető.

A tömbvázlatból kitűnik, hogy a frekvencia generátor négy egymástól csaknem független rendszerből áll:

- Az f_1 főhangoló rendszerből, amelynek beállító szerveivel áthangolható a mérőhely teljes frekvenciatartománya $-0...18,6$ (20) MHz-ig. Eza rendszer táplálja az Sy1/V és Sy1/A kimenetet.

- Az Sy2/V és Sy2/A kimenetet tápláló f_2 finomhangoló rendszerből, amelynek segítségével ± 4 kHz-es tartományon belül módosítható az f_1 főhangolóval beállított mérőfrekvencia ($f_2 = -4 \text{ kHz}...+4 \text{ kHz}$).
- Az Sy3/V kimenetet tápláló 2,4 MHz-et előállító frekvencia kivonó áramkörből.
- A frekvencia-kijelző egységből.



3. ábra. Modulációs séma

Az f1 főhangoló rendszer

A főhangoló rendszer az Sy1 hüvelyeken megjelenő szinkron jelet két hangolható oszcillátor jeléből hozza létre frekvencia összegző, kivonó, szorzó és osztó áramkörök segítségével.

A rendszer három részre bontható.

- Az első rész az f1 COARSE durva hangoló oszcillátor a hozzá kapcsolódó 400 kHz-es frekvencia rasztolóval és a frekvencia felezővel.
- Az oszcillátor 8,8 MHz és 16,4 MHz között hangolható folyamatosan, vagy 400 kHz-es kvarcpontosságú lépésekben. (A 400 kHz-es lépések a rendszer kimenetén 1 MHz-es frekvencia lépéseket eredményeznek.)
- A második részt az f1 FINE finomhangoló oszcillátor a hozzá kapcsolódó 4 kHz-es frekvencia rasztolóval, az f/5 frekvenciaosztó és az ezután következő frekvencia összeadó áramkör alkotja. Az f1 FINE oszcillátor 3 és 4 MHz között hangolható folyamatosan, vagy 4 kHz-es kvarcpontosságú lépésekben.

Az f2 finomhangoló rendszer

A rendszer frekvencia beállító eleme a 960 kHz és 1040 kHz között ($1 \text{ MHz} \pm 10 \text{ f2}$) folyamatosan hangolható f2 jelű oszcillátor. Ennek kimenő jelét dolgozza fel a hozzá kapcsolódó 1/10 frekvencia osztóból és frekvencia összeadó áramkörből felépített lánc.

Ha az f2=0 Hz nyomógombot benyomjuk, akkor a hangolható oszcillátor helyett fix frekvencia kapcsolódik a rendszer bemenetére.

Az AFC nyomógombot benyomva f2 oszcillátor kapacitás diódája rákapcsolódik az AFC áramkör fázisdetektorának kimenetére és ezzel az AFC rendszer beavatkozó elemévé válik.

Az Sy3/V csatlakozás

Ezen a csatlakozón keresztül kétirányú a jeláramlás. A 2,4 MHz-es szinkronjel szempontjából kimenet, a 100 kHz-es AFC jel szempontjából bemenet.

A 2,4 MHz-es szinkronjelet egy frekvencia-kivonó áramkör állítja elő 2,5 MHz és 100 kHz kivonásával. Az itt előállított 2,4 MHz-es jelet az f2 finomhangoló rendszer is felhasználja.

A frekvencia-kijelző egység

A frekvencia kijelzése kétféle módon történhet:

- f1 és f2 kijelzése két külön kijelzőn, vagy
- $f_m = f_1 + f_2$ kijelzése egy kijelzőn.

A két kijelzési mód között nyomógomb segítségével választhatunk. Egykijelzős beállítás esetén a jobb oldali kijelző ki is alszik.

Az 5. számú ábrán a kijelző egyszerűsített tömbvázlatát láthatjuk, amelynek alapján nagy vonalakban áttekinthetjük működését.

A baloldali nagy kijelző működése

A baloldali kijelző működését 4 egymás után következő ciklusra bonthatjuk:

1. Az I. számláncot induló helyzetbe hozza egy 1 ms-os beíróimpulzus.
2. Az I. számlánc 200 ms ideig előre számolva megszámlálja az f1 főhangoló rendszerből jövő impulzusokat.
3. Az I. számláncot 20 ms ideig hátrafelé léptetik az f2 finomhangolóból érkező impulzusok. (Kétkijelzős üzemmód esetén 1 MHz-es vezérlőjel helyettesíti az f2-ből érkező impulzusokat.)
4. A számlánc tartalmát egy 2 ms-os kiíróimpulzus hatására bevételezik a latch-ek és megjelenik a kijelzőn.

A jobboldali kis kijelző működése

A jobboldali kijelző működését 3 egymásután következő ciklusra bonthatjuk:

1. A II. számláncot induló helyzetbe hozza egy 1 ms-os beíróimpulzus.
2. A II. számlánc 200 ms ideig váltakozó számlálási iránnyal fel-le számlálja az f2 finomhangolóból jövő impulzusokat.
A számlálás irányát egy figyelő áramkör megfordítja, valahányszor a számlánc előre számlálva eléri a telítést vagy hátra számlálva eléri a 0 állapotot.
3. A 200 ms letelte után egy 2 ms-os kiíró impulzus hatására a számlánc tartalmát bevételezik a latch-ek és az megjelenik a kijelzőn.

A kijelzők működéséhez szükséges kapuzó és időzítő impulzusokat az alábbi áramkör állítja elő 4 kHz-ből.

Az időzítő rendszernek egy bemenete és öt kimenete van.

A bemenetet egy 4 kHz-es kvarc jel vezérli, amelynek frekvenciáját az IC29 osztó rögtön leosztja 1 kHz-re. Ez az 1 kHz-es órajel lépteti az IC30, IC31 számláncot, amelynek kimenetei az IC32 PROM-ot címzik. Minden egyes órajel ütemhez külön-külön cím tartozik.

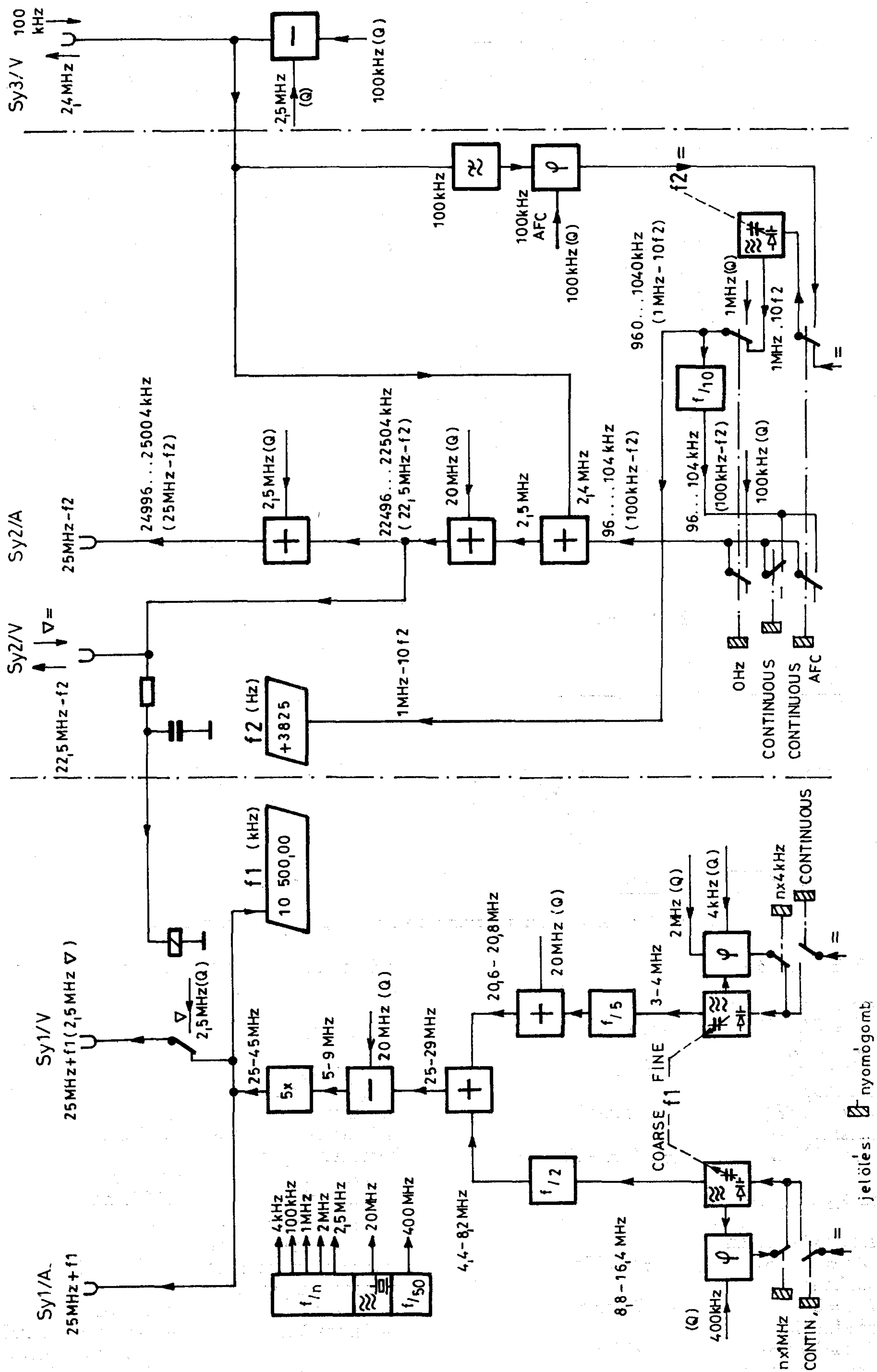
Az egyes címeken tárolt információkból a memória kimenetein kialakulnak a szükséges vezérlő jelek. Ezek azonban nem használhatók fel közvetlenül, mert a címváltozások pillanataiban keletkező rövid tranziensek zavarnák a rendszert. A tranziensek eltávolítására szolgálnak az IC33-ban levő latch-ek, amelyek egyúttal a vezérlőjelek negáltjait is előállítják.

A következő ütemdiagram (7. ábra) a vezérlőjelek időzítését szemléltetik (1 ütem = 1 ms).

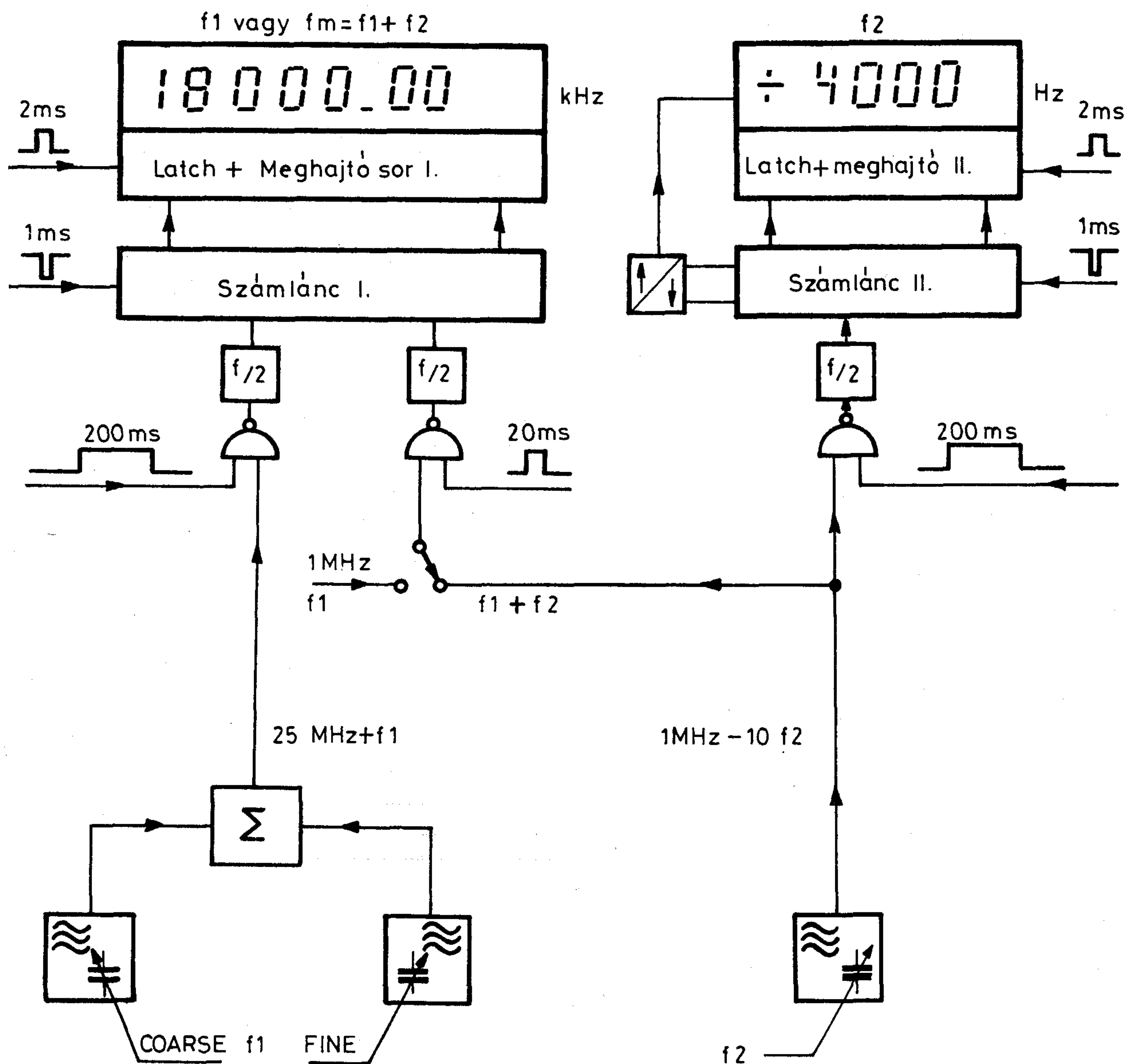
FŐBB MŰSZAKI ADATOK

ET—110/V mérővevő

- frekvencia tartomány 200 Hz...18,6 MHz
- frekvencia beállítás ET—110/G-vel
- sáv szélesség 20 Hz vagy 1,74 kHz
- szelektivitás



4. ábra. Frekvencia generátor (ET-110 G) tömbvázlata



5. ábra. Frekvencia generátor frekvencia-kijelző egységének tömbvázlata

20 kHz-es szűrővel

áteresztő tartomány

($\Delta a \leq 0,5$ dB)

$\approx \pm 4$ Hz

sávszélesség

($\Delta a = 3$ dB)

≈ 20 Hz

zárócsillapítás

($\Delta a = 30$ dB)

± 80 Hz-nél

zárócsillapítás

($\Delta a = 60$ dB)

± 500 Hz-nél

1,74 kHz-es szűrővel

áteresztő tartomány

($\Delta a \leq 0,5$ dB)

$\approx \pm 500$ Hz

sávszélesség

($\Delta a = 3$ dB)

$\approx 1,74$ kHz

zárócsillapítás

($\Delta a \geq 70$ dB)

± 2 kHz

— Koaxiális bemenet

frekvenciatartomány

200 Hz...18,6 MHz

bemeneti impedancia

— lezárva

75 ohm ($a_r \geq 34$ dB)

— lezáratlanul

10 kohm / ~ 70 pF

— szimmetrikus
hangfrekvenciás
bemenet

frekvencia tartomány

200 Hz...20 kHz

bemeneti impedancia

— lezárva

600 ohm

— lezáratlanul

≥ 20 kohm

— szimmetrikus széles-
sávú bemenet

frekvencia tartomány

2...1620 kHz

bemeneti impedancia

— lezárva

75, 150 ohm

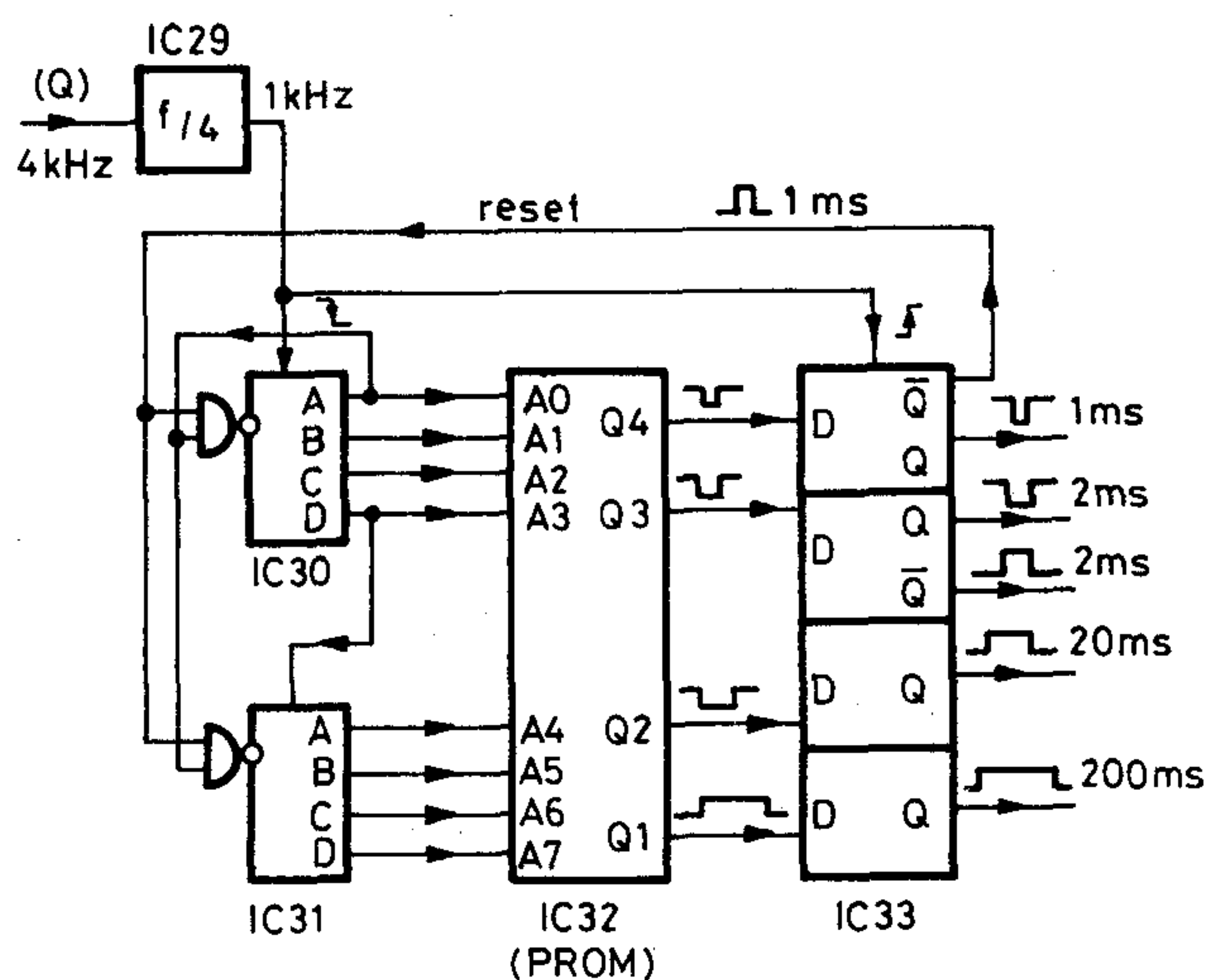
— lezáratlanul

≥ 5 kohm 2...20 kHz

≥ 8 kohm 20...400 kHz

— méréshatárok

—109 dB (—99 dBm)...



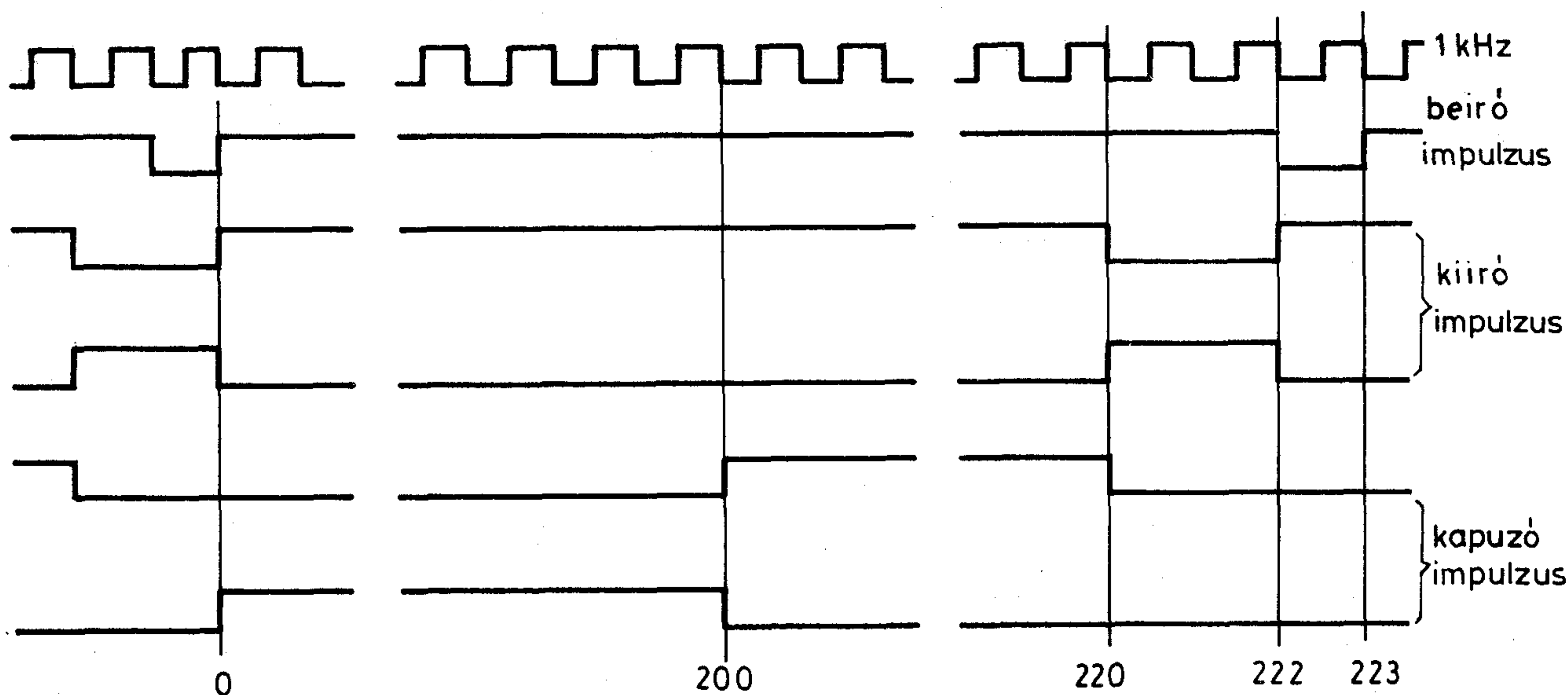
6. ábra. ET-110 G frekvencia-kijelző egységének kapuzó és időzítő áramköre

- legkisebb leolvasható szint $+20 \text{ dB/dBm}$
 $1 \text{ dB-es lépésekben}$
- a szintmérés alap-
hibája 100 kHz-en,
 0 dB szintnél
hitelesítés után $\pm 0,1 \text{ dB}$
- szintosztók hibája
 $0 \text{ dB-re vonatkoztatva}$
az egész vételi
frekvencia-
tartományban $\pm 0,1 \text{ dB}$
- frekvencia menet
 $4 \text{ kHz} \dots 10 \text{ MHz}$ $\pm 0,1 \text{ dB}$
 $200 \text{ Hz} \dots 18,6 \text{ MHz}$ $\pm 0,15 \text{ dB}$
- harmonikus torzítás
(a_{k2}, a_{k3})
 $55 \text{ dB túlvezérlés esetén}$ $\geq 75 \text{ dB}$
- tükör csillapítás
 $f_m + 50 \text{ MHz}$ $\geq 60 \text{ dB}$

- $f_m + 5 \text{ MHz}$ $\geq 80 \text{ dB}$
 $f_m + 200 \text{ kHz}$ $\geq 80 \text{ dB}$
- távvezérléssel
működtethető: $n \times 10 \text{ dB osztó}$
 $n \times 1 \text{ dB osztó}$
 dB/dBm váltás
 $\text{Kis zaj/kis torzítás}$
 váltás
 $\text{Hitelesítés indítása}$
- Kívülről indikálható: $n \times 10 \text{ dB osztó állása}$
 $n \times 1 \text{ dB osztó állása}$
 dB/dBm beállítás
 $\text{Kis zaj/kis torzítás}$
 beállítás
 Hitelesítés
 Skálanyújtó
 bekapcsolása
- Kimenetek
Váltóáramú kimenet
— frekvencia 100 kHz
— szint -20 dB
— impedancia 600 ohm
szintíró kimenet $0 \dots 250 \text{ mV}$
 $2,5 \text{ kohm terhelés}$
esetén
- Táplálás $220 \text{ V} + 10 \dots -15 \%$
 $50 \dots 60 \text{ Hz}$
 $\text{kb. } 22 \text{ VA}$

ET-110/A mérőadó

- frekvencia tartomány $200 \text{ Hz} \dots 18,6 \text{ MHz}$
- frekvencia beállítás ET-110/G-vel
- koaxiális kimenet
frekvencia tartomány $200 \text{ Hz} \dots 18,6 \text{ MHz}$
kimeneti impedancia 75 ohm
reflexiós csillapítás
— $0 \text{ dB osztóállásban}$ $\geq 26 \text{ dB}$
— a többi
osztóállásban $\geq 34 \text{ dB}$



7. ábra. Ütemdiagram

— szimmetrikus hang- frekvenciás kimenet frekvencia tartomány	200 Hz...20 kHz	f2 frekvencia beállítása	4 kHz-es kvarepon- tosságú rasztlépések- ben
— szimmetrikus széles- sávú kimenet frekvencia tartomány	2...1620 kHz	— frekvencia kijelzés	a) +4 kHz tartomány- ban, folyamatosan b) kvarepontosságú 0 Hz-re rasztolva
— kimeneti impedancia	~0 ohm, 600 hm	— a kijelzés módja	digitális 7 szegmenses, folyékonykristályos kijelzővel
— kimeneti szint- tartomány	-71 dB(dBm)... +1 dB(dBm)	— frekvencia felbontás	a) f1 és f2 megjelenítése két független kijelzőn (7+4 digit)
— szintpontosság 100 kHz-en 0 dB(dBm)	±0,1 dB	a 4 digit-es kijelzőnél	b) fm=f1+f2 kijelzése közös kijelzőn (7 digit)
— a szintosztók hibája	±0,1 dB	a 7 digit-es kijelzőnél	
— az egész frekvencia tartományban	±0,1 dB	— Frekvencia pontosság	
— frekvencia menet	±0,1 dB	— 4 kHz egész számú többszöröseinél raszolt	
— harmonikus torzítás (a_{k2} , a_{k3})	>50 dB	állapotban 23 +5 °C	
50 kHz...10 MHz	>46 dB	hőmérsékletnél	±5·10 ⁻⁶
200 Hz...18,6 MHz		+5...+40 °C között	±1·10 ⁻⁷
— zajszint	hálózati zajok, vivő- szivárgás és egyéb nem harmonikus zajok szintje 60 dB-lel a hasznos zaj- szint alatt	— f1, illetve f2 külön kijelzésnél (f1 rasztolva)	
— távvezérléssel működtethető:	— az nX10 dB osztó- kapcsoló	23±5 °C hő- mérsékletnél	±(5·10 ⁻⁶ +1 Hz)
— táplálás	— a szintletiltás 220 V, +10...-15% 50...60 Hz kb. 20 VA	+5...+40 °C között	±(1·10 ⁻⁷ +1 Hz)

ET—110/G frekvencia generátor

— frekvencia tartomány	200 Hz...18,6 MHz	ET—110 A mérőadó részére	Sy1=25...43,6 MHz Sy2=25 MHz±4 kHz
— frekvencia beállítás	manuálisan két frekvencia összegként (fm=f1+f2)	ET—110 V mérővevő részére	Sy1=25...43,6 MHz Sy2=22,5 MHz±4 kHz Sy3=2,4 MHz
f1 frekvencia beállítása	a) 0...18,6 MHz, folyamatosan b) 0...18,6 MHz, 1 MHz-es vagy	— Táplálás	220 V, +10...-15% 50...60 Hz kb. 40 VA

Hajagos Sándor

Az ismertetett berendezést szövetkezetünk gyártja és forgalmazza. Műszaki és kereskedelmi ügyekben kereskedelmi osztályunk ad felvilágosítást (telefon: 427-190)

ELEKTRONIKA Átviteltechnikai Szövetkezet 1072 Bp., Klauzál u. 30.

Д-р Валко, И. П.:

Новые транзисторы

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 9.

Скорость действия транзисторов сильно зависит от скорости носителей заряда. С этой точки зрения галлиумарсенид является более предпочтительным, чем кремний. Это свойство используется техникой в микроволновых МЕСФЕТ транзисторах. С уменьшением числа добавочных ионов повышается скорость электронов, но в материале без добавки количества свободных электронов мало. При подходящих условиях переход гетерода осуществляемый тонкими слоями на поверхности галлиумарсенида создает полосы, обогащенные электронами. Электроны движутся в потенциальном поле, их движение свободное только параллельно плоскости перехода. На основе такого принципа разработаны галлиумарсенидные транзисторы аналогичной структуры, также интегральные схемы, скорость действия которых очень высокая особенно при их охлаждении на 77 К. Гетеро переход играет роль и в других новых видах транзисторов.

Д-р Коци, Т. Л.:

Система операций АТС с записанным программным управлением

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 9.

Доклад дает обзор об операционных системах АТС с записанным программным управлением имеющих 20-ти летнее прошлое, внутри этого в первую очередь о решениях тактирования. Наравне с историей развития в первую очередь статья знакомит с сортами и более сложным решением временного деления, далее знакомит с более современными решениями функционального деления, которые обобщив можно назвать функционально ориентированным тактированием. Вторая часть статьи приводит примеры алгоритма тактирования деления вызовов и виртуального процессорного тактирования — последние являются процессо-ориентированными методами. В заключении показывает расположение системы тактирования в современных универсальных конкурентных операционных системах.

Д-р Бартолитч, И.:

Система типа 5ESS-PRX

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 9.

Статья знакомит с построением цифровой АТС типа 5ESS-PRX АТС может выполнять функции местной АТС, АТС с последовательным действием и транзитной АТС, или их комбинацию в более широком диапазоне емкости. Система может быть расширена от 100 до 350 тыс. номеров или при транзитной АТС до 90 тыс. СЛ. При проектировании были учтены предполагаемые особенности перспективной цифровой сети, а также канцелии. В статье, кроме модулей софтвера и хардвера станции коротко знакомит и с системой разработки софтвера.

Кендрович, А.—д-р Коватш, Я.—д-р Сабо, З.:

Некоторые вопросы проектирования модулятора и демодулятора 16—QAM

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 9.

При передаче цифровых сигналов высокой скоростью чаще всего используется метод модуляции 16—QAM. Статья описывает некоторые важные особенности 16—QAM, рассматривает возможное построение схемы модулятора и демодулятора. В заключении излагает характеристику построенного модулятора и демодулятора.

Dr. Valkó, I. P.:

Neue Transistoren

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 9.

Die schnelle Operation von Transistoren hängt bedeutend von der Geschwindigkeit der Ladungsträger ab. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet ist Galliumarsenid vorteilhafter als Silizium, was in den Mikrowellen — MESFET — Transistoren auch ausgenutzt wird. Die Geschwindigkeit der Elektronen könnte durch Verminderung der Störatomendichte noch weiter erhöht werden, jedoch ist die Anzahl der freien Elektronen im reinen Material gering. Ein, zwischen dünnen Schichten, unter entsprechenden Bedingungen ausgeführter Heteroübergang ruft auf der Oberfläche des nicht dotierten Galliumarsenid einen elektronenreichen Kanal hervor. Die Elektronen befinden sich in einem Potentialtal, können sich aber parallel zur Übergangs-Ebene frei bewegen. Auf diesem Prinzip wurden MOS-ähnliche Galliumarsenid-Transistoren und integrierte Stromkreise mit extrem hoher Geschwindigkeit entwickelt. Besonders schnell arbeiten sie auf 77 K abgekühlt. Heteroübergänge werden auch in anderen neuen Transistorarten versuchsweise verwendet.

Dr. Kóczy, L. T.:

Das Betriebssystem von rechnergesteuerten Vermittlungszentralen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 9.

Der Aufsatz gibt einen Überblick über die Betriebssysteme, insbesondere über die verschiedenen Lösungen der Scheduling-algorithmen der rechnergesteuerten Fernsprechzentralen. Im Einklang mit der geschichtlichen Entwicklung werden zuerst die einfache und komplexere Zeiteilungs-, dann die höherentwickelte Funktionsteilungsmethode vorgetragen, die zusammengefasst funktionsorientierte Scheduling-methoden genannt werden können. Der zweite Teil zeigt Beispiele für die verschiedenen Verbindungsteilungen, später für die mit virtuellen Prozessoren verwirklichten Algorithmen — diese werden prozessorientierte Lösungen genannt. Im Schluss wird es auf die Eingliederung der Scheduling-systeme in die konkurrenten Universalzweckbetriebssysteme hingewiesen.

Dr. Bartolits, I.:

Das 5ESS-PRX System

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 9.

Dier Artikel erörtert den Aufbau der digitalen 5ESS-PRX Telefonzentrale. Diese Anlage kann die örtlichen, die Tandem- und Transitfunktionen oder deren Kombinationen verwicklichen, und zwar in unem sehr breiten Kapazitätbereich. Das System kann von einigen hundert bis 350 tausend Teilnehmer, oder in Transifunktion bis 90 tausend Fernleitungen erweitert werden. Bei der Planung hat man die zu erwartenden Sonderlichkeiten des zukünftigen Digitalnetzes und auch die ISDN-Konzeption in Betracht genommen. Ausser den Hardware- und Software-Modulen der Telefonzentrale wird im Artikel das Entwicklungssystem des Software kurz beschrieben.

Kendrovics, Á.—Dr. Kováts, J.—Dr. Szabó, Z.:

Einige Planungsfragen des Modulators 16 QAM und Demodulators

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 9.

Bei Übertragung der digitalen Zeichen mit Grossgeschwindigkeit ist die Modulationsart 16 QAM am öftens verwendet. Der Artikel führt einige wichtigen Eigenschaften des 16 QAM-s vor, erklärt den möglichen Aufbau der Stromkreise von Modulator und Demodulator. Endlich macht die Kennwerte des realisierten Modulators und Demodulators bekannt.

Dr. Valkó, I. P.:

New transistors

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 9.

Operational speed of transistors depends to a great extent on carrier velocity. From this point of view galliumarsenide has an advantage over silicon and this is exploited in microwave MESFET's. Electron velocity would be even higher if doping ions were absent, however free electrons are few in number in undoped material. A properly implemented heterojunction between thin layers produces an electron-rich channel upon an undoped galliumarsenide surface. Channel electrons are in a potential well, their movement is however free in the plane parallel to the junction. Galliumarsenide transistors of a MOS-like structure and also I.C.'s have been developed on this principle, showing a very high operational speed, specially if they are cooled to a temperature of 77 K. The heterojunction is also applied in some other experimental transistor structures.

Dr. Kóczy, L. T.:

The operating system of stored program controlled telephone exchanges

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 9.

The paper gives an overview of the operating systems, especially of the ways for scheduling in the stored program controlled telephone exchanges, now with a past of about 20 years behind them. In accordance with the history of development first the simple and complex time division, then the more advanced function division methods are dealt with, which can be named together the function oriented approach. The second part shows a few examples for different call division, further on for virtual processor algorithms — these forming the process oriented approach. In the final part the paper points to the place of the scheduling systems in up to date universal purpose concurrent operating systems.

Dr. Bartolits, I.:

System 5ESS-PRX

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 9.

The article introduces the structure of the digital exchange of type 5ESS-PRX. The exchange is able to realize local-, tandem- and transit functions or the combination of these in very wide capacity range. The system can be extended from several hundreds up to 350 thousand subscribers or up to 90 thousand trunks in transit case. The expectable features of the future digital network and the ISDN conceptions were taken into consideration in the course of planning. Besides the hardware and software moduls of the exchange the software developing system is introduced shortly.

Kendrovics, Á.—dr. Kováts, J.—dr. Szabó, Z.:

Some Planning Questions of Modulator and Demodulator 16-QAM

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 9.

The most frequently modulating method used for the high-speed transmission of digital signals is 16-QAM. In this paper some important characteristics of 16-QAM and the possible realizations of the modulator and demodulator circuits are discussed. Finally, the experimental results of the realized modulator and demodulator are introduced.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Tófalvi Gyula. Szerkesztőség címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 531-027. Kiadja: a Delta Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat, 1442 Budapest VII., Garay u. 5. Telefon: 415-583, 215-440. Felelős kiadó: Faklen Pál igazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Posta Központi Hírlapirodánál (KHI, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautlványon, valamint átutalással a KHI 215—296 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 180,— Ft, egész évre 360,— Ft. Egyes szám ára 30,— Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H—1839 Budapest, Postafiók 149.



Egyetemi Nyomda — 85.3938 Budapest, 1985. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

HU ISSN 0018—2028

Index: 25 375