

HÍRADÁS- TECHNIKA

A HÍRADÁS-
TECHNIKAI
TUDOMÁNYOK
EGYESÜLET
LAPJA

7

XXIX. ÉVFOLYAM. 7. SZÁM, 193-234 OLDAL. BUDAPEST, 1978. JÚLIUS

HÍRADÁS- TECHNIKA

1978. július, XXIX. évfolyam, 7. szám

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

TARTALOM

SOLYMÁR LÁSZLÓ: Vastag hologramok elmélete és alkalmazásai	193
DUTKA TIBOR—DR. SZABÓ LÁSZLÓ—WOLLITZER GYÖRGY: Eredmények és feladatok a hibrid vastagréteg technikában	205
DR. SZABÓ CSABA: Véletlen hozzáférésű rádiócsatornák alkalmazása számítástechnikai hálózatokban ..	214
Egyesületi hír	204
Pályázati felhívás	204
Kitüntetések	204
Szemle	213, 222
Tartalmi összefoglalások	224
Обобщения	224
Zusammenfassungen	224
Summaries	B/3
Résumés	B/3

Operatív szerkesztő bizottság: BOGLÁR GYULA szerkesztő, BALOGH PÁL,
DR. FLESCHE ISTVÁN, MAY PÉTER, MÉREY IMRÉNÉ. — Szerkesztőségi
és kéziratokkal kapcsolatos ügyekben felvilágosítást ad: SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ.
Telefon: 495-098

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Boglár Gyula. Szerkesztőség címe: 1055 Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. Telefon: 113-027. Kiadja: a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin krt. 9—11., telefon: 221-285. Levélcím: 1900 Budapest, Pf. 223. Felelős kiadó: Siklósi Norbert. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Posta Központi Hírlapirodánál (KHI, 1900 Budapest, József nádor tér 1.) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a KHI 215—96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 36 Ft, egész évre 72 Ft. Egyes szám ára: 6 Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H—1389 Budapest, Postafiók 149



78.2865 Egyetemi Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

HU ISSN 0018—2028

Index: 25 375

Dept. of Engineering Science, Oxford University, England
L. SOLYMÁR

Vastag hologramok elmélete és alkalmazásai

ETO 778.38:535.41

1. Alapvető tulajdonságok

Holográfiáról mindenki hallott. Egyike azon szavaknak, amelyek a lézer feltalálása után gyorsan bejárták a világot. A hologramoknak két főbb válfajuk van: a vékony és a vastag hologramok. A vékony hologramokról több ezer cikk jelent meg. Majdnem mindent tudunk róluk, amit tudni lehet. A vastag hologramok viszont meglehetősen újak, főleg azért, mert a regisztráló anyagok minősége még nem érte el azt a fokot, amely egyetemleges használatukat biztosíthatná. A pénz szaga még nem érte el a nagyvállalatok vezetőinek orrát. Ez a legalkalmasabb időszak arra, hogy az egyetemek foglalkozzanak a témával. Jelen előadás célja a vastag hologramok elveinek ismertetése és az eddigi munkák főbb vonásainak összefoglalása. Ezen belül egy kicsit részletesebben fogok foglalkozni oxfordi csoportunknak az utóbbi két évben végzett elméleti munkájával.

A vastag hologramok alapelvét az 1. ábra mutatja. A legegyszerűbb eset az 1. ábrán látható merőlegesen beeső síkhullám. Ha a hologram felvételére alkalmas fényérzékeny anyag ellenkező oldalára egy tökéletes reflektort helyezünk, akkor a hullámterjedés szabályai szerint, állóhullámot kapunk. Az anyag olyan tulajdonságú, hogy permittivitása benne fellépő elektromos térerősség négyzetével változik. A jelen esetben a beeső térerősség:

$$E_0 = E_0 e^{-j\beta x}, \quad (1)$$

ami az

$$E = E_0 \cos[\beta(x-L)] \quad (2)$$

állóhullám-elosztáshoz, továbbá a permittivitás

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 \cos 2\beta x \quad (3)$$

alakú hely szerinti függéshez vezet. A fenti egyenletekben E_0 a beeső hullám amplitúdója, β a közegben

haladó síkhullám terjedési tényezője, ε_0 az anyag eredeti (felvétel előtti) permittivitása és ε_1 a moduláció amplitúdója. Az eddig használt anyagokra $\varepsilon_1 \ll \varepsilon_0$ és

$$\varepsilon_1 = K|E|^2, \quad (4)$$

ahol K az anyag tulajdonságaitól és az expozíció időtartamától függő állandó.

Mi történik, ha a reflektort eltávolítjuk és az előhívott hologramot az eredeti hullámmal megvilágítjuk? A hullám visszaverődik. Miért? A legegyszerűbb magyarázat az, hogy az egymást követő rétegek (amint az 1b ábrán a folytonos vonalakról visszafelé irányuló nyilak mutatják) azonos fázisban verik vissza a hullámot. Tekintve, hogy az útkülönbség egy teljes hullámhossz, a visszavert térerősségek erősítik egymást. Ha a rétegek száma elegendő nagy, a hullám teljesen visszaverődik.

Amit eddig elmondtam, abban nincs sok újdonság. Régóta ismeretes, hogy periodikusan ismétlődő rétegekből szűrőket lehet csinálni, és éppen a fenti megoldást használják lézer rezonátorok frekvenciafüggő, kiváló reflexiójú tükreinek készítéséhez. A mikrohullámú csöveket tervező mérnökök szintúgy régóta tudják, hogy a periodikus struktúráknak van zárósávjuk, vagy ha egy kicsit más tárgykörből akarunk példát meríteni, akkor a szilárd testek sáveltételére utalhatunk, ahol tudvalevően, a periodikus atomi struktúra következtében az elektronállapotoknak tiltott sávjai vannak.

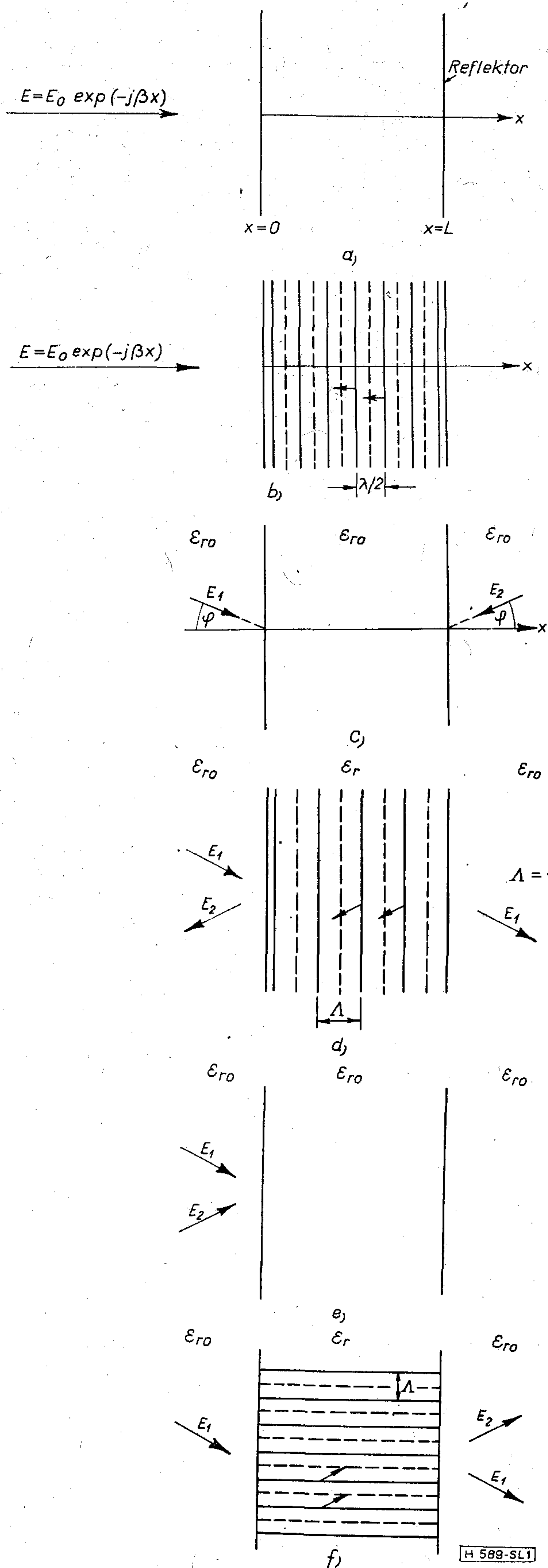
Visszatérve a vastag hologramok tulajdonságaihoz, az 1a ábrán láthatóan reflektor helyett használhatunk egy másik síkhullámot, amelyik az ellenkező oldalról esik be. A létrejövő periódus függ a síkhullámok beesési szögétől. Elemi levezetés a

$$\Lambda = \frac{\lambda d}{2 \cos \varphi} \quad (5)$$

eredményt szolgáltatja, amelyet Bragg alkalmazott először a Röntgen-sugarak diffrakciójával kapcsolatban.

A 7. Európai mikrohullámú konferencián tartott meghívott előadás alapján. Koppenhága, 1977. szeptember 5–8.

Beérkezett: 1978. I. 26.



Az eddigiekben síkhullámok terjedéséről és visszaverődéséről beszéltünk. Mi köze van ennek a holográfiához? Miért nevezhetjük a kapott periodikus struktúrákat vastag hologramoknak? Az ok abban található, hogy ezek a periodikus struktúrák valóban úgy viselkednek, mint a tradicionális vékony hologramok, ahol a fényérzékeny film átlátszóságát a hullámok interferenciája határozza meg.

Ha az 1d ábrán látható struktúrát az E_1 síkhullámmal megvilágítjuk, bizonyos amplitúddal megjelenik az E_2 síkhullám. Elfogadva a holográfia szokásos terminológiáját, azt mondhatjuk, hogy E_1 a referenciasugár és E_2 a tárgysugár. A két sugár kölcsönhatása létrehozza a hologramot és ha az előhívott hologramot megvilágítjuk az E_1 referenciasugárral, visszakapjuk az E_2 tárgysugarat. Ha a referenciasugár és tárgysugár a két ellenkező oldalról esik be, akkor reflexiós hologramról beszélünk, ha viszont az 1e ábrán látható módon, a két sugár ugyanarról az oldalról esik be, akkor a periodikus struktúra az 1f ábrán látható alakban jön létre és a transzmissziós hologram elnevezést használjuk.

A vastag hologramoknak tehát megvannak ugyanazok a tulajdonságai, mint a vékony hologramoknak, de három fontos szempontból különböznek azoktól: 1. a vastag hologramok hatásfoka elérheti a 100 százalékot; 2. reprodukciós képességük függ a beesési szögtől és a hullámhossztól; 3. több hologram is egymásra szuperponálható.

Az elméleti problémákról később fogok beszélni. Most csupán Kogelnik [1] egydimenziós elmélete alapján a fent említett három tulajdonságot fogom a transzmissziós hologramokra alkalmazva kissé részletesebben ismertetni.

Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a közegnek, amelyből a síkhullám beesik, ugyanaz a permittivitása, mint a holografikus regisztráló anyagnak. Ezáltal a sugaraknak a beesési felületről való visszaverődését, illetve törését figyelmen kívül hagyhatjuk. Ha most az 1f ábrán látható periodikus struktúrára az E_1 hullám esik be, akkor a hologram kimenetén a két sugár amplitúdóját a következő képlet adja:

$$E_1 = E_0 \cos(\nu^2 + \xi^2)^{1/2} \quad \text{és} \quad E_2 = E_0 \sin(\nu^2 + \xi^2)^{1/2}, \quad (6)$$

ahol

$$\nu = \frac{\epsilon, \beta L}{4\epsilon_{r0} \cos \varphi} \quad \text{és} \quad \xi = \frac{r\beta L}{2\cos \varphi}. \quad (7)$$

Az r paraméter a Bragg-szögtől vagy az eredeti hullámhossztól való eltéréstől a következő módon függ:

$$r = \Delta\varphi \sin 2\varphi \quad \text{vagy} \quad r = -\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \frac{2 \sin^2 \varphi}{\epsilon_{r0}^2} \quad (8)$$

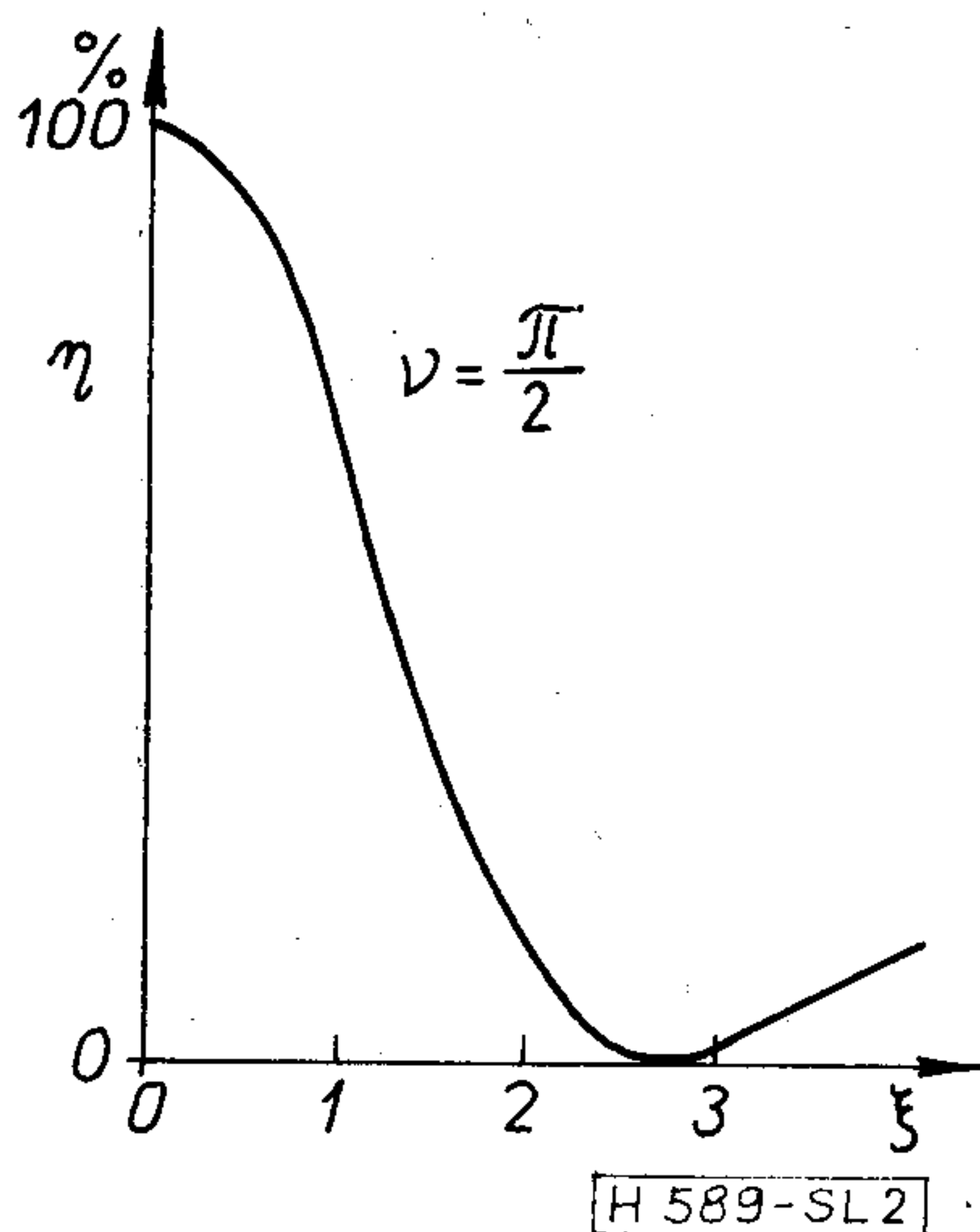
1. ábra. Vastag hologramok alapvető tulajdonságai: a) a beeső síkhullám állóhullámot hoz létre, b) az előhívott hologram visszaveri a beeső síkhullámot, c) φ szög alatt szimmetrikusan beeső síkhullámok, d) az E_1 beeső síkhullám részben létrehozza az E_2 síkhullámot, részben a kimenő felületen távozik, e) E_1 és E_2 síkhullámok ugyanazon oldalról esnek be a holografikus anyagra, f) az előhívott hologramra beeső E_1 síkhullám részben létrehozza az E_2 síkhullámot, részben a kimenő felületen távozik

Ha $\xi=0$, vagyis a referenciasugár változatlan, akkor a (6) egyenletből láthatóan teljes energiaátvitel történik, amennyiben $\nu=\pi/2$. Ha a referenciasugár eltér az eredetitől és feltételezzük, hogy $\varphi=45^\circ$ és $\varepsilon_{r0}=2$, akkor azt kapjuk, hogy a

$$\Delta\varphi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\lambda d}{L} \quad \text{és} \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{6} \frac{\lambda d}{L} \quad (9)$$

egyenletek kielégítése esetén a hatásfok zérusa csökken. Amint ezen konkrét példa mutatja, a hatásfok erősen függ a Bragg-törvénytől [(5) egyenlet] való eltéréstől. $\nu=\frac{\pi}{2}$ esetén a hatásfok ξ függvényében

a 2. ábrán látható. Ökölszabályként megjegyezhetjük, hogy a szög-, illetve relatív hullámhossztérés körülbelül az L/λ_d érték reciprokával egyenlő. Tehát egy tízezer hullámhossz vastagságú anyagnál tízezer radiánnál pontosabban kell tartani a szöget és a hullámhossz kevesebb, mint 0,01 százalékkal térhet el.



2. ábra. A hatásfokcsökkenés a szög- és hullámhossztérés függvényében

A harmadik fontos tulajdonság a szuperpozíció lehetősége. Az nyilvánvaló, hogy egy fényképeszeti filmre több felvételt is lehet készíteni. Erre akkor jöttem rá először, amikor az első ócska fényképezőgépemen elfelejtettem továbbcsavarni a tekercset és előhívás után két különböző tájkép jelent meg ugyanazon a fényképen. Vastag hologram esetében ugyanezt csinálhatjuk, készíthetünk két felvételt vagy többet, és mind ott lesznek az előhívott hologramban. A különbség az, hogy a vastag hologramok hatásfoka erősen függ a referenciasugár beesési szögétől. Ha a két felvételt két, egymástól eléggé eltérő (néhány század fok már elegendő lehet) referenciasugárral készítjük, akkor mindegyik csak a saját referenciasugarára válaszol, tehát a felvételeket külön-külön visszanyerhetjük. Meddig csinálhatjuk ezt? Hány hologramot szuperponálhatunk egy adott anyagban? Ez részben az anyag érzékenységtől függ és részben a méretétől. Nyilvánvalóan minél több az anyag, annál több információ tárolható benne. Ha $\Delta\varepsilon_{teljes}$ -nek nevezzük azt a permittivitásváltozást, amire az anyag képes, akkor a legrosszabb

esetet véve, az egyes modulációs amplitúdóknak a

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i \leq \Delta\varepsilon_{teljes} \quad (10)$$

egyenlőtlenséget kell kielégíteniük. Ha az egyenlőtlenség egyenlőségbe megy át, akkor — legalábbis bizonyos pontokban — további moduláció nem lehetséges. A 100%-os hatásfok eléréséhez, amint láttuk, ν -nek $\pi/2$ -vel kell egyenlőnek lennie. Feltételezve továbbá, hogy az összes modulációs mélység azonos, a

$$\Delta\varepsilon_{teljes} = N\varepsilon_1 = N\varepsilon_{r0} \cos \varphi \frac{\lambda d}{L} \quad (11)$$

egyenletre jutunk, amiből N meghatározható. Legyünk egy kicsit optimisták és tételezzük fel, hogy $\Delta\varepsilon_{teljes}=0,01$ és az anyagunk 1 cm³-es kocka (tehát $L=1$ cm), vegyünk továbbá $\varphi=45^\circ$, $\varepsilon_{r0}=2$ és $\lambda_d=0,5$ μ m értékeket, akkor N értékére körülbelül 140-et kapunk. Ha alacsony hatásfokkal ($\eta \ll 1$) is megelégszünk, akkor az

$$\eta = \sin^2 \nu \cong \nu^2 \quad (12)$$

kifejezést használhatjuk. Az egymásra Szuperponálható hologramok száma a (7) egyenlet felhasználásával a következő alakot ölti:

$$N = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\eta^{1/2}} \frac{\Delta\varepsilon_{teljes}}{\varepsilon_{r0} \cos \varphi} \frac{L}{\lambda_d} \quad (13)$$

A fenti adatokkal és 1%-os hatásfokot alapul véve, $N=4,400$. Ezeknek a számoknak nem szabad túl nagy jelentőséget tulajdonítanunk, mivel egy egyszerű, egydimenziós elméletből kiindulva, további egyszerűsítő feltételezésekkel kaptuk őket, azt azonban mindenesetre elvárhatjuk, hogy a nagyságrendet helyesen becsüljék.

2. Történelmi áttekintés

Idáig eljutván, néhány szóval ismertetni szeretném azt a hosszú fejlődési folyamatot, amely lehetővé tette a mai vastag hologramok létrehozását. Ha tényleg az elején akarjuk kezdeni, akkor először is a „legyen világosság” parancsolatot kellene megemlíteni. Amint tudjuk, mindjárt utána „lőn világosság”, tehát a vastag hologramok kifejlesztésének első feltétele meglehetősen régóta teljesül. Ha a Genézist magunk mögött hagyva a modern időkhez közeledünk, először is Arisztotelészre kell felfigyelnünk, aki a következőket írta: „A fénynek megvan az a tulajdonsága, hogy a színeket, amelyek potenciálisan jelen vannak, tényleges színekké tudja alakítani”. Amint később a színes hologramokkal kapcsolatban látni fogjuk, Arisztotelész valóban fején találta a szegget. A holográfia szemszögéből nézve meglehetősen kevés, kedvező esemény történt Arisztotelész és Grimaldi között, aki a fényes olasz nap segítségével 1660 körül felfedezte a diffrakció jelenségét. Ezután Young-ot említhetjük, aki a 19. század elején bevezette a hulláminterferencia fogalmát, majd Maxwell-t híres egyenleteivel. Így érünk el 1894-hez, amikor Lippmann [2] olyan színes fényképezési módszert talált fel, amely joggal nevezhető a vastag holográfia előfutárának. Vastag emulziós filmet használt, a másik oldalán egy reflektorral, ami megfelel az

1a ábrán mutatott elrendezésnek. A különbség az, hogy Lippmann a megörökíteni kívánt képet a néhány mikrométer vastagságú emulzióra vetítette. A beeső fény erőssége megszabta az állóhullámok nagyságát, a színek pedig az állóhullámok hullámhosszát. Előhívás után ez az információ a fényabszorpció változásának formájában maradt meg. Ha közönséges fénnel megvilágították a lemezt, a szórt fény erőssége az állóhullámok nagyságától, színe pedig a rögzített hullámhossztól függött. Tehát visszakapták az eredeti színes képet.

Az ezután következő fejlődést a Röntgen-sugarak diffrakciójának tanulmányozása hozta magával, ami főleg Bragg és von Laue nevéhez fűződik.

A holográfia feltalálója és névadója Gábor Dénes, az Angliában dolgozó, magyar származású Nobel-díjas fizikus. Jóval a lézerek feltalálása előtt, 1948-ban [3] vetette fel a gondolatot, hogy vajon a hullámrekonstrukció módszere alkalmas lenne-e elektronmikroszkópok felbontó képességének megjavítására? Az akkori kísérletek eredménytelenek voltak, de a lézer feltalálása után az elveket könnyen át lehetett tenni a gyakorlatba.

A vastag hologramok feltalálója Deniszjuk, aki 1962-ben megjelent cikkében [4] összepárosította Gábor holográfiai elveit Lippmann fényképészeti módszerével.

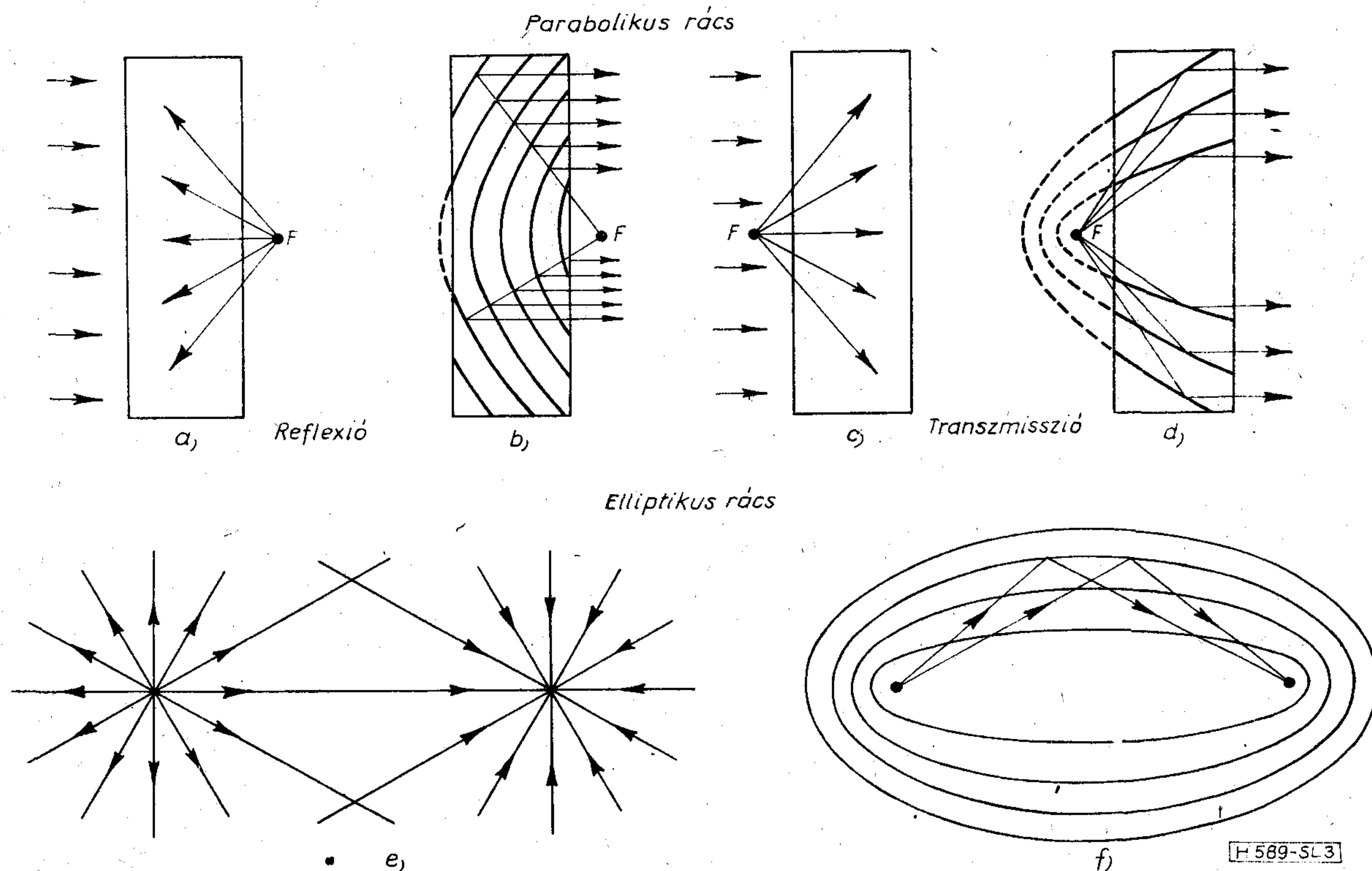
3. Alkalmazások

A vastag holográfia módszerei persze nemcsak síkhullámot síkhullámmá tudnak átalakítani, hanem

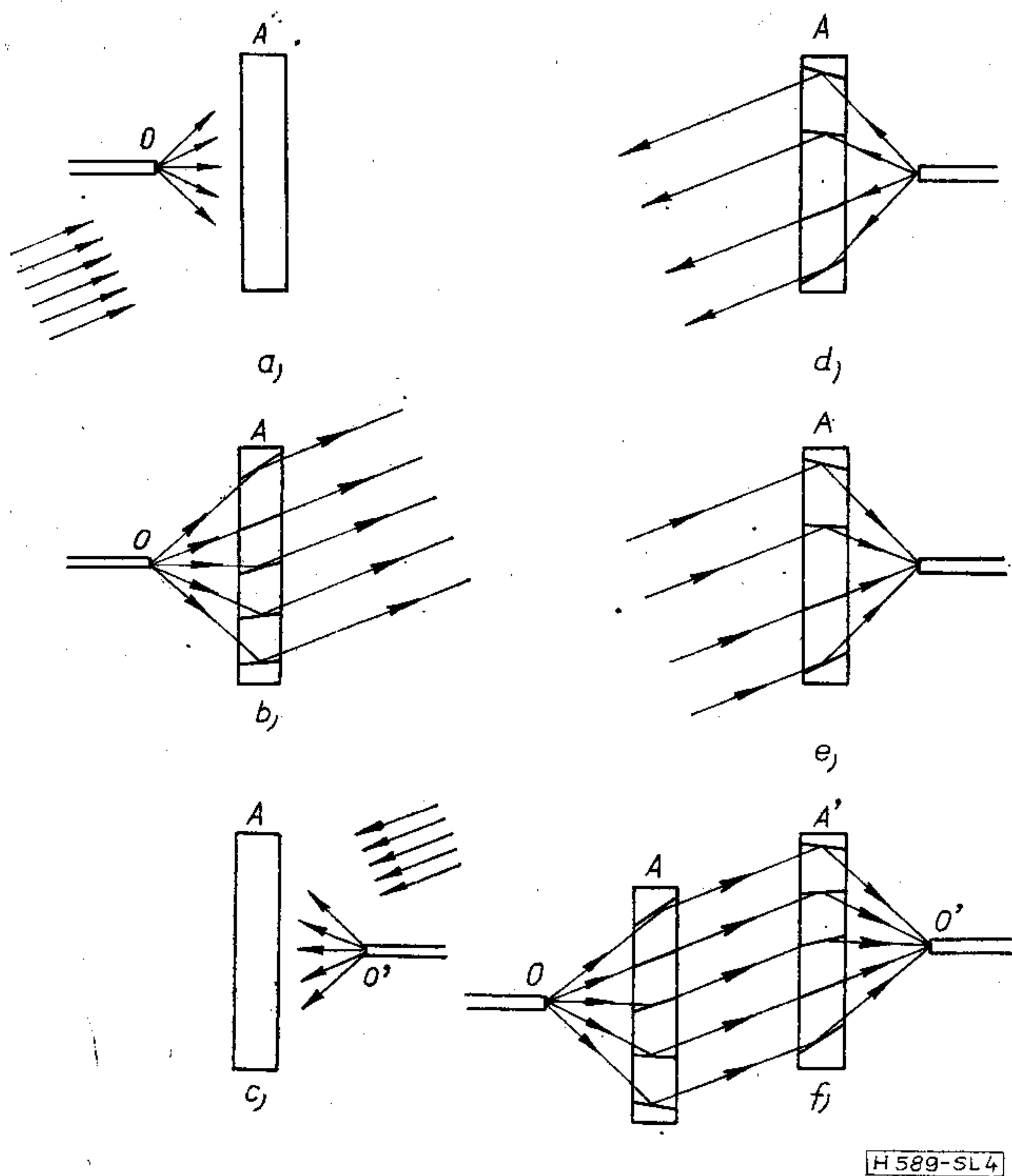
bármilyen hullámot bármilyen hullámmá. Mielőtt általánosabb hullámfrontokról beszélünk, nézzünk meg néhány egyszerűbb elrendezést. A 3a ábrán a vastag hologram regisztráló anyagát balról síkhullámmal, jobbról gömbhullámmal világítjuk meg. A permittivitás megint az elektromos térerősség négyzetével arányosan fog változni. Egy kis algebrával könnyű kimutatni, hogy az ε =állandó felületek paraboloidok lesznek (3b ábra). Mi történik, ha az előhívott hologramot ugyanazon F pontból gömbhullámmal megvilágítjuk? Egy antennákkal foglalkozó mérnök könnyen válaszolni tudna erre a kérdésre. Paraboloid felületek gömbhullámot síkhullámmá alakítanak át. Persze antennák esetében egyetlen tökéletesen (inkább majdnem tökéletesen) visszaverő felületet alkalmazunk. Most viszont sok paraboloid van és mindegyik csak kevéssé reflektál, mivel azonban a reflektált hullámok mind azonos fázisban adódnak össze, a végeredmény ugyanaz. Ha a hologram elegendően vastag, a gömbhullám teljes egészében síkhullámmá alakul át. Persze ugyanezt várhatjuk a holográfiai elvek alapján is. Ha a hologramot a referencia (gömb) hullámmal világítjuk meg, létre tudjuk hozni a tárgy (sík) hullámot.

A 3c és 3d ábra ugyancsak a gömbhullám síkhullámmá való átalakítását mutatja, de most a hologramot ugyanarról az oldalról világítjuk meg, vagyis transzmissziós hologramot használunk.

Ha a hologramot egy konvergens és egy divergens gömbhullám hozza létre, akkor az ε =állandó, felületek ellipszoidok és a hologram a divergens gömbhullámot konvergens gömbhullámmá alakítja át, amint a 3e és 3f ábrán látható.



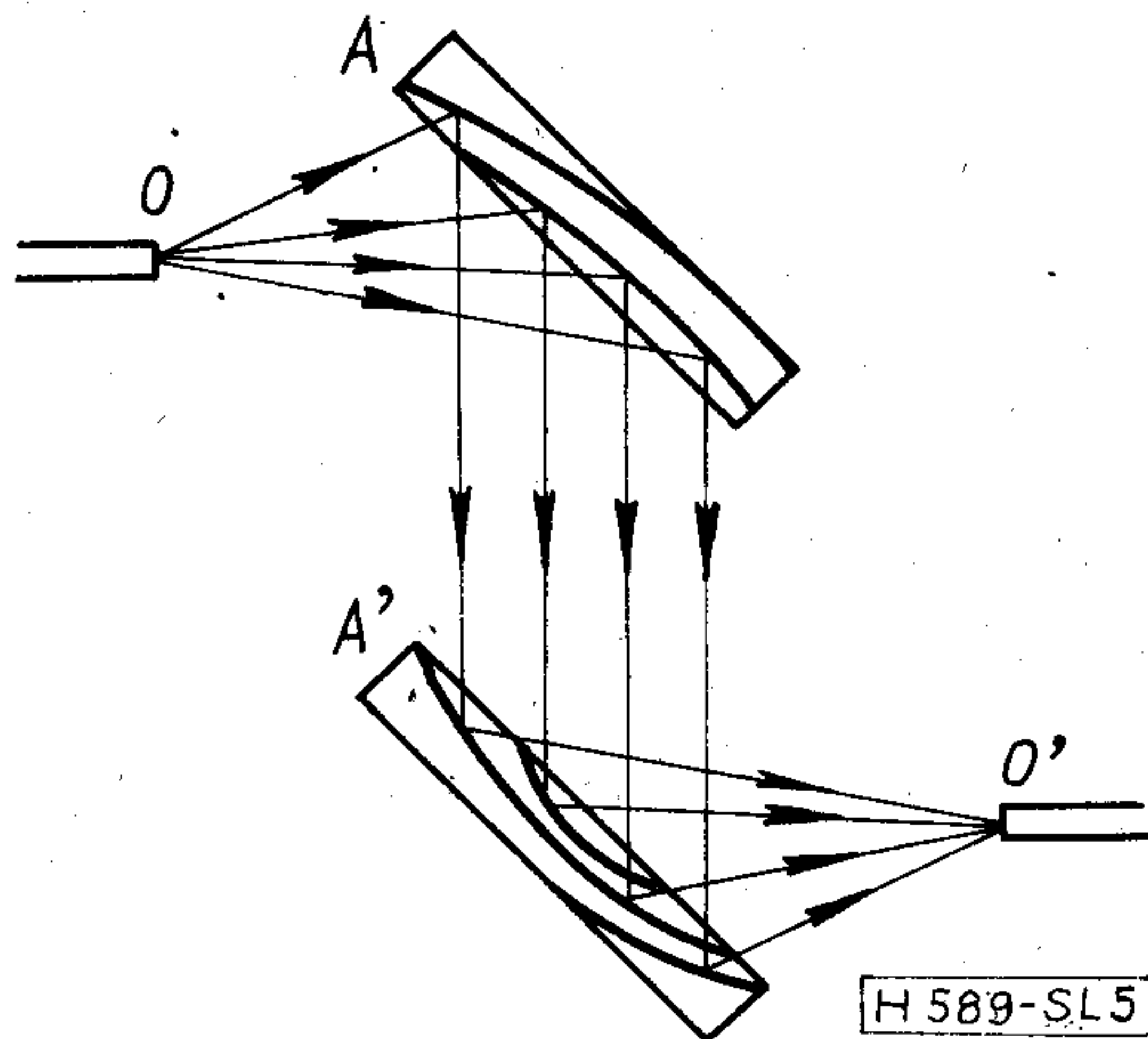
3. ábra. Parabolikus és elliptikus rácsok: a) síkhullámú és gömbhullámú megvilágítás két különböző oldalról, b) az előhívott hologram a gömbhullámot síkhullámmá alakítja, c) síkhullámú és gömbhullámú megvilágítás ugyanazon oldalról, d) az előhívott hologram a gömbhullámot síkhullámmá alakítja, e) konvergens és divergens síkhullámú megvilágítás, f) az előhívott hologram a divergens gömbhullámot konvergens gömbhullámmá alakítja



4. ábra. Optikai csatoló felépítése: a) megvilágítás gömb- és síkhullámmal, b) az előhívott hologram a beeső gömbhullámot síkhullámmá alakítja, c) megvilágítás gömb- és konjugált síkhullámmal, d) az előhívott hologram a gömbhullámot síkhullámmá alakítja, e) ugyanaz a hologram a síkhullámot gömbhullámmá alakítja, f) két párhuzamos hologram: az egyik optikai szál divergens gömbhullámát a másik optikai szálba konvergáló gömbhullámmá alakítja

Most már eljutottunk odáig, hogy az eddig ismertetett elvek alkalmazásával egy gyakorlati eszközt tervezhetünk, amely két optikai szál egymáshoz való csatolására szolgál. Az első hologramot a 4a ábrán látható módon az optikai szálból kisugárzó hullám és egy síkhullám hozza létre. Ennek következtében (4b ábra) az előhívott hologram az optikai szál sugárzását síkhullámmá alakítja át. Ezután egy másik hologramot készítünk (4c ábra) az O' pontban levő optikai szál és az előbbi síkhullám konjugált (ellenkező irányban terjedő) hulláma segítségével. Az előhívott hologram ismét síkhullámmá transzformálja az optikai szál kisugárzott energiáját, illetve — a reciprocitás elvét felhasználva — a síkhullámot az optikai szálba konvergáló hullámmá alakítja át, amint a 4d és 4e ábrán látható. Ha a két hologramot szépen párhuzamosan egymás mellé helyezzük, akkor az optikai szálak által vezetett energiát, egyik szálból a másikba csatoló eszközt kapunk (4f ábra).

Ennél a pontnál egészen természetes, ha megkérdezzük, hogy mi értelme van ilyen komplikált csatolóeszköz használatának? Nem lehetne a két optikai szál egymás felé irányítani és összeragasztani? Valóban, vannak rá módszerek, hogy két sokmódusú optikai szál mechanikai módszerekkel összecsatlakoztassunk. Még azt is el lehet képzelni, hogy hasonló módszerekkel (bár már sokkal nehezebben) két egymódusú optikai szál is összekössünk. A gyakorlati probléma viszont úgy fog a jövőben megjelenni, hogy kábeleket kell egymáshoz csatlakoztatni, amelyek legalább több tucat optikai szál tartalmaznak.

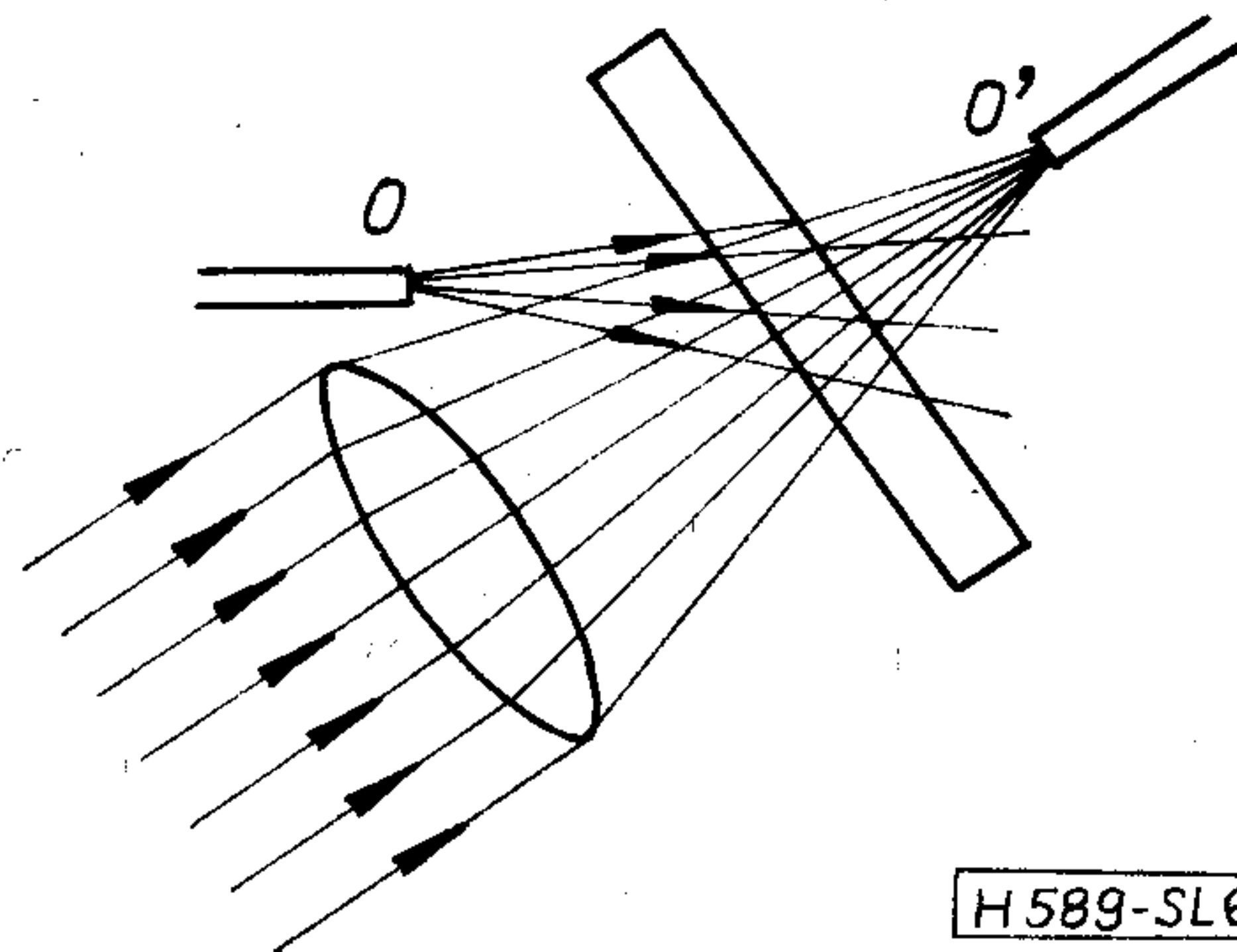


5. ábra. Reflektált hullámokat használó optikai csatoló

Ebben az esetben gyakorlatilag lehetetlen volna a kábel mindegyik szálát a másik kábel megfelelő szálához illeszteni. A holografikus csatolóeszköznek viszont ez nem okoz további nehézséget. A superpozíció elvét alkalmazva újabb, kissé eltérő irányba mutató síkhullámokat használhatunk a további felvételek számára és így végül az egyik oldalon levő összes optikai szálát a másik oldalon levő megfelelő szálakhoz csatlakoztathatjuk. Biztosak lehetünk-e abban, hogy az energia csak a kívánt optikai szálba csatlakozik, mekkora az áthallás (cross-talk), milyen tűrésekre van szükség? Leite, Soares és Ash erre vonatkozó kísérleteiről később fogok beszélni, de azt érdemes most megjegyezni, hogy a hologramot nagy, mikrométer körüli pontossággal a gyárban kell a kábel végére illeszteni. Ugyanez vonatkozik a másik kábelre is. Amikor a két kábelt összecsatoljuk, csupán távolságtartókra van szükségünk, amelyek a két hologramot párhuzamosan tartják.

Transzmissziós hologramok helyett reflexiós hologramokkal is megvalósíthatjuk az optikai szálak közötti csatolást, amint az 5. ábrán látható. Az utóbbinak az az előnye, hogy kevésbé függ a periodikus moduláció pontos értékétől. Amint a (6) és (7) egyenletekből látható, magas hatásfokot csak ε_1 bizonyos értékei eredményeznek. Reflexiós hologram esetében viszont minden visszaverődik, ha a hologram elég vastag, vagyis ε_1 nem kritikus paraméter.

Ugyanezen téma még egy változatát mutatja a 6. ábra. Ebben az esetben csupán egy hologramra van

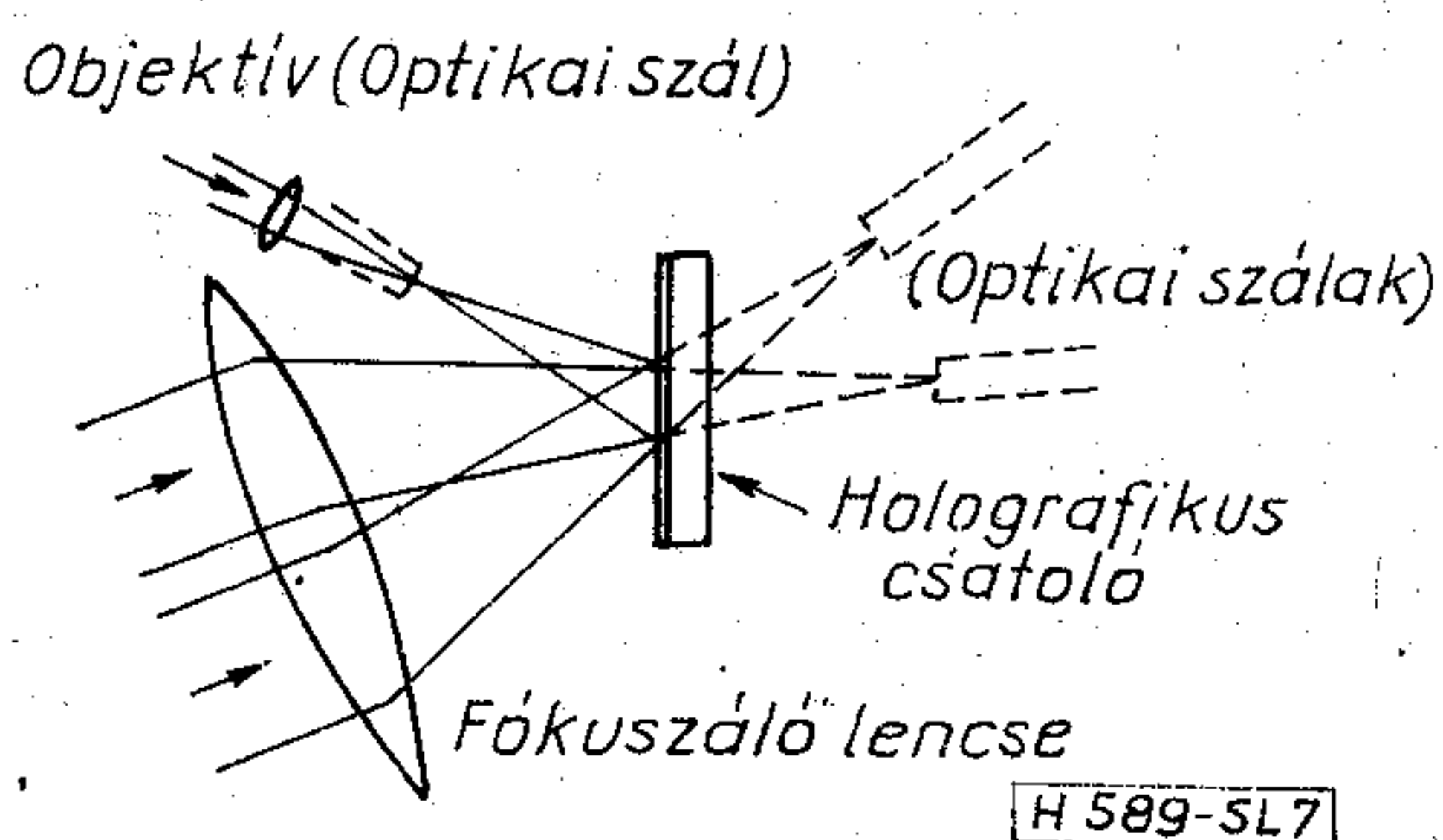


6. ábra. Az optikai szál csatolására szolgáló hologram felvétele lencse segítségével [6]

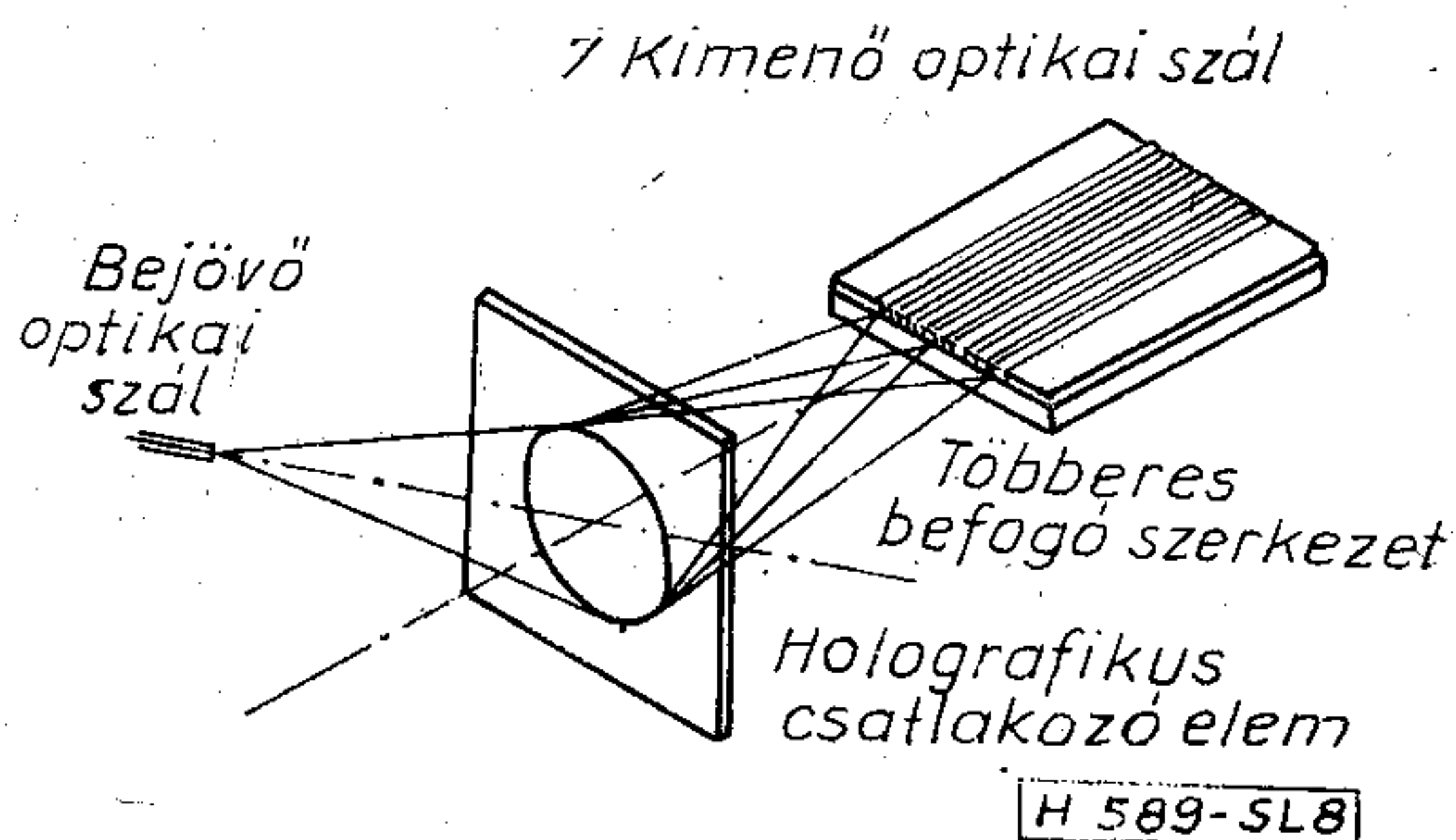
szükség, amelyik egy divergens hullámot konvergens hullámba transzformál.

A fent részletezett csatolási elveket egy optikai szálnak több optikai szállal való csatolására is fel lehet használni. A 7. és 8. ábrán mutatott, egy optikai szálból kettőbe, illetve egyből hét optikai szállal való csatoló eszközöket meg is valósították [6, 7]. A mért hatásfok 30, illetve 20 százalék volt.

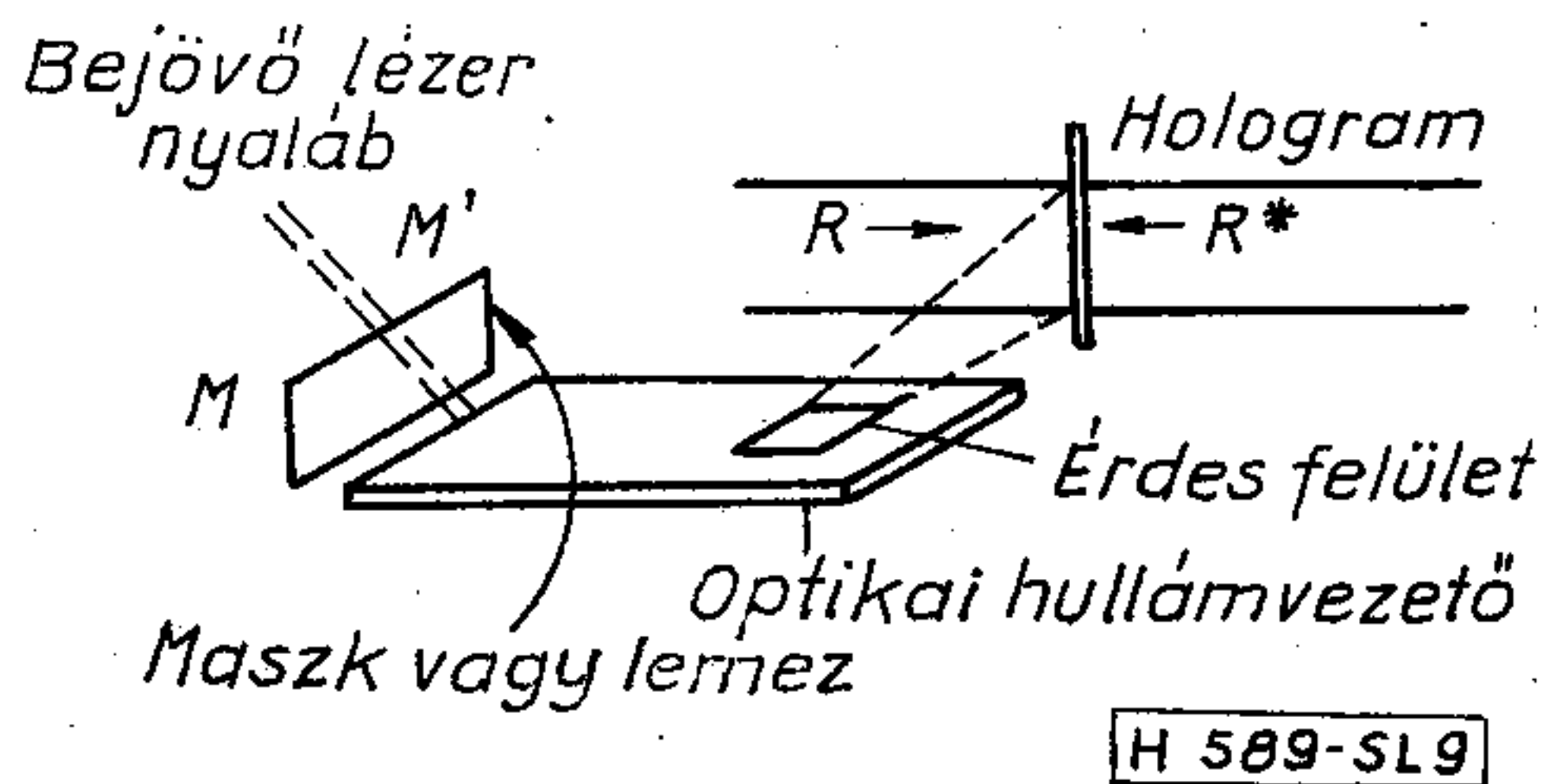
Az integrált optikai hullámvezetőkbe való csatlakozást hasonló elvek alapján lehet megvalósítani. Amint a 9. ábra mutatja [8], a lézert konvencionális módon csatolják az integrált áramkörhöz, de a kicsatolás úgy történik, hogy a hullámvezető felületének egy részét megmaratják és a hologramot az abból kisugárzó tér segítségével készítik. A reciprocitás



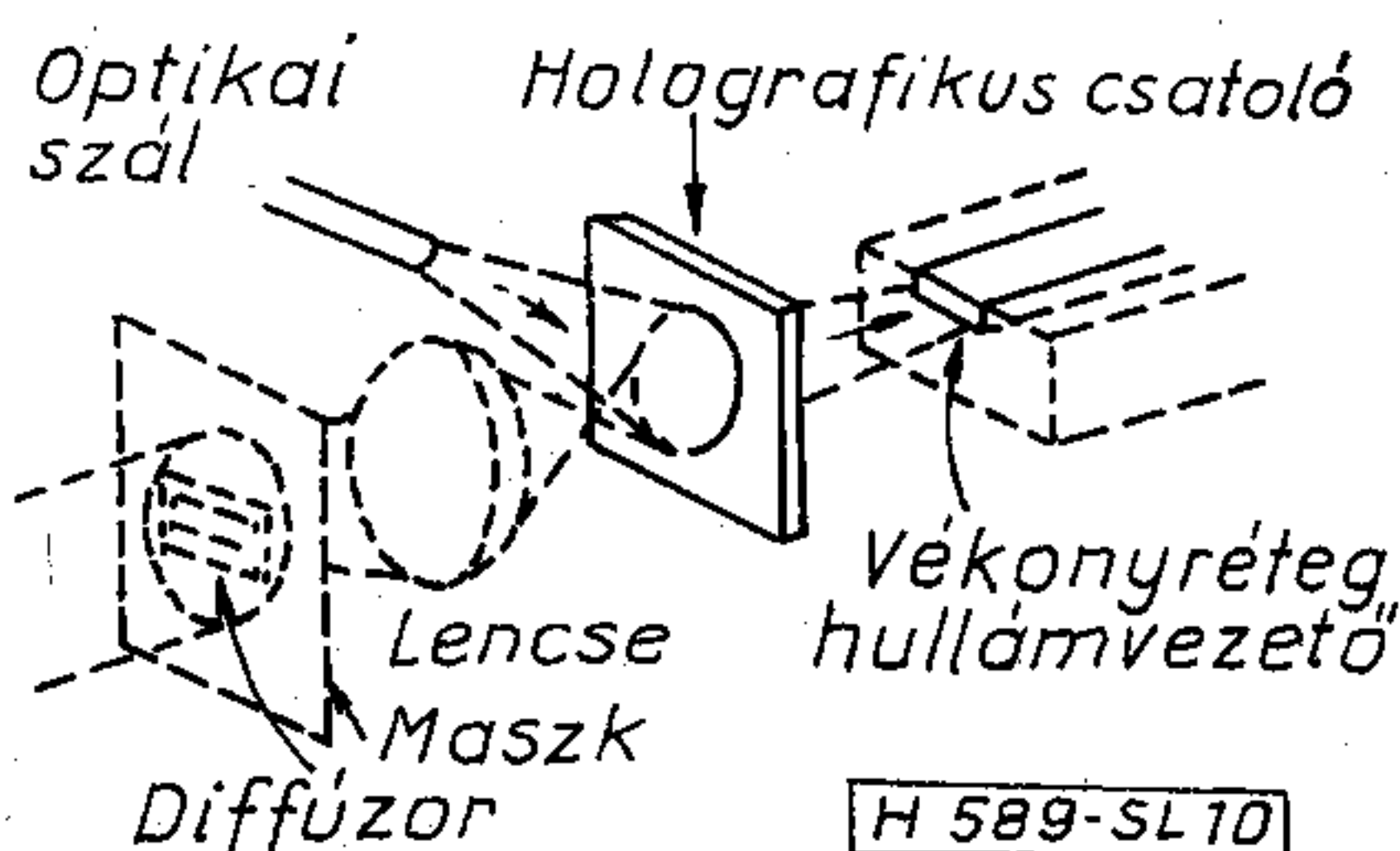
7. ábra. Egy optikai szálat két optikai szállal csatoló hologram felvétele [6]



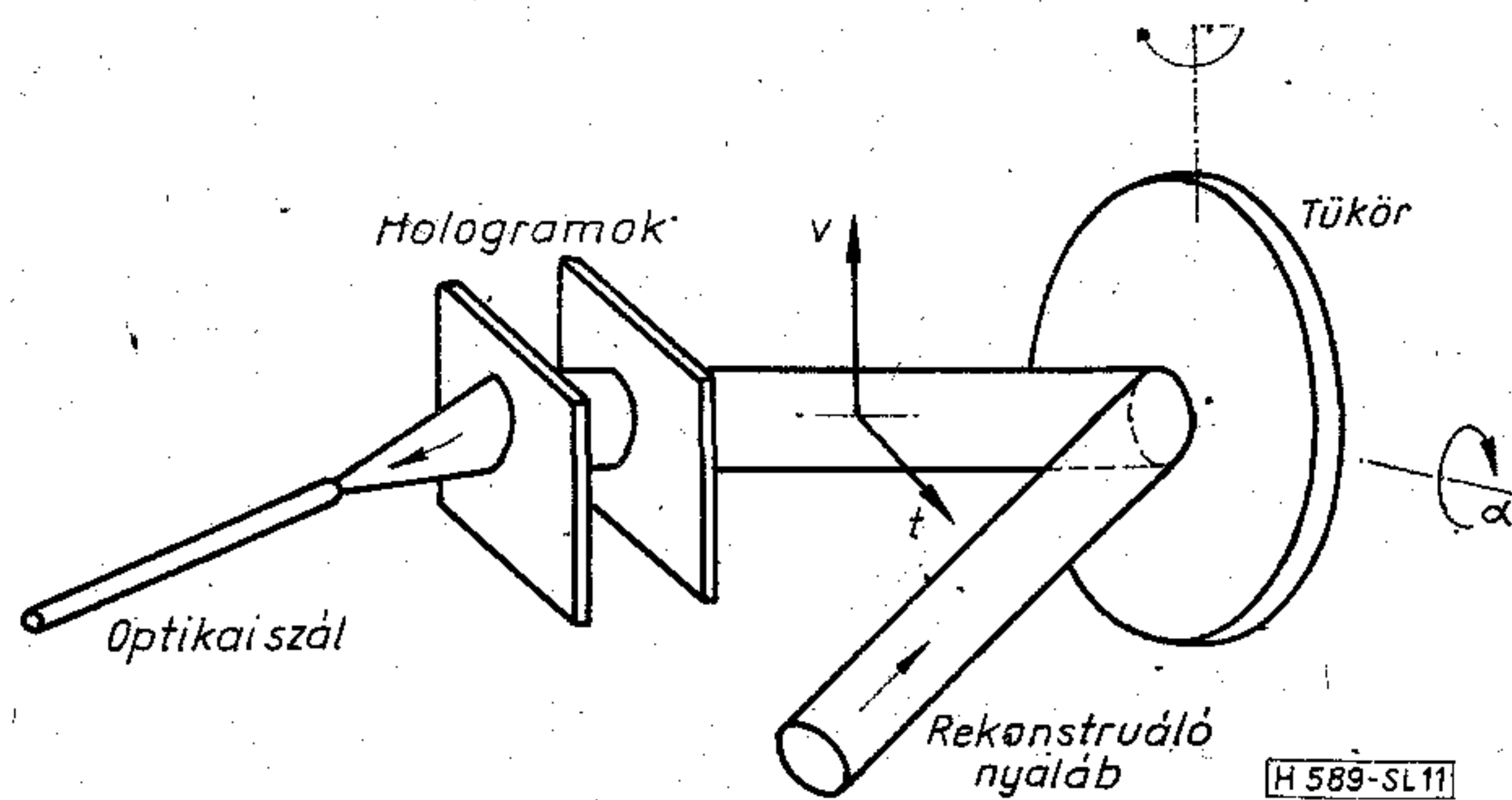
8. ábra. Egy optikai szálat hét optikai szállal csatoló hologram vázlatos rajza [7]



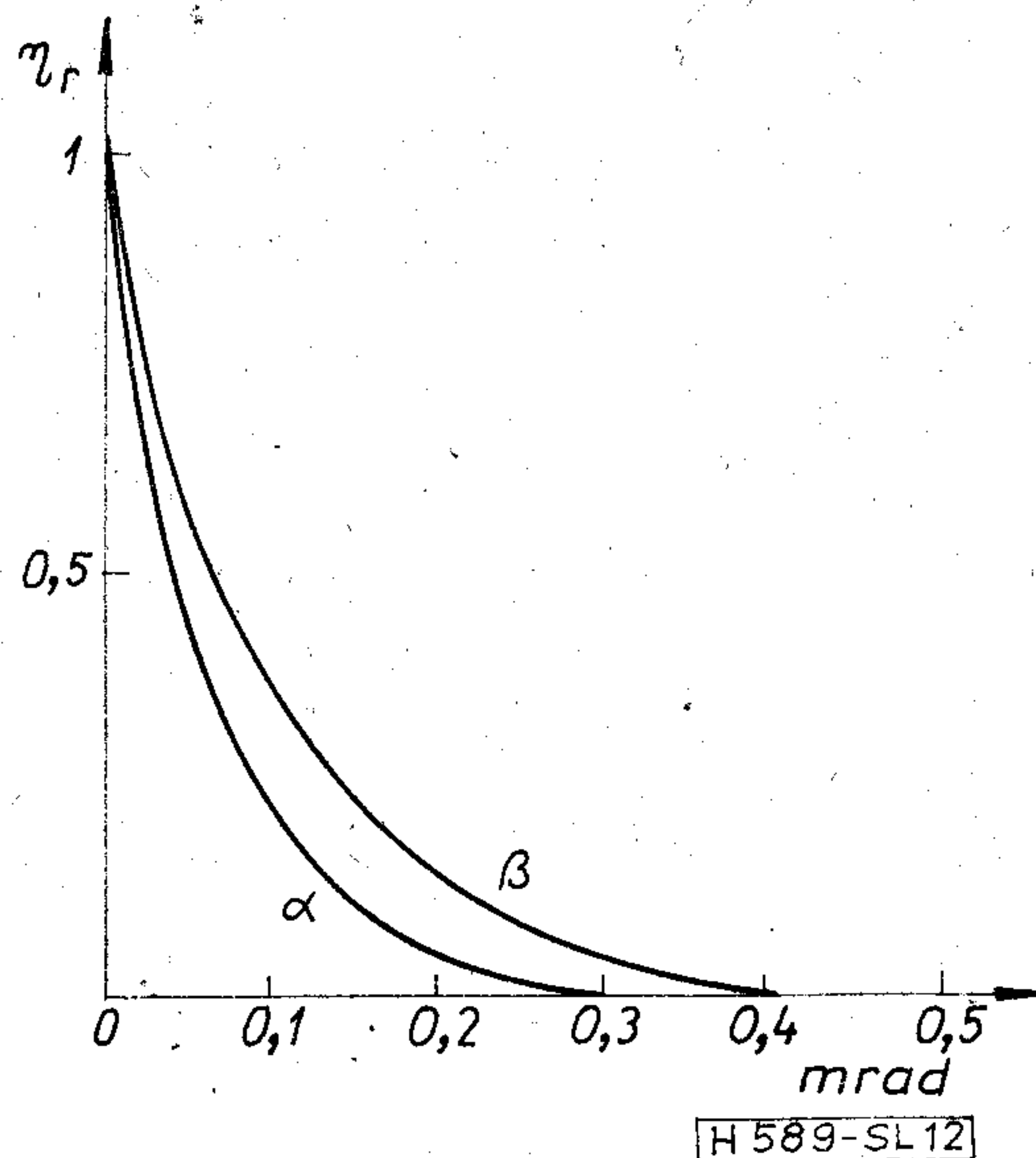
9. ábra. Csatlakozás integrált áramkörhöz hologram segítségével [8]



10. ábra. Optikai szálat integrált áramkörhöz csatoló hologram felvétele [6]



11. ábra. A 4f ábrán mutatott csatoló tűréseinek vizsgálatára szolgáló kísérleti elrendezés vázlata [5]

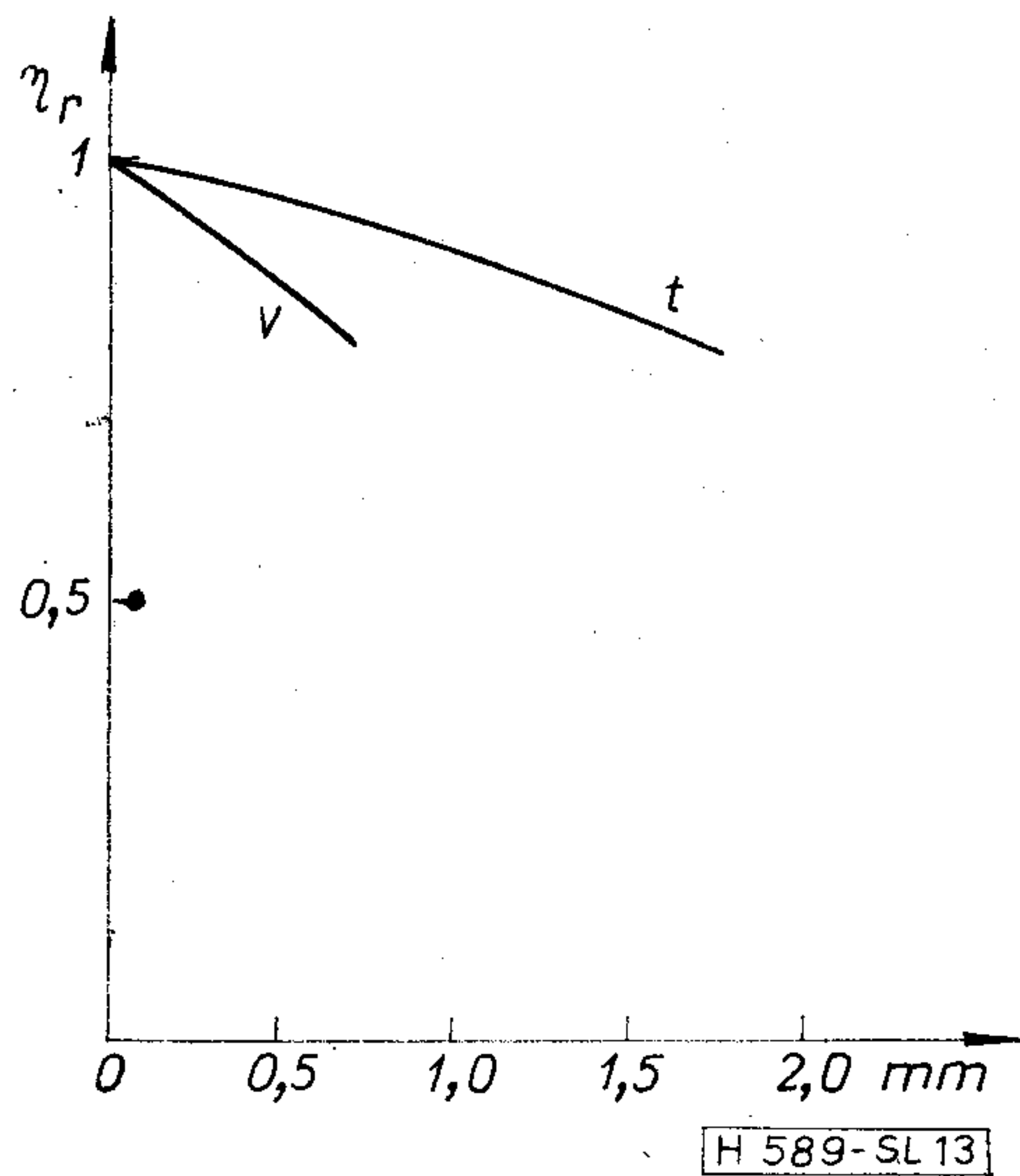


12. ábra. Relatív hatásfok az α és β szögek függvényében [5]

persze ismét érvényes, tehát a hologram kicsatolásra és becsatolásra is használható.

A 10. ábra ugyanarra a célra szolgáló, másféle megoldást mutat [6]. A lencse és a maszk úgy vannak beállítva, hogy a négyszög keresztmetszet valódi képe éppen az integrált áramkör bemenetére essék. Ha a holografikus anyagot a lencsén áthaladó fény útjába tesszük és egy optikai szállal is megvilágítjuk, akkor az előhívott hologram az optikai szálból jövő sugarat az integrált áramkörbe csatolja. A mért hatásfok körülbelül 20 százalék volt.

A hullámfront-transzformáció számára már jó néhány eszközt építettek, de csupán egy kísérletsorozatot ismerünk [5], amelyik a tűréseket tanulmányozta. A kísérleti elrendezést a 11. ábra mutatja. A tükör kezdeti helyzetében maximális csatlakozás van a beeső sugár és az optikai szál között. Ha a tükröt az ábrán látható két, egymásra merőleges tengely körül az α és β szögekkel elforgatjuk, akkor a sugár rossz szögben esik be és a hatásfok lecsökken, amint a 12. ábrán is látható. Ez az elrendezés azt a gyakorlati helyzetet szimulálja, amikor a 4f ábrán látható két hologram nem tökéletesen párhuzamos. A tűrések meglehetősen szigorúak. Ha a két hologram csupán 50 μ rad-nál térhet el a párhuzamostól, az azt jelenti, hogy az 1 cm távolságban elhelyezett távolságtartóknak 0,5 μ m pontossággal meg kell egy-

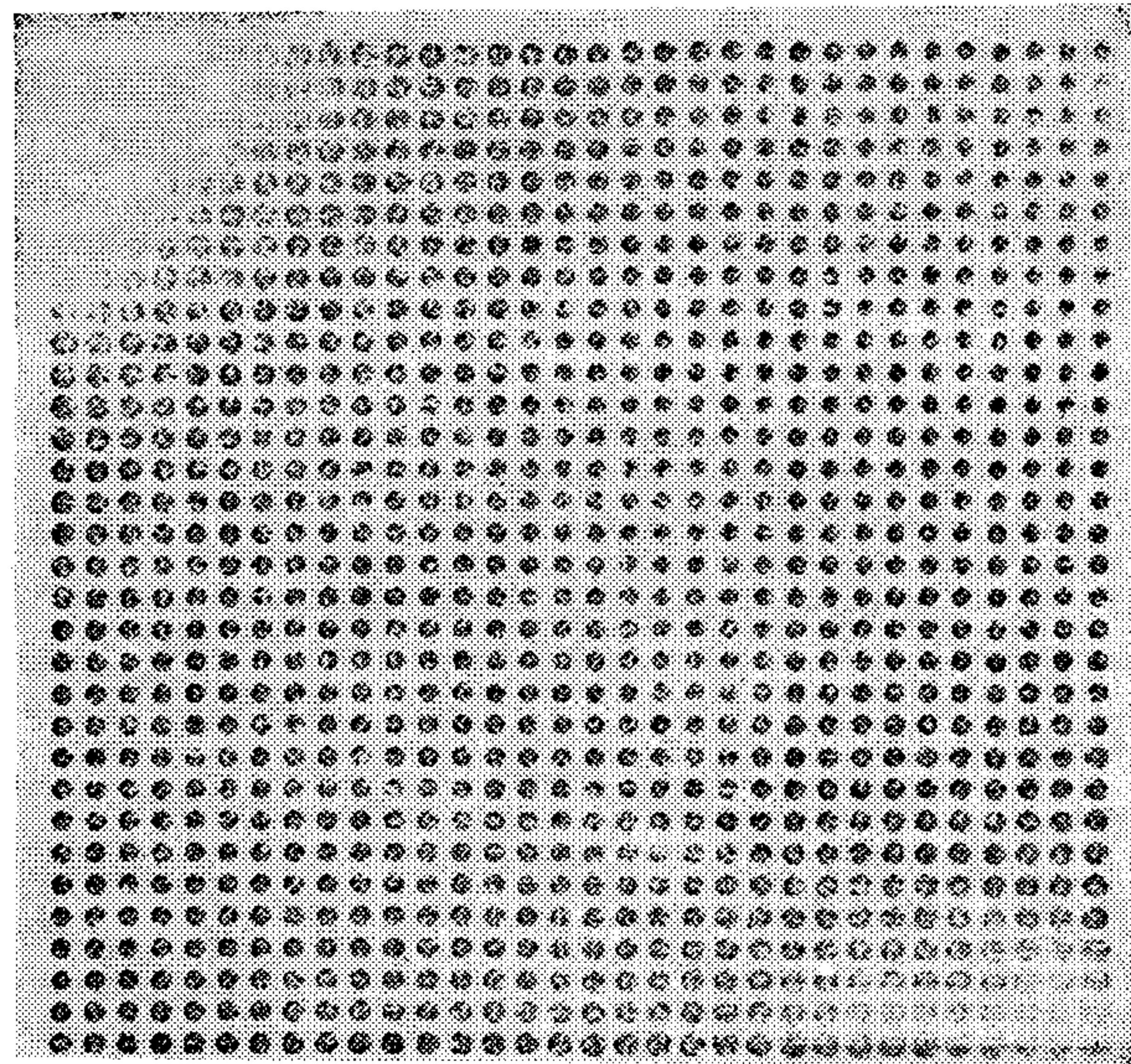
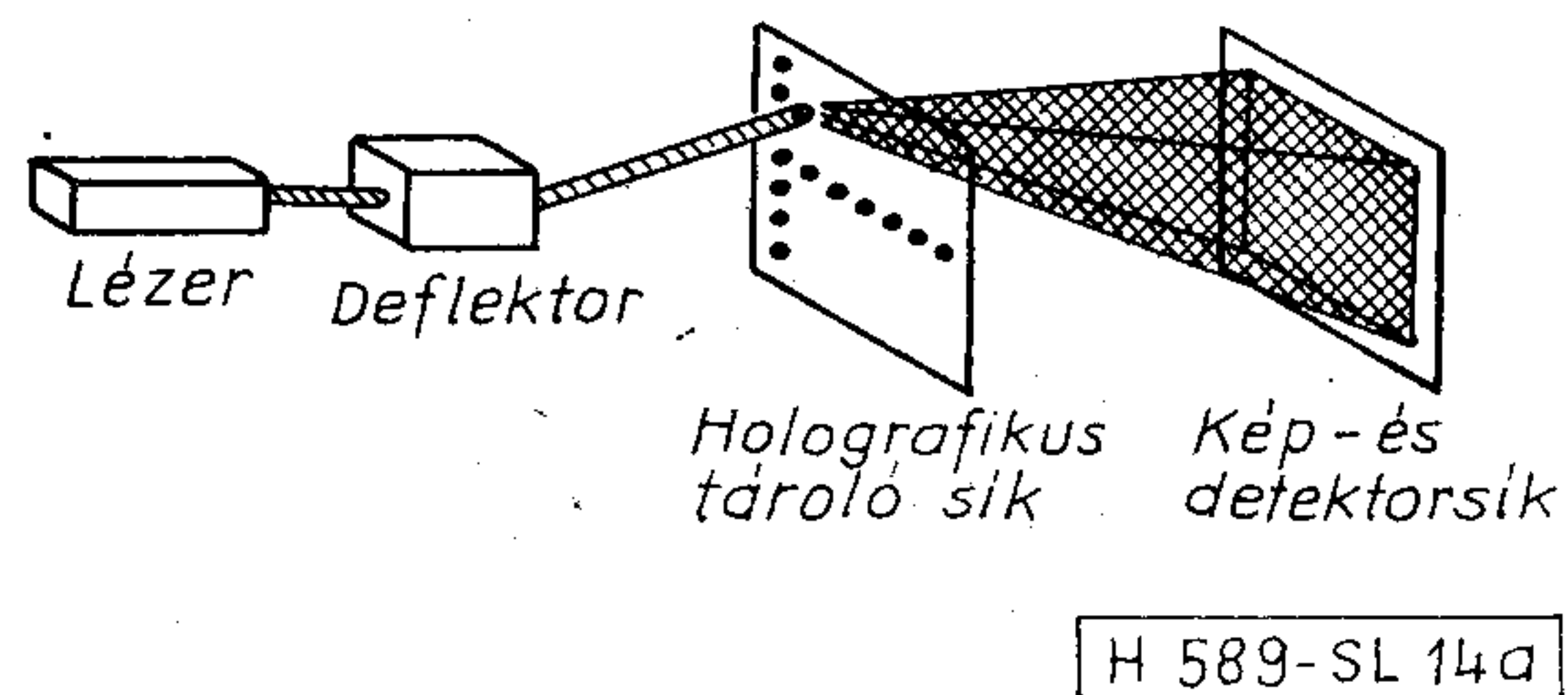


13. ábra. Relatív hatások a v és t irányokban való eltolás függvényében [5]

mással egyezniök. Amint várható, a hatások már nem ilyen érzékeny a beeső sugarak laterális elmozdulására. A kísérleti eredményeket a 13. ábra mutatja. Meg kell jegyezni, hogy az itt használt hologramok nem valódi vastag hologramok. Mivel a kísérlet fő célja a tűrésérzékenység kimutatása volt, a nagy hatások elérésére nem fektettek súlyt. A szuperpozíció lehetőségét viszont megvizsgálták (a hologram eléggé vastag volt ehhez). Két-két optikai szálát kötötték össze. A közöttük fellépő áthallást 35 dB-nél jobbnak találták.

Azt hiszem, most már eleget beszéltem csatolókról és áttérhetek egy másik alkalmazási területre, amelyet a vastag hologramok sokféle tulajdonságai lehetővé tesznek. Számítógépek memóriaelemeiről fogok röviden beszélni. A szokásos kérdés az, hány memóriaelemet, mekkora térfogattól, milyen gyorsan lehet kiolvasni. Ebből a szempontból a vastag hologram előnye a tárolt információ nagy térbeli sűrűsége. Most csak a véletlen hozzáférésű tárolókat akarom megemlíteni, amelyeket μ s gyorsasággal lehet kiolvasni. Először is lássuk az elveket. Egy vékony hologramokkal megvalósított memóriaeszközt [9] mutat a 14. ábra. A lehetséges sűrűség sokkal nagyobb annál, ami itt látható (ez 1968-ban készült), de jól mutatja az elveket. A lézersugarat egy (általában egy akusztoelektromos elven működő) fényelérítő eszköz valamelyik hologramra irányítja, ahol az információ világos, illetve sötét pontok formájában van tárolva. A jelen példában 1024 hologram szerepel és mindegyik hologram 4096 bináris információt tartalmaz. Az információ kiolvasása a valódi kép mögött elhelyezett fototranzisztorok segítségével történik.

Ha a vastag hologramok tulajdonságait ki akarjuk használni, akkor a letapogató sugárnak különböző szögekből kell ugyanarra a pontra beesnie. A vékony hologramokkal megvalósítható memóriaelemek maximális számát 10^8 -nak véve, vastag hologramokkal talán 10^{11} bit tárolása is lehetséges. Egy véletlen hozzáférésű memória μ s-os kiolvasási idővel és 10^{11} bit tárolókapacitással valóban nagy előrehaladást

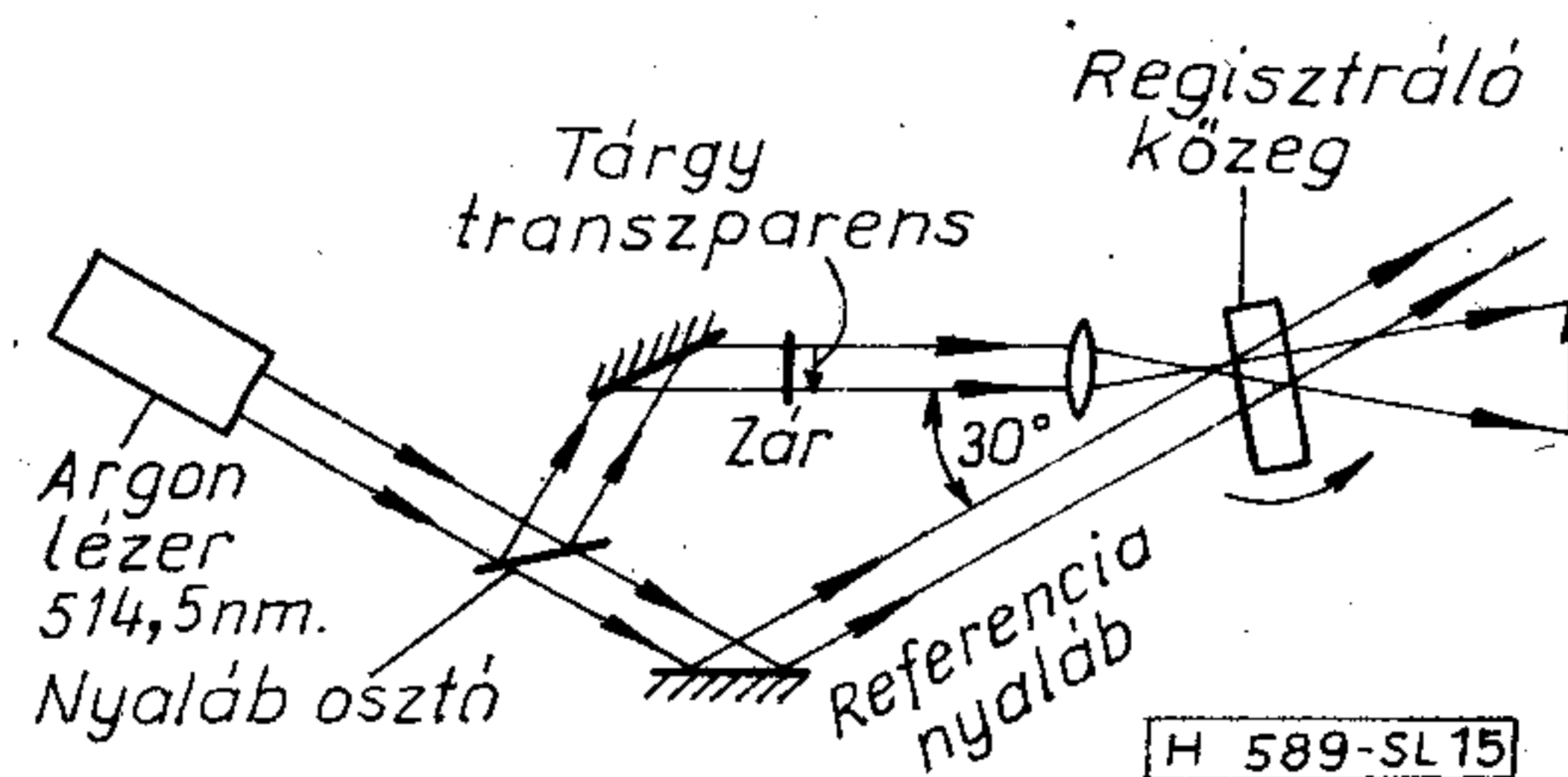


14. ábra. Holografikus információ tárolás: a) elvi felépítés, b) 32×32 elemes hologram matrix, c) egy hologramban tárolt digitális információ [9]

jelentene. A technológiai problémák azonban meglehetősen bonyolultak. Tudomásom szerint, csupán egy laboratóriumban kísérleteztek ezzel a megoldással. Meg is építettek [10] egy ezen az elven működő memóriarendszert, de csak 10 különböző irány szuperponálását próbálták ki.

Amit eddig mondtam, abból arra lehetne következtetni, hogy egy vastag holografikus anyag elvi lehetőségei ellenére csupán néhány, legfeljebb tíz hologramot tud tárolni a gyakorlati esetekben. Ez egyáltalán nem igaz. A 15. ábrán mutatott kísérleti elrendezésben 550 képet sikerült ugyanabban az anyagban tárolni [11]. Az egymás utáni felvételeket úgy készítették, hogy az anyagot $0,05^\circ$ -os szögben mindig elfordították. Az egyes hologramok mért hatásfoka körülbelül 1% volt.

A színes holográfia lehetőségét csupán Arisztotelésszel és Lipmann-nal kapcsolatban említettem.



15. ábra. Több hologram szuperponálására szolgáló berendezés vázlatja [11]

A vastag hologramok előnye erre a célra nyilvánvaló. Vékony hologramokkal ugyan szintén lehetséges három dimenziós színes képeket készíteni, de megvan az a nehézség, hogy a hologramok minden színre reagálnak, tehát keresztmoduláció következtében nem kívánt képek jelenhetnek meg. Vastag hologramokkal viszont egyszerű a megoldás, mivel a rekonstrukció hullámhosszra érzékeny. Ha tehát a hologramot a három alapszín segítségével helyes relatív amplitúdókkal készítjük, akkor a hologramot csak közönséges inkoherens fénnel kell megvilágítani és megkapjuk a háromdimenziós színes képet. Valószínűleg ez lesz az első szélesebben elterjedt alkalmazás. Nyilvánvalóan mindenki szeretne háromdimenziós képeket mutogatni, de csak kevés embernek van otthon lézerje. Ha viszont a felvételeket valamilyen üzemben csinálják majd, és otthon csak egy erős fényforrásra lesz szükség, hogy az ember előállítsa a képeket, akkor a nem túl távoli jövőben sokan fogják élvezni (vagy talán unni egy bizonyos idő után) a háromdimenziós színes képeket.

4. Elmélet

Az előadás eddigi részének fő célja az volt, hogy a vastag hologramok működésének elveiről és alkalmazásáról egyszerű és amennyire lehetséges, átfogó képet nyújtson. A következőkben ugyanezt fogom megpróbálni az elmélettel kapcsolatban. Tulajdonképpen Kogelnik elméletével [1] kellene kezdenem, amelyik messze a legelegánsabb egydimenziós elmélet. Amikor két évvel ezelőtt egy általánosabb elmélet irányába az első tétova lépéseket megtettük, a kiindulópont Kogelnik csatolt hullámú elmélete volt. Szerencsére nincs szükség arra, hogy külön beszéljek róla, mivel a végén mint az általánosabb két-dimenziós elmélet speciális esetét fogom bemutatni.

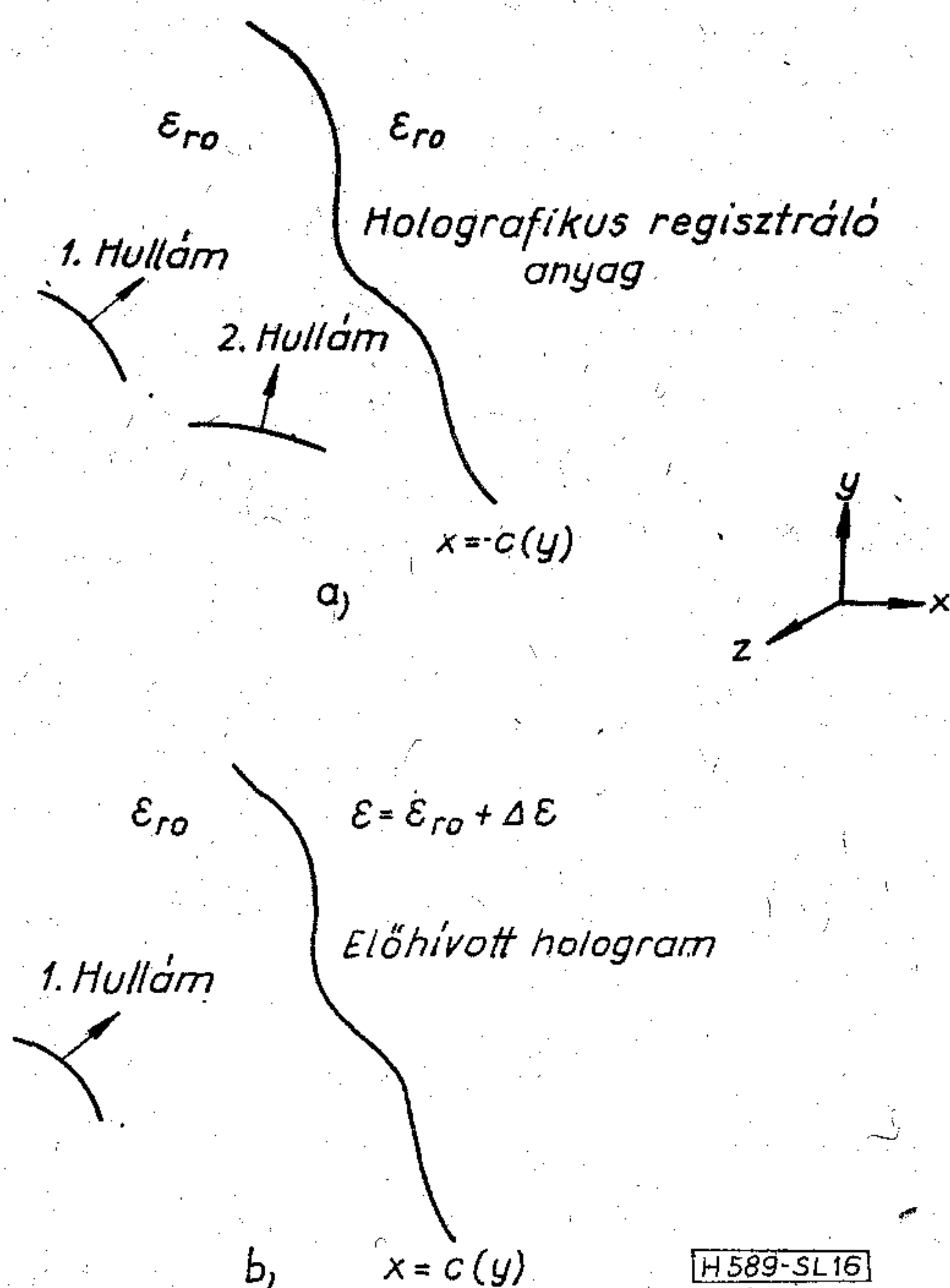
A kétdimenziós elmélet megengedi, hogy a hullámnak mind a fázisa, mind az amplitúdója változzon, de ugyanakkor nem teszi szükségessé vektorok figyelembevételét. Egy skaláris elmélettel fogjuk kezdeni, amely teljesen kielégítő abban az esetben, amikor az elektromos vektor a terek kétdimenziós változására (ami a 16. ábra szerint az $x-y$ síkban történik) merőleges.

Tételezzük fel, hogy a holografikus regisztráló anyagot két, a geometriai optika törvényeit kielégítő hullámmal világítjuk meg. Ez nem mindig igaz és a későbbiekben pontosabb modelleket is fogok ismertetni, de egyelőre a két hullám elektromos terét a következő kifejezésekkel fogjuk leírni:

$$E_1 = E_{10} a_1 \exp(-j\beta p_1) \quad \text{és} \quad E_2 = E_{20} a_2 \exp(-j\beta p_2), \quad (14)$$

ahol β az 1. közegre érvényes terjedési tényező, a_1 és a_2 a hullámok amplitúdóváltozását írják le, azaz széttartó vagy összetartó viselkedésének kifejezői (célszerű normalizált, dimenzió nélküli alakban választani őket), p_1 és p_2 fázisfüggvények és E_{10} és E_{20} a két hullám amplitúdója. A geometriai optika törvényei a

$$(\nabla p)^2 = 1 \quad \text{és} \quad \nabla(a^2 \nabla p) = 0 \quad (15)$$



16. ábra. a) Hologram felvétele két sugár segítségével, b) az előhívott hologram referenciahullámmal való megvilágítása, $x = c(y)$ a holografikus anyagot határoló görbe, ami a legtöbb gyakorlati esetben egy egyenes

alakban jelennek meg és eikonál-, illetve transzport-egyenlet néven ismeretesek. (Ez utóbbi egyenlet tulajdonképpen az energia megmaradását fejezi ki.)

A permittivitás változása, amint említettem, a beeső térerősség négyzetével arányos. Ha kiszámítjuk $|E|^2$ -t, a kifejezésnek azon tagja, amelyik a periodikus modulációt hozza létre, a következőképpen néz ki:

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_1 a_1 a_2 \cos \beta(p_1 - p_2). \quad (16)$$

A kérdés most az, hogy egy beeső hullám miképpen terjed az ilyenén modulált közegben. A matematikai megoldást a hullámegyenlet adja, amelybe a tértől függő permittivitást kell behelyettesíteni. Fenti jelöléseinkkel a megoldandó egyenlet:

$$\nabla^2 E + \beta^2 \left\{ 1 + \frac{\varepsilon_1 a_1 a_2}{2\varepsilon_{r0}} [e^{j\beta(p_1 - p_2)} + e^{-j\beta(p_1 - p_2)}] \right\} E = 0. \quad (17)$$

E a fenti egyenletben a tetszőleges (x, y) pontban uralkodó elektromos térerősséget jelenti. Ha most az 1-es indexszel jelölt hullámot tekintjük referenciasugárnak és az előhívott hologramot ezzel a sugárral megvilágítjuk (16b ábra), akkor a tárgysugárnak meg kell jelennie a hologramban. A hologram bemenetén csupán a referenciasugár lesz jelen, tehát E_{10} értéke állandó. Viszont, amint a referenciasugár behatol a hologramba, egy része mindjárt átalakul a tárgysugárrá. Általánosságban tehát E_{10} és E_{20} az x és y koordinátáktól fog függeni. Ezek szerint célszerű a hullámegyenlet megoldását a (14) kifejezések formájában keresni. Behelyettesítve a (14) kifejezéseket a (17) egyenletbe, láthatjuk, hogy a ∇^2 operáció csupán $\exp(-j\beta p_1)$ és $\exp(-j\beta p_2)$ exponenciális tagokat hoz létre.

A

$$[e^{j\beta(p_1-p_2)} + e^{-j\beta(p_1-p_2)}] \cdot [A_1 e^{-j\beta p_1} + A_2 e^{-j\beta p_2}] \quad (18)$$

kifejezés viszont a két előbbi kifejezésen kívül az $\exp[j\beta(p_1-2p_2)]$ és $\exp[-j\beta(2p_1-p_2)]$ tagokat is tartalmazza. Nyilván ezek a hullámok is terjedhetnek a hologramban. Ha ε_1 , tehát a moduláció mélysége, elegendően kicsi, akkor fizikailag feltételezhetjük és matematikailag bebizonyíthatjuk, hogy csak az $\exp(-j\beta p_1)$ és $\exp(-j\beta p_2)$ -val jelzett hullámok lesznek jelen és a többiek elhanyagolhatók. Ezen egyszerűsítés után könnyű E_{10} -ra és E_{20} -ra differenciálegyenleteket levezetni, csak az $\exp(-j\beta p_1)$ és $\exp(-j\beta p_2)$ tagok együtthatóit kell nullával egyenlővé tenni. Mivel a hullámfront változása csak lassan jöhet létre, E_{10} -nek és E_{20} -nak lassan változó függvényeknek kell lenniük. Ezért második differenciálhányadosukat elhanyagolhatjuk. Figyelembe véve a (15) egyenletet és elvégezve a kijelölt számításokat, a következő parciális differenciálegyenlet-rendszert kapjuk [12]:

$$\nabla E_{10} \nabla p_1 + j\kappa a_2^2 E_{20} = 0 \quad (19)$$

és

$$\nabla E_{20} \nabla p_2 + j\kappa a_1^2 E_{10} = 0, \quad (20)$$

ahol $\kappa = \varepsilon_1 \beta / 4\varepsilon_{r0}$.

Ha az 1e ábrán látható egydimenziós, szimmetrikus esetet vizsgáljuk, a fázisfüggvények a

$$p_1 = x \cos \varphi + y \sin \varphi \quad \text{és} \quad p_2 = x \cos \varphi - y \sin \varphi \quad (21)$$

alakot öltik, továbbá $a_1 = a_2 = 1$ és $\partial/\partial y \equiv 0$, mivel beeső síkhullámok esetén nem lehet változás az y irányban. Ezen egyszerűsítések után a (19) és (20) egyenlet a következő formára redukálódik:

$$\cos \varphi \frac{dE_{10}}{dx} + j\kappa E_{20} = 0 \quad (22)$$

és

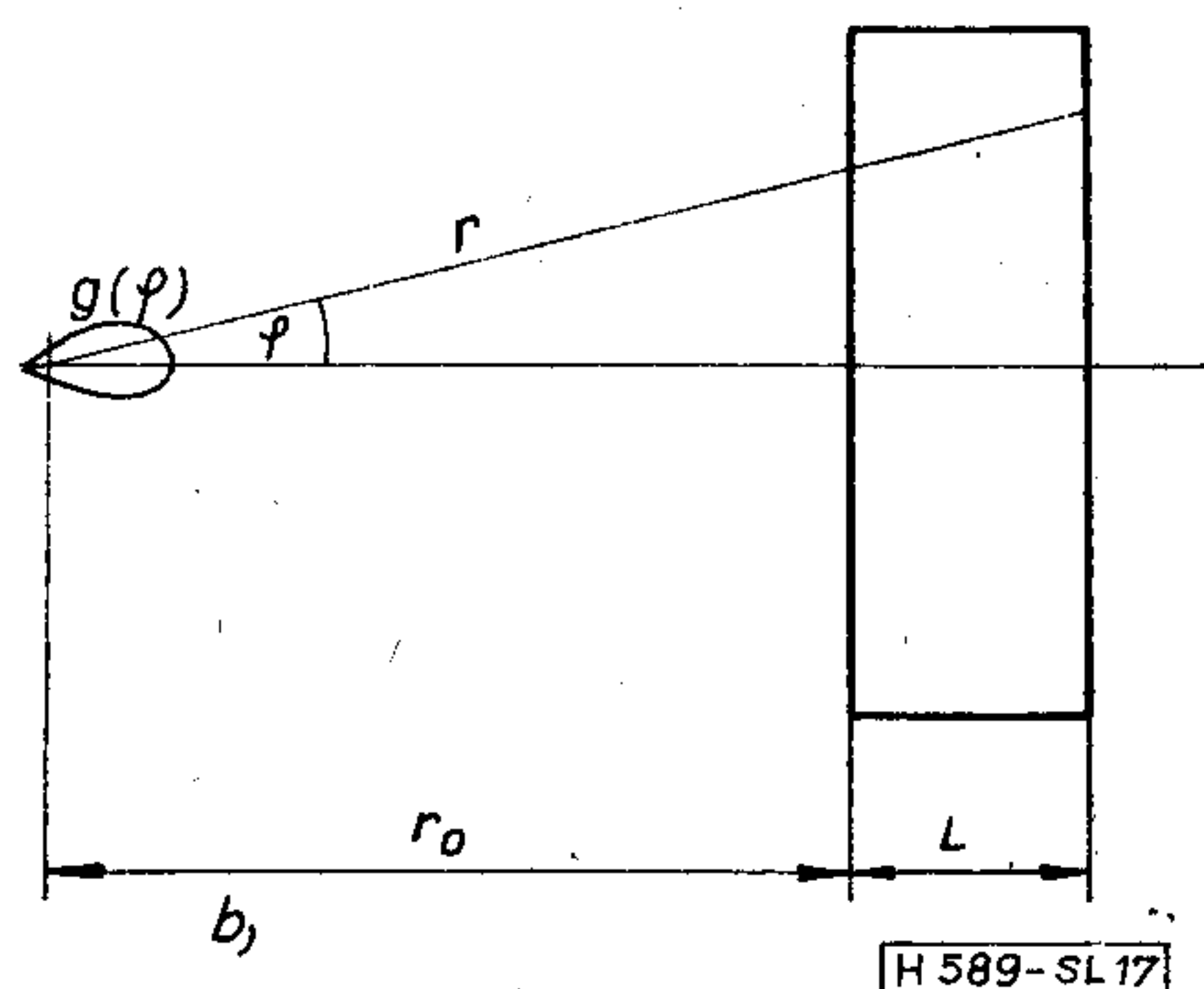
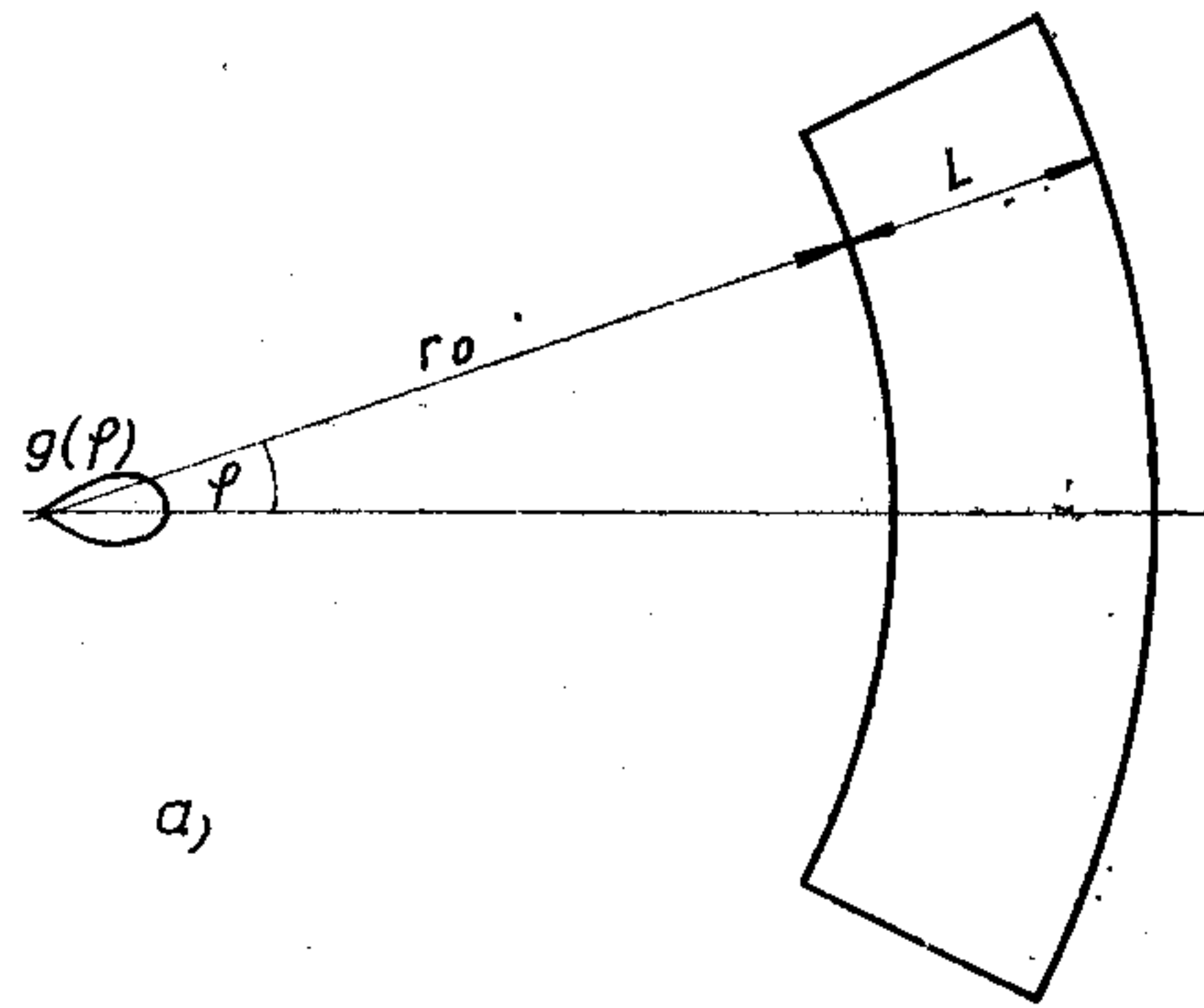
$$\cos \varphi \frac{dE_{20}}{dx} + j\kappa E_{10} = 0. \quad (23)$$

A megoldást most egyszerű trigonometrikus függvények alakjában kaphatjuk. Könnyű bebizonyítani, hogy a $\xi = 0$ (referenciasugár változatlan) esetben a megoldás a (6) egyenlettel azonos, tehát sikerült Kogelnik eredményeit a kétdimenziós elméletből levezetnünk (bajban lettünk volna, ha nem sikerült volna).

Következő példánkban a $g(\varphi)$ irányítványozóval rendelkező hengerhullámot akarjuk síkhullámmá átalakítani. A (19) és (20) egyenletekbe helyettesítendő függvények ekkor az

$$a_1 = g(\varphi) \left(\frac{r_0}{r} \right)^{1/2}, \quad a_2 = 1, \quad p_1 = r, \quad p_2 = x \quad (24)$$

alakban írhatók, ahol r és φ polárkoordináták az (x, y) síkban, r_0 pedig egy normalizálásra szolgáló paraméter (17. ábra). A differenciálegyenletek megoldása most már egyáltalán nem triviális és sikerünk nem annyira saját génuszunknak, inkább az Oxfordban nagy számban található matematikusok bölcs tanácsainak köszönhető. Hengeres bemenő felület ese-



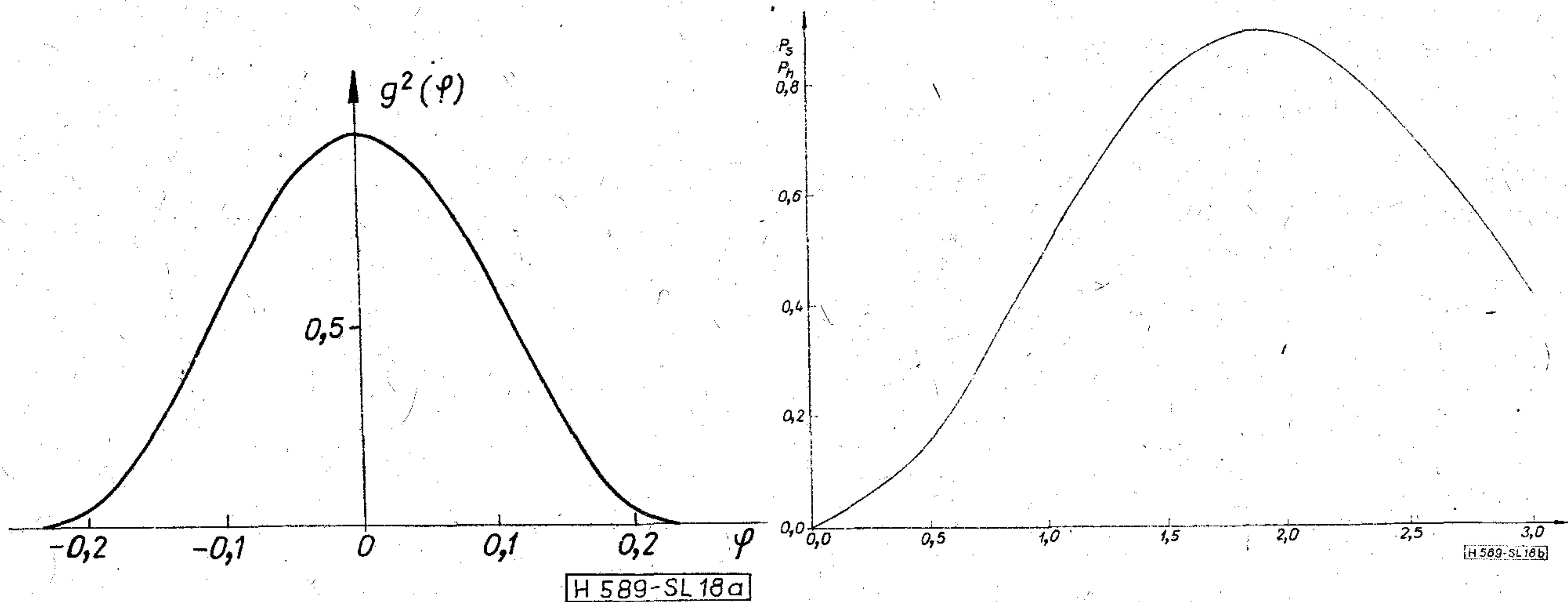
17. ábra. a) Hengeres, b) sík bemenő felületű hologram, amelyek hengerhullámnak síkhullámmá való átalakítására szolgálnak

tén (17a ábra) a zárt analitikus formában kapott megoldást a [13] referencia tartalmazza és hasonló kifejezést lehet levezetni a sík bemenő felület (17b ábra) számára is.

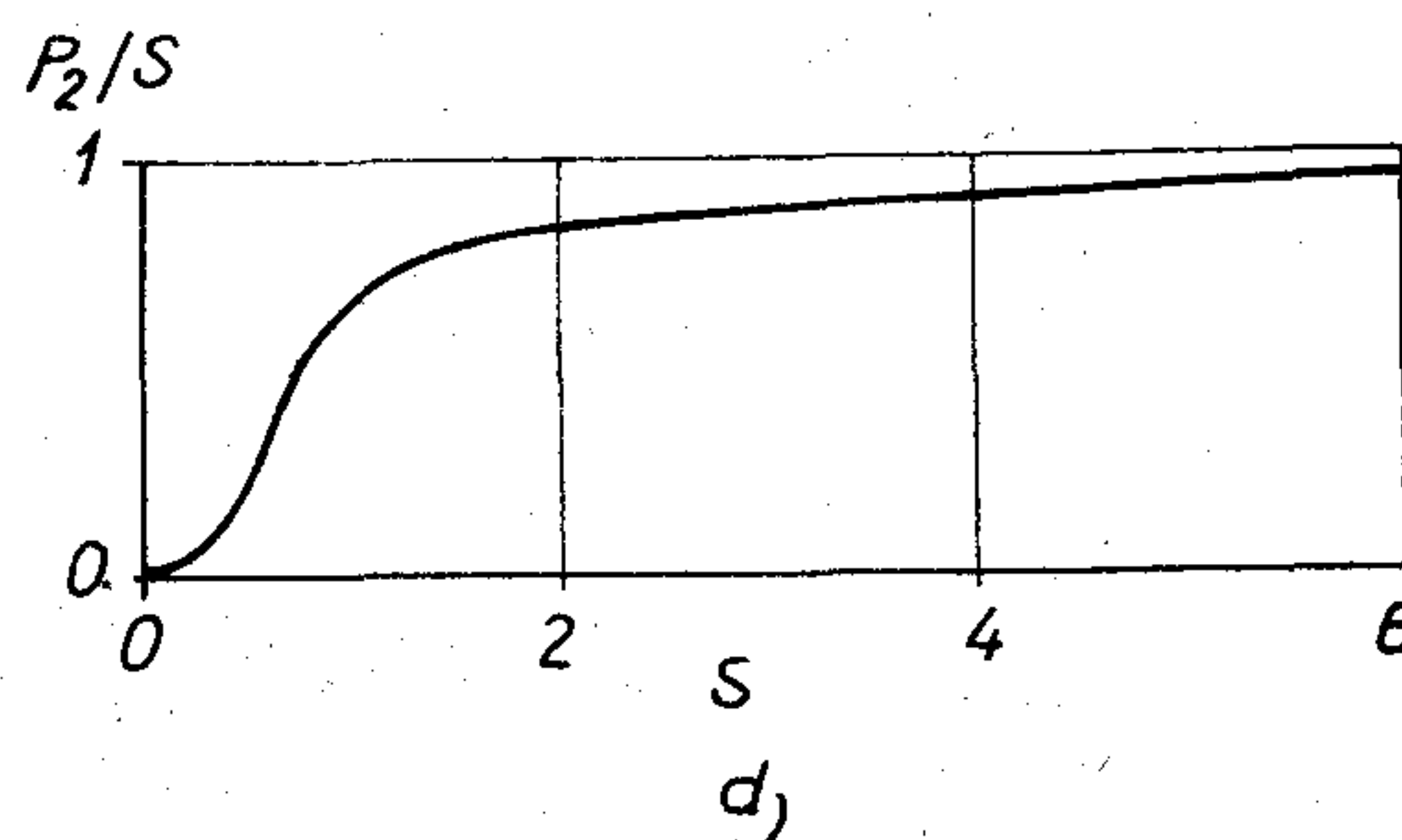
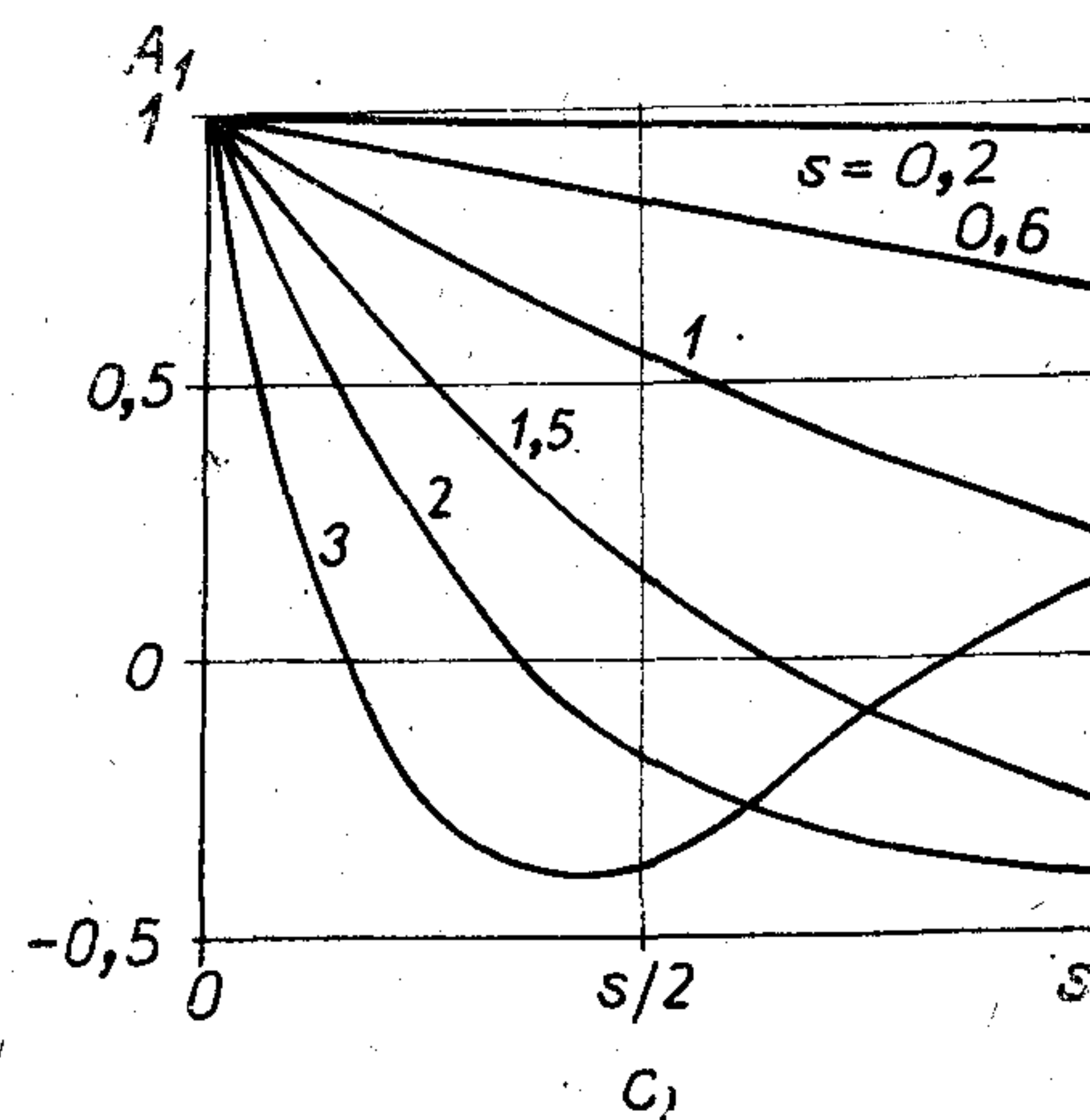
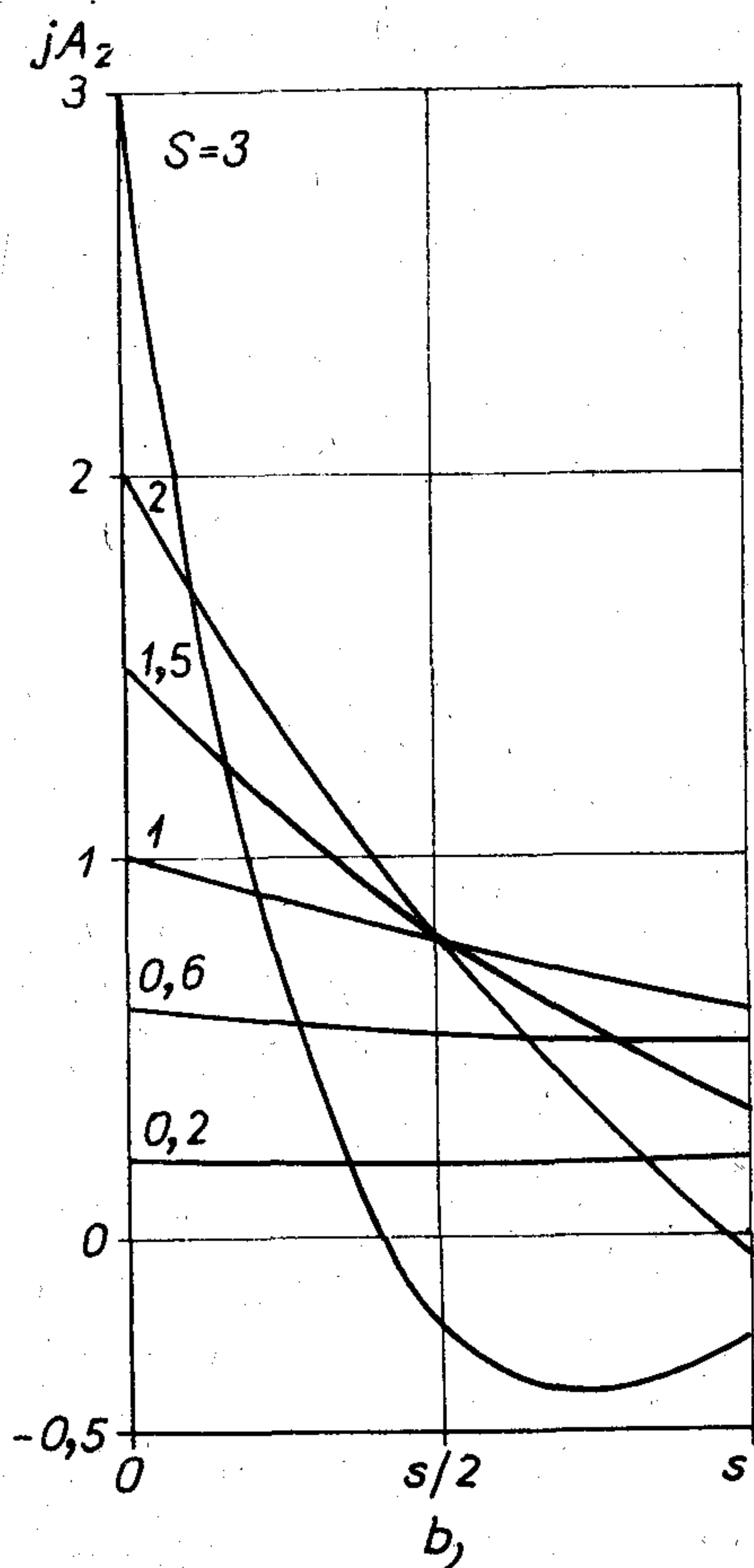
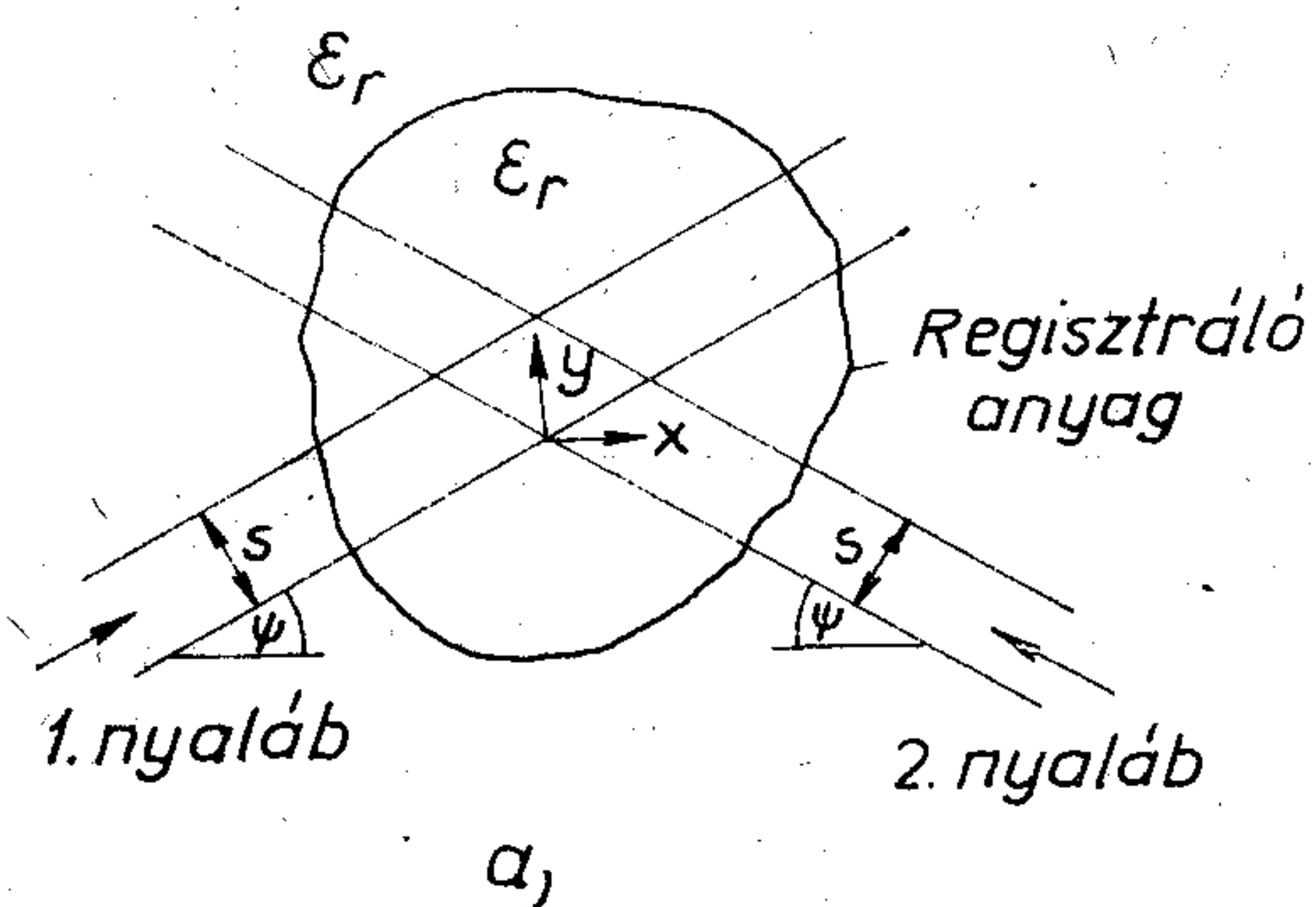
A síkhullámba átvitt relatív teljesítményt sík bemenő felület és a 18a ábrán látható iránytényező esetén a 18b ábra mutatja a hologram normalizált vastagságának függvényében. A maximális hatásfok kb. 90 százalék. Elvben a 100%-os hatásfok is elérhető, de sík kimenő felülettel nem valósítható meg.

Az előbbi példa azt mutatja, hogy meglehetősen jó hatásfokkal lehet egy hullámfrontot egy másikba átalakítani. A következő példánkban azt kívánom szemléltetni, hogy óvatosságra van szükség, mert a magas hatásfok csak bizonyos, gyakran elfogadhatatlan áldozatok árán érhető el.

Vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor egy nagyon vastag holografikus anyagban a hologramot két véges síkhullámmal hozzuk létre. Akkor a 19. ábrán látható módon az anyag csak ott lesz modulálva, ahol mindkét nyaláb jelen van. Az előhívott hologramot az 1-es nyalábbal megvilágítva, a (19) és (20) egyenlet megoldása meglehetősen egyszerű Bessel-függvények formájában kapható [14]. Numerikus eredmények, abban az esetben, amikor a nyalábok merőlegesen metszik egymást, a 19b, c és d ábrákon láthatók, ahol $S = \kappa s$ normalizált, dimenzió nélküli paraméter, s pedig a nyaláb szélessége. Ha most S -et változtatjuk, de úgy, hogy s állandó maradjon és csak κ , vagyis a moduláció mélysége változzék, akkor elvárhatjuk, hogy elegendően nagy moduláció esetén a referencianyaláb összes energiája a tárgy-



18. ábra. a) Hengerhullám feltételezett iránytényezője, b) P_s/P_h a normalizált vastagság xL függvényében, ahol P_s a síkhullámban levő teljesítmény és P_h a hengerhullámban kisugárzott teljesítmény



19. ábra. a) Hologram felvétele két véges síkhullám segítségével, melyek a holografikus anyag belsejében metszik egymást, b) a 2-es nyaláb amplitúdóeloszlása a hologram kimenetén, c) az 1-es nyaláb amplitúdóeloszlása a hologram kimenetén, d) a 2-es nyalábba átvitt relatív teljesítmény

nyalábba megy át. A 19d ábra szerint ez valóban igaz. $S=6$ esetében az energiaátvitel majdnem 100%-os. Érdekes viszont megfigyelni a magas hatásfok következményeit. Amikor $S=0,2$, a hatásfok alacsony és a 2-es hullám amplitúdója (19b ábra) megközelítően állandó, tehát hűségesen visszaadja a tárgynyaláb eredeti amplitúdóeloszlását. Azonban S növekedése esetén a rekonstruált tárgynyaláb amplitúdóeloszlása egyre kevésbé hasonlít az eredetihez és ugyanez vonatkozik a referencianyalábra, amint a 19c ábra mutatja. Tehát legalábbis ebben az esetben, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a magas hatásfok maga után vonja a nyalábok amplitúdójának gyors változását. Némely alkalmazásban ez nagyon káros lehet, tehát vigyáznunk kell. A két-dimenziós esetben már nem mondhatjuk azt, hogy a 100%-os energiaátvitel mindig elérhető.

Gyakorlatilag végtelen számú esetet lehetne a (19) és (20) egyenletekből kiszámítani. Ha a referenciális tárgynyaláb két Gauss-függvény [15], vagy egy Gauss-függvény és egy véges síkhullám [16], a végső konklúziók hasonlóak: 100%-os energiaátvitel csak bizonyos körülmények között érhető el.

Csupán egy esetről szeretnék még beszélni, amikor a tárgy hullám nem elégíti ki a geometriai optika törvényeit. Ilyenkor a fent levezetett két hullámú megoldás nem érvényes. A tárgysugarat ekkor N hengerhullámból kell összeállítanunk. A levezetés hasonló, de a kapott parciális differenciálegyenlet-rendszer sokkal bonyolultabb [17]. Érdekes módon egy egyszerű megoldást kaphatunk, ha feltételezzük, hogy a referencianyaláb síkhullám és lényegesen nagyobb amplitúdójú, mint bármelyik hengerhullám, továbbá a hengerhullámok a hologramra a tengellyel majdnem párhuzamosan esnek be (az optikában gyakran használt ún. paraxiális közelítés). Ebben az esetben a rekonstruált tárgynyalábhöz tartozó hullámokat trigonometrikus függvények írják le és kimutatható, hogy mind a 100%-os hatásfok, mind a tökéletes tárgynyaláb rekonstrukció lehetséges.

Az elméleti munka még távolról sincs befejezve. A (19) és (20) parciális differenciálegyenlet-rendszer általános megoldását ugyan sikerült megtalálni [18] és gömbhullámnak síkhullámmá való átalakítását leíró egyenleteket is levezettünk [19], az általános háromdimenziós probléma azonban még megoldatlan. A fő nehézség az, hogy az általános esetben mindkét hullám elektromos terének leírásához három komponensre van szükség és az ebből származó hatváltozós parciális differenciálegyenlet-rendszert egyelőre nem sikerült egyszerűsíteni.

5. Anyagok

Erről a témáról keveset fogok beszélni, egyrészt azért, mert ez az a terület, ahol a legnagyobb változás várható és ahol a publikált eredmények a leggyorsabban avulnak el, másrészt azért, mert nagyon keveset tudok róla. Az kétségtelen, hogy százával vannak olyan anyagok (Biedermann [20] cikke jó összefoglalást ad az 1975-ig kifejlesztett anyagokról), amelyek vastag hologramok felvételére alkalmasak, de olyan egy sincsen, amelyiknek meg volnának az

összes kívánatos jótulajdonságai. Az egyik nem elég érzékeny, a másik túl sok szórt hullámot ad, a harmadik nem sokáig tartja az információt, a negyediket nem lehet a szükséges vastagságban előállítani stb. Itt csupán négy anyagot kívánok megemlíteni: (1) LiNbO_3 , amelyben nemrég sikerült a beírt információt szelektíven törölni [21]; (2) kámforkinon, amelyben az említett 550 hologramot tárolták [11]; (3) polimetil alfa-cianoakrilát, melyet parabenzokinonnal tesznek érzékennyé [22] és (4) egy fotopolimer tartalmazó üvegmátrix, amely egyesíti magában a fényképszeti filmek jó tulajdonságait és elegendő vastagságban előállítható [23].

6. Epilógus

A vastag hologramok egészen különleges helyet foglalnak el az optika különféle elemei között. Tulajdonságaik leírásához teljesen új elméletre van szükség, amely jobban hasonlít a Röntgen-sugarak diffrakciójának elméletéhez, mint az optikai elemeket általában leíró Fourier-transzformációhoz. Potenciális felhasználási területük kétségtelenül széles, hogy lesz-e belőlük valami vagy sem, az kizárólag az anyagok megbízhatóságától és előállítási árától függ. Az ötletek önmagukban nem elegendők. A holográfia feltalálásáról például kevesen tudnának ma, ha a később feltalált lézer nem tette volna lehetővé a vékony hologramok gyakorlati megvalósítását. Hasonlóképpen, az elektron-transzferrel működő erősítők és oszcillátorok sohasem kerültek volna gyakorlati használatba a GaAs félvezetőtechnika tökéletesítése nélkül.

Én, egyénileg a vastag hologramok tulajdonságainak tanulmányozását rendkívül érdekesnek tartom. Ezért befejezésül talán Voltaire mondását idézhetem (némileg megváltoztatva): „Si l'holographie de volume n'existait pas, il faudra l'inventer”.

IRODALOM

- [1] H. Kögelnik: Coupled wave theory for thick hologram gratings, B. S. T. J., 48, 2909–2947, 1969.
- [2] G. Lippmann: Sur la théorie de la photographie des couleurs simples et composées par la méthode interférentielle, J. Physique, 3, 97–107, 1894.
- [3] D. Gabor: A new microscopic principle, Nature, 161, 777–779, 1948.
- [4] Yu. N. Denisjuk: Photographic reconstruction of the optical properties of an object in its own scattered radiation field, Doklady Akademii Nauk SSSR, 144, 1275–1278, 1962.
- [5] A. M. P. P. Leite, O. D. D. Soares and E. A. Ash: Optical fibre bundle holographic coupler, to be published in IEE J. on Microwaves, Optics and Acoustics (MOA).
- [6] H. Nishihara, S. Inohara, T. Suhara and J. Koyama: Holocoupler: a novel coupler for optical circuits, IEEE J. QE-11, 794–796, 1975.
- [7] G. Goldmann and H. H. Witte: Holograms as optical branching elements. Opt. Quant. El., 9, 75–78, 1977.
- [8] E. A. Ash, E. Seaford, O. Soares, and K. S. Pennington: Holographic coupler for integrated optics, Appl. Phys. Letts., 24, 207–208, 1974.
- [9] L. K. Anderson: Holographic optical memory for bulk data storage, Bell Lab. Rec. 46, 1267, 1967.
- [10] L. d'Auria, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz: Experimental holographic read-write memory using 3-D storage, Appl. Opt., 13, 808–818, 1974.
- [11] R. A. Bartolini, A. Bloom and J. S. Escher: Multiple

- storage of holograms in an organic medium, Appl. Phys. Letts., 23, 506—507, 1976.
- [12] L. Solymar: Power conservation theorem for 2-dimensional volume holograms, Elect. Letts., 12, 606—607, 1976.
- [13] L. Solymar and M. P. Jordan: Analysis of cylindrical to plane-wave conversion by volume holograms, Elect. Letts., 12, 142—143, 1976.
- [14] L. Solymar and M. P. Jordan: Finite beams in large volume holograms, MOA, 1, 89—92, 1977.
- [15] L. Solymar and M. P. Jordan: Two-dimensional transmission type volume holograms for incident plane waves of arbitrary amplitude distribution, Opt. Quant. Elect., 9, 437—444, 1977.
- [16] P. St. J. Russell and L. Solymar: On the fidelity of reproduction by volume holograms (memorandum of the Department of Engineering Science, Oxford University, 16 August, 1977, shortly to be submitted for publication.
- [17] L. Solymar: Two-dimensional N-coupled-wave theory for volume holograms, to be published in Optics Communications.
- [18] W. E. Parry and L. Solymar: A general solution for two-dimensional volume holograms, Opt. Quant. Elect. 9, 527—531, 1977.
- [19] M. P. Jordan, R. Kompfner, C. J. R. Sheppard and L. Solymar: Coupling of optical fibres by means of volume holograms, Proc. 6th Eur. Mic. Conf. 1976, Rome, 438—442.
- [20] K. Biedermann: Information storage materials for holography and optical data processing, Opt. Acta, 103—124, 1975.
- [21] J. P. Huignard, J. P. Herriau and F. Micheron: Selective reasure and processing in volume holograms superimposed in photosensitive ferroelectrics, Ferroelectrics, 11, 393—396, 1976.
- [22] A. A. Friesem, Z. Rav-Noy, S. Reich: A photodielectric polymer for holographic recording, Appl. Opt. 16, 427—432, 1977.
- [23] E. A. Chandross, W. J. Tomlinson and C. D. Aumiller: Latent-imaging photopolymer systems, to be published.

EGYESÜLETI HÍR

Műszaki nap a Posta RTV Igazgatóságnál

A tudományos egyesületek helyi csoportjai működési lehetőségének jó kihasználására mutatott példát a Közlekedéstudományi Egyesület Postai és Távközlési Tagozata, amikor a Posta Rádió és Televízió műszaki Igazgatósággal karöltve műszaki pályázatot hirdetett a munkaverseny mozgalommal összhangban felsőfokú végzettséggel rendelkező szakemberek számára időszerű gyakorlati feladatok megoldására.

30 évnél fiatalabb pályázók pályamunkája egyben az Alkotó Ifjúság, illetve az FMKT mozgalmakon való részvételt is jelentette. A jelígis pályamunkákat a zsűri szakmai színvonal, újszerűség, gyakorlati felhasználhatóság és a pályamű felépítésmódja alapján bírálta el. A legsikeresebb munkákat a felügyelet nélküli üzemeltetés távvezérlés, távkezelés témakörben nagy sikerű nyilvános műszaki napon elhangzott előadásokon ismertették a pályázók 1978. március 16-án a KTE Népköztársaság úti előadótermében.

Pályázati felhívás

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat pályázatot hirdet

„Kutatás és gyakorlat”

címmel. A pályázat célja olyan új utak, lehetőségek feltárása, amelyek segítségével a Társulat, a tagjai által képviselt kutatóintézetek és más kutatócsoportok a jelenleginél aktívabban és eredményesebben vehetnek részt a vállalatok vagy népgazdasági ágazatok problémáinak megoldásában. Mind konkrét kutatási feladatokra, mind szervezési, együttműködési formákra vonatkozó javaslatokat örömmel fogadunk.

A pályázatokat írásban az Eötvös Loránd Fizikai Társulat titkárságára kell benyújtani 1978. december 31-ig,

díjazásukra 20 000,— Ft

áll rendelkezésre, ami a maximális 3 legjobb pályázat között kerül felosztásra.

A pályázatokat jelíggel kérjük beküldeni. Elbírálásukra különböző szakágazatok képviselőiből álló bizottságot kérünk fel. Döntését március 31-én a Társulat Titkárságán tesszük közzé.

Eötvös Loránd Fizikai Társulat
vezetősége

KITÜNTETÉSEK

A rádió-kommunikációs berendezések és rendszerek kutatása, fejlesztése és gyártása területén kifejtett több évtizedes munkásságukért a Magyar Népköztársaság Minisztertanácsa Állami Díjat adományozott megosztva

Dr. Almássy Györgynek, egyesületünk főtítkárának, Btró Ferencnek, egyesületünk elnökségi tagjának, dr. Kenderessy Miklósnak, a MATE elnökségi tagjának, Lóránt Imrének és Szőnyi Istvánnak, egyesületünk Rádió és Televízió Szakosztálya keretében működő Kommunikációs Osztályvezetőjének.

A kitüntetetteknek az MTESZ egyesületeiben, különösen egyesületünkben végzett tevékenysége nemcsak saját szakmai területük fejlődését segítette elő, de a szakemberek összefogásával, társadalmi munkára mozgósításával, az ifjúság nevelésével, lelkesítésével nagymértékben elősegítették a magyar híradástechnikai ipar fejlődését.

Az MTESZ Vezetősége dr. Kormány Terézt, egyesületünk títkárát MTESZ-díjjal tüntette ki.

Kollégáinknak magas kitüntetésükhöz őszinte tisztelettel gratulál és további munkásságukhoz sok sikert kíván a Híradástechnika szerkesztősége.

Eredmények és feladatok a hibrid vastagréteg technikában

ETO 621.3.049.776.21

Általános áttekintés

A magyar elektronikai ipar előtt álló hosszú távú feladatok, elektronikai alkatrésziparunk jelenlegi helyzete, egyre fokozottabban előtérbe állítják az alkatrészipar megoldásra váró kérdéseit, a korszerű alkatrészek fejlesztésének és termelésének problémáit.

A IV. ötéves tervidőszakban elért eredmények, hosszú távú prognózisok sokoldalúan elemzett adatai azt mutatják, hogy a félvezető alapú integrált áramkörök és az elektromechanikai elemek mellett a szigetelő alapú integrált áramkörök vonatkozásában várható az igények legdinamikusabb fejlődése, és ennek megfelelően sűrűsödnek a megoldásra váró feladatok is. E termékcsoporthoz, berendezésorientált és integrált jellegénél fogva közvetlen kihatása lesz a berendezések áramköri felépítésének korszerűségére, ezért az igényeknek nemcsak a minőségi és mennyiségi vonatkozása lesz fontos, hanem a funkció/egység száma is.

A szigetelő alapú vastag- és vékonyréteg áramköri technika magában hordozza egyrészt a további integrálás lehetőségét (többrétegű technikák), másrészt egyenes folytatásaként tekinthető a passzív RC elemek fejlődésének.

Biztosra vehető a felhasználás kiterjesztése az igen nagy frekvenciás tartományokra, továbbá a bővülő alkalmazási kört szolgáló technológiai eljárások dinamikus változása. Az áramkörök berendezésorientált jellege miatt igen fontos feladat lesz a berendezésgyártó és alkatrészipar közötti szoros, alkotó együttműködés biztosítása.

Ebben az alkatrészcsoporthoz rendkívül hatékony kutatás-fejlesztésre és intenzív gyártásbevezetésre lesz szükség, ha lépést akarunk tartani a világ alkatrésziparában végbemenő fejlődéssel és ki akarjuk elégíteni a berendezésgyártó iparunk igényeit.

A szigetelő alapú integrált áramkörök termékcsoportjából a továbbiakban a vastagréteg áramkörökkel foglalkozunk részletesebben, de egyes esetekben utalunk a hibrid integrált áramkörök teljes technológiai választékára.

Az elmúlt évtized kutatási-fejlesztési eredményeinek alapján (az alaptermék beállítása 1969–70. években történt meg HIKI—REMIX együttműködés keretében, felhasználva a passzív alkatrészek több mint 40 éves hazai fejlesztéséből származó tapasztalatokat is), hazánk jelenleg saját kutató- és kísérleti gyártó bázissal rendelkezik a hibrid integrált technika minden lényeges változata területén.

Természetesen egy adott technológia, esetünkben a vastagréteg áramköri technológia nem önmagáért terjedt el, alkalmazását és elterjedését a felhasználhatóság és a gazdaságosság határozzák meg. Ma már

a vastagréteg áramköri technológiával előállított áramköröket, akár ellenálláshálózatról, akár hibrid kivitelről legyen szó, számítógépekben, műszerekben, erősítőkben, híradástechnikai berendezések építőelemeiként, a gépjármű elektronikában, a szórakoztató elektronikában, a gyógyászatban, a rakétatechnikában, az űrhajózásban egyaránt felhasználják, s alkalmazási területeik száma egyre növekszik.

Bár a hibrid technika viszonylag rövid múltra tekint vissza, alkalmazása jelentősen elterjedt és a világ teljes elektronikai alkatrész-felhasználásában figyelemre méltó hányadot képvisel napjainkban is és a jövőben még inkább, ahogy azt a következő táblázat is mutatja:

Megnevezés	1965	1975	1985
A világ teljes elektronikai alkatrész-felhasználása (m\$)	9870	21 319	45 654
Ebből: hibrid IC (m\$)	388	953	2442
Részarány (%)	3,9	4,5	5,2

Megjegyzés: a táblázat az ELECTRONIC INDUSTRIES ASSOCIATION (EIA) egész világra vonatkozó, 1965–1975. évi tény- és prognózisadatainak felhasználásával készült (Washington, 1972. május).

Egyes források szerint:

- Az USA 1972. évi integrált áramköri forgalmában a hibrid áramkörök és integrált hálózatok értékben 18,7%-ot képviseltek.
- Nyugat-Európára vonatkozó becslések a hibrid áramköri termelés értékben kifejezett növekedését 1970–75 között évi 38%-ban adták meg, míg 1975–80 között évi 29% növekedést várnak.
- Japánban a hibrid áramkörök területén 1980-ra 1975-höz képest háromszoros növekedés várható, ami a hibrid áramkörök 16–18%-os részesedését eredményezi a teljes integrált áramköri forgalmon belül, az 1970. évi 8%-kal szemben.
- Az ISHM, az áramkörgyártókat és felhasználókat magába foglaló Nemzetközi Hibrid Mikroelektronikai Társaság 1977. évi közlése szerint az USA 1977. évi teljes hibrid integrált áramköri gyártása 1,2 mrd \$-t, a nyugat-európai gyártás mintegy 200 m\$-t tett ki és a növekedés tendenciája különösen az USA-ban számottevő. Ezen tekintélyes termelés túlnyomó többsége vastagréteg technikára épül.

Az előzőekből látható, hogy a hibrid áramkörök, s ezen belül a vastagréteg áramkörök iránti igény folyamatosan növekszik, és figyelembe véve az elekt-

ronikai ipar termékei iránt hosszú távon megnyilvánuló érdeklődést, ezek az igények szinte korlátlanok.

Melyek azok az előnyök, amelyek a szigetelő alapú integrált áramköröket és ezen belül a vastagréteg áramköröket a felhasználók részére vonzóvá teszik? Ezek a következőkben foglalhatók össze:

- Az áramkör egyedi igények alapján megtervezhető és paramétereiben maximálisan igazodhat a berendezés különleges követelményeihez.
- A mintapéldányok viszonylag gyorsan, átlag 3 hónap alatt elkészíthetők és a berendezés fejlesztésekor felmerülő igények, tapasztalatok alapján az áramkör módosítható.
- Kis sorzatú igény is biztosíthat gazdaságos gyártást.
- A szilárd hordozóanyaggal történő színterelés és a nemesfémek alkalmazása az áramkörök nagyfokú megbízhatóságát eredményezik.
- A vastagréteg hálózatba — a feladatnak megfelelően — tetszés szerinti aktív és passzív hibrid elem, illetve ezek kombinációja, valamint félvezető alapú integrált áramkörök is (tokozott vagy chip kivitelben) beültethetők.
- Nagy előnye ennek a technológiának egyéb technológiákkal szemben a különleges tisztasági követelményektől mentes additív előállítási folyamat.
- A diszkrét elemekből szerelt egységekhez képest csökkent a forrasztási helyek és egyéb csatlakozási pontok száma.
- A félvezető technikához képest a szükséges gépi beruházások viszonylag csekélyek, a berendezések a gyártási folyamatban sokszorosan és rugalmasan kihasználhatók.
- A folyamat automatizálása a teljességig fokozható. Egyes nemzetközi számvetések 9–3%-os bérköltséghányaddal számolnak.
- A kis térfogat és csekély súly miatt jelentős anyagmegtakarítás adódik, amely különösen a nemesfémek vonatkozásában figyelemreméltó.
- A technológiai folyamat során környezetszennyező anyag nem keletkezik.
- Az alkalmazott hordozó kerámiák jó elektromos tulajdonságai, az alkatrészek és vezetők geometriája, elrendezése kedvező, jól reprodukálható nagyfrekvenciás tulajdonságokat eredményez, amelyek 10 GHz feletti frekvenciatartományban is felhasználhatóvá teszik a vastagréteg technológiát.
- Ugyanazon geometriai méret mellett különböző nagyságrendbe tartozó ellenállásértékek valósíthatók meg, dekadikus fajlagos ellenállású paszta sorozatokkal.
- Azonos technológiával állítható elő vezető-szigetelő-ellenállás hálózatok rétegrendszer, és ez biztosítja a csoportos integrálás lehetőségét, a nagyobb bonyolultságot, nagyobb megbízhatóságot.
- A jó minőségű szigetelőpaszták a több jelsíkos (multilayer), tehát három dimenziós hálózatok elkészítését is lehetővé teszik.
- A vastagréteg áramkörök hőleadása a jó hővezető képességű kerámiahordozók közvetítése útján egyszerűen biztosítható (kis hőellenállású tokkonstrukció).

— A vastagréteg áramköri elemek a rövid idejű túlterheléseket, hőlökéseket jól elviselik. A jó hővezető képességű hordozó ezen felül gátolja meleg pontok kialakulását.

A jelenlegi vastagréteg technológia az 1960-as évek technológiájától nem az alapvető eljárások tekintetében különbözik, hanem fejlettségi szintjében, minőségi mutatóiban, és alkalmazási területének jelentős kibővülésében változott meg. A korábbi R hálózatok mellett bonyolult hibrid áramkörök, sőt igen nagy áramköri bonyolultságot jelentő komplex hibrid áramkörök is egyre nagyobb számban készülnek.

A vastagréteg technológia rövid ismertetése

A szitanyomtatott vastagréteg hibrid áramkörök előállítását a következőkben megadott technológiai folyamatára alapján ismertetjük (1. ábra). A konkrét áramköröknél értelemszerűen több lépés is kimaradhat. (Az ismertetésben feltüntetett számok megegyeznek a technológiai folyamatára megfelelő számozásával.)

Az áramkörök kifejlesztése (1) a hibrid integrált áramköri technikában szoros együttműködést kíván a technológusokkal, mert a rétegtechnikában a hagyományos alkatrészek tulajdonságaitól alapvetően eltérő áramköri elemválaszték és megvalósítás lehetséges, ill. gazdaságos.

A végleges kapcsolási rajz és áramköri követelményrendszer alapján készül a mesterrajz 10...20-szoros nagyítással, majd erről a mesterfotó (2) 10...20-szoros kicsinyítéssel. A mesterfotóról kontakt másolással készítik a szitamaszket, amit feszes szitaszövetre rögzítenek. A rétegek vastagsága és egyenletessége az alapanyagok minőségétől (hordozók, paszták), a szitanyomtató berendezés beállításától és a szita finomságától, valamint feszségétől függ.

Az elkészített szitamaszkkal precíziós szitanyomtató berendezések egymás utáni lépésekben (4–9) nyomtatják a vezető, szigetelő és ellenálláspasztákat (5) a megfelelően tisztított alumíniumoxid kerámia hordozóra (3).

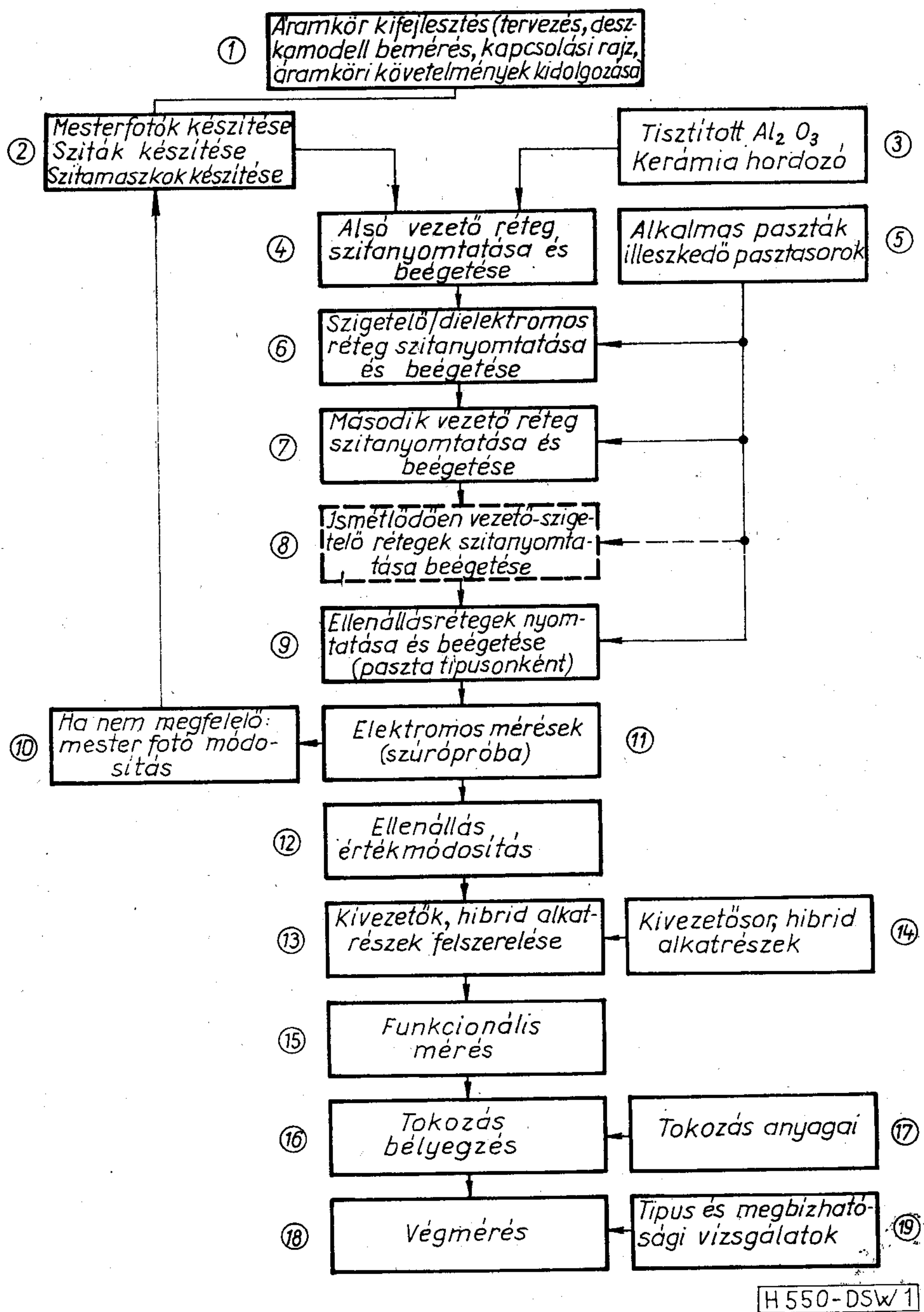
A vezető réteg biztosítja az áramköri elemek elektromos összeköttetését, a hibrid elemek szerelhetőségét, valamint az áramkörök kivezető lábsorának rögzítését.

A vezető rétegek legfontosabb jellemzője a tapadószilárdság és a vezetőképesség. Ha egy áramkörben szigetelt vezető kereszteződést vagy kapacitást kell megvalósítani, szigetelő/dielektromos rétegek szitanyomtatása válik szükségessé. A szigetelő/dielektromos rétegek legjelentősebb jellemzői a relatív dielektromos állandó és veszteségi tényező nagysága, szigetelési ellenállása és kompatibilitása a többi pasztával, ill. a technológia lépéseivel.

A többirétegű struktúrák vezető-szigetelő-vezető rétegeit ismételt nyomtatással és beégetéssel lehet kialakítani (8).

Az ellenállásértékek nagyságrendjétől függően más és más típusú paszta alkalmazása szükséges a különböző ellenállások megvalósításához. Általában legfeljebb három különböző fajlagos ellenállású pasztát alkalmaznak egy-egy áramkör előállításánál.

A szitanyomtatott vastagréteg hibrid áramkörök technológiai folyamatábrája



1. ábra

Az ellenállások fontos jellemzője az ellenállásérték, tűrés, hőfoktényező és zajtényező.

A nyomtatott és égetett ellenálláshálózatokat az ellenállások mérésével ellenőrzik, szűrőpróbaszerűen, vagy kritikus hálózatoknál minden példányon (11). Amennyiben a mérési adatok szerint valamelyik paszta fajlagos ellenállása; esetleg egy különleges alakú vagy elhelyezkedésű ellenállás értéke eltér a tervezett értéktől, úgy a megfelelő mesterfotót módosítják (10) és új szitamaszkat készítenek.

Szűkebb — általában 5–10%-nál szigorúbb — tűrés igénye esetén a kívánt érték beállítása az ellenállások beégetése után homokfúvással vagy lézer-

sugárral történik (12). Az értékeállítás (trimmelést) mérés és a hibrid alkatrészek, valamint a kivezetősor felszerelése követi (13, 14).

A funkcionális mérés (15) alapján megfelelőnek minősített áramkörök tokozásra (16, 17) kerülnek, majd a tokozás után minősítő végmérésen (18) esnek át. A szabvány előírásai szerint az egyes gyártott tételekből statisztikai módszerekkel kiemelt áramkörök típus- és megbízhatóság vizsgálatra kerülnek (19).

A továbbiakban a vastagréteg technika jellegzetes alapanyagairól és területeiről adunk rövid értékelést, úgy mint:

- kerámiahordozók,
- vastagréteg paszták,
- értékbeállítási módok,
- tokozási módok,
- felhasználható hibrid alkatrészek.

Hordozók

A vastagréteg technikában legelterjedtebben alumíniumoxid (Al_2O_3) kerámiahordozó lapkákat alkalmaznak. Az ilyen típusú hordozó előnyei a következők:

- ismétlődő, hirtelen hőmérséklet-változásnak jól ellenáll, a vastagréteg technikában alkalmazott fémaszták 800—1000 °C körüli beégetési hőmérsékletén is formatartó;
- hővezető képessége kb. egy nagyságrenddel nagyobb az üvegnél, s így megfelelő hődisszipáció biztosítható;
- kompatibilis a vezetőasztákkal, ill. a felvitt rétegekkel;
- nagy fajlagos felületi és térfogati ellenállása következtében az áramkör elemei közötti villamos átvezetést a minimálisra csökkenti;
- stabil és kedvező dielektromos sajátosságokkal rendelkezik;
- jól ellenáll a homokfúvásos értékbeállításnál felépő igénybevételnek;
- gazdaságos, bár előállítási ára magasabb a hagyományos szilikát kerámiák vagy üvegek előállítási áránál.

A vastagréteg áramköri felhasználásra legalkalmasabb a 96% Al_2O_3 tartalmú lapka. Ennek oka a következőkben keresendő: a vastagréteg előállítási eljárás a kerámiában levő üvegfázis és a vastagréteg paszta anyagának üvegkomponense közötti kölcsönhatáson alapul. A kerámiában az üvegfázis — amely a szemcsenövekedést gátló adalékok és az alumíniumoxid kölcsönhatásakor keletkezik a szinterelés hőmérsékletén — biztosítja a „vastagrétegek” jó tapadását, ugyanis a vastagréteg paszták a beégetés alatt ehhez az üvegfázishoz kötnek. Tekintettel arra, hogy magasabb (pl. 99,5%) alumíniumoxid tartalom mellett nem alakul ki a hordozóban ilyen üveges fázis, az ilyen hordozóra a szitanyomással felvitt szokásos vastagréteg adhéziója gyenge. A tapasztalatok szerint adhézió szempontjából a legkedvezőbb a 96% Al_2O_3 tartalmú kerámiahordozó. 90% Al_2O_3 tartalom alatt a kerámiák gyakran mutatnak nem egyenletes adalékelosztást, ami a pasztaanyagokkal történő reakció alkalmával az ellenállásértékek nagy szórásához vezet.

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy újabban kifejlesztettek olyan — üvegkomponenst nem tartalmazó — vastagréteg vezető pasztákat, melyeknél a réteg és a hordozó közötti kötés kémiai reakció útján jön létre. Ezek az ún. „frittmentes” paszták nagy tisztaságú alumíniumoxid-hordozók esetében is alkalmazhatók.

A 96%-os Al_2O_3 típusú kerámiák manapság leggyakrabban alkalmazott előállításakor finom szemcsés port hoznak létre, nedves vagy száraz közegű őrléssel. A szükséges adalékokat fémoxidok formájában juttatják az őrleménybe. Vastagréteg célokra

általában 3—6% SiO_2 -t adagolnak, az Al_2O_3 tisztasága 99,5—99,7%; az alkáli tartalom nem lehet több 0,2%-nál.

Ideiglenes kötőanyag felhasználásával történnek a ma legismertebb és leggyakoribb formázások, amelyek a következők:

- *Öntés.* Az egyik leghagyományosabb módszer. Lényege, hogy előzetes kivákuumozás után sík lapra vagy mozgó fóliára öntik a masszát, a vastagságot éles késsel történő lehúzással állítják be. A szárítás műveletét méretre vágás követi, 15% lineáris zsugorodást véve alapul.
- *Száraz sajtolás.* Az őrleményhez segédanyagot adagolnak, amelyből granulátum készül. A granulátumot 1000 kp/cm² nyomással formákba sajtolják.
- *Kalanderezés vagy hengerlés.* Szerves segédanyag hozzáadásával teszik képlékennyé az Al_2O_3 -at. Az így kapott téstaszerű masszát egy vagy több henger között fokozatosan a kívánt vastagságra nyújtják, majd az így kapott anyagot a kívánt méretekre vágják.
- *Extrudálás.* Szerves segédanyag hozzáadásával a plasztifikált masszát vákuum-extruder segítségével szalag alakban hozzák létre, amelyet szárítás után a kívánt méretekre darabolnak.

Az Al_2O_3 kerámiák felületi érdessége 0,3—2,0 μm között változhat, az alkalmazástól függően. Kevésbé igényes alkalmazáshoz megfelelő az 1,0—2,0 μm felületi érdesség is, ami egyszerű koptatással is elérhető. Ennél finomabb felület már csak csiszolással, polírozással valósítható meg, ami egyúttal jelentősen emeli az árat is.

A zsugorítás utáni felületi érdesség függ a kiindulási alapanyag szemcseméretétől és az adalék mennyiségétől. Minél durvább a formázásra szánt alapanyag szemcsemérete, és minél több adalékot tartalmaz, annál érdekesebb lesz a kész lapka felülete.

A felületi érdesség alacsonyan tartása mellett különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a lapkák vastagságában helyi elvékonyodások, vagy kráterek ne forduljanak elő, mert ezeken a helyeken a felvitt paszta réteg egyenetlen lesz, ami káros az áramkör kialakítása szempontjából. Ugyancsak károsak a „kidudorodás” okozta hibák is, mert előfordulhat pl. hogy ezeken a helyeken a vezetőréteg megszakad. Hasonló hibákat okozhat a lapka hullámossága is.

Már utaltunk arra, hogy a vastagréteg technikában a legelterjedtebben a 96%-os alumíniumoxid tartalmú hordozókat használják. A tapasztalatok szerint ez az összetétel biztosítja leginkább a ma elterjedt vezető és ellenálláspaszták használatánál, kedvező árszinten, a jó tapadást, a megbízhatóságot és a reprodukálhatóságot.

Az áramkörgyártói tevékenység elősegítésére egyre több gyártó vállalat hoz forgalomba rovátkákkal osztott, nyomtatás után tördelhető lapkákat. Ezeket a rovátkákat valamilyen mechanikus módszer vagy lézersugár segítségével „írják be” a lapkába.

Az ismertetett vastagréteg kerámiahordozók méretei a nemzetközileg általánosan elterjedt inch méretsorhoz igazodnak, de speciális méretek is előfordulnak.

Külön kell hangsúlyozni, hogy az eredményes vastagréteg áramkör gyártás egyik alapfeltétele az alkalmazott kerámia minősége és mérettűrése, amely jelentős mértékben befolyásolja a sorozatgyártás kihozatali százalékát.

Különleges alkalmazásokhoz nátronüveg és berilliumoxid (BeO) hordozót is használnak. Ez utóbbinak rendkívül jó a hővezető képessége, ezért nagy teljesítményű áramköröknél igen jó tulajdonságú hordozóanyag lehet. Elterjedését azonban magas ára és a gyártáskor fellépő mérgező hatások korlátozzák.

Érdekes műszaki újdonságot jelentenek az üvegmázzal bevont acélhordozók. Előnyei: olcsó, jó hővezető képességű, kellő mechanikai szilárdságú. Normál vagy alacsony hőmérsékletű pasztákkal való munkára alkalmas.

Vastagréteg paszták és kompatibilitásuk kérdései

A vastagréteg technika talán leglátványosabb fejlődése a különféle pasztaféleségek területére a legjellemzőbb. A nyomtatáshoz alkalmazott paszták finomra őrölt fémből, főleg nemesfémekből és oxidjaikból állanak, kötőanyagként pedig üvegport, különböző tixotróp tulajdonságú anyagokat és szerves oldószereket tartalmaznak. A fémek és az adalékanyagok arányai meghatározzák a felhasználási területeket. Ezek lehetnek vezetőrétegek, szigetelők (dielektrikumok), induktivitások és ellenállások.

Nagy vezetőképességű *vezető réteg* eléréséhez aranyat, ezüstöt és nikkelt, platina /aranyat, palládium/ aranyat, palládium /ezüst/ aranyat, palládium /réz/ ezüstöt, nagy tartószilárdságú és jó forrasztathatósági követelmények kielégítéséhez platina /ezüstöt és palládium/ ezüstöt alkalmaznak. Az arany különösen előnyös, ha huzalkötés alkalmazása is szükséges.

A vezetőpaszták terén újdonság a frittmentes paszta. Az ilyen pasztából előállított réteg — szerkezetében — közelebb áll a teljesen fémes réteghez. Az adhézióval kapcsolatban említett előnye mellett a réteg üvegmentessége kedvező a huzalkötés szempontjából, valamint jók a nagyfrekvenciás tulajdonságai. A frittmentes és az üvegekötésű paszták között állnak az új fejlesztésű ún. „kevert kötésű” vezetőpaszták.

A vastagréteg *ellenálláspaszták* fémek, fénoxidok (főleg ruthenium, irídium, tallium, palládium, indium és ezüstoxid), üvegszerű kötőanyagok és egyéb adalékok keverékéből állnak. A vastagréteg áramkör gyártók rendkívül széles választék közül válogathatnak.

A jelenlegi ellenálláspasztákkal elérhető értéktűrés jobb, mint $\pm 1\%$ 10 k Ω ...500 k Ω tartományban. A szélsőséges értékeknél a garantált tűrésmező nagyobb ($\pm 2\%$), míg 50 M Ω felett $\pm 5\%$ -ra nő a tűrésmező értéke. Az ellenállások hőfoktényezője a pasztatípustól és a fajlagos ellenállástól függően 500 k Ω alatt ± 250 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ — ± 100 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ között lehet, míg 500 k Ω fölött ± 250 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ a jellemző érték.

E pasztákkal lehetőség van olyan teljesítményszintek elérésére, amelyeket néhány évvel ezelőtt csak a legjobb minőségű vékonyréteg ellenállásokkal sikerült megvalósítani. Ezenkívül a legújabb ellenálláspasztákból előállított ellenállások stabilitása

több ezer órás igénybevétel hatására is rendkívül kedvező.

Mindezek oda vezettek — megfelelő technológiai felkészültséggel párosulva —, hogy a korábban csak vékonyréteg technológiával előállítható, egyes különleges elektronikai építőelemek, mint pl. szűrőhálózatok, additív ellenállásmodulok stb. ma már vastagréteg hibrid hálózatokkal helyettesíthetők.

Nagy előnyt jelent a vastagréteg technológiában a szitanyomással könnyen felvihető szigetelőanyagok bevezetése. A *szigetelőpaszták* összetétele a vezetőpasztákhoz hasonló, azzal a különbséggel, hogy a fémkomponens elmarad, helyette az üvegkomponens módosítja vagy kerámia jellegű anyagokat használnak fel.

A szigetelőanyagokat felhasználják:

- ellenállások védelmére külső behatások ellen,
- szigetelőrétegek kialakítására egymás fölé nyomtatott vezetőrétegek között,
- dielektrikum kialakítására két vezető között kondenzátor készítésére.

Különösen meggyorsult a fejlődés az utóbbi területen. Korábban nyomtatott vastagréteg kondenzátorokat nem nagy mértékben alkalmaztak. A folyamatos fejlesztés azonban oda vezetett, hogy ma már elegendő nagy K-jú anyagok állnak rendelkezésre ahhoz, hogy gazdaságos méretű szubsztrátumok legyenek előállíthatók az elérni kívánt kapacitáshoz.

A gyártási folyamat során nagy figyelmet kell fordítani a különféle vezető-, ellenállás- és szigetelőanyagok, -rétegek *kompatibilitására*. Különösen fontossá vált a kérdés a többrétegű technológia egyre általánosabbá válása nyomán. A technológiai és áramköri célkitűzések elérése érdekében olyan vezető és szigetelő pasztarendszereket kellett kidolgozni, amelyeknél:

- a vezető pályák anyaga igen magas (700... 1000 $^{\circ}\text{C}$) hőmérséklet hatására sem reagál a szigetelőréteg anyagával,
- nem lép fel jelentős, dielektrumba irányuló anyagdiffúzió,
- a vezető- és szigetelőréteg többszöri újraégetés esetén sem lágyul meg annyira, hogy jelentős mértékű „úszási”, „leomlási” vagy „összecsúszási” jelenség léphessen fel,
- a rétegek elektromos tulajdonságai igen gyors működésű áramköri komplexumok megvalósulását is lehetővé teszik.

Az új paszták megjelenésével egy időben nagyarányú fejlesztői tevékenység folyik a nemesfémeknél olcsóbb, vagy legalábbis a piaci áringadozástól független alapfémek alkalmazási lehetőségeinek felderítésére. A ma használatos legtöbb vastagréteg paszta nemesfémeket tartalmaz: platinát, palládiumot, ezüstöt, amelyeknek ára az elmúlt években gyorsan emelkedett.

Az a gyártó, aki nem nemesfémből, pl. rézből, nikkelből vagy alumíniumból állít elő vezetőpasztát, előnyhöz juttatja a vastagréteg előállítókat. Ezen a területen igen tevékenyen dolgoznak és számos gyártó cég, ill. vegyi üzem tanulmányozza a kérdést.

Egyaránt foglalkoznak levegőn és semleges gázban égethető nem nemesfém alapú vezetőpaszták és

ezekkel kompatibilis teljes pasztarendszerek fejlesztésével, ami új távlatot nyithat a vastagréteg technika terjedésében.

Vastagréteg ellenállások értékre állítása

A vastagréteg ellenállások értékét az értékre állítás során csak növelni lehet (keresztmetszet-csökkentés, bemetszés útján). A vastagréteg technikában a két legelterjedtebb trimmelési módszer a homokfúvás és a lézersugár alkalmazása.

A homokfúvásos trimmelési eljárás lényege a nagy sebességű kerámia szemcsék koptató hatásán alapul. A koptató kerámiaport sűrített levegő viszi magával és gyorsítja fel. A szemcsék egyenletes adagolását, az egyenletes homoksugarat a száraz kerámiapor rezgetésével érik el.

A kívánt ellenállásérték kellő pontosságú beállítását a folyamatos ellenállásmérés és a folyamat automatikus beállítása biztosítja. A trimmelési pontosság a berendezésen beállított paraméterektől (levegőnyomás, előtolás, adagoló lyukátmérő) és a trimmelés módszerétől (vágás iránya és geometriája) függ. A szűk tűrésű ellenállások kétlépcsős sebességű beállítást igényelnek.

A homokfúvásos eljárásnál felnyitjuk az ellenállás saját védőüveg-rétegét, de hőszokk nem éri a réteget — nem építünk be mechanikai feszültséget a rétegbe. A módszer hátránya viszont, hogy durva felbontású és nem tiszta művelet. A szóródó és a felületen elkerülhetetlenül visszamaradó kerámiaszemcsék finomabb rajzolatú vagy ellenállásérték-változásra kényes rendszereknel zavart okozhatnak.

A lézersugaras trimmelési eljárás korszerű, mert termelékeny, tiszta, igen pontos értékre állítást és finom felbontású munkát tesz lehetővé. Az értékre állítás során a sugár mozgatása és a folyamat leállítása tehetetlenségmentes.

A rétegek bevágását nagy energiasűrűségű lézersugár végzi a réteg elgőzölögtetése útján. A lézersugár csekély átmérője miatt a vágat szélessége 10–20 μm , ami változatos trimmelési módokat tesz lehetővé.

Leggyakoribb módszerek:

- egyszeri keresztirányú vágás,
- többszöri keresztirányú vágás,
- L alakú vágás.

Az egyszeri keresztirányú vágásnál a trimmelési sebesség nagy és az ún. forró pont kialakulása szempontjából ez a legkritikusabb.

A többszöri keresztirányú vágásnál a trimmelési sebesség lépcsős és a forró pontok az ellenállás hossz tengelye mentén eloszlanak.

A legjobbnak tartott „L” vágásnál a forró pontok vonal mentén helyezkednek el és a kétféle irányú vágás az értékre állítás alatti ellenállás-változás szempontjából két nagyon eltérő sebességű vágásnak felel meg.

A lézersugaras eljárás — mint már említettük — pontos és tiszta művelet, ezért aktív trimmelésre is kiválóan alkalmas.

A lézersugaras trimmelési eljárásnál a réteget igen nagy teljesítménysűrűségű lézersugár gőzölögteti el,

tehát a vágat mentén nagymértékű helyi felmelegedés, hőszokk éri a réteget, ami az értékstabilitást jelentősen befolyásolhatja. A pasztagyártó cégek kifejlesztettek speciális, lézerrel trimmelhető pasztatípusokat is. Az ilyen pasztákból létrehozott ellenállásrétegek lézeres megmunkálásánál a beépülő mechanikai feszültség lényegesen kisebb.

A lézetrimmelhető ellenállásréteg lényege olyan üvegkomponens, amely a lézerimpulzusok hatására megolvad, bevonja a vágat oldalát és a hirtelen lehűléskor kevésbé lesz feszültségtelített.

Tokozás

A korszerű teljesítmény- és megbízhatósági szintek elérése érdekében mind az aktív, mind a passzív elemek mechanikai és klimatikus behatások elleni védelmet — tehát burkolatot — igényelnek. Manapság rendkívül sok, egymástól eltérő tokozási forma létezik, ami egyelőre nem teszi lehetővé kevés számú, szabványosított kivitel alkalmazását.

A hibrid áramköröknél a nyomtatott hálózat, az arra szerelt különböző „hibrid” elemek mechanikai és klimatikus behatásokkal szembeni érzékenysége rendkívül eltérő. A szükséges védelmet a beépített alkatrészek, az alkalmazásból adódó követelmény és a megengedhető árszint együttesen határozzák meg.

Enyhébb követelmények esetén elegendő lehet a mártással vagy fluidizációs eljárással felvitt műgyanta burkolat. A műgyanta bevonatú áramkörök általában egysoros huzal- vagy szalagkivezetővel készülnek, álló kivitelben.

Igényesebb alkalmazásokhoz a hibrid integrált áramkört fém- vagy műanyag tokba helyezjük és a tokot epoxigyantával töltjük ki. Ezen kiviteli formánál álló és fekvő modul egyaránt használatos egy- vagy kétsoros szalag, vagy ritkábban huzalkivezetővel.

Professzionális jellegű felhasználásoknál mutatkozó igények kielégítése forrasztással vagy hegesztéssel lezárt fémházas, illetve kerámia hermetikus tokozással oldható meg. A hermetikus tokok szinte kizárólag fekvő elrendezésűek. A kivezetések — amelyek lehetnek csapok vagy szalagkivezetők — két sorban helyezkednek el.

Az említett kiviteli változatok teljesítik azokat a követelményeket, amelyeket általában a vastagréteg hibrid áramköri elemekkel szemben támasztanak, nevezetesen: kis méret, az áramkör szerelés előtti mérésének lehetősége, a félvezető integrált áramkörökkel kompatibilis alak, kivitel és szerelhetőség.

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy nagyberendezésekben, elsősorban ott, ahol a szerelési kultúra ezt megengedi, burkolatlan vastagréteg áramköröket és hálózatokat is alkalmaznak, kihasználva azt az előnyt, hogy a vastagréteg rendszerek — amennyiben szerelés során durva mechanikai behatások nem érik — normál klímafeltételek között stabilak. A burkolatlan hálózatok, különösen vállalatban belüli felhasználásnál olcsóbbak, méretre kedvezőek. Ennél a kiviteli megoldásnál a rétegellenállásokat, vagy a hálózat egy részét vékony, nyomtatott üveg vagy műanyag réteggel takarják.

A vastagréteg áramkörök diszkrét alkatrészei

A hibrid integrált technikáknál — vastagréteg eljárásnál szitanyomás és égetés, vékonyréteg eljárásnál vákuumgőzölés vagy porlasztás útján — az ellenállások, a vezető hálózat, a kontaktusfelületek és ritkábban egyes kondenzátorok, induktivitások készülnek a szigetelő hordozón. Minden egyéb szükséges elektronikai alkatrész a kivezetésekkel együtt szerelési műveletek során kerül az integrált réteg elemekkel borított hordozóra. Ezek a kézi vagy termelékeny, gépi szereléssel beültetett diszkrét alkatrészek — félvezető integrált áramkörök, tranzisztorok, diódák, kondenzátorok — elvben a ma használatos teljes diszkrét alkatrészválasztékból tetszés szerint választhatók. A valóban használatos alkatrészválasztékot gyakorlati tényezők határozzák meg; így elsősorban az alkalmazott szerelési-tokozási rendszer, majd a megengedhető külmérete, alak, súly, egyes esetekben a hibrid áramkörrel szemben támasztott esztétikai követelmények, választék és készletezési problémák és nem utolsósorban árszempontok.

A szerelési technológia két szempontból befolyásolja döntő mértékben a beépíthető diszkrét elemek, az ún. hibrid elemek választékát. Az első szempont a szerelési művelet jellege, ami lehet forrasztás vagy a félvezető technikából ismert huzalos kötés. A második szempont, hogy ez a művelet kézi úton, egyedi beültetéssel, vagy gépi úton tömegszerűen kerül kivitelezésre.

A tokozási rendszer befolyása a hibrid elem választékra a már ismertetett három tokváltozathoz kapcsolódik. Az egyszerű műgyanta burkolat, a műgyantával kiöntött tok, vagy a hermetikus tok lehet meghatározó kiviteli forma.

Kézi szerelés, forrasztás esetén az alkalmazható diszkrét elemek választéka az egyszerű műgyanta burkolattal készülő, nem tokozott kivitelű hibrid áramköröknél a legkevésbé kötött, ez — mint említettük, egyben a legolcsóbb és legrégebbi kiviteli változat. Ennél a szerelési-tokozási megoldásnál minden diszkrét elem megengedett, döntő követelmény az alacsony ár, ezen felül szinte csak külalaki, esztétikai szempontok korlátoznak. Használatos hibrid elemek a diszkrét és integrált félvezető eszközök, valamint kerámia, tantál és esetenként — a műgyanta burkolási műveletet elviselő — műanyag fólia dielektrikumú kondenzátorok.

Bizonyos mértékben szűkíteni kell ezt a teljesen kötetlen választékot kézi szerelés esetén is a műgyanta kiöntésű tokozott hibrid áramköri kivitelnél. Ez esetben a korlátozó tényező elsősorban a diszkrét elem alakja, külmérete, hiszen a tokban a rendelkezésre álló hely már korlátozott. Egyetlen nagyméretű, elsősorban nagy magassági méretű diszkrét elem tekintélyes mértékben növeli a hibridáramkör összterfogatát. Itt általánosan használhatók a speciálisan rétegtechnikai felhasználásra tervezett diszkrét elemek, elsősorban azok a szubminiatur transzisztorok, diódák és integrált áramkörök, melyek közvetlenül sík lapra forraszthatók. Ezek „Micro E”, SOT, ill. SO típuszámon váltak közismertté. A kerámia kondenzátorok közül huzalkivezetős szubminiatur és az ún. chipkondenzátorok használatosak. Utóbbiak féme-

zett homloklapfelületű, többrétegű kondenzátorok huzalkivezető és burkolat nélkül. Általánosan alkalmazzák a kisméretű csepp, vagy fémházas tantál kondenzátorokat.

Lényegesen szűkebb a megengedhető hibridelemválaszték abban az esetben, ha a szerelési művelet részben, vagy egészben gépi úton végzik. A szerelési művelet ma költségkihatás szempontjából a hibridáramkör-gyártás egyik kritikus művelete, és egyedi, kézi jellegénél fogva, emberi tényező miatt a megbízhatóságot is döntően befolyásolja. Érthető ezért, hogy általános törekvés, hogy ezt a műveletet, vagy ennek egy részét gépi úton oldják meg.

A gépesítés, vagy később az automatizálás a diszkrét elemeknek az integrált hálózatba való pozicionált beragasztását és ezt követően a forrasztott kötések létrehozását célozza. Mind a két részművelet gépesítése csak erre a célra alkalmas hibrid elemekkel oldható meg. Meghatározó tényező, hogy ezen diszkrét alkatrészek kivezetőinek csatlakozó felületei egy síkba essenek, a csatlakozó felületek forraszthatók legyenek és gépi forrasztáshoz megfelelő a csatlakozási felületeken előőnozott állapotban legyenek beszerezhetők. Gépi szerelésre ma elsősorban a már említett „Micro E” kivitelű félvezető eszközök és a kerámia, ill. csillám chipkondenzátorok jönnek számításba. A gépi beültetésre való alkalmasság eredményezte azt, hogy a félvezető gyárak mind nagyobb félvezető-eszköz-választékot hoznak ilyen kivitelben forgalomba és a növekvő sorozatnagyság egyben azt eredményezi, hogy ezek ára erősen csökkenő tendenciát mutat. Ma már ezeknek a speciális félvezető eszközöknek az ára alig magasabb, mint a megfelelő normál tokozott változat.

Természetesen több mikrotokozott és forrasztható félvezető konstrukció jelent és jelenik meg a piacon az említetten kívül, melyek azonban nem terjedtek el ilyen erős mértékben és gyártásuk egy idő után megszűnik, vagy a viszonylag kis sorozat miatt csak magasabb árszinten és lényegesen kisebb választékban szerezhető be. Megemlítenénk a kerámia zásmolyos, ún. LID kivitelű félvezetőket, vagy a Texas cég SATAN eszközeit. Komoly érdeklődést keltő, új kivitelű eszköz viszont a hajlékony fóliára szerelt forrasztható félvezető integrált áramkör.

Elsősorban az automata szerelés, ill. forrasztás érdekében kifejlesztett chip kivitelű tantál kondenzátorok szélesebb körű felhasználását magas árak korlátozza.

A teljesség kedvéért itt említjük meg, hogy hibrid elemként hibrid integrált áramkörbe beépíthetők rétegtechnikával készített elemek, ill. elemkombinációk is valamely műszaki, vagy gazdasági előny érdekében. Így például vastagréteg áramkörbe beépíthetők vékonyréteg sík ellenállások, vagy ellenálláskombinációk, ha a tervezett áramkörben csak egy-két ellenállás igényel vékonyréteg paramétereit. Ennek ellentétjeként vékonyréteg integrált hálózatba chip elemként beültethető vastagréteg technikával készült ellenállás, ha egy pozícióban különlegesen nagy ellenállásérték szükséges, vagy nagy a disszipáció. Ugyanígy gyakori és hazai megoldásoknál előszeretettel alkalmazzuk a vékony- és vastagréteg technika kombinációját egy hibrid integrált áramköri

tokon belül. A két rétegtechnika együttes alkalmazása ellenállás vonatkozásban különösen nehéz feladat megoldását is lehetővé teszi.

Ma a hibrid integrált áramköri technikában az említett szerelési, tokozási változatok az uralkodók világszerte. A hazai megoldásoknál ezen belül elsősorban a tokozott változat terjedt el az egyszerű műgyanta burkolattal szemben. Lényegesen kisebb mennyiségben alkalmazzák a hermetikusan tokozott hibrid integrált áramköri kivitel. Az ISHM hivatkozott információja szerint a hermetikusan tokozott áramkörök részaránya a teljes hibrid integrált áramköri gyártásban 5%-nál kevesebb a hermetikusan tokozott eszközök magas egységárát figyelembe véve, a darabszám szerinti arány tehát ennél is alacsonyabb.

A hermetikusan tokozott hibrid integrált áramkörök szinte kizárólag tokozatlan chip félvezető eszközre épülnek és a szerelésüknél alkalmazott technológia huzalos kötés. Egy tokon belül kerülni kell a forrasztott és a huzalos kötés kombinációját, tehát az alkalmazható hibrid elem választéka erősen korlátozott. Ennél a megoldásnál azonban a cél is más; a megvalósítandó áramkör általában többretegű hálózatra épülő multichip rendszer.

Az elmúlt évek során más felépítésű rendszerek is elterjedtek, de egyes nagy vállalatoktól eltekintve, nem arattak átütő sikert. Ezek a közbenső rendszerek olyan speciális félvezető eszközre épültek, melyek méretben a chip kivitelhez állnak közel, mégis tokozottnak tekinthetők, kivezetővel rendelkeznek és így egyedi mérésük az eszközök beszerelése előtt megoldható. Ilyen félvezetőeszköz-konstrukció a beam-lead, és a flip-chip. Lényeges hátrányuk az előbb említett előnyök mellett, hogy beültetésük speciális berendezéseket kíván, viszonylag magas áron, általában korlátozott választékban, rendkívül korlátozott számú forrásból szerezhetők be.

A szerelési-tokozási rendszereket és a diszkrét választékot összefoglalva megállapítható, hogy a ma technikája a műanyaggal tokozott, vagy műgyanta burkolatú hibrid integrált áramköröket és a gépi szerelést helyezi előtérbe, tehát hibrid elemként az erre a célra tervezett speciális szubminiatur félvezető eszközöket, kerámia és tantál chip kondenzátorokat alkalmazza. A jövő útja ezzel szemben a multichip eszközök felé mutat.

A jelenlegi hazai helyzet

A magyar népgazdaság 1975. december 18-án törvényerőre emelt ötödik ötéves tervében foglaltak szerint az elektronikai alkatrészek termelését a tervidőszak során 120–130%-kal kell növelni. A tervtörvény nem részletezi, de alkatrésziparunk helyzetéből adódik, hogy egyes területeken, elsősorban a legkorszerűbb műszaki színvonalat képviselő alkatrészeknél ennél is nagyobb növekedéssel kell számolni. A vastagréteg áramkörök területe pedig éppen ebbe a kategóriába tartozik.

Ismeretes, hogy a IV. ötéves terv során — az adottságokhoz és lehetőségekhez képest — magas színvonalú kutatást, fejlesztést végeztünk a különféle hibridtechnológiák, s ezen belül a vastagréteg

hibrid áramkörök, ellenálláshálózatok kidolgozása érdekében.

A REMIX és a HIKI a IV. ötéves tervidőszakban elért eredményeire támaszkodva folytatja és szélesíti közös tevékenységét az V. ötéves tervidőszakban is. Ennek egyik láncszeme az a két és fél éves közös program, amelynek célja a gyártás gazdaságosságának növelése, valamint a kutatási, fejlesztési eredmények tömeggyártásban történő hasznosítása.

A hibrid áramkörök elterjesztése, a kellő piaci kereslet kialakítása világszerte, így hazánkban is bizonyos türelmi időt, a felhasználói kedv növeléséhez szükséges propagandatevékenységet igényel, hasonlóan minden új termékhez. Ennek oka részben az lehet, hogy a felhasználók nem ismerik kellő mélységben a hibrid technológiai lehetőségeket, részben a diszkrét alkatrészekkel történő tervezéshez kialakult szemléletet kívánják átültetni a hibrid kapcsolások megtervezéséhez. Az így kidolgozott kapcsolásokat — egy-két egészen egyszerű megoldástól eltekintve — minden esetben teljesen át kell dolgozni. Mindezekhez hozzá lehet tenni, hogy a fejlesztendő áramkör többé-kevésbé hagyományos berendezésben került felhasználásra, tehát nem gyökeresen új termék keletkezik, hanem egy már kialakult rendszer bizonyos fokú korrekciója.

Nyilvánvaló, hogy egy új rendszertechnikai megoldás kidolgozása, amely lényegesen új terméket eredményez, költségigényesebb és nagyobb kockázattal is jár. Érthető, hogy a berendezésgyártók a gazdasági szabályozók adta lehetőségeken belül igyekeznek minél kisebb kockázatot vállalni. De éppen az új ötéves terv elvárásai olyanok — pl. tőkés export fokozása —, amelyek megkövetelik, hogy a gyártandó berendezések rendszertechnikája korszerű alkatrészre épüljön. Ennek kialakításához viszont elengedhetetlenül szükséges a technológiai szakemberek és a rendszerfejlesztők korábbiaknál szervezettebb, magasabb fokú együttműködése. Egy ilyen együttműködés keretében a hibrid áramköröket megvalósító szakembereket már a berendezésfejlesztés első fázisában be kell kapcsolni a tervezői munkába, s részt kell venniük a rendszer kidolgozásában is.

Felismerve a felhasználók és áramkör-előállítók ezen szoros együttműködésének jelentőségét, az OMFB támogatásával létrejött a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben a Hibridáramköri Alkalmazástechnikai Szolgálat, melynek feladata a hibrid áramkörök hazai felhasználásának elősegítése, a műszaki és gazdasági szempontból egyaránt előnyös alkalmazási lehetőségek felkutatása. A Szolgálat lehetővé teszi már a berendezések fejlesztési szakaszában a személyes kapcsolatok kialakulását a berendezésgyártó vállalat szakemberei és a HIKI áramkör-tervezői között. A hibrid integrált áramköri alkalmazástechnikai munkában jártas szakemberek a berendezésfejlesztők és az alkatrész-technológusok közötti interface szerepét töltik be.

A hibridtechnika fő feladata, hogy célorientált, tehát az egyes berendezésekhez egyedien kifejlesztett áramköröket állítson elő. Ilyen módon az alkatrészintegráció lehetőségét biztosítja ott, ahol ez a meglévő félvezető integrált áramkörökkel nem old-

ható meg műszaki vagy gazdasági okból. Külföldi adatok igazolják, hogy az ilyen — felhasználói igény alapján tervezett — áramkörök a teljes hibrid áramköri felhasználásnak több mint 70%-át teszik ki.

Emellett azonban néhány különleges területen lehetőség van katalógus típusok kifejlesztésére és gyártására hibrid kivitelben.

A legfontosabb általános felhasználású áramkörök közül kiemeljük az aktív RC szűrőket, nagyfrekvenciás széles sávú erősítőket (5–860 MHz-es frekvenciatartományban), nagyfrekvenciás osztott paraméterű csillapítókat, D/A, A/D konvertereket, logaritmusos erősítőket, feszültség-frekvencia és frekvencia-feszültség konvertereket.

Pozitív tendenciaként kell értékeljük azt a tényt, hogy ma már az ország legjelentősebb elektronikus berendezésgyártói akár „custom design”, akár katalógus áramkörök felhasználása révén kapcsolatban állnak a hibridtechnikával, ami volumenét tekintve 1976-ban félmillió darabszámú hibrid áramköri felhasználással jellemezhető.

A gyártás volumene egyre gyorsabban növekvő tendenciát mutat — mind többféle hibrid áramkört alkalmaznak és áramkörtípusonként is növekszik a gyártott darabszám.

Összefoglalás

Az előzőekben megkíséreltük röviden áttekinteni a vastagréteg hibrid technika jellegzetességeit, az előtte

álló lehetőségeket. Látható, hogy ez a terület egyre jelentősebb súlyt képvisel a teljes elektronikai alkatrész-felhasználásban és egyre korszerűbb módon történik az áramkörök előállítása.

Hazánkban nagy lehetőségek állnak a hibrid vastagréteg áramkörök előtt. A meglevő kísérleti gyártó bázis révén is rendkívül flexibilis, magas műszaki színvonalat képviselő termékek állhatnak a berendezésgyártók rendelkezésére.

Ezek fokozottabb felhasználása érdekében a jelenleginél szorosabb és hatékonyabb kapcsolat kialakítása folyamatban van a felhasználók és gyártók között, ily módon is elősegítve az V. ötéves tervidőszakban az elektronikai ipar előtt álló feladatok teljesítését.

IRODALOM

- [1] W. Funk: Dickschichttechnologie Philips Technische Rundschau 35. 156—162. 1975/76. Nr. 5.
- [2] Peter Kirby Thick film advances simplify complex hibrid module design. Electronic Engineering. Vol. 48 No. 577. 35—38. March 1976.
- [3] Jerry Lyman: Advances in materials, components, processes, ensure hibrid prosperity in the LSI age. Electronics July 22. 1976. 92—109.
- [4] Proceedings of the European Hybrid Microelectronic Conference. Bad Homburg. 1977. XXVIII. előadás: G. C. Waite: Economic progress of thick film hybrids in the USA.

SZEMLE

Összeállította: BALOGH PÁL*

A Texas Instruments TBMO103 jelzéssel 92 304 bites, nagy tömegű adat tárolására alkalmas, permanens tárolású mágnesbuborékos memóriát hozott forgalomba. A memória mikroprocesszor kompatibilis s használható hordozható adattárolási alkalmazásokra, mint amilyenek a programozható kalkulátorok és az intelligens terminálok egyes fajtái. Teljesítményére vonatkozó adatok: 100 kHz-es működésénél az első bit hozzáférési ideje 4 ms, egy 144 bites oldal ciklusideje 12,8 ms, kb. teljesítményfelvétel folyamatos üzemelésnél 0,5 W. Üzemi hőmérséklet-tartomány 0...+50 °C, a nem megszűnő memóriatárolás garantált hőmérséklet-tartománya -40...+85 °C. (Texas Instruments Ltd. Microprocessor Centre, MS15/IC0024, Manton Lane, Bedford. Nagy-Britannia.) (Electron, 1977. jún. 9. [410])

*

A CCDISC (TM) jelű töltéscsatolt félvezetős memóriaegységeket az Alpha Data Inc. (Chatsworth, California) szállítja nyolc-hetes határidőre. Ez a lemez-memóriaegység nem forog, mozgó alkatrészei nincsenek. Az átlagos hozzáférési idő 250 µs, vagyis 40-szer gyorsabb a készülék mint a leggyorsabb elektromechanikus forgótárcsás memória. A megoldás lehetővé teszi a különlegesen nehéz körülmények közötti használatot is, mint a repülőgépeken, valamint más, erős rázkódásnak kitett helyeken. A CCDISC egység kapacitása 1024 kByte, 128 kByte lépcsőkben felépített nyomtatott áramkörös dugaszolható memóriapaneleken. Láncolással 4 MByte-ig terjedő tárolókapacitás érhető el. (Electronics of America, 1977. jún. 14. [411])

*

Wilson, G. professzor az ausztráliai Royal Military College (Duntroon, Canberra) fizika tagozatának vezetője szerint sike-

rült megoldani a radioaktív sugárzás lézerhez hasonló pontos irányításának technikai problémáját, a „grézer” — irányított gammasugárforrás — fejlesztésének kulcskérdését. A professzor irányítja az University of New South Wales fizikusokból álló munkacsoportjának az adott probléma megoldására irányuló kutatómunkáját. A grézer hullámhossza a hagyományos lézerekének milliommód része lesz. Alkalmazására nagy jövő vár az iparban, űrhajózásban, sebészetben, a nukleáris kémiában és fizikában. Az új eljárás szerint kobalt 60 izotópot hűtenek az abszolút nullához közeli hőmérsékletre (-273,15 °C), az izotóp gammasugárzását rendkívül erős mágneses tér alkalmazásával, valamint rádiófrekvencia szuperponálásával irányítják. A tudósok jelenleg az adott célra a kobaltnál alkalmasabb izotóp kiválasztásával foglalkoznak. (Electronics Weekly, 1977. júl. 27. [412])

*

A Bell Telephone Laboratories (Crawford Hill, New Jersey) a folyamatos üzemben eddig használt legnagyobb frekvenciákkal vizsgálja új ultraérzékeny antennakonstrukcióját műholdas rendszerben. A 19 és 28 GHz-vel végrehajtott kísérletek célja, a jobban kihasználható nagyfrekvencia alkalmazásának megfelelő megbízhatóságát ellenőrizni. A világon az egyik legérzékenyebb antenna egy 23 láb átmérőjű tégely alakú reflektorát precíziós megmunkálásnak vetették alá. A vizsgálathoz az AT and T és a GTE Satellite Corporation által közösen üzemeltetett két műholdra szerelt kis rádiókészülékeket veszik segítségül, amelyek a jelenleg használatos 4 és 6 GHz-nél nagyobb frekvenciájú jeleket sugározzák. Jövő májusban a tervek szerint a rendszerhez még egy műhold csatlakozik majd. (Electronics Weekly, 1977. júl. 20. [413])

* Válogatás a KGMTMTI információs anyagából.

(Folytatás a 222. oldalon.)

Véletlen hozzáférésű rádiócsatornák alkalmazása számítástechnikai hálózatokban

ETO 519.2:621.396.4:681.324

Számítástechnikai hálózatokban alkalmazott kommunikációs csatornák (vezetékes vagy rádiócsatornák) felhasználásának (felosztásának) módjait az adott hálózat céljainak, az üzenetforgalom sajátosságainak megfelelően célszerű meghatározni.

Az egyik lehetséges cél *területileg szétosztott számítástechnikai erőforrások kihasználása*. Azaz a lényeg itt annak biztosítása, hogy az egyes felhasználók (a továbbiakban gyakran a terminál megjelölést fogjuk használni) ne csak a saját komputerükhöz férjenek hozzá, hanem — azon keresztül, és/vagy erre a célra szolgáló kommunikációs illesztőegységen keresztül — más számítóközpontokhoz is. Az egyes üzenetek továbbítása a rendszer csomópontjait, kapcsolópontjait összekötő adatátviteli vonalakon történhet pl. — a szokásos terminológiával élve — *vonalkapcsolással* („line-switching”, „circuit-switching”), amely jelentős időt igényel amiatt, hogy az üzenet elküldése előtt az összeköttetés teljes útvonalának fel kell épülnie. Rugalmasabb megoldást ad az *üzenetkapcsolás* („message-switching”), amelynél egyidejűleg szabad út csak a legközelebbi csomópontig kell, s az üzenet a célt ily módon „ugrálva”, az előző esetnél lényegesen rövidebb idő alatt érheti el. Végül a leghatékonyabb módszer az üzenetek rövid, egyforma adagokra, csomagokra való feldarabolása, az ún. *csomagkapcsolás* („packet-switching”), amelynél az üzenetkből alkotott csomagok szinte akadálytalanul „folynak” a hálózatban. Csomagolt számítástechnikai hálózatok egy létező jólismert példája az ARPANET [1].

Egy másik jellegzetes számítógéphálózat-típus (és szintén már létező rendszer: az ALOHANET [2]) esetén a cél nagy számú interaktív felhasználónak egy központi számítástechnikai erőforráshoz, számítóközponthoz, vagy akár egy másik magas szintű hálózathoz való hatékony hozzáférése. Ember—gép kapcsolatokban többnyire igaz az, hogy egy felhasználó csak az idő kis százalékában aktív, így a csomagolási technika jól alkalmazható. Emellett azonban szinte önként adódik az is, hogy használjunk egy közös, nagy kapacitású rádiócsatornát, s annak felosztását bízzuk bizonyos fokig a véletlenre, pontosabban egy automatizmusra, amelynek pusztán a működési szabályait kötjük ki (véletlen hozzáférés vagy statisztikus nyálábolás — „random access”, „statistical multiplexing”). Ennél a véletlen nyálábolásnál elvi ok miatt is kisebb csatornkapacitásra lehet szükség mint — az egyes felhasználók egyidejű igényére méretezett — fix frekvencia- vagy időosztásnál. Még lényegesebb azonban, hogy az így létreho-

zott rendszer igen kötetlenül tud felhasználóinak rendelkezésére állni, széles határokon belül könnyen módosítható és bővíthető.

A véletlen hozzáférés lényegéből adódóan két vagy több felhasználó közel egy időben jelentkezhet igényével, így az ilyen rendszerekben elkerülhetetlenek az összeütközések (két vagy több csomag részben vagy teljesen átfedi egymást), szükség van tehát azok felismerésére és ilyen csomagok megismétlésére. A sikertelen csomagküldés felismerésére több lehetőség is van, a legegyszerűbb a helyzet műholdas ismétlő esetén, amikor adott terjedési idő múltán a felhasználó visszahallja a saját adását. Földi hálózatnál a központ küldhet sikeres beérkezés esetén pozitív visszajelzést, s ennek hiánya indít el a felhasználónál ismétlést. Mindkét esetben azt használjuk ki, hogy a rádiócsatorna az egyik irányban a műsorszóró csatornára hasonlít, azaz a központ (vagy központi ismétlő) adását minden felhasználó veszi. Ez a véletlen hozzáférésű rendszerek lényeges tulajdonsága, amelyből még további előnyök is fakadnak. (Ezt gyakran az elnevezések is hangsúlyozzák: „packet broadcasting”, „computer broadcasting”).

Ami a történeti áttekintést illeti, reménytelennek tűnik annak felderítése, hogy a dolog lényegét jelentő csomagkapcsolási és véletlen hozzáférési elveket ki, hol publikálta először. Mint azt hasonló alapvető elveknél gyakori, nyilván egyszerre többen jöttek rá és kezdték el analizálni az ilyen rendszereket. Az egyik legkorábbi próbálkozásnak [4] tűnik. Csomagkapcsolt számítógéphálózat felépítésére az [5]-ben tettek javaslatot, az ARPANET-rendszer kiépítése 1969-ben kezdődött. Véletlen hozzáférésű rádiócsatornán történő csomagkapcsolást N. Abramson javasolt konkrét földi rendszerben megvalósítani [6]. Az ALOHA-rendszer kiépítése 1970-ben kezdődött. Többéves fejlesztés és üzemeltetés után készült az első rendszerről az [1]-ben található, a másodikkal kapcsolatban a [3] összefoglalás. Legalábbis ezeket találta a szerző — saját szempontjából — a legtanulságosabbnak. Végül az analízisre szolgáló elméleti apparátus tömegkiszolgáló, pontosabban sorbaállítós rendszerekkel foglalkozó monográfiákban található meg [7, 8].

Jelen áttekintő cikk első részében a véletlen hozzáférésű, rádiócsatornát alkalmazó csomagkapcsolt kommunikációs hálózatok legfontosabb tulajdonságainak jellemzésével foglalkozunk összefoglaló jelleggel, a témakör gazdag irodalma alapján. Kitérünk mindenekelőtt a tisztán véletlen hozzáférésű és az ún. réselt rendszer határlehetőségeire (1.1 pont), a csomagkésési idők alakulására (1.2 pont), megmutatjuk az instabillá válás jelenségét és a stabilitás biztosításá-

nak módjaira is utalunk (1.3 pont). Az 1.4 pontban azokkal a rendszerekkel foglalkozunk, amelyekben járulékos és jól kihasználható körülmény a csatorna foglaltságának érzékelése. Végül összehasonlítást teszünk a fix nyálábolású rendszerekkel (1.5 pont).

A második részben két gyakorlati alkalmazási példát ismertetünk. Először a véletlen hozzáférésű rádiócsatornák jól ismert alaptípusának, az ALOHA-rendszernek néhány jellegzetességét foglaljuk össze (2.1 pont) ugyancsak az irodalom alapján, majd azt mutatjuk meg, hogyan alkalmazhatunk véletlen hozzáférésű rádióterminálokat egy, a szokásos alfa-numerikus interaktív termináloktól némiképp eltérő rendeltetésű távadat-feldolgozás során, nevezetesen számítógéppel segített kardiológiai kísérletekben (2.2 pont). Ez utóbbi témában a szerző azoknak a tanulmányoknak és kísérleteknek jelenlegi helyzetéről számol be, amelyekben maga is részt vesz [13, 14, 15].

Véletlen hozzáférésű rádiócsatornát alkalmazó, csomagkapcsolt kommunikációs hálózatok általános jellemzése

1.1 A tisztán véletlen hozzáférésű és a „réselt” csatorna kapacitása

Tekintsük a véletlen hozzáférésű, csomagkapcsolt hálózatoknak azt az egyszerű, általános modelljét, amikor egy központ szolgál ki sok felhasználót (csillag-hálózat). Valamennyi felhasználó veszi a központ adását, egymásét azonban nem feltétlenül hallják.

Az egyes felhasználók, ill. a központ üzenetei legyenek azonos, T hosszúságú adatcsomagok, amelyek a továbbítandó információon kívül a terminál címét is tartalmazzák, tehát azonosíthatók. A legegyszerűbb esetben a terminálok elkészült csomagjukat bármikor elküldhetik. A központ a sikeresen beérkezett csomagról visszajelzést, nyugtázást küld. Összeütközés esetén ez a visszajelzés elmarad, és az érintett terminál a csomagot ismételtelen elküldi (az újabb biztos összeütközés elkerülésére egy adott intervallumból véletlen módon megválasztva a késleltetési időt).

Vezessünk be két fontos jellemzőt: a csatorna átvitelt, S' -t mint a sikeresen átjutott csomagok időegységenkénti átlagos számát és a csatorna forgalmat, G' -t mint az összes (sikeres + összeütközött) csomagok időegységenkénti átlagos számát, valamint ezeknek a T csomaghosszra vonatkozó normált megfelelőit: $S = S'T$, $G = G'T$ (ez utóbbiakban gondolkozva, egy fix időosztásos rendszerben tökéletes szinkronizálás esetén $S=1$). Végül még egy definíció: az átvitel maximális értékét a csatorna kapacitásának fogjuk nevezni.

Elsőként az átvitel-forgalom-összefüggésre lehetünk kíváncsiak. Legegyszerűbben akkor juthatunk eredményhez, ha a csatorna teljes forgalmát Poisson-folyamatnak tekintjük. Ez a modell az alábbi két közelítést foglalja magában:

- a felhasználók száma végtelen;
- nem teszünk különbséget az újonnan generált és az ismételt csomagok között.

Jóllehet e közelítések durvának tűnnek, a szimulációs eredmények meglepően jó egyezést mutatnak a Poisson-forgalommodellel néhány tíz felhasználó esetén és akkor, ha az ismétlési késleltetési időt a csomaghossznál nagyságrenddel nagyobbra választjuk.

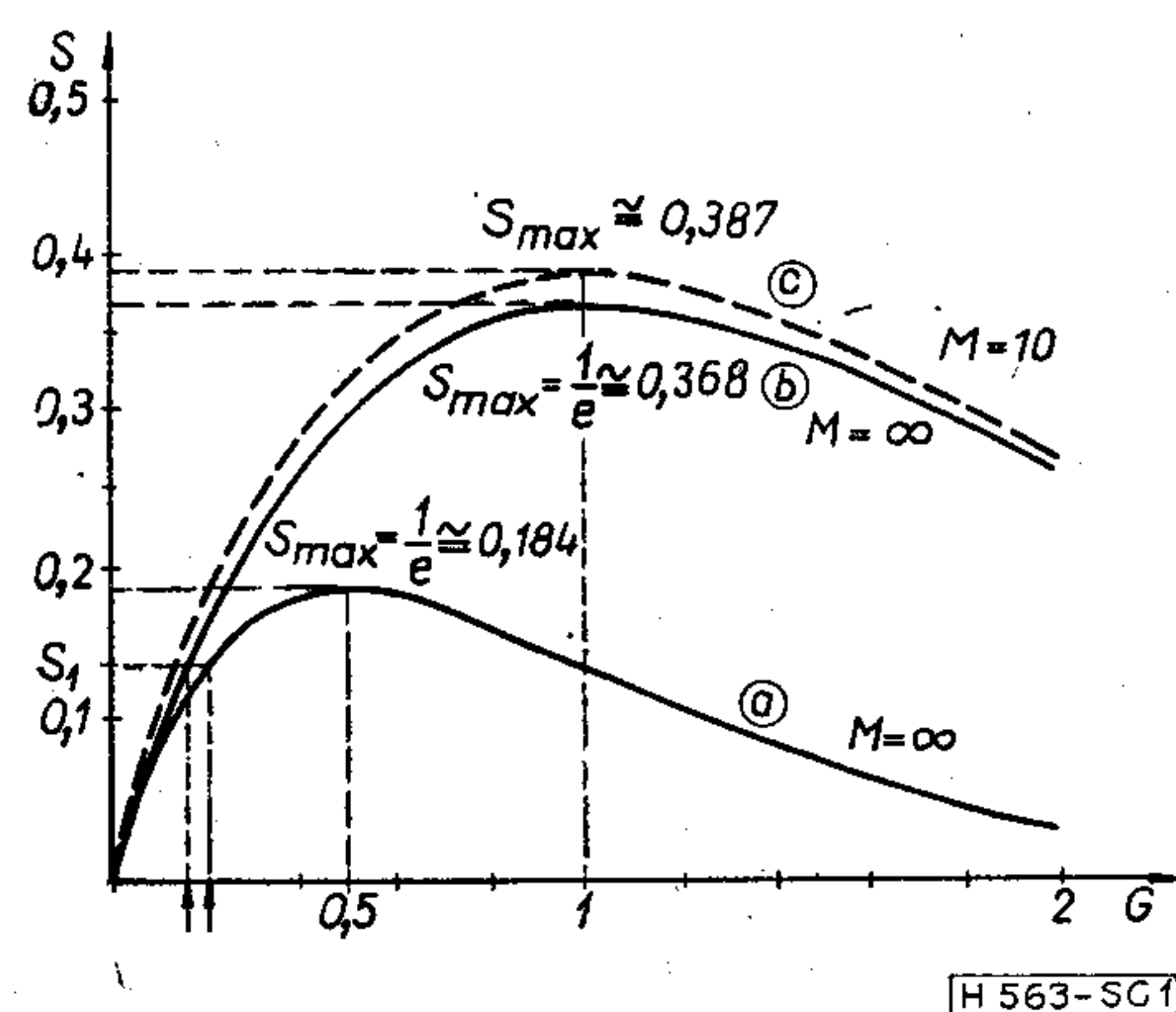
Modellünkben a csatorna átvitele $S = G \cdot P_0$ lesz, ahol P_0 annak a valószínűsége, hogy nem generálódott újabb csomag az adott csomag ideje és a megelőző T idő alatt (azaz a $2T$ hosszú sebezhető periódusban). A P_0 valószínűséget a

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t). \quad (1)$$

Poisson-eloszlásból határozhatjuk meg, a fentieknek megfelelően $\lambda = G$, $t = 2$ és $k = 0$ helyettesítéssel. Ekkor

$$S = G \exp(-2G), \quad (2)$$

adódik a keresett összefüggésre (1. ábra, a) görbe) [3].



1. ábra. Az átviteli tényező-forgalom viszony alakulása. a) egyszerű véletlen hozzáférésű, b) és c) réselt csatorna, c) véges terminálszám

A réselt véletlen hozzáférésű rendszerben egy-egy csomag csak a T hosszúságú időrésekben helyezkedik el. Mivel itt most két vagy több csomag vagy nem ütközik, vagy teljesen átfedi egymást, azaz a sebezhető periódus az előzőnek fele, a kapacitás is nagyobb lesz, a (2) összefüggésből is kiadódó (3) képlet szerint:

$$S = G \exp(-G), \quad (3)$$

(1. a b) görbét az 1. ábrán).

Az átvitel maximális értékei, $S_{\max} = 1/2e$, ill. $S_{\max} = 1/e$, eszerint jóval a fix időosztással realizálható elvi határ alatt vannak. Ebből azonban nem kell korai következtetéseket levonni, hiszen egyrészt a véletlen hozzáférésű rendszereket általában nem a kapacitásukon üzemeltetik, másrészt azok összehasonlítására kritériumként az $S = f(G)$ összefüggés maximumát felhasználni még félrevezető is lehet. Sokkal lényegesebb e görbék emelkedési meredeksége. Egy adott $S = S_1$ munkaponthoz az 1. ábra szerint a réselt csatornában kisebb G , azaz durván szólva, átlagban kevesebb ismétlés, kisebb késési idő tartozik, így ez a rendszer ebből a szempontból is jobb. Erről az 1.2 pontban még pontosabban is szólnunk.

Megjegyezzük, hogy a vizsgált két csatornát az irodalom gyakran nevezi egyszerű, ill. réselt ALOHA-

csatornának, a Hawaii Egyetemen megvalósított rendszer nevét használva. E megjelöléseket a továbbiakban mi is használni fogjuk.

Utalunk még arra, hogy a réselt csatornák könnyebben analizálhatók, így a réselt ALOHA-csatorna kapacitása véges számú terminál esetén is könnyen levezethető. Itt is tételezzük fel, hogy az egyes terminálok csomagküldései (újak vagy ismétlések) független események. Egy felhasználó, az m -edik forgalma:

$G_m = P$ {az m -edik terminál csomagot küld egy adott résben}. Az átlagos résenkénti forgalom eszerint $G = \sum_{m=1}^M G_m$ lesz. Az m -edik terminál átvitele:

$S_m = P$ {az m -edik terminál csomagja sikeres}. A teljes átvitel $S = \sum_{m=1}^M S_m$ lesz csomag/rés-ben kifejezve. S_m -re a következő kifejezés adódik, amely pusztán azt fejezi ki, hogy a sikeres átvitel feltétele, hogy az m -ediken kívül más nem küld csomagot:

$$S_m = G_m \prod_{i \neq m} (1 - G_i); \quad m = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

Abban a parciális esetben, amikor az egyes terminálok aktivitását statisztikusan egyformának tételezzük fel, $S_m = S/M$ és $G_m = G/M$, így (4)-ből most

$$S = G \left(1 - \frac{G}{M}\right)^{M-1}, \quad (5)$$

adódik. $M \rightarrow \infty$ esetén a Poisson-folyamat feltételezésével kapott (3) összefüggést kapjuk. A (3) és (5) összefüggések már viszonylag nem nagy M esetén is jól egyeznek, $M = 10$ esetét az 1. ábrán szaggatott vonallal ábrázoltuk (c) görbe). Megjegyezzük végül, hogy véges M esetén az átvitel az $M \rightarrow \infty$ esetnél nagyobb lesz.

1.2 A csomagkésési idő-átvitel viszony alakulása

Az előző pontban az ALOHA-csatornák stacionárius állapotát jellemeztük az átvitel kiszámításával. Ezt a jellemzést most az átlagos csomagkésési idő vizsgálatával folytatjuk, majd az 1.3 pontban figyelembe vesszük a véletlen hozzáférésű rádiócsatornák inherens tulajdonságát, az instabilitást is, utalunk annak mennyiségi jellemzésére és a stabilitás biztosításának módjára.

Átlagos csomagkésési időnek ($\bar{D}$) az adott új csomag kezdetétől a sikeres vétel időpontjáig tartó idő várható értékét nevezzük. Ez a véletlen hozzáférésű rendszerek fontos jellemzője, amelyet a csatorna átvitelével együtt, annak függvényében célszerű figyelembe venni.

Könnyen áttekinthető a csomagkésési idő alakulása, ha fenntartjuk az 1.1 pont szerinti Poisson-forgalommodellt, két további egyszerűsítő feltétellel:

- a pozitív visszajelzés elkészítéséhez a központi vezérlőegységnek elhanyagolhatóan kis időre van szüksége,
- a visszajelzést a terminál mindig helyesen veszi.

Jelölje R az adott csomag két szomszédos elküldése (ismétlése) közötti időt:

$$R = T + \tau + T_a + \tau + x, \quad (6)$$

ahol: T – a csomag hossza,

τ – a terjedési idő,

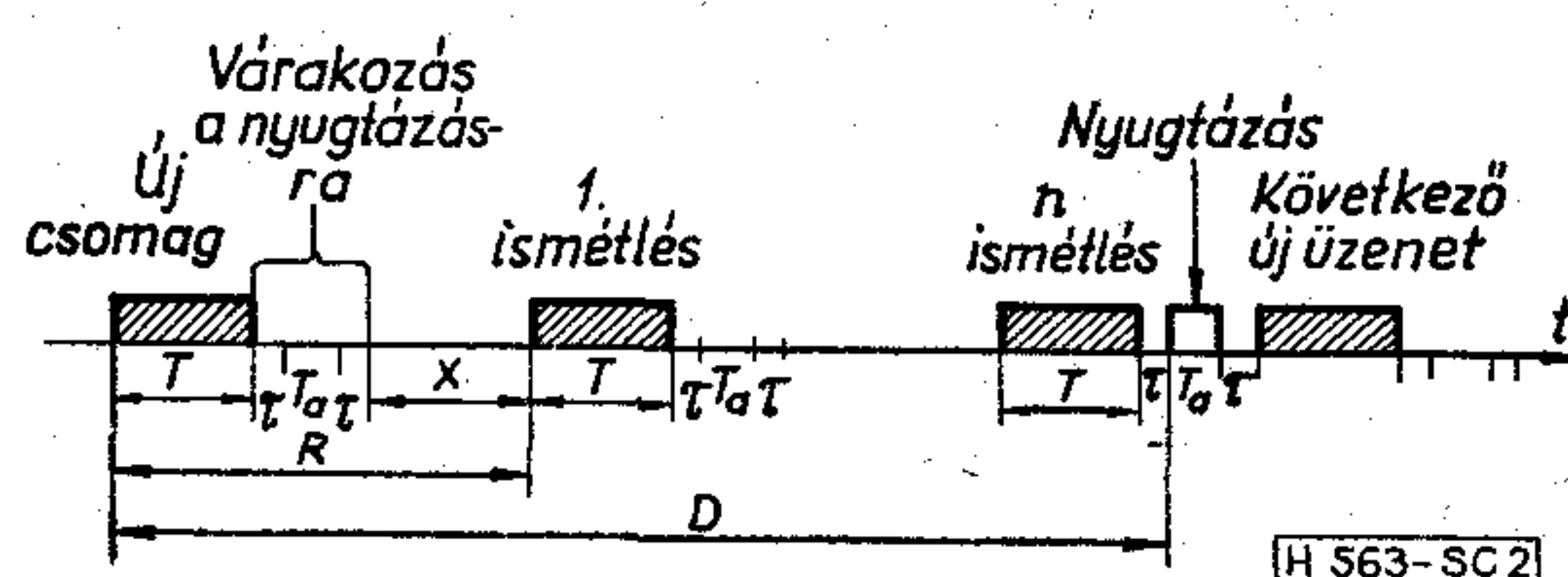
T_a – a nyugtázó üzenet hossza,

x – az ismétlés véletlen késleltetésének értéke

Az átlagos csomagkésési idő pedig

$$\bar{D} = \left(\frac{G}{S} - 1\right) \bar{R} + T + \tau; \quad \bar{R} = T + T_a + 2\tau + \bar{x}, \quad (7)$$

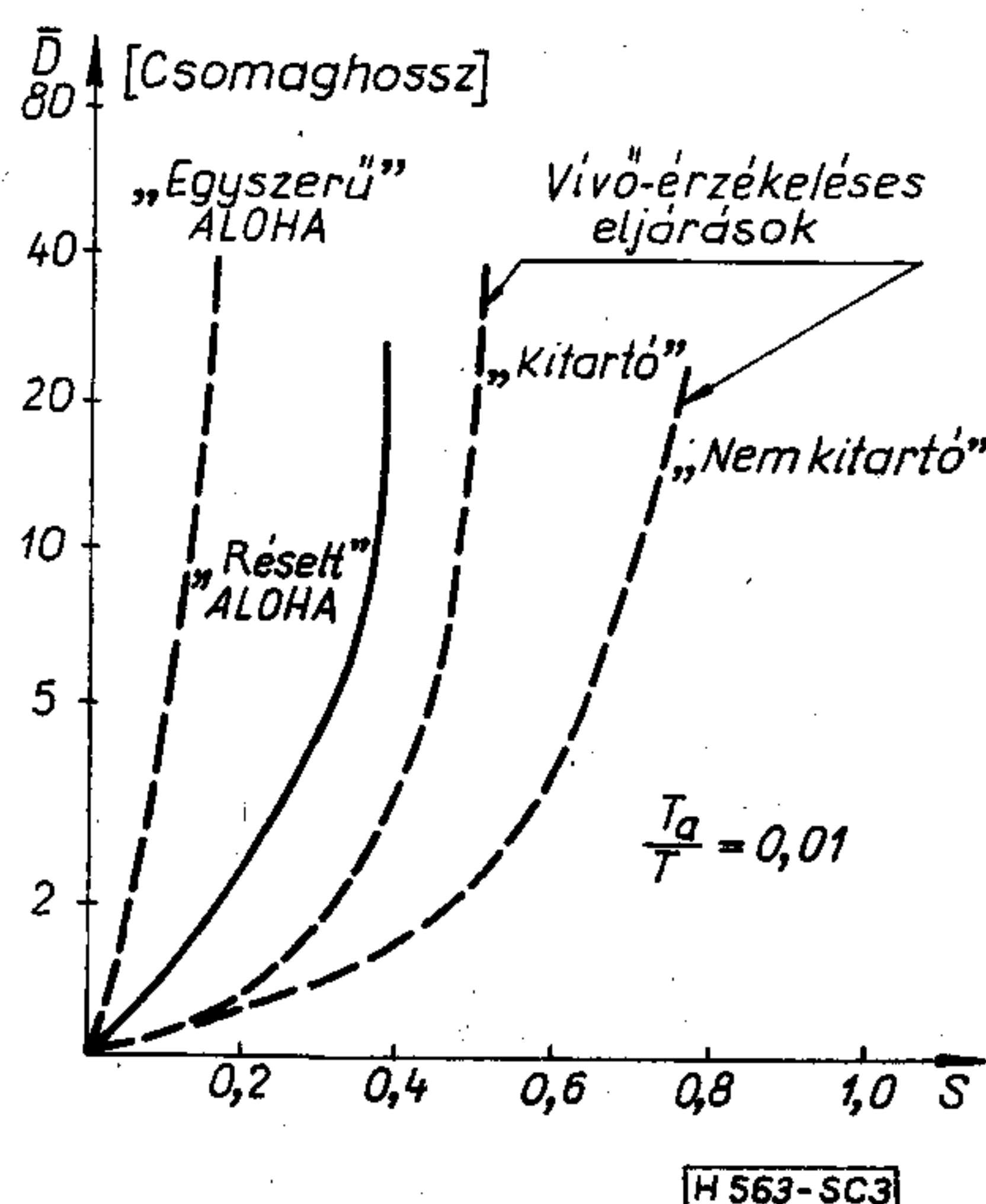
lesz, mivel $(G/S - 1)$ modellünkben az ismétlések átlagos száma [10]. A felülvonás az átlagolást jelenti. A viszonyokat a 2. ábrán illusztráltuk.



2. ábra. A csomagkésési idő alakulása

A (7) összefüggés kiértékelésével kapcsolatban először is megjegyezzük, hogy a benne szereplő G/S viszony már önmagában is bizonyos fokig jellemzi a csomagkésési időket, ahogy erre a megelőző pont végén az 1. ábrán is utaltunk. Azonban nem biztos, hogy jó összehasonlítási alap is az egyes véletlen hozzáférésű rendszerek között, hiszen azokban R , S és D még különbözőképpen alakulhat. Itt fontos szerepe van a bevezetett x véletlen késleltetésnek. Várható, hogy csökkentésével is, növelésével is növekedhet a csomagkésési idő, és minden S -hez tartozik egy x_{opt} érték, amelynél D minimális.

Ez az optimalizálás analitikusan nehezen végezhető el, s ilyen eredmények csak a réselt ALOHA-csatornára ismeretesek [9]. Az egyszerű ALOHA-csatornára, és az 1.4 pontban ismertetésre kerülő vívő-érzékeléses eljárásokra [10]-ben közöltek számítógépes szimulációs eredményeket. Az 3. ábrán ezek



3. ábra. A csomagkésési idő a csatornaátviteli tényező függvényében

közül feltüntettük a már tárgyalt két rendszer és az alábbiakban majd sorra kerülő kétféle vivőérzékelő eljárásra kapott eredményeket. Az ábrázolt összefüggések alapján ezek a rendszerek jól összehasonlíthatók.

1.3 A véletlen hozzáférésű rádiócsatorna dinamikus viselkedése

A dinamikus viselkedés tanulmányozására számítógépes szimulációkat végeztek. Egy-egy ilyen vizsgálat során a következő viselkedés derült ki. A kezdetben üres rendszerből kiindulva, a csatornában egy idő múlva kialakult a kívánt csatornaátvitel, az eljárásra jellemző forgalom mellett. Ez az egyensúlyi állapot azonban véletlen fluktuációk következtében megszűnt, nagyobb G lépett fel, ami csökkentette az átvitelt, ez ismét növelte a forgalmat, s egy másik stabil állapot lépett fel, amelyre igen kis átvitel és megengedhetetlenül nagy csomagkésési idő volt jellemző, azaz a csatorna tulajdonképpen eldugult.

Az ilyen jellegű dinamikus viselkedés következtében a csatorna jellemzésére a késési idő-átvitel viszony önmagában nem elegendő, s szükség van a stabilitás–instabilitás fogalmának bevezetésére, alkalmas mérőszámok megválasztására és az egyes rendszerek analízisére. Rögzítsük pontosan a [11]-ben megvizsgált modellt és a szükséges definíciókat. Legyen a réselt ALOHA-csatornában a felhasználók száma, M , véges, s egy adott felhasználó az alábbi két állapot valamelyikében lehet:

1. Gondolkodó állapot, amelyben a terminál δ valószínűséggel generál és küld el csomagot egy adott időrésben,

2. Blokkolt állapot, amelyben a terminál egy kész csomagot tartalékol, amelynek elküldése nem volt sikeres, s így azt ismételni kell. Az ismétlési késleltetés legyen geometriai eloszlású. Tételezzük fel, hogy ismétlés az adott résben p valószínűséggel következhet be. Egy terminál egyszerre csak egy csomagot tárolhat.

Legyen n^t az adott t időpontban tartalékoltsomagok számát jelentő valószínűségi változó (a blokkolt terminálok száma), s^t pedig jelölje az új csomagok küldési gyakoriságát. Nyilvánvalóan

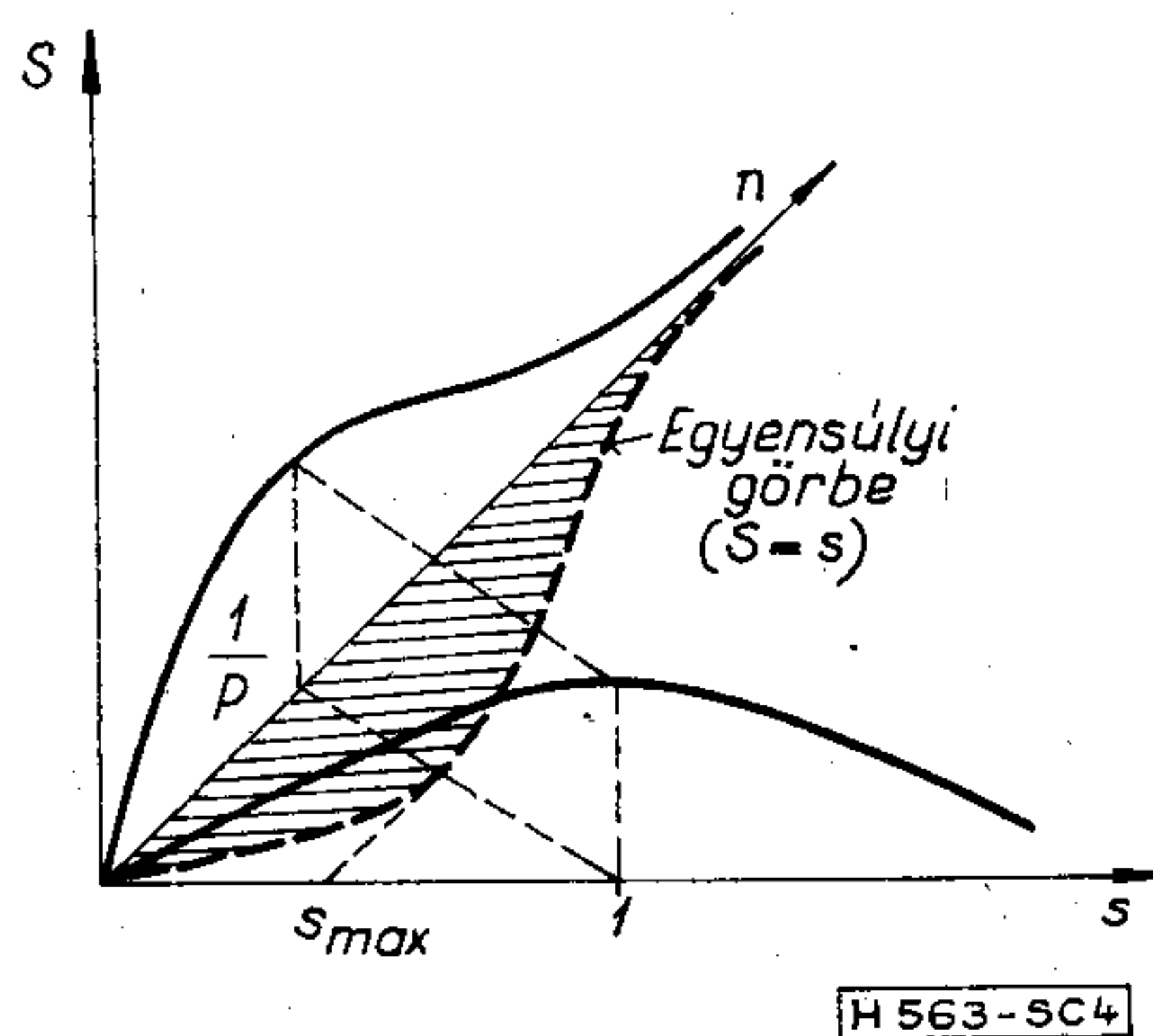
$$s^t = (M - n^t) \cdot \delta. \quad (8)$$

Az (n^t, s^t) vektort a csatorna állapotvektorának nevezzük. Időben állandó M és δ esetén n^t Markov-folyamat, stacionárius átmeneti valószínűségekkel.

Jelöljük a csatornaátvitelt S^t -vel, amely azonban most nem szükségképpen egyenlő s^t -vel, az új csomagok küldési gyakoriságával, mint az korábban, egyensúlyi állapotot feltételezve volt: annál nagyobb is, kisebb is lehet. A csatorna $s^t = s$ átvitelét $n^t = n$ és δ függvényében könnyen felírhatjuk mint annak a valószínűségét, hogy az adott időrésben pontosan egy csomagküldés történik:

$$S(n, \delta) = (1-p)^n (M-n) \delta (1-\delta)^{M-n-1} + n \cdot p (1-p)^{n-1} \cdot (1-\delta)^{M-n}. \quad (9)$$

A 4. ábrán felvázoltuk a fenti összefüggés által meghatározott területet. Az $[n, s]$ síkon szaggatott



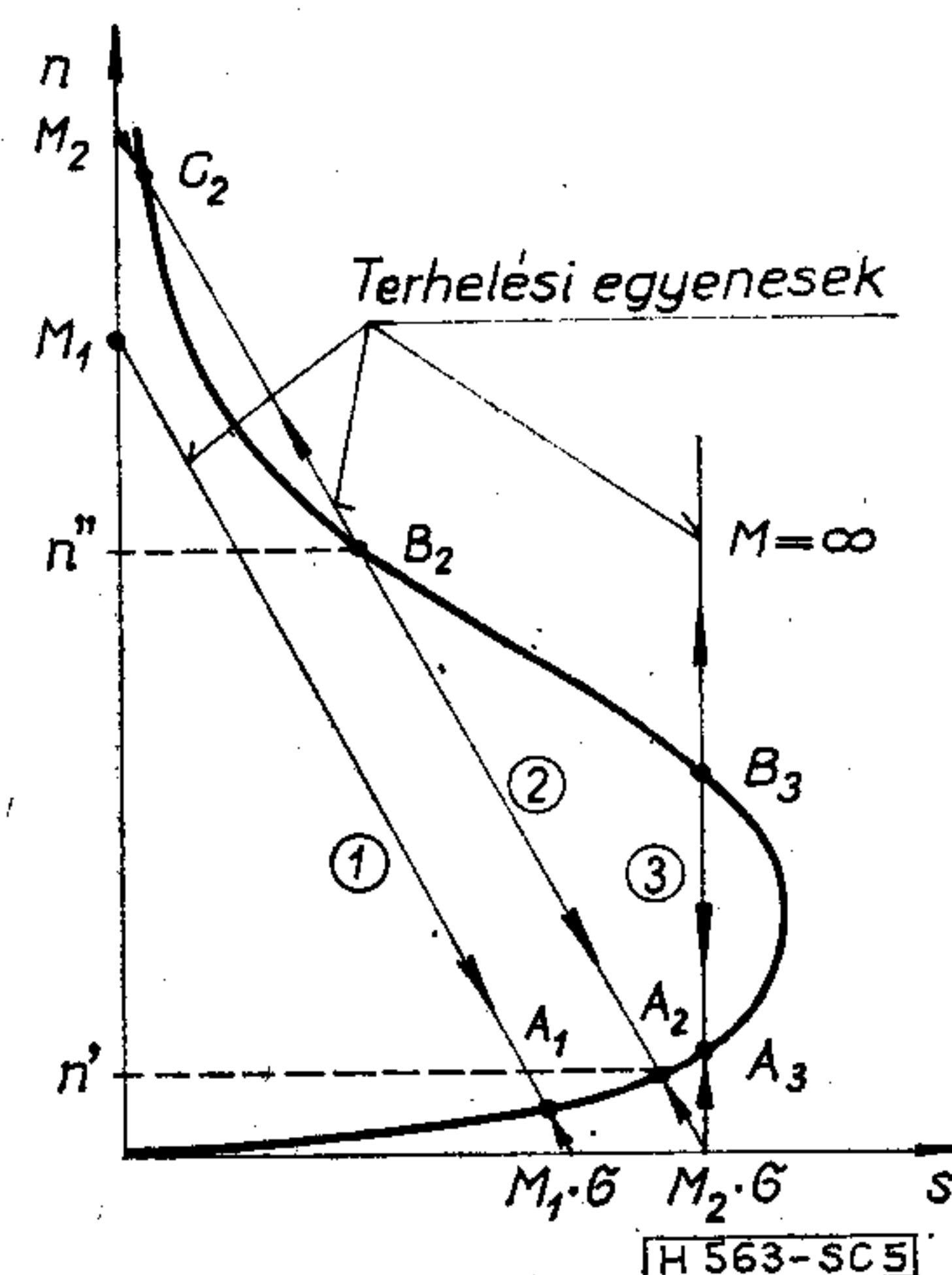
4. ábra. Ilusztráció a dinamikus viselkedés vizsgálatához.

vonallal bejelölt görbe pontjaira igaz, hogy $S=s$, azaz a rendszer egyensúlyban van. Ennek az egyensúlyi görbének egyik oldalán bevonalkázott területen $S>s$, azaz nagyobb az átvitel, mint a bemeneti új csomagsebesség – a különbség a korábbi tartálékolt csomagok miatt adódik, a görbe másik oldalán $S<s$, a csatorna túl van terhelve, kevesebb csomag jut át rajta, mint amennyi új keletkezik.

Az 5. ábrán az egyensúlyi görbét ábrázoltuk, valamint a (8) összefüggés által meghatározott terhelési egyeneseket néhány lehetséges helyzetben. Az egyeneseken levő nyilak a csatorna munkapontjának mozgási irányát mutatják, az előbb mondottaknak megfelelően $s>S$ esetén a nyilak növekvő n felé, $s<S$ esetén csökkenő n felé mutatnak.

Az A_1, A_2, A_3 pontok, valamint a C_2 pont stabil, B_2 és B_3 instabil egyensúlyi pontok. A csatornát [11] szerint stabilnak nevezzük, ha a terhelési egyenes csak egy pontban metszi az egyensúlyi görbét (1. eset), egyébként a csatorna instabil (2. és 3. eset). A 3. eset azt illusztrálja, hogy a végtelen terminálszámot magában foglaló modell mindig instabil. A bevezetőben említett szimulációs eljárások során az instabil ponton túlról, a második stabil pontból való visszatérés sohasem fordult elő, bár ennek természetesen nem nulla a valószínűsége.

A stabilitás, pontosabban az instabilitás mértékéül a biztos tartományból való első kilépés idejének várható értékét javasolták. A biztos terület az 5. ábrán



5. ábra. Ilusztráció a csatorna stabilitásának értelmezéséhez. 1. stabil, 2. és 3. instabil csatorna

nak megfelelően egy adott terhelési egyenes esetén az $n=0, 1, 2, \dots, n''$ állapotoknak felel meg. A Markov-láncok elméletének felhasználásával az első kilépés idejének eloszlása és várható értéke meghatározható [11].

A tervezés során a fentiek szerint két lehetőségünk van:

— biztosítjuk azt, hogy a csatorna feltétlen stabil legyen (1. eset az 5. ábrán), és megelégszünk az így kiadódó kisebb terminálszámmal;

— instabil csatornát használunk (2. eset), amely több terminált szolgál ki adott megbízhatósággal (adott értékű első kilépési idővel).

Instabil csatorna stabilitása, azaz a biztos tartományban maradás szabályozással biztosítható. Egész egyszerűen szólva ez azt jelenti, hogy növekvő tartalék és csökkenő átvitel esetén az egyes terminálok növelik a késleltetési időt. Eddigi modellünkben pl. bevezethetjük azt a feltételt, hogy a terminálok egy adott időrésben vagy p_0 , vagy p_1 ($p_0 < p_1$) valószínűséggel ismételnék, a csatorna aktuális állapotától függően. Tételezzük fel, hogy n^t a termináloknál minden pillanatban ismert. Ekkor kimutatható, hogy létezik egy (stacionárius) döntési szabály, amely maximálja az átvitelt és minimálja a késési időt. E szerint a szabály szerint a $p = \{p_0, p_1\}$ ismétlési valószínűség minden időpillanatban az aktuális csatornaállapotnak, n^t -nek egy n^* küszöbértékkel való összehasonlításával határozható meg:

$$p = \begin{cases} p_0, & \text{ha } n^t < n^*, \\ p_1, & \text{ha } n^t \geq n^*. \end{cases} \quad (10)$$

A csatorna állapota a termináloknál pontosan sohasem ismert, azonban azt a megfigyelt múltbeli viselkedés alapján becsülni lehet. Ilyen becslések felhasználásával közel optimális szabályozási algoritmusok készíthetők [11].

1.4 Vivőérzékelő eljárások tulajdonságai

A kapacitás vizsgálatokor, az 1.1 pontban voltaképpen egy csillag-hálózatot vettünk alapul, amelyben az egyes terminálok csak a központtal kívánnak kommunikálni. Egy ilyen hálózatban gyakran azt is feltételezhetjük, hogy a terminálok egymás adását is hallják. Ennek a körülménynek a kihasználása a rendszer hatékonyságát nagymértékben növelheti, hiszen sok sikertelen kísérlet maradhat el, ha a terminál a csomag elkészültekor értesül arról, hogy a csatorna foglalt, így a csomag elküldését elhalaszthatja valamilyen algoritmus szerint egy későbbi időpontig. Az effajta rendezettség bevitele a rendszerbe végső soron a kapacitás növekedéséhez vezet. Ezeknél a rendszereknél is lényeges tulajdonságra mutatunk rá a véletlen hozzáférésű csatorna megjelölésével, mivel törekszünk ugyan az összeütközések számának csökkentésére, de azokat elkerülni nem tudjuk, és nincs is szándékunkban.

A vivőérzékelő eljárásoknál nyilván alapfeltétel az, hogy a terminál a csatorna jelenlegi állapotáról szerezzen tudomást, azaz a terjedési idő + érzékelési idő rövid legyen a csomaghosszhoz képest (ez a gyakor-

latban eleve kizárja az alkalmazást műholdas rendszerekben).

A vivőérzékelő módszerek tulajdonságai nagymértékben függenek attól az algoritmustól, amelyet a terminál követ a csatorna értékelése után. Az alábbiakban a lehetséges eljárások közül a [10]-ben ismertetett két algoritmust tekintjük, az ún. nem kitartó (a) és a kitartó (b) eljárásokat.

Az idézett eredmények levezetésénél a terjedési + érzékelési időt azonosnak tételezték fel a rendszer valamennyi adó-vevő párjára. Ez jó közelítéssel teljesül is a gyakorlatban, mivel a két komponens közül a lényegesen kisebb részt képviselő terjedési idő különbözhet csak jelentősen. Egyebekben az ALOHA-csatornák kapacitásának számításánál is felhasznált feltételek érvényesek.

A nem kitartó (a) algoritmus a következő:

1. Ha a csatorna szabad a csomag elkészülte után, azt a terminál elküldi.

2. Ha a csatorna foglalt, az adást elhalasztja egy (véletlen) késleltetési idővel, majd annak elteltével újból megnézi a csatornát, és a fentiek szerint jár el.

A csatornaátvitel-forgalom összefüggés itt is egyszerű megfontolások alapján vezethető le. A sebezhető periódus most az egyutas terjedési + érzékelési időnek felel meg. A továbbiakban ennek a T csomaghosszra normalizált megfelelőjét a -val jelöljük, mivel az első terminál csomagját a kezdettől számítva ilyen idő után már nem zavarják meg mások, foglaltnak érzékelve a csatornát.

Itt is célszerűnek bizonyul a sebezhető periódusnak megfelelő részekre osztani az időtengelyt. Ezek a korábban egységnyi, azaz csomaghossznyi rések helyett most a hosszú „minirések”. A réselt nem kitartó vivőérzékelő eljárásra az alábbi összefüggés adódik [10]:

$$S = \frac{aGe^{-aG}}{1 - e^{-aG} + a}. \quad (11)$$

Észrevehető és könnyen be is látható, hogy a csatorna kapacitása most függ az a paramétertől. Kellően kis a esetén az ALOHA-típusú csatornáknál jóval nagyobb kapacitás érhető el: $a=0,1$ -re, $S_{\max}=0,52$, $a=0,01$ -re, $S_{\max}=0,81$.

A (b) kitartó algoritmus a következő:

1. Ha a csatorna szabad, a terminál elküldi az elkészült csomagot.

2. Ha a csatorna foglalt, a terminál vár amíg felszabadul, és akkor küldi el a csomagot.

A kitartó eljárás réselt változatára a következő összefüggés ismert:

$$S = \frac{Ge^{-G(1+a)}[1 + a - e^{-aG}]}{(1+a)(1 - e^{-aG}) + ae^{-G(1+a)}}. \quad (12)$$

$a=0,1$ esetén most $S_{\max}=0,45$, $a=0,01$ -re $S_{\max}=0,54$ adódik. Ezek az értékek lényegesen nagyobbak az ALOHA-csatornákra jellemző értékeknél (l. az 1. ábrát). Az igazi összehasonlítási alapot jelentő csomag késési idő – átvitel összefüggések is a vivőérzékelő eljárások előnyét mutatják; a korábbi 2. ábrán feltüntettük az (a) és (b) algoritmusra [10]-ben közölt szimulációs eredményeket.

1.5 Összehasonlítás a frekvencia- és időosztásos multiplex rendszerekkel

Már utaltunk arra, hogy a véletlen hozzáférésű (tulajdonképpen: véletlen időosztásos) rendszerek nagy számú, egyenként kis aktív idejű terminálokat hatékonyabban képesek kiszolgálni a fix frekvenciaosztásos (FDMA) és időosztásos (TDMA) rendszerek-nél. E pontban a viszonyokat mennyiségileg is megmutatjuk, lényegében a [12]-ben közölt módon.

Kiindulási feltételeink

- a rendszer M terminálból áll,
- az egyes termináloknál az új csomagok generálása Poisson-folyamatnak megfelelően λ csomag/s sebességgel történik, a csomagok hossza b bit,
- egy V bit/s sebességű csatorna áll rendelkezésre, amely tetszés szerint osztható fel,
- FDMA-nál a csatornák között szükséges védősávokat, TDMA-nál a szinkronizáláshoz szükséges időket elhanyagoljuk.

Összehasonlításra az átlagos csomagkésési időt használjuk.

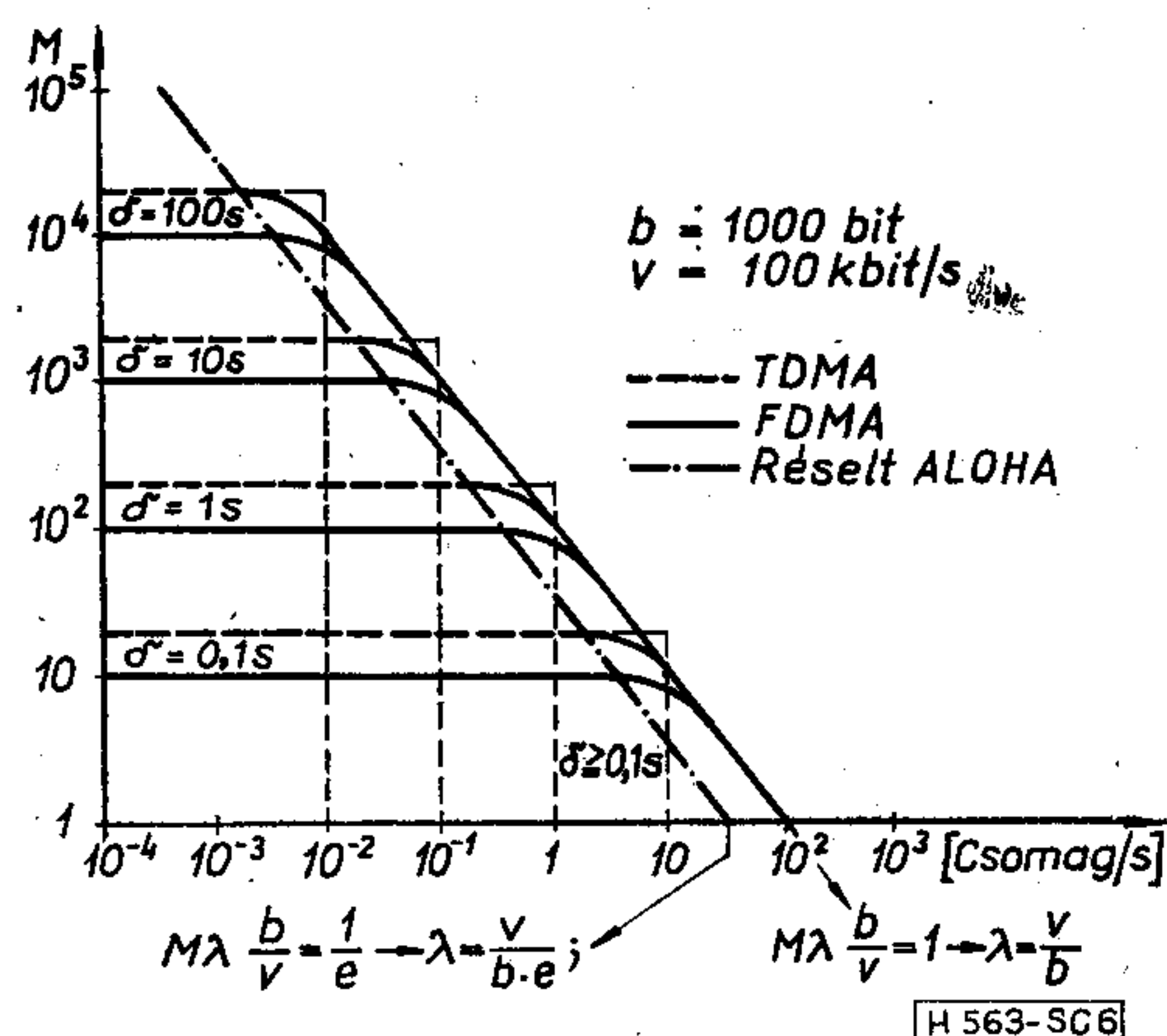
Mivel általában nem tételezhetjük fel, hogy a csomagok generálása állandó λ csomag/s sebességgel történik, a termináloknál szükség van sorbaállításra. E sor kis aktivitás esetén nagy valószínűséggel üres, nagy aktivitás esetén azonban lesznek olyan időszakok, amelyekben az átlagosnál több csomag generálódik, így azok az FDMA-, ill. TDMA csatornába való kijutás előtt bizonyos időt a sorban is töltenek.

FDMA-rendszerrel a csomagkésési idő a sorban eltöltött idő és a kiszolgálási idő összege:

$$\delta = \frac{M^2 \lambda b}{2V^2 \left(1 - \frac{M \lambda b}{V}\right)} + M \frac{b}{V}. \quad (13)$$

Az összeg első tagját az $M/D/1$ típusú sorokra ismert összefüggésbe [7] való behelyettesítéssel nyertük, a második tag a csomagnak a csatornán való átjutásának ideje.

TDMA-nál a rendszerben eltöltött idő három komponensből áll: a sorbanállás idejéből, a következő



6. ábra. Összehasonlítás az idő- és frekvenciaosztásos rendszerekkel

saját időreig eltelő átlagos időből és a csatornán való átjutás idejéből:

$$\delta = \frac{M^2 \lambda b}{2V^2 \left(1 - \frac{M \lambda b}{V}\right)} + \frac{M}{2} \frac{b}{V} + \frac{b}{V}. \quad (14)$$

A véletlen hozzáférésű rendszerek közül a réselt ALOHA-t tesszük összehasonlítás tárgyává, mivel a csomagkésési idő az S átvitel függvényében itt analitikusan is megadható (l. pl. [12]-ben).

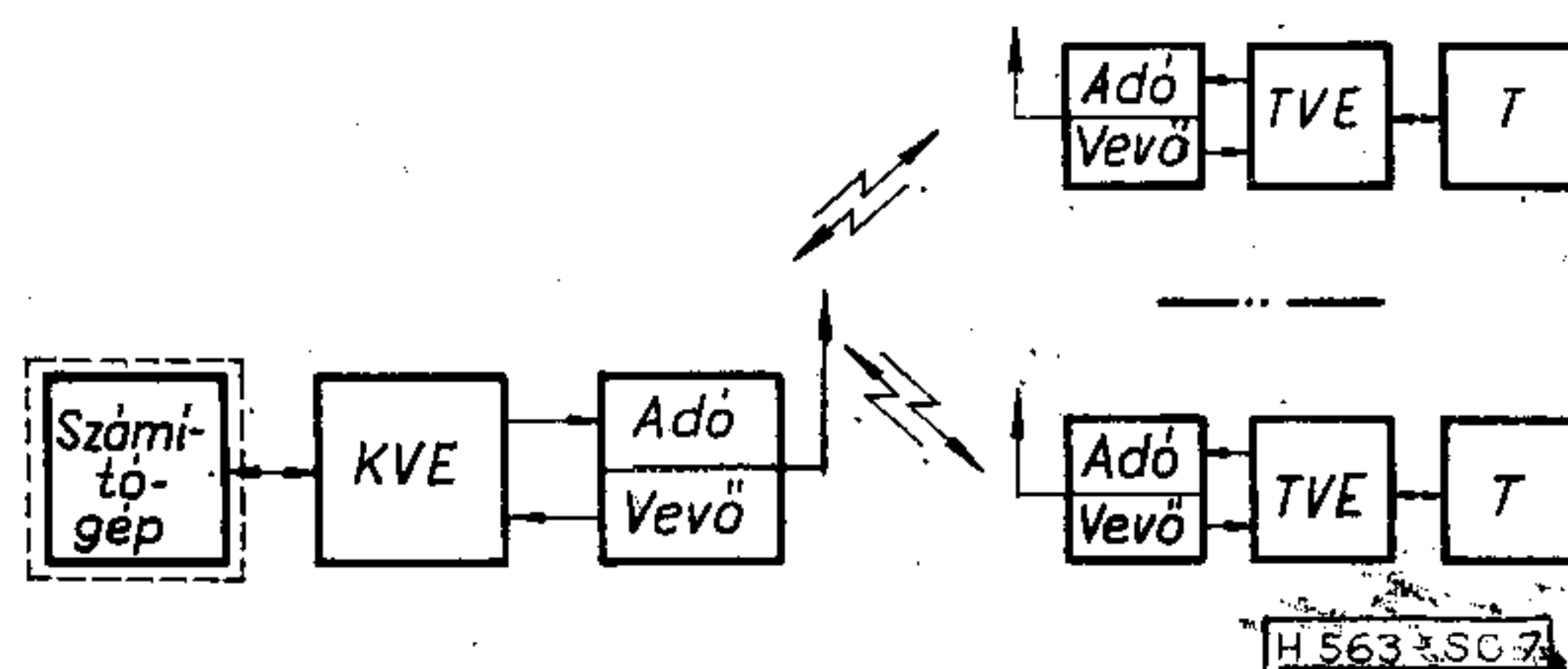
A viszonyok érzékelésére legcélszerűbb a konstans δ -nak megfelelő $M=f(\lambda)$ összefüggést ábrázolni (6. ábra). A réselt ALOHA-csatornában az adott késleltetésnek megfelelő $S=M \cdot \lambda \cdot \frac{b}{V}$ átvitel konstans érték, így az ábrázolt összefüggés az ennek megfelelő egyenes.

Az ábrán jól látható, hogy pl. $\delta=0,1$ s esetén kis aktivitású terminálokból a véletlen hozzáférésű rendszer nagyságrendekkel többet képes kiszolgálni, mint akár az idő-, akár a frekvenciaosztásos rendszer. E két utóbbi között egyébként a különbség kb. 2-szeres faktor a TDMA javára.

2. Példák gyakorlati alkalmazásokra

2.1 Az ALOHA-rendszer néhány jellegzetessége

A bevezetőben is említett ALOHANET volt tudomásunk szerint az első, nemzetközileg publikált véletlen hozzáférésű rádiócsatornát alkalmazó számítás-



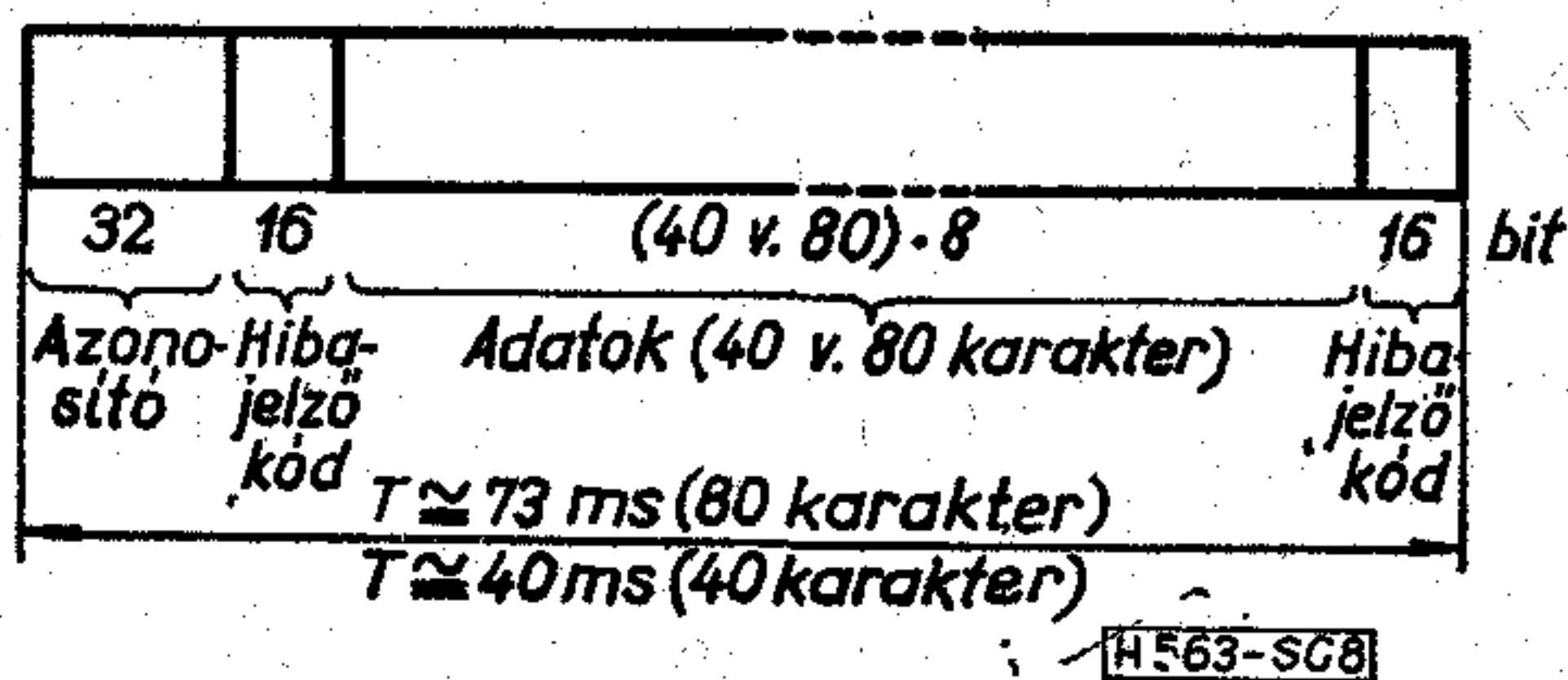
7. ábra. Az ALOHA-rendszer központjának és termináljainak egyszerűsített tömbvázlata

technikai hálózat, amely a Hawaii Egyetemen létesült. Ebben a pontban elsősorban azokat a jellegzetességeket foglaljuk röviden össze, amelyek hasonló rendszerek tervezésekor hasznosak lehetnek, és a következő pontban tárgyalt rendszerterv kialakításánál is kiinduló pontként szolgáltak.

Az ALOHA-rendszer eredetileg egy csillag-hálózat volt, amelyet később ismétlőállomások és műholdas rendszerekbe való bekapcsolódások jelentősen módosítottak. A rendszer központjának és termináljainak leegyszerűsített tömbvázlata a 7. ábrán látható.

A központi vezérlőegység (egy HP 2100 típusú kis-számítógép) kapuként szolgál a rendszer termináljai és számítóközpontja között, ill. ezen keresztül van lehetőség műholdon keresztül más rendszerekkel való kommunikációra is.

Valamennyi terminált (függetlenül azok konkrét formájától: teletype-ok, display-k, minikomputerek lehetnek terminálok) egy terminálvezérlő egység kapcsol be a rendszerbe.



8. ábra. Az ALOHA-rendszerben alkalmazott adatcsomag felépítésének egyszerűsített vázlata

A terminálvezérlő egység feladatai

- csomagképzés (fejrész és hibajelző kód hozzáadása),
- adás és a késleltetett ismétlések vezérlése,
- a visszajelzések és a terminálnak szóló üzenetek felismerése és továbbítása.

Az alkalmazott csomagstruktúrát a 8. ábra mutatja. Lehetőség van egész (80 karakteres) és fél (40 karakteres) csomagok képzésére. Az időadat 9600 bit/s átviteli sebességnek felel meg.

A központi vezérlőegység vezérli a teljes üzenetforgalmat. Feladatai mindenekelőtt:

- a sikeresen beérkezett csomagok felismerése, visszajelzés generálása,
- a számítóközponttól a terminálok felé irányuló üzenetek sorbaállítása valamilyen prioritási séma szerint,
- a visszajelzések számára ezekkel szemben elsőbbség biztosítása.

Az összeütközött csomagok ismétlési algoritmus és egyúttal egy egyszerű módszer a csatorna stabilitásának biztosítására a következő. Az ismétlési késleltetés kb. 10 csomaghosszynyi időn belül (0,7 s) egyenletesen sorolódik. A terminálvezérlő automatikusan háromszor ismételi, s ha a harmadik kísérlet is sikertelen, jelzést ad a kezelőnek, aki az újabb ismétlést kézivezérléssel indíthatja el. Ez egyben azt jelenti, hogy nagy forgalom esetén igen hosszú késleltetési időt iktat be a terminál.

Egyszerűen megbecsülhetjük, hogy a csatorna kb. hány aktív terminált szolgálhat ki, stabil csatornát feltételezve és eltekintve a csomagkésési időtől. Egy-egy terminál aktivitását (S_i csomag/s $\rightarrow S_i$ csomag/T s) kb. percenként egy csomagra becsülhetjük (1 sor leírása a display-n a szóban forgó interaktív alkalmazásokban átlagosan kb. 1 perc). Ekkor az

$$S_{\max} = MS_i = MS_i' T, \quad S_{\max} = \frac{1}{2e}, \quad (15)$$

összefüggésekből a 9600 bit/s sebességű csatornának megfelelő $\cong 73$ ms csomaghossz esetén

$$M = \frac{1}{2e \cdot S_i' T} \cong 154,$$

adódik.

2.2 Véletlen hozzáférésű rádióterminálok alkalmazása számítógépes kardiológiai kísérletekben

Számítógéppel segített kardiológiai vizsgálatokban a számítógép egy már meglevő adatbank felhasználásával

feldolgozza a beteg EKG-információját és segíti az orvost a diagnózis megállapításában. Mivel az EKG-vizsgálatok a szokásos klinikai, szakorvosi gyakorlaton túl a megelőzésben is fontos szerepet játszanak, a jövőben tömeges szűrővizsgálatokra is egyre inkább fel kell készülni. Ezért az ehhez szükséges és hasonló célú számítógépes távadat-feldolgozó rendszerek tervezése aktuális feladat.

Az ilyen rendszerekben is több terminál távoli hozzáférést kell biztosítani egy központi számítógéphez. Kis számú állandó helyű terminál esetén még célszerű lehet telefonvonalakkal biztosítani az összeköttetéseket. Nagyobb és változó elhelyezkedésű terminálszámnál és továbbfejlesztésnél azonban igen előnyösen használhatjuk ki azt a jellegzetességet, hogy az EKG-vizsgálat ideje jóval nagyobb az EKG-információ és a kísérőinformáció továbbításához szükséges időnél, mégpedig véletlen hozzáférésű rádiócsatorna alkalmazásával. A fő gyakorlati előnyök, nevezetesen, hogy:

- a rendszer rugalmasan telepíthető és bővíthető,
- kommunikációs vonalak bérleti vagy használati díja lényegesen kisebb,
- az összeköttetések a bérelt vonalak kötetlenségével és biztonságával használhatók,

különösen nagyvárosi körülmények között lehetnek lényegesek.

A véletlen hozzáférésű rádiócsatornát a Budapesti Távközlési Kutató Intézet ESz 1010 alapú kísérleti kardiológiai rendszere [14] számára dolgoztuk ki, amelyben az orvosi terminálok (OT) és a központi berendezés (KB) közötti összeköttetést kapcsolt telefonvonalon valósították meg. Az orvosi terminál egyik üzemmódjában alfanumerikus display és modem alkalmazásával kísérőinformáció továbbítható, a másikban a vektorkardiográf három analóg jele, egy-egy alkalmasan megválasztott segédvívó frekvenciamodulációja (tehát FM/FDM-eljárás) segítségével.

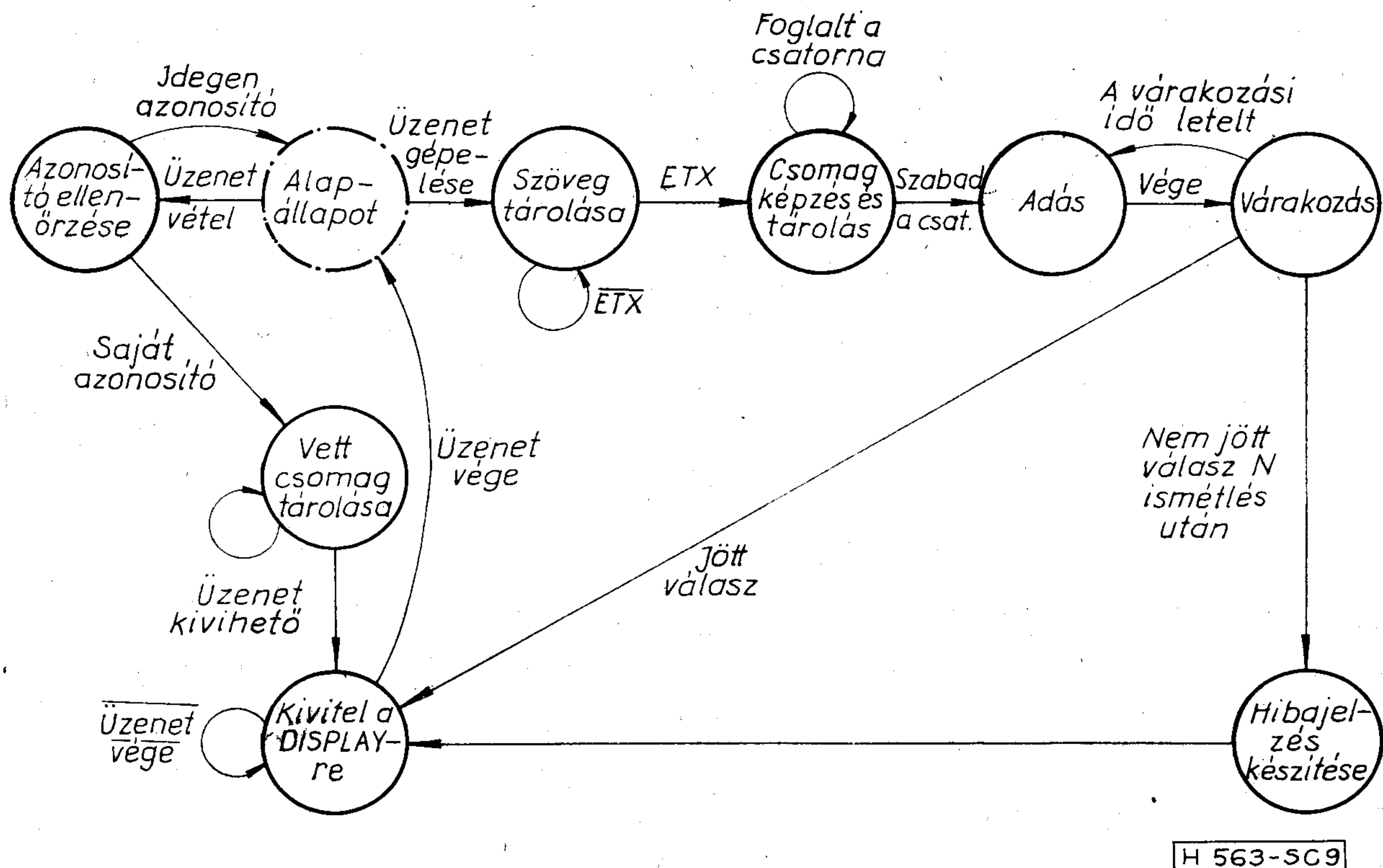
A többszörös hozzáférésű rendszer tervezése során figyelembe vettük az üzenetfajtát és az alkalmazható rádiócsatorna jellegzetességeit, és két változattal kísérleteztünk. A kiindulási feltételek:

a) Az OT kétfajta üzenetet küld, amelynek adatai a jelenlegi vizsgálati körülményeknek megfelelően:

- a kísérőinformáció (a beteg kódja, adatai, egy kérdőívre adott válaszai, járulékos vizsgálati eredmények) egy 80 karakteres display sornak felel meg, azaz az alkalmazott aszinkron üzemmódban 880 bitnek. Ezt az ALOHA-csomaghoz hasonlóan fejléccel és hibajelző kóddal ellátva, (10–15%) kb. 1000 bit hosszúságú csomag adódik,
- az analóg EKG-üzenet hossza 15 s.

b) A rendelkezésre álló rádiócsatorna-kapacitást, pontosabban az alkalmazható adatátviteli sebességet az határozza meg, hogy alkalmazkodni kell a frekvenciakiosztáshoz, valamint célszerű gyári rádiótelefon készüléket alkalmazni, lehetőleg kevés módosítással. Itt alapvetően két lehetőségünk van:

1. A rádiótelefont telefoncsatornához hasonlóan használjuk fel, azaz a modem jele a hangfrekvenciás moduláló jel. Így csekély módosítással könnyen érhetünk el 1200 bit/s sebességet, ennél nagyobb az azon-



9. ábra. EKG-rádióterminál vezérlő egységének állapotdiagramja

ban csak a sávot jobban kihasználó, de bonyolultabb megvalósítható modulációs eljárások alkalmazásával.

2. Az adó/vevő fő egységeit felhasználva közvetlen digitális modulációt valósítunk meg. Figyelembe véve az URH-sávban rögzített 25 kHz-es csatornatávolságot, 10 kbit/s vagy ennél nagyobb sebességet könnyen elérhetünk, pl. egyszerű bináris DPSK-t alkalmazva.

Mindezek alapján a két változat a következő lesz.

1200 bit/s átviteli sebesség, analóg EKG-átvitel alkalmazása

A fenti adatok alapján a kísérőadat-csomag kb. 0,83 s, az EKG-üzenet 15 s idejű, tehát a két üzenetfajta ideje nagyon eltérő. Ezért a kísérőadat-csomagok a központot véletlen hozzáférésű csatornán érik el, vivőérzékelő eljárást alkalmazva, az EKG-üzeneteknek pedig mindig szabad utat biztosítunk. A központi vezérlőegység nyugtázó üzenete egyúttal az adott terminálnak EKG-engedélyt, a többinek pedig tiltást jelent. Ebben a változatban tehát az EKG-felvétel és az EKG-jel továbbítása csak akkor indul meg, ha erre engedély érkezett.

Az üzenetforgalom irányítását az ALOHA-rendszer koncepciójához hasonlóan a terminálvezérlő egység és a központi vezérlőegység végzi. A fenti eljárást megvalósító algoritmust a terminálvezérlő oldalról a 9. ábra állapotdiagramja mutatja meg részletesebben. Az ábrán a legegyszerűbb, kitartó vivőérzékelő eljárás alkalmazását látjuk. A terminálvezérlő funkcióinak mikroprocesszorral való megvalósítása esetén azonban más, az eddig közlteknek hatékonyabb vivőérzékelő eljárások is rugalmasan kipróbálhatók [15].

9600 bit/s vagy ennél nagyobb sebesség, digitális EKG-átvitel

Ha az OT-ben analóg/digitális átalakítást és adatkompresziót valósítunk meg, akkor az EKG-jelek is csomagok formájában továbbíthatók. A jelenlegi rendszer adatainak (300 Hz-es mintavételi sebesség, 256 szintre kvantálás) és egy már kidolgozott adatkompresziós eljárásnak kb. 5-szörös megtakarítást eredményező 2,25 s csomaghosszúság adódik. Így most már az EKG-információ is egyszerűen tárolható, és nincs szükség feltétlenül az EKG-üzenetek engedélyezésére.

Összefoglalás

Jelen munka célja a véletlen hozzáférésű rádiócsatornát alkalmazó kommunikációs hálózatok fő jellegzetességeinek összefoglalása, a gyakorlati alkalmazási lehetőségek megmutatása volt. E rendszerek elmélete még távolról sem tekinthető befejezettnek, s a nyitva álló kérdésekre összefoglalásunk rövidsége miatt még utalni sem tudtunk. Úgy tűnik azonban, hogy az ismertett két gyakorlati alkalmazási példa, a már működő ALOHA-rendszer és a méreteiben jóval kisebb, speciális célú kísérlet jól illusztrálja a véletlen hozzáférésű rádióterminálok alkalmazásának előnyeit és perspektíváit.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki dr. Csibi Sándor egyetemi tanár, intézetigazgatónak a cikk tárgyához csatlakozó kutatási-fejlesztési téma irányításáért, s

a cikk írása során nyújtott segítségéért, valamint Dallos György egyetemi adjunktusnak, hasznos észrevételeiért.

IRODALOM

- [1] Kleinrock, L.: Queueing Systems, vol. II. Computer Applications. Wiley, New York, 1976.
- [2] Abramson, N.—Kuo, F.: Computer-Communication Networks. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1973.
- [3] Abramson, N.: The Theory of Packet Broadcasting. The Aloha-System, B76-1, January, 1976.
- [4] Schroeder, M. R.: Nonsynchronous Time Multiplex System for Speech Transmission. Bell. Lab. Memo 19. January 1959.
- [5] Roberts, L. G.: Multiple Computer Networks and Inter-Computer Communication. Proc. of the ACM Symp. on Operating Systems, Gatlinbourg, Ten., 1967.
- [6] Abramson, N.: The ALOHA-System — Another Alternative for Computer Communication. AFIPS Conf. Proc. vol. 37, 1970.
- [7] Kleinrock, L.: Queueing Systems, vol. I. Theory. Wiley, New York, 1975.
- [8] Gnedenko, B. V.: Vvedeniye v teoriyu masszovogo obszluzivaniya. Moszkva, „Nauka”, 1966.
- [9] Kleinrock, L.—Lam, S.: Packet Switching in a Slotted Satellite Channels. AFIPS Conf. Proc. vol. 42, 1973.
- [10] Kleinrock, L.—Tobagi, F.: Packet Switching in Radio Channels: Part I. — Carrier Sense Multiple Access Modes and their Throughput-Delay Characteristics. IEEE Tr. on Com., vol. 23, N° 12, December, 1975.
- [11] Kleinrock, L.—Lam, S.: Packet Switching in a Multi-access Broadcast Channel: Performance Evaluation. IEEE Tr. on Com., vol. 24. N° 8, August 1976.
- [12] Lam, S. S.: Packet Switching in a Multi-access Broadcast Channel. UCLA-ENG-7429, March 1974.
- [13] Dallos Gy.—Györi J.—Szabó Cs.: Kísérleti rádióterminál szolgálat. TKI—BME/HEI, 1976.
- [14] Csapody Cs.—Shakin, V. V.—Kobzos L.—Balog B.: Szisztéma dlja obrobotki EKG na maloj EVM szo mnogimi on-lajn terminalami. Tez. dokl. III. Moszkva-Puscsino, 1976.
- [15] Dallos Gy.: Egyszerű és hatékony módszer interaktív terminálok többszörös hozzáférésére számítógéphez. Preprint, Budapest, 1977.
- [16] Shakin, V. V.—Breuer P.: Adaptive least-squares spline fitting the vectorial signals. Proc. Conf. “Digital Signal Processing”, Florence, 1975.

SZEMLE

(Folytatás a 213. oldalról.)

Két éven belül sor kerül millió bites, mágneses buborékmemória chip kísérleti gyártására. A Rockwell International vállalat Elektronikai Kutató Központjának egyik vezetője közölte, hogy bár a megabites mágneses buborékmemória chip még nincs teljesen specifikálva, a gyártáshoz szükséges technológiát már kipróbálták. Az eszköz sűrűsége $1,6 \times 10^6$ bit/cm², így egy $10 \times 9,5$ mm méretű chip-en tízszer nagyobb tárolókapacitás alakítható ki, mint a napjainkig nyilvánosságra hozott félvezető memóriák bármelyikénél. (*Electronics*, 1977. jún. 9. [414])

*

Az elmúlt évek alkatrész-forradalma egyre gyorsabb változtatásokra kényszerítette az elektronikus műszerek konstruktőröket, de a legnagyobb változást kétségtelenül a mikroprocesszorok felhasználása jelentette.

Ez a fejlesztés lehetővé tette az egyedi feladatok kombinációjának megoldását egyetlen műszer vagy egy rendszer alkalmazásával. A műszereket ennek megfelelően úgy kell majd kifejleszteni, hogy megfelelően rugalmasan alkalmazhatók legyenek a különböző mérési feladatokhoz.

A mikroprocesszort fekete doboznak feltételezve a fejlesztő első feladata a követelmények definiálása, amelyek a perifériát — általában a tulajdonképpeni mérőkört — jelentik a fekete doboz számára. Ez legtöbbször — a mikroprocesszor tulajdonságait ismerve — nem jelent komoly problémát. A második feladat — és ez az új — a program kifejlesztése a mikroprocesszor megfelelő működtetéséhez.

A mérőműszerek jövőbeni kialakítási módját azonban a mikroprocesszorok alkalmazása mellett a félvezető tárolók és kijelző-lehetőségek változása is erősen befolyásolja. A magas műszaki követelményeket kielégítő műszereknek nagy megbízhatóságúnak, és sokféle mérési feladat elvégzésére alkalmasnak kell lenni. Rendelkezniük kell analóg/digitál vagy digitál/analóg átalakítóval is.

A különböző mérőrendszerek egyedi processzorait csatlakoztatni lehet egy közös adatgyűjtő számítógéphez, amely a mérési eredményeket kiértékeli, tárolja, de egyben vezérli is a többi processzor együttműködését. Egyszerűen a mikroprocesszor alkalmazhatósága olyan segédeszköz a műszerkonstruktőrök számára, amelynek kihasználása elősegíti a feladatok koncentrált megoldását. (*Frankfurter Zeitung*, 1977. júl. 4. [415])

*

Az angol Plessey Connectors vállalat hatutas száloptikai csatlakozót fejlesztett ki, maximálisan hat különálló üvegszál egyidejű, kis veszteségű csatlakoztatására. A csatlakozó kifejlesztése első eredménye annak az intenzív kutatási programnak, amelyen a vállalat kutató-fejlesztő részlege dolgozik, szorosan együttműködve az Allen Clark Kutató Központtal. A száloptika csatlakozó elem alapja egy fémtömb, precíziós hornyokkal a szálak megvezetésére. A szálak megfogása rögzítőelemekkel történik, nem ragasztással. Így a szerelés „száraz” művelet és bármikor megismételhető.

A csatlakozó jellemzői:

szálak száma	1...6
szálátmérő	50...200 μ m
kábel külső átmérő	5 mm
veszteség	1,5 dB alatt.

(*Electronic Engineering*, 1977. jún. [416])

*

Az angol Gould Advance vállalat bejelentette MG5—100 típusú 5 V, 100 A kimenetű egységét, ezzel kapcsolóüzemű tápegység családjának felső teljesítményhatárát 500 W-ra emelte. Az új egység közepes és nagy számítógépekben és ipari logikai rendszerekben használható. A tápegység hálózati zavar esetén — a legkedvezőtlenebb bemeneti és kimeneti feltételek mellett — még 28 ms ideig folyamatosan működik. (Egy teljes hálózati periódus kiesése a kimeneten nem észlelhető.) A kimeneti feszültség 5 V egyenfeszültség, $\pm 5\%$ -os határokon belül változtatható. A bemeneti hálózati feszültség 115...120 V és 220...240 V lehet, 45...400 Hz frekvenciával. A kimeneti feszültség 0,1%-nál kisebb mértékben változik, $\pm 10\%$ -os bemeneti feszültség és 0...100%-os terhelésváltozás hatására, hullámossága 10 mV_{eff}. A tápegység hatásfoka 70%-nál nagyobb, a „teljesítménysűrűség” 74 W/1000 cm³. A kimenet túlfeszültség és túlterhelés ellen védett. A tápegység mérete 203 $\times$ 127 $\times$ 280 mm³, súlya 6 kg. (*Electronic Equipment*, 1977. jún. [417])

*

Az olasz postai és hírközlési adminisztráció (IPT) modern elektronikus kapcsolószolgálatot akar bevezetni nemzeti hírközlési hálózatába. A program magában foglalja számítógép-irányítású kapcsolóközpontok létesítését, amelyek a telexrendszer több, mint 15 000 használójának nyújtának mo-

dern szolgáltatást. A kapcsolórendszert a Collins Communications Switching Systems készíti és helyezi üzembe. Ez a cég, valamint a Collins Italiana SpA (Róma), amely ugyancsak részt vesz a munkálatokban, a Rockwell Intl. cég leányvállalata. (*Communications*, 1977. márc. [418])

*

Az USA-ban valószínűleg az „automatizált hivatal” lesz három mammutvállalat, az IBM, a Xerox és az AT and T nagy konkurenciaharcának fő területe. Az AT and T a telefonhálózaton a beszéd digitális formában való közvetítésén alapuló adatfeldolgozó szolgáltatást kíván bevezetni és azzal kiszorítani a konkurens adattovábbító és feldolgozó szolgáltatást. A Xerox, amely a közelmúltban sikertelen kísérletet tett a számítógép-piacra való betörésre, nagy összegeket költ az automatizált hivatal berendezéseivel kapcsolatos kutatási-fejlesztési munkákra. A cég a közelmúltban jelentette be IBM-géppel működő lézeres sornyomtató berendezés kihozatalát, valamint egy új szófeldolgozó berendezés, információ-tároló és visszakereső rendszer gyártását.

Az IBM is kijött a maga szófeldolgozó rendszereivel, de mint a jövő adatátviteli rendszerei elemeivel, foglalkozik a száloptikai adatátvitel fejlesztésével is. (*Computer Weekly*, 1977. júl. 28. [419])

*

A Montreux-ban tartott 10. Nemzetközi tv-technikai Szimpózium mintegy 2000 küldöttje számára készült írásban összefoglalt konferenciaanyag és a 135 kiállító által bemutatott berendezések az iparág ellentmondásait tükrözték. Mint az elektronikai ipar más területein is, a rohamos fejlődés a gyártókat a tönkremenéssel fenyegeti. A technológia már nem korlátozó tényezője a műszaki teljesítmény növelésének, viszont az adóállomások, miután milliárd dolláros nagyságrendű beruházással felszerelték, 2–3 év elteltével úgy találják, hogy berendezésük már elavult — legalábbis a gyártók marketingszervei ezt sugallják. A gyártók ugyanerről a jelenségről panaszkodnak. A Robert Bosch Fernseh tv-kamerákat gyártó cég képviselője szerint legalább öt év munkája fekszik egy-egy új kameratípus kifejlesztésében, amely ezután 2 év alatt elavulttá válik, s így egyre nehezebb nyereségesen gyártani.

A kiállításon és a szimpóziumon megnyilvánult fő törekvések a berendezések kezelésének egyszerűbbé tétele és a többcélúan alkalmazható, tetszés szerint összeállítható modulfelépítés. (*Electronics Weekly*, 1977. jún. 15. [420])

*

A magánszektor tulajdonában levő automatikus üzenetkapcsoló-rendszerek a 70-es évek elején terjedtek el nagyobb számban. Ilyen rendszerek kiépítésének célja a különféle vállalatoknál a távközlési költségek csökkentése, a gyorsabb működés, a kezelőszemélyzet csökkentése, valamint a telefonvonalak jobb kihasználása. A miniszámítógép által vezérelt rendszerek a vállalat által használt telefon- és telexszámok automatikus tárcsázására vannak programozva, az üzenetet a kapcsolat elérése idejére tárolják. A nem sürgős közleményeket megfelelő rangsorolással szükség esetén az éjszakai órákban közvetítik, csökkentve a távközlési költségeket. Tipikus elrendezésben a rendszer központi egysége egy 16 bites számítógép 32 kbyte memóriával, ami mágneslemezzel bővíthető mintegy 512 k karakterre. Az utóbbi nagy részét tartós üzenettárolásra lehet használni, ciklikus cserélődéssel. A tárolóegység feltöltődését riasztás jelezheti. Valószínű, hogy kisebb vállalatok esetében a jövő trendje a mikroprocesszorok használata lesz, amelyekkel elméletileg kb. 10 telexvonalas rendszer alakítható ki, kisebb költséggel és méretekkel. (*Electronic Engineering*, 1977. aug. [421])

*

Nagy rendszerek (pl. adatbázis-rendszerek és adatbáziskezelő-rendszerek) teljesítményének analizálására szükség van az optimális rendszer kiválasztásához; ezt az analízist a szerzők részben analitikai, részben kísérleti módszerekkel végzik el. Az iterációs közelítést azzal a feltételezéssel kezdik, hogy a hibátlan analízis az első lépésben nem végezhető el. Analízisük lényege, hogy adott rendszer 2 változatát képezik. Az egyik a létező változat, a második a kódolás szempontjából lehetséges változat. A hibrid-analízis a következő lépéseket tartalmazza: 1. az alapvető alkotórészek (pl. paragrafusok) analízise felvett

adatokkal; 2. az alkotóelemekből feltételezett modell létrehozása; 3. az alkotóelemek költségeinek becslése, 4. a 2., 3. lépések kombinálása mennyiségi modellé, 5. a 4. lépés igazolása kísérletileg, 6. ha 5. hibás eredményre vezet, 1-től ismétlés, 7. az új rendszerben a 2., 3. lépések ismételt végrehajtása, 8. a módosítás kiértékelése. Az analízis használhatóságát példán ismerteti. (*Software Practice and Experience*, 1977. jún.—júl. [422])

*

A fényvezetők gyártástechnológiájának rendkívül gyors fejlődése ellenére probléma maradt a kis veszteségű csatlakoztatás. A Siemens AG a problémát planáris vastagréteg technológiával próbálta megoldani. A kísérleti egységeknél a fényvezetőszálak a fóliák keskeny csatornáiban futnak. A csatlakoztatandó végeket kissé egymás mellé helyezik, így érik el, hogy az egyik szálból kilépő fény a fólián teljesen visszaverődve kis veszteséggel lép be a másik fényvezetőszálba. A csillapítás függ a fényvezetőszálak elhelyezésétől, a teljes reflexió megvalósíthatóságától és a fólia felületének görbülésétől. A csatlakozási pontnál a gyártási pontosság $\pm 3 \mu\text{m}$, ha jó hatásfokú átvitelt akarnak elérni. A laboratóriumi mintákban $100 \mu\text{m}$ átmérőjű fényvezetőszálakat $25 \mu\text{m}$ távolságban csatlakoztatnak 74% átviteli hatásfokkal. (A veszteség tehát 26% volt, ami 1,3 dB-nek felel meg.) Olyan fényérzékeny műanyag fóliával kísérleteztek, amelynek a vastagsága ($100 \mu\text{m}$) megegyezett a fényvezető átmérőjével. (*Electronics*, 1977. júl. 7. [423])

*

Zsebműszer méretű szintmérőt készített a nyugatnémet Wandel und Goltermann cég a távbeszélőátviteli berendezések szintjeinek $-50...+10 \text{ dBm}$ közötti mérésére. A $3\frac{1}{2}$ jegyes folyadékkristályos kijelzésű műszer elemről üzemel. Az üzemi frekvenciatartomány $200 \text{ Hz}...4 \text{ kHz}$: 1020 Hz-es beépített jelgenerátora van, melynek kimenő ellenállása 600 ohm, a kimenőszintje pedig $-10 \text{ dBm}...+27 \text{ dBm}$ között állítható. A PM—10 típus kimenő ellenállása is szabályozható 600 ohm... 100 kohm között, az üzemidő szárazzelemmel 100 óra. Az üzemidő $\frac{2}{3}$ -ának elérését figyelmeztető hanggal jelzi, mert ezután a mérési eredmények már nem biztosak, az elem cseréjével viszont automatikusan kezdi újra a számolást. A műszer ponttól pontig és hurokmérésre is alkalmas. Gyárilag a -27 dBm -es szint a vevő kívánságának megfelelően $-10...-30 \text{ dBm}$ között beállítható. A frekvenciapontosság a névleges érték $\pm 10\%$ -a. (*Electronics*, 1977. júl. 7. [424])

*

A nagy teljesítményű elektronmikroszkópok nem periodikus szerkezetek vizsgálatánál 0,2 nm-es felbontási küszöböt értek el. A Siemens cég kutatólaboratóriumában sikerült szupra-vezető lencserendszerrel 0,16 n-es felbontást reprodukálhatóan bemutatni. Nekik sikerült először nehézfém (higany) atomokat a hexafenilén vegyületben kimutatniok (a Hg-atomok egymás közötti távolsága 0,36 nm). Az új elektronikus mikroszkópnak ma még csak a laboratóriumi mintapéldánya létezik, a sorozatgyártás a rendkívül magas ár miatt nincs tervbe véve. A tudósok már 1 éve kísérleteznek a szupra-vezetős lencserendszerrel. Az eredetileg 400 kV-ra tervezett lencserendszert 220 kV-on üzemeltetik. A hagyományos elektronmikroszkóppal szemben előnye, hogy a vizsgálandó anyagot és annak környezetét ideálisan lehűti, a hőmozgás, a vibrálás lényegesen lecsökken. A mágneses zavarójelek szinte teljesen hatástalanok. A szupra-vezető lencserendszer képmezőjében keletkező kép közvetlenül kiértékelhető. (*Elektronik*, 1977. szept. [425])

*

A digitális távközlési rendszerekben szükség lesz rendkívül gyors működésű logikai áramkörökre. A báziscsatolt (BCL) konfiguráció alkalmas 1 Gbit/s-nál magasabb átviteli ütemre is. A kapcsolás előnye még, hogy a szokásos emittercsatolt logikai áramköröknél (ECL) alacsonyabb feszültséggel táplálható, így teljesítménydisszpációja alacsonyabb. A logikai felépítés egyszerűbbé válik, az ÉS, VAGY, NEM funkciók közvetlenül felépíthetők. A káros induktivitás és kapacitás csökkenése érdekében a BCL áramköröket vékonyréteg-technológiával állítják elő. A kísérleti BCL áramkörökkel kapott késleltetési idő, homlokidő és lefutási idő 300 ps nagyságrendbe esett. (*Electronic Engineering*, 1977. szept. [426])

Tartalmi összefoglalások

Обобщения

ETO 778.38:535.41

Solymár L.:

Vastag hologramok elmélete és alkalmazásai

HÍRADÁSTECHNIKA XXIX. (1978) 7. sz.

A vastag hologramok három fontos szempontból különböznek a vékony hologramoktól: 1. hatásfokuk elérheti a 100%-ot; 2. reprodukciós képességük erősen függ a beesési szögtől és a hullámhossztól; 3. több hologram is egymásra szuperponálható. A tulajdonságaik leírására alkalmas teljesen új elmélet inkább a Röntgen-sugarak diffrakciójának elméletéhez, mint az optikai elemekét leíró Fourier-transzformációhoz hasonlít. Potenciális felhasználásaik (pl. csatoló eszközként vagy memóriaként) megvalósítása elsősorban alkalmas anyagok kidolgozásán, ill. ezek megbízhatóságán és előállításuk költségén múlik.

ETO 621.3.049.776.21

Dutka T.—dr. Szabó L.—Wollitzer Gy.:

Eredmények és feladatok a hibrid vastagréteg technikában

HÍRADÁSTECHNIKA XXIX. (1978) 7. sz.

A cikk röviden áttekinti a vastagréteg hibrid technika jellegzetességeit és perspektíváit. Hazánkban nagy lehetőségek állnak a hibrid vastagréteg áramkörök előtt. A meglevő kísérleti gyártó bázis fokozottabb felhasználása érdekében a jelenleginél szorosabb és hatékonyabb kapcsolat kialakítása folyamatban van a felhasználók és gyártók között.

ETO 519.2:621.396.4:681.324

Dr. Szabó Cs.:

Véletlen hozzáférésű rádiócsatornák alkalmazása számítástechnikai hálózatokban

HÍRADÁSTECHNIKA XXIX. (1978) 7. sz.

Az áttekintő cikk a véletlen hozzáférésű rádiócsatornák legfontosabb tulajdonságaival és alkalmazásaival foglalkozik számítástechnikai hálózatokban. Összefoglalja a csatornák kapacitására, az átlagos csomagkésési időre, s az instabilitásra vonatkozó eredményeket, kitér a „vívó-érzékeléses” eljárásokra. A cikk röviden összeveti a véletlen hozzáféréseket az idő- és frekvenciaosztásos módszerekkel. A gyakorlati alkalmazások közül a jól ismert „ALOHA”-rendszer néhány jellegzetességéről esik szó, majd véletlen hozzáférésű „rádióterminálok” alkalmazási lehetőségeiről számítógépes kardiológiai kísérletekben.

ДК 778.38:535.41

Шольмар, Л.:

Теория и применения голограмм толстого типа

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XXIX. (1978) № 7

Голограммы толстого типа с тремя важной точки зрения отличаются от голограмм тонкого типа: (1) коэффициент действия может достигать 100%; (2) способность восстановления сильно зависит от угла падения и от длины волны; (3) возможно суммирование нескольких голограмм. Совершенно новая теория, которая годна для описания свойств голограмм, более похожа на теорию дифракции рентгеновских лучей, чем на трансформацию Фурье, описывающую оптических элементов. Осуществление широкого применения (например в качестве элемента связи или памяти) в первую очередь зависит от разработки годных материалов и также от их надежности и стоимости получения.

ДК 621.3.049.776.21

Дутка, Т.—Др. Сабо, Л.—Воллитцер, Дь.

Достижения и задачи гибридной толсто-плоскостной технологии

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XXIX. (1978) № 7

В статье дается краткий обзор характеристик и перспектив гибридной толсто-плоскостной техники. В нашей стране перед гибридных толсто-плоскостных интегральных схем имеются широкие возможности применения. С целью более интенсивного использования настоящей экспериментальной производственной базы ведутся работы для создания более тесных и эффективных связей, чем настоящие, между потребителями и производителями.

ДК 519.2:621.396.4:681.324

Д-р Сабо, Ч.:

Радиоканалы со случайным доступом в вычислительных сетях

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XXIX. (1978) № 7

Статья суммирует важнейшие показатели и свойства систем со случайным доступом и их применения в вычислительных сетях. Приводятся результаты работ анализа таких систем: говорится о пропускной способности, о среднем времени задержки, о неустойчивости канала. Коротко упоминается о методах с индикацией занятости канала. Приводится сравнение с системами с частотным и временным уплотнением, указаны на два примера практического применения: во-первых перечисляются некоторые характерные особенности известной системы „ALOHA”, а во-вторых обсуждаются возможности использования в экспериментальной системе машинной обработки электрокардиограмм.

Zusammenfassungen

DK 778.38:535.41

Solymár, L.:

Theorie und Anwendung von Dickhologrammen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) Nr. 7.

Die Dickhologramme unterscheiden sich voneinander durch drei wichtige Standpunkte: 1. Ihr Wirkungsgrad kann 100% erreichen; 2. Ihre Reproduktionsfähigkeit hängt von dem Eintrittswinkel und Wellenweite ab; 3. Mehrere Hologramme können auch aufeinander superponiert werden. Die zur Beschreibung ihrer Eigenschaften geeignete ganz neue Theorie gleicht lieber zu der Diffraktionstheorie der Röntgenstrahlen, als zu der optischen Elementen beschreibenden Fourier-Transformation. Die Realisierung ihrer potentialen Anwendungen (z. B. als Ankopplungsgerät, oder als Speicher) hängt erstens von der Ausarbeitung der entsprechenden Materialien, dem Zuverlässigkeit und der Kosten ihrer Herstellung, ab.

DK 621.3.049.776.21

Dutka, T.—dr. Szabó, L.—Wollitzer, Gy.:

Ergebnisse und Aufgaben auf dem Gebiet der Hibrid Dickfilmtechnik

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) Nr. 7.

In dem Aufsatz werden die Eigentümlichkeiten und Perspektiven der Dickfilmbildungstechnik kurz überblickt. In Ungarn stehen grosse

Möglichkeiten den Hibrid Dickfilmstromkreisen vor. Im Interesse der erhöhten Anwendung der existierenden Versuchsfertigungsbasen ist die Entwicklung der engeren und wirksameren Verhältnisse zwischen den Gebräuchern und Verfertigern im Gange.

DK 519.2:621.396.4:681.324

Dr. Szabó, Cs.:

Anwendung von „random access“ Radiokanalen in rechen-technischen Netzwerken

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) Nr. 7.

Der Aufsatz beschäftigt sich mit den wichtigsten Eigenschaften und Anwendungen der „random access“ Radiokanalen in den rechen-technischen Netzwerken. Er fasst die Ergebnisse bezüglich der Kapazität der Kanäle, der durchschnittlichen Paketverzögerungszeit und der Instabilität zusammen und befasst sich mit den „Träger-Empfindlichkeits“-Verfahren. Er vergleicht kurz den „random access“ Verfahren mit den Zeit- und Frequenzteilmethoden. Von den praktischen Anwendungen werden einige Eigentümlichkeiten des wohl bekannten „ALOHA“-Systems erwähnt und zuletzt werden die Anwendungsmöglichkeiten der random access „Radioterminale“ in den mit Computer ausgeführten kardiologischen Forschungen, erörtert.

Summaries

UDC 778.38:535.41

Solymár, L.:

Theory and Application of Thick Holograms

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) N° 7.

The thick holograms differ from the thin holograms from three important points of view: 1. Their efficiencies can reach 100%; 2. Their reproductionability depends considerably from the angle of incidence and the wavelength; 3. various holograms can be superposed on one each other. The completely new theory to describe their properties is similar rather to the theory of the diffraction of X-ray than to the Fouriertransformation describing the optical elements. The realisation of their potencial application (e. g. as a coupling instrument, or memory) depends first of all on the preparation of suitable materials, on their reliability and on the expences of their production.

UDC 621.3.049.776.21

Dutka, T.—dr. Szabó, L.—Wollitzer, Gy.:

Results and Tasks in the Field of Hybrid Thick Film Technics

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) N° 7.

The paper gives a short review over the characteristics and perspectives of thick film hybrid technics. In our country hybrid thick film circuits have fine prospects. For the interest of the use of the existing experimental manufacturing basis in a greater extent, the establishing of closer and more efficient relations, than actually, is in progress between the consumers and producers.

UDC 519.2:621.396.4:681.324

Dr. Szabó, Cs.:

Random access radio channels in computer networks

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) N° 7.

The paper summarizes the most important characteristics and applications of the random access radio channels in computer networks. The capacity of such channels and the average packet delay are considered, further the instability of random access channels and methods of maintaining stability are discussed. A short reference is made to the "carrier-sensing" methods. There is also a comparison between random access multiplex and fixed time, or frequency division multiplex systems. Two practical applications are mentioned: first, some characteristics of the well-known "ALOHA"-system are briefly reviewed, then the applications of random access "radio-terminals" used in computer-aided cardiology experiments are discussed.

Résumés

CDU 778.38:535.41

Solymár, L.:

Théorie et applications des holograms epais

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) N° 7.

Les holograms épais different des holograms minces á trois points de vue importants: (1) leur efficience peut attendre á 100p. c; (2) leur aptitude á reproduire dépende fortement d'angle d'incidence et de la longueur d'onde; (3) plusieurs holograms peuvent etre superposés. La théorie parfaitement nouvelle apte á exposer leur caractéristiques préfere ressembler á la théorie de diffraction des rayons X que á la transformateur de Fourier décrivant des composants d'optique. La réalisation de leurs emplois potentiels (par ex comme un coupleur ou mémoire) dépendent en premier lieu de l'exécution des matériaux appropriés respectivement leur fiabilité et frais de production.

CDU 621.3.049.776.21

Dutka, T.—Dr Szabó, L.—Wollitzer, Gy.:

Résultats et fonctios dans le technique á couche épaisse

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXIX. (1978) N° 7.

L'article résume succinctement les caractéristiques et perspectives du technique hybride á couche épaisse. Dans notre pays, il y a beaucoup de possibilités de utiliser des circuits á couche épaisse. Pour exploiter mieux la fabrication experimentale existant, une formation de relation plus étroite et efficace entre des usagers et producteurs est en train.

CDU 519.2:621.396.4:681.324

Dr. Szabó Cs.:

Emploi des voies radiodiffusées á accès aléatoire dans les réseaux de données

HÍRADÁSTECHNIKA XXIX. (1978) N° 7.

L'article récapitulatif s'occupe les plus importantes caracteristiques et applications des voies radiodiffusées á acces aléatoire dans les réseaux de données. Il résume les résultats concernant la capacité des voies, le temps de propagation moyenne de paquet et la instabilité ainsi que il s'étend sur les procédés á «réception de porteurs». L'article compare les procédés á accès aléatoire avec ceux á analogique et numérique. Parmi des emplois pratiques on décrit quelques caracteristiques du système «ALOHA» très connu ainsi que les possibilités d'emploie des radioterminals dans les expériences cardilogiques á ordinateur.

