E 870

HÍRADÁS-TECHNIKA

A HÍRADÁS-TECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

1

XXI. ÉVFOLYAM, 1. SZÁM, 1–32 OLDAL, BUDAPEST, 1970. JANUÁR HÓ

1970. január, XXI. évfolyam, 1. szám

HÍRADÁS-TECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

TARTALOM

DR. KINDLER JÓZSEF—DR. KISS ISTVÁN: Rendszerelméleti és rendszertechnikai irányzatok 1
KOCSIS M.—BÁRTFAI P-né: Epitaxiás felépítésű félvezető eszközök 9
DR. SOLYMOSI JÁNOS: Másodrendű érzékenységek számítása hatásgráfos módszerekkel 13
TIMÁR JÓZSEF: Epitaxiás szilícium rétegek növesztése integrált áramkörökhöz 17
BOGNÁR LÁSZLÓ: Színes televízió átviteli rendszerek 21
DR. FERENCZ CSABA: Hullámterjedés inhomogén közegben 26
Tartalmi összefoglalások 8
Обобщения 30
Zusammenfassungen 31
Résumés 31
Summaires 32

Szerkesztőség: BOGLÁR GYULA főszerkesztő, SZŐLLŐSI GYÖRGYNÉ szerkesztőségi titkár, BALOGH PÁL, DR. SÁRKÖZY GÉZA kandidátus és MAY PÉTER tudományos szerkesztők, DR. FLESCH ISTVÁN, DR. RUPPENTHAL PÉTER szerkesztőségi munkatársak. — A szerkesztőség címe: Budapest, V., Szabadság tér 5—6. III. em. 320. Telefon: 183-772 — A Híradástechnikai Tudományos Egyesület címe: Budapest, V., Szabadság tér 17. Telefon: 113-027

Szerkesztő bizottság tagjai: ALMÁSSY GYÖRGY kandidátus, BARTA ISTVÁN akadémikus, BATTISTIG GYÖRGY, BÍRÓ FERENC, BUDAI LAJOS, CZEGLÉDY GYÖRGY, ERDÉLYI JÁNOS kandidátus, GERGELY ÖDÖN, GIBER JÁNOS kandidátus, KATONA JÁNOS, a műszaki tudományok doktora, KŐMŰVES FRIGYES kandidátus, LAJKÓ SÁNDOR, MAGÓ KÁLMÁN, MAKÓ ZOLTÁN, NÁDAS TIBOR, POGÁNY KÁROLY, VALKÓ I. PÉTER, a műszaki tudományok doktora, VÍG ISTVÁN

INDEX: 25.375

HÍRADÁSTECHNIKA

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest, VII., Lenin körút 9—11. Telefon 221-285. Felelős kiadó: SALA SÁNDOR igazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető a Posta Központi Hírlapirodánál (Budapest, V., József nádor tér 1. Telefon: 180-850) vagy bármely postahivatalnál. Előfizetési díj: félévre 36 Ft, egész évre 72 Ft. Egyes szám ára: 6 Ft. Megjelenik havonta. Csekkszámlaszám: egyéni 61,254, közületi 61,066 vagy átutalás MNB 8. sz. folyószámlájára. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTURA" P. O. B. 149 Budapest, 62.

69.3537 Egyetemi Nyomda, Budapest. Felelős vezető: JANKA GYULA igazgató

E 870

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

Tartalomjegyzék

XXI. évfolyam (1970)

	Szám	Oldal
Dr. Ambrózy András: Térvezérlésű tranzisztorok vezérlőelektróda árama	11	347
Asztalos Lajos: A híradástechnikai és a műszeripar fejlesztési elképzelései a IV. ötéves terv időszakában	7	193
Barta Erzsébet: Diffundáltatott Si-minták infravörös sugárzással történő vizsgálatáról	11	343
Bertóti Imre—Somogyi Károly: GaP egykristályok előállítása és félvezető tulajdonságainak vizsgálata	5	133
Bognár László: Színes televízió átviteli rendszerek	1	21
Bognár László: Színes televízió átviteli rendszerek. Az NTSC, PAL és SECAM rendszer	3	69
Budinszky József: Színmértani számítások módszerei	4	110
Buzás Ottó: Távbeszélő központok zajvizsgálata	7	211
Csiminszki Győző: Szélessávú frekvenciamodulált mikrohullámú összeköttetések televízió kép- és kisérőhang csatornáinak zajmérleg összeállításánál alkalmazott gyakorlati megfontolások	12	359
Fejes László—Beke István—Koblinger László: Többemitteres integrált áramköri tranzisztorok egyenáramú tulajdonságai	6	164
Dr. Ferencz Csaba: Hullámterjedés inhomogén közegben	1	26
Dr. Ferencz Csaba: Hullámterjedés mozgó közegekben	3	65
Dr. Ferencz Csaba: Hullámterjedés tetszőleges tulajdonságú lineáris közegekben	6	161
Ferenczné Árkos Ilona: Az ionoszféra törésmutatója	7	219
Frigyes István: Apertúra-antennák	10	293
Gergely Ödön: A marketing helye és szerepe a vállalat vezetésben	10	290
Dr. Géher Károly: Számítógép programok katalógusa 1969	6	178
Gobbi István: Transzformátor konstrukciók miniatürizált áramkörökhöz	12	375
Dr. Gordos Géza: AM rendszerek torzításainak transzformációja szorzódemoduláció esetén	4	97
Gosztony Géza: Többszörösen bekötött kimeneteket tartalmazó csatolóutas rendszerek méretezése	2	52
Dr. Hahn Emil—Kósza Géza—Aczél Judit: Többszörös epitaxiális rétegek szennyezéseloszlása	2	41
Dr. Jachimovits László: Lépcsős transzformátorok mátrixanalízise	2	33
Johannesson, N. O.: A jövő hírközlési rendszereinek szolgáltatásai	8	231
Dr. Katona János: Vékony mágneses rétegekkel működő memóriák kutatása	11	339
Kálmán István: Lineáris, töréspontos karakterisztikájú diódát tartalmazó, pufferkondenzátoros kimenetű egyenirányító fokozatok analízise és tervezése	8	243
Kádár Sándor: Lineáris antennák	10	298
Kelen György: Sokrétegű nyomtatott huzalozású áramköri lemezek gyártásának néhány elvi és gyakorlati kérdése és azok megoldása	5	129
Dr. Kemény Ádám: Tranzisztorok gyorsított megbízhatósági vizsgálata	7	199
Dr. Kindler József—Dr. Kiss István: Rendszerelméleti és rendszertechnikai irányzatok	1	1
Kiss Gábor: Új lehetőségek félvezető dióda-laserek felhasználására	9	275
Kiss Zoltán: Beszámoló a IV—V sávú televízió-adóhálózat tervezésével kapcsolatos olaszországi tanulmányútról	5	138
Koblinger László: Gunn-diódák alkalmazása impulzustechnikai áramkörökben	7	207
Kocsis M.—Bártfai P-né: Epitaxiás felépítésű félvezető eszközök	1	9
Kovács Zsoltné—Kovács Zsolt: Optimalizálási eljárások	11	322
Dr. Kozma László—Budai Lajos: Miniatürizált kapcsológépek	9	257
Lengyel Zoltán: A katódsugároszcilloszkópok fejlesztésének újabb irányai, a véletlen mintavételes oszcilloszkóp	10	304
Lőrinczy László: Logikai függvények egyszerű transzformációja	12	368
Makay Attila: Elsőbbségi és statisztikusan választó áramkörök elektronikus telefonközpontokban	6	175
Näslund, Y.: Tranzisztorizált VHF egycsatornás rádióberendezés modul kivitelben a polgári légiforgalomban a föld és a repülőgép közötti összeköttetés céljaira	8	239
Nádas Péter: Toroid-vasmagok legkedvezőbb méretviszonyai	9	265
Palócz Péter: A képcső közepes sugáráramának korlátozása a színes TV vevőkészülékekben	12	354
Piller György: A meleg hajlítóvizsgálat eredményeinek kiértékelése	9	281
Radvány Jenő: Számítógép-program alulátereszto és sávszűrő üzemi paraméteres méretezésére	3	93
Saufert János: Tirisztoros feszültségstabilizátorok szabályozási paraméterei	8	225
Sima, D.—Greger, R.: Időmultiplex átviteli rendszerek	9	267
Dr. Solymosi János: Másodrendű érzékenységek számítása hatásgráfos módszerekkel	1	13
Szekeres Béla: Antennákkal kapcsolatos fontosabb fogalmak	6	185
Székely Tamásné—Varga László—Tornay Imre: Szilícium homoepitaxiális növesztése közben keletkező kristályhibák vizsgálata	2	48
Sztankovics László: Integrált áramkörök hordozóiként alkalmazott szigetelő anyagok	6	169
Sztankovics László: Mikroelektronikai áramkörök alumíniumoxid hordozói	10	313
Timár József: Epitaxiás szilícium rétegek növesztése integrált áramkörökhöz	1	17
Tomasek, Karel: Nomogramok astabil multivibrátorokhoz	9	279
S. Tóth Ferenc: Sztereofónia	2	57
S. Tóth Ferenc: Színes tv-vevőkészülékek fejlődésének tendenciája	8	253
Waesterlid, N.: Korszerű, középfrekvenciával modulált televízió adó, félvezetős gerjesztő egységgel	4	106

	Szám	Oldal
Dr. Záborszki Endre: Színes televízió program kialakítása a Híradástechnika Szövetkezetben	12	371
Zólomy Imre: A differenciálerősítő elemzése a nagyfrekvenciás integrált áramkörökben való alkalmazhatósága szempontjából	9	271

Egyéb

Epitaxiális félvezető rétegek szeminárium	2	39
Svéd Műszaki Hét	2	61
IV. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium	2	61
IV. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium	3	68
Tungsram 1969/1970	3	92
Országos Híradástechnikai és Műszeripari Gazdasági Komferencia	4	126
Köszöntjük Állami Díjasainkat	4	126
Diplomaterv-pályázat	4	126
Egyesületi hír	4	127
A Magyar Híradástechnikai Egyesülés szolgáltatásai a vállalatok gyártásfejlesztési feladatai teljelítésének elősegítése érdekében	5	137
Dr. Barta István kitüntetése	5	153
Puskás Tivadar Emlékérmeseink	5	153
Virág—Pollák Díjasaink	5	153
A Diplomaterv-pályázat eredménye	5	154
Jutalmazottak	5	153
Szakosított gyártástechnológiai fejlesztőbázisok a híradásiparban	7	198
A HTE közgyűlése	7	205
A HTE Tiszteletbeli Tagjainak és Elnökségének névsora	7	206
Országos Híradástechnikai és Műszeripari Gazdasági konferencia	7	217
Egyesületi hírek	8	238
Gergely Ödön	10	289
IV. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium	9	266
Egyesületi Hírek	10	312
20 éves a Távközlési Kutató Intézet	11	321
Új célok, új utak a tudományos minősítésben	11	336
Nemzetközi Szimpózium az elektromágneses térelméletről	11	346
Vágó Arthur	12	353

70.5522 Egyetemi Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Janka Gyula igazgató

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

DR. KINDLER JÓZSEF – DR. KISS ISTVÁN
Budapesti Műszaki Egyetem

Rendszerelméleti és rendszertechnikai irányzatok*

ETO 007:621.391

Ismertetőnk célja, hogy történeti fejlődésében tekintve rövid összefoglalást adjon az általános rendszerelméletről, továbbá a rendszertechnikáról (systems engineering) és a közöttük megállapítható kapcsolat természetéről.

Összefoglaló ismertetésről lévén szó csak a legfontosabb gondolatokat közölhetjük, amelyekkel kapcsolatban számos kérdés merülhet fel és több ellenvetés támasztható. A feltehető kérdések és ellenvetések legnagyobb részére a szakirodalom — véleményünk szerint — választ ad s ezért javasoljuk az irodalomjegyzékben felsorolt művek tanulmányozását.

Ismertetésünk céljának megfelelően igyekszünk a legalapvetőbb gondolatokból és a legkorábbi történeti előzményekből kiindulni, bár az egyes részeket, gondolatcsoportokat különböző súlyozással tárgyaljuk.

Ismertetésünk formai szerkezet szempontjából három — lényegében összefüggő — részre tagolódik. Az első részben az integratív irányzatok történeti fejlődését, a második részben a rendszerelméleti, a harmadik részben pedig a rendszertechnikai irányzatokat tárgyaljuk.

A csatolt irodalomjegyzékről megjegyezzük, hogy a jelenleg rendelkezésünkre álló szakirodalmi anyagból csak az általunk legfontosabbnak tekintett forrásokat soroljuk fel.

Az integratív irányzatok megjelenése

Bármelyik tudományág végső kérdései lényegében a filozófiához vezetnek és ez különösképpen igaz, ha a történeti gyökereket, az indító alapgondolatokat keressük. A filozófiatörténet tanulmányozása alapján bárki meggyőződhet arról, hogy pl. a görög filozófia virágkorában a matematika is a filozófiához, a „bölcsesség szeretetéhez" tartozott. Nem meglepő tehát, ha az általános rendszerelmélet történeti gyökereinek keresésében is a filozófiatörténet ad útmutatást. Megállapíthatjuk ennek alapján, hogy már a görög filozófusok korában lényegében két típusú gondolkodási módot kidolgozó irányzatot különböztethetünk meg.

Az egyik filozófiai irányzat ragaszkodik ahhoz, hogy a gondolkodó az egyszerű részeken kezdje, ismerje és értse meg azokat alaposan, majd kezdje a részeket összeilleszteni s ez végül az *egész* szerkezetté teljesedik ki. Ezt a bölcseleti felfogást a szerénység és szorgalom jellemzi: az embernek igen keményen kell dolgoznia a részek megismerésén mielőtt bonyolultabb és járatlanabb utakra merészkednék. Az egészről való szólás jogát csak akkor érdemli ki így az ember, ha kellő gyakorlatot szerzett a részterületekben.

Az ellentétes filozófiai irányzat viszont azt tanítja, hogy az egész koncepciójából kell kiindulnunk, különben soha nem ismerhetjük fel a részeket és így nem is tökéletesíthetjük azokat. E filozófia jellemző vonása a merészség és alkotókészség, valamint a hosszú elmélkedés és vita. Itt a *cselekvés* jogát kell kiérdemelni, vagyis a részekben való változtatás *előtt* az általános és végső célt kell meghatározni és ennek szempontjából kell a részeket mérlegelni és a cselekedeteket megválasztani. A latin közmondással találóan és tömören jellemezhetjük e gondolkodás lényegét: quidquid agis prundenter agas et respice finem — azaz „Bármit cselekszel okosan tedd és nézd a célt".

Mindkét gondolkodási irányzatnak mindmáig megvannak a maga következetes hívei, azonban az irányzatok közötti vitának az újkori természettudomány kialakulásáig lényegében csak teoretikus jelentősége volt és a probléma nem lépett ki a különféle filozófiai iskolák összecsapásának küzdőteréből.

A természettudomány, amelyik a XVII. század közepéig természetfilozófia néven a filozófia egyik ágaként szerepelt, a XVIII. század közepétől önállósul és megkezdi saját és rohamos fejlődését. A rész és egész problémakörének eddig csak teoretikus érdekességű vitáját az újkori természettudomány gya-

Beérkezett: 1969. november 7.

* Az MTA Híradástechnikai Bizottságának Rendszerelméleti Albizottsága keretében megvitatott tanulmány.

korlati jelentőségű eredményei a részekből kiinduló koncepció javára billentik. Az újkori természettudomány ugyanis éppen a részek vizsgálatában éri el legfényesebb eredményeit. Nemcsak az a jellemző, hogy szerves, összefüggő egészet alkotó empirikus világból mesterséges elvonatkoztatással kihasítanak egy-egy szeletet, hanem az is, hogy ezeket a szeleteket különböző *szempontok* szerint (és a szempontoknak megfelelő módszerekkel) vizsgálják. A tudásanyag rohamosan nő és egy ember számára rövidesen már lehetetlenné válik a hatalmas szellemi tudásanyag megőrzése és fejlesztése. A XIX. század közepe táján ekkor kezdenek létrejönni a különféle szakosított természettudományi társaságok és egyetemi tanszékek. A specializálódásnak nevezhető „osztódás" tovább folytatódik és úgy tűnik, hogy a részekből kiinduló gondolkodási irányzat fölényét a ténylegesen elért eredmények vitathatatlanul bizonyítják.

Minden egyes speciális szaktudomány megalkotta a maga többé-kevésbé megfelelő elméletét (esetleg elméleteit). A specializált szakterületeken *belül* is fennmaradt ugyanis az igény az általános vonások megragadására és megfogalmazására. Ez pedig lényegét tekintve a sajátos (partikuláris) vonások túlságos előtérbe kerülésével szemben hatott. Az adatok és tények között szükségképpen összefüggéseket és lényegi hasonlóságokat kellett keresni, mert enélkül nem lehetett megérteni a vizsgált jelenséget. Másrészt az is igaz, hogy az elméletek adatokat és tényeket igényeltek, amelyekre felépülhettek. A rész és egész ellentéte tehát úgy látszott, hogy kielégítően megoldódik a szakterületi határokon belül.

A specializálódás fokozódása, az adatok számának rohamos növekedése a speciális területeken belüli elméletek fejlődése azonban új problémákat is jelentett. Mindegyik specializált szakterület kifejlesztette ugyanis a maga sajátos nyelvét és a szakterületek közötti kommunikáció egyre nehezebbé vált, ahogy az általános rendszerelmélet egyik neves képviselője, Boulding professzor találóan fejezi ki [4]:

„A tudomány művelői között egyre nehezebb a kommunikáció és a tudomány elszigetelt szubkultúrákra hasadozott, amelyeket csak vékony kommunikációs szálak fűznek össze . . . A specializáció folyamán maguk az információt felvevő receptorok is specializálódtak. Ezért a fizikusok csak fizikusokkal beszélnek, a közgazdászok csak közgazdászokkal, . . . a magfizikusok csak magfizikusokkal és az ökonometrikusok csak ökonometrikusokkal . . . Minél inkább alcsoportokra bomlik a tudomány és minél kevésbé lehetséges a szakágak közötti kommunikáció, annál inkább megnő az a veszély, hogy a releváns kommunikáció hiánya miatt lelassul a tudás összfejlődése."

Tényként állapíthatjuk meg, hogy az utóbbi 100 évben egyre folytatódott a jelenségek tanulmányozásának egyre szakosítottabb területekre való felosztása avégett, hogy a mélységi haladást fenn lehessen tartani. Ezzel együttjártak a fenti hátrányok is s mintegy ennek kompenzálására már a XIX. század harmadik negyedében elindul egy, az integráció irányába mozgó fejlődés, amit legtalálóbban „interdiszciplináris" (tudományközi) fejlődésnek nevezhetnénk. Ennek első jele a „hibrid tudományágak" kialakulása. Így jött létre a fizikai-kémia a XX. század második negyedében a szociálpszichológia és a fizikai és biológiai tudományok körében az ötvözött tudományok elég hosszú sora: biofizika, biokémia, asztrofizika stb. — ma már csupa kész, elismert tudományszak.

A társadalomtudományok körében kialakult a szociál-antropológia s most kezd körvonalazódni a gazdasági-pszichológia és a közgazdasági-szociológia.

Az utóbbi két-három évtizedben figyelemre méltó fejlődés ment végbe az „interdiszciplinák" körében. Az újabb interdiszciplinák ugyanis már nem két, hanem *számos* különböző tudásterület átcsoportosítása, és a közös vonások ötvözete révén jöttek létre. Így a kibernetika például a villamosmérnöki tudományokból, a neurófiziológiából, a fizikából, a biológiából, sőt bizonyos mértékig még a gazdaságtanból is származik. A szervezés elmélet a közgazdaságtanból, a szociológiából, a műszaki tudományokból és a fiziológiából ered, s a vezetéstudomány (management science) szintén több tudományszak terméke.

Empirikusabb és gyakorlatiasabb oldalról tekintve az integráció irányába mutató „interdiszciplináris mozgás" számos tanszékközi vagy több-tudományszakos intézet kialakulásában tükröződik. A legnevesebbek közül a Ford alapítványú Systems Research Centert (CIT), a Michigani egyetem Group Dynamics Center-jét említjük. Ezeknek a tudományközi intézeteknek és kutatócsoportoknak növekvő szerepe abból az egyre határozottabbá váló felismerésből származik, hogy igen sok probléma (és különösen a nagy gyakorlati jelentőségű problémák) nem oldható meg hatékony módon egy tudományág keretein belül.

Az előadottakat elfogult és egyoldalú beállításnak vagy különösebb jelentőség nélküli „filozofálgatásnak" is minősíthetné valaki, azonban legújabb korunk legjelentősebb *tudományos* eredményei ezekből az alapvető — s végeredményben tényleg filozófiai jellegű — felismerésekből származtathatók. Meggyőzően támasztja ezt alá Norbert Wiener munkássága [23].

Tudománytörténeti vázlatunkból két lényeges vonást emelhetünk ki.

1. Elméleti és gyakorlati bizonyítékok alapján biztosan állítható: a specializáció kizárólagossága megszűnt és egyre határozottabban bontakozik ki a különböző tudományágakat új, átfogóbb tudományokká integráló irányzat. A „rész" és „egész" dialektikus ellentétében a „rész"-koncepció (specializáció) átmeneti túlsúlya után magasabb rendű szintézisben áll helyre az egyensúly. Az integráló „egész" felé forduló figyelem nem csupán a filozófiai érdeklődés következménye, hanem a technikai fejlődéssel járó bonyolult problémák szükségszerű — sőt kényszerítő — velejárója.

2. Ha a különböző tudományágakban fellelhető *közös* vonások alapján új integráló tudományokat lehet létrehozni és az integrálódás trendje azt mutatja, hogy ezek az új tudományok *egyre több* tudományág közös vonásaiból ötvöződnek, akkor jogosan merül fel a kérdés, lehetséges-e olyan átfogó integráló tudományt kifejleszteni, amelyik *valamennyi* tudományágat magában foglalja?*

* A „kifejlesztésen" természetesen több ember tudatos szellemi erőfeszítésének hosszabb ideig, évekig, esetleg évtizedekig tartó munkájának eredményét értjük.

Az általános rendszerelmélet

Más megfogalmazásban problémánk a következőképpen hangzik: megalkotható-e egy olyan általános elmélet, amelyik a többi speciális elmélet alapjául szolgálhat, áttörve a szakterületi határokat s ily módon elősegítve világunk mélyebb megértését? A probléma ilyen módon való fogalmazását az indokolja, hogy korábban már megmutattuk: az egyes speciális szakterületek saját elmélettel rendelkeznek és minden elmélet jellemzője a közös vonások megragadása. A speciális szakelméletek a szakterületeken *belüli* közös vonásokat fogalmazzák meg, az integráló elméletek (pl. a kibernetika) már *több speciális* elmélet *közös elmélet*eként jelennek meg, s végül *valamennyi* speciális elmélet közös, teljesen átfogó elméletét nevezzük *általános rendszerelméletnek.*

A kérdés, hogy milyen alapon keressük a különböző megjelenési formájú jelenségek közös vonásait? A választ az *izomorfia* fogalmában találjuk meg. Az izomorfia általános meghatározása a következő: izomorfnak nevezünk két halmazt, ha azok elemein bizonyos műveletek vannak definiálva és kölcsönösen egyértelmű vonatkozás létesíthető a két halmaz elemei között úgy, hogy az egyik halmaz elemein végzett műveletek eredménye a másik halmaz megfelelő elemein végrehajtott műveletek eredményének feleljen meg.

Az izomorfia a matematika legfontosabb fogalma és ez teszi lehetővé, hogy a matematika elvont, konkrét tartalom nélküli relációkat kifejező apparátusa számtalan — és konkrét tartalmában teljesen — különböző jelenségre alkalmazható legyen. Ha egy matematikai összefüggést a legkülönbözőbb jelenségkörökben lehet felhasználni, ez csak úgy lehetséges, hogy a szóban forgó matematikai összefüggés a jelenségkörök ténylegesen meglevő közös vonásait fejezik ki. Mármost *minden szaktudomány olyan halmazokkal foglalkozik, amelyeknek elemei és az elemek komplexumai között kölcsönhatás van. Ezeket a halmazokat a továbbiakban rendszernek nevezzük.* A rendszerek bizonyos vonásai azonosak, strukturális hasonlóságot is találhatunk közöttük és vannak közös szabályozó elvek is. Hasonló koncepciók, modellek és törvények gyakran jelennek meg különböző területeken, egymástól függetlenül és egymástól teljesen különböző tények alapján. Különböző rendszerek például hasonló növekedési szabályszerűséget mutatnak.

Az általános rendszerelméletnek tehát valamennyi rendszerben fellelhető közös vonásokból kell elméletet alkotni, más megfogalmazásban kifejezhetnénk úgy is, hogy az általános rendszerek elméletének kell lennie. Az általános rendszerelmélettel szemben támasztható alapvető követelményeket pontosabban is megfogalmazhatjuk.

1. Az általános rendszerelméletnek elég általánosnak kell lenni ahhoz, hogy magában foglalja a már meglevő speciális rendszerelméleteket. Ennek a követelménynek kielégítése magasfokú absztrakciót igényel. Ismeretes azonban, hogy *minél magasabb fokú az absztrakció, annál kevesebb a konkrét tartalma:* az általánosságért mindig fel kell áldoznunk valamennyi tartalmat, és az az állítás, ami gyakorlatilag mindenre érvényes lehet, szinte semmi. Az általános rendszerelmélet feladata tehát, hogy megtalálja az absztrakció kellő szintjét, azaz fogalmainak igen széles körben alkalmazhatónak kell lennie, az általuk nyerhető következtetéseknek viszont elegendő tájékoztatással kell szolgálnia ahhoz, hogy a speciális rendszerekről is hasznos ismereteket szerezzünk.

2. Az általános rendszerelmélet *tudományos* elmélet kell hogy legyen abban az értelemben, hogy fogalmait és műszavait egyértelműen és pontosan kell definiálni. Az általános rendszerelmélet nem használhat homályos értelmű, elmosódó költői analógiákat. Alapjainak elég szilárdnak kell lenni ahhoz, hogy következtetései a valós rendszerekre gyakorlatilag is értelmezhetők legyenek.

Előrebocsátjuk, hogy a fentiekben megfogalmazott követelményeket *minden tekintetben kielégítő általános rendszerelmélet jelenleg még nincs,* a kutatások azonban világszerte nagy erővel és egyre biztatóbb eredményekkel folynak.

Az általános rendszerelmélet szükségképpen és nagymértékben igényli és használja ugyan az absztraktabb matematikai nyelvet és módszereket, és *ebben* a tekintetben kapcsolatban is van a formális rendszerek matematikai elméletével. Különbség azonban, hogy a használt szimbólumok *jelentése* elsődleges fontosságú az általános rendszerelméletben, de a formális rendszerek matematikai elméletében ez lényegtelen. A matematikában ugyanis érdektelen a használt jelek tényleges jelentése, mert csak a jelek közötti *kapcsolatokkal* foglalkozik.

Az általános rendszerelmélet és formális rendszerek matematikai elmélete közötti lényeges különbség különösen nyilvánvalóvá válik például a rendszerek céliránytos viselkedésének (goal-seeking behaviour) tárgyalásában (ezzel a formális rendszerek matematikai elmélete lényegében nem tud érdemben foglalkozni).

Ezek után az általános rendszerelmélet részletesebb témaköréről adunk rövid — és egyáltalán nem teljes — címszó szerinti felsorolást:

a) a rendszerek jellemzése (az input-output kapcsolatok leírása),
b) a rendszer fogalmának kifejtése és meghatározása,
c) a rendszerek osztályozása,
d) a rendszer szerkezetének megállapítása,
e) rendszeranalízis és szintézis,
f) rendszerszabályozás és optimalizálás,
g) tanulás és adaptáció (a változó környezethez való alkalmazkodás és a tapasztalatok értékelése),
h) a rendszer stabilitása,
i) a cél problémája.

A vázlatos felsorolásból az adott speciális rendszerek szakemberei felismerhetik, hogy ezek a problémák speciális rendszereik területén is értelmezhetők. *A felsorolt problémák tehát valamennyi rendszerben közösek* és így specifikálástól függetlenül általánosan is tárgyalhatóak, vagyis az általános rendszerelmélet problémakörét alkotják.

Az általános rendszerelméletet csak az igények és követelmények megfogalmazásának szempontjából tekinthetjük kiforrottnak, és az eddig produkált

eredmények még sok szempontból a kialakulás, a kezdődő kristályosodás állapotát mutatják. Nem kevés még az egymásnak ellentmondó nézet — egyelőre még nem befejezett — vitája sem. Számos módszertani kérdés nincs még eléggé tisztázva. Egyszóval nem beszélhetünk még a tudományos elmélet kritériumait maradéktalanul kielégítő, igazolt általános rendszerelméletről. Hozzá kell azonban tennünk, hogy erről a speciális rendszerek esetében sem beszélhetünk.

Célszerűnek tartjuk, hogy a jelenlegi helyzetről és a fontosabb irányzatokról rövid áttekintést adjunk, az egyes irányzatok érdemi ismertetése nélkül.*

Az általános rendszerelmélet első jelentős és világszerte nagy érdeklődést kiváltó alaptanulmánya a magyar származású biológus, Ludwig von Bertalanffy nevéhez fűződik [1, 2]. Bertalanffy alapította az Általános Rendszerkutató Társaságot (Society for General Systems Research) és ennek kiadásában jelenik meg évenként a General Systems Yearbook [3, 12], amelyből jó képet kaphatunk az általános rendszerelmélet fejlődéséről. Az első évkönyv 1956-ban jelent meg.

A neves amerikai híradástechnikus, Zadeh, Bertalanffy irányzatát értékelő szavai jól rávilágítanak az általános rendszerelmélet jelenlegi helyzetének problémáira is [13]:

Az élő rendszerekkel foglalkozó tudósok közül a biológus Ludwig von Bertalanffy volt az első, aki a különböző területeken megjelenő rendszerfogalmak és módszerek lényegi egységét már régen megértette s aki írásai és előadásai alapján az általános rendszerelméletet határozott tudományos diszciplinaként ismertette el. Helyénvaló azonban megjegyeznünk, hogy Bertalanffynak és iskolájának munkásságát elsősorban a biológiai rendszerek tanulmányozásában felmerülő problémák motiválják és ez sokkal inkább tapasztalati és kvalitatív jellegű, mint azoknak a rendszerteoretikusoknak munkája, akik az egzakt tudományok területén működnek. Ténylegesen az a helyzet, hogy jelenleg meglehetősen nagy távolság van az „élő" rendszerek teoretikusai és az „élettelen" rendszerek teoretikusai között, és egyáltalán nem biztos, hogy ez a távolság az idők folyamán jelentősen csökkenni fog. Vannak akik úgy gondolják, hogy ez a távolság a hagyományos matematikai apparátus alapvető elégtelenségét tükrözi, a biológiai rendszerek vizsgálatával való sikeres foglalkozás szempontjából. Az ilyen rendszerekkel való hatékony foglalkozáshoz — mely rendszerek nagyságrendekkel bonyolultabbak, mint az emberalkotta rendszerek — a jelenlegitől gyökerében különböző matematikára lenne szükségünk, a valószínűségeloszlások kategóriáiban nem kifejezhető zavaros és homályos mennyiségek matematikájára. Valójában ilyen matematika szükségessége egyre nyilvánvalóbb lesz az élettelen rendszerek területén is, mert a legtöbb gyakorlati esetben az emberalkotta rendszerek teljesítményének megítéléséhez használt *a priori* adatok és kritériumok távol vannak a pontos specifikálástól, vagy attól, hogy pontosan ismerjük valószínűségi eloszlásukat."

Az amerikai Mesarovic professzor irányzata nagymértékben támaszkodva a formális rendszerek matematikai elméletére, az általános rendszerelmélet legabsztraktabb ágának kifejlesztésével foglalkozik [16]. Az irányzat hátránya, hogy — éppen a jelenlegi matematikai apparátus elégtelensége miatt — fontos rendszerjellemzőket (így a már említett „célirányos viselkedés" problémáját) pontatlanabbul kezel.

Az általános rendszerelmélet K. Boulding-tól származó irányzatát inkább általános rendszerfilozófiának nevezhetnénk, mintsem tudományos értelemben vett általános rendszerelméletnek (Boulding az általános rendszerszemlélet elnevezést használja). Az irányzat jellegéből következik, hogy nem használja az absztrakt matematikai formanyelvet, hanem verbálisan foglalja össze, írja le és fejleszti tovább az általános rendszerelmélet „filozófiáját" [4].

A rendszerelméleti kutatások fokozódásának megfelelően számos konferenciát és szimpóziumot rendeztek a problémák tisztázásának és megoldásának elősegítésére. Ezek közül a Case Institute of Technology (Cleveland, Ohio) által rendezett tudományos szimpóziumokat érdemes megemlíteni. Az 1963-ban tartott második rendszer szimpózium előadásait Mesarovic négy irányzat szerint csoportosítja [16]:

„A résztvevők egyik csoportja határozott álláspontot foglalt el: definiálták a rendszer fogalmát és aztán megvizsgálták a definícióból levezethető következtetéseket. A résztvevők másik csoportja azzal érvelt, hogy az általános rendszerelméletet nem szabad formalizálni, mert éppen a formalizálás korlátozza általános voltát és ilyen módon többé-kevésbé specifikussá teszi. A harmadik csoport azt javasolta, hogy a rendszerelméletet az adott gyakorlati probléma megoldásánál alkalmazott szemléletmódnak tekintsük. S végül az is kifejezésre jutott, hogy a különféle rendszerek szintézisében (tervezésében) alkalmazott hatékony módszerek összessége alkotja a keresett elméletet és további integrálásra nincs is szükség. Olyan résztvevők is voltak, akik a fenti irányzatok keverékváltozatait képviselték."

Az 1963-tól eltelt 6 éves időszakban a fejlődés leginkább abban mutatkozik, hogy a *módszertani irányzat* már *kivált* az általános rendszerelmélet köréből és a *rendszertechnika* (systems engineering) szerves részét alkotja. Megjegyezzük, hogy a szocialista országok közül különösen a Szovjetunióban a rendszerelmélet módszertani irányzatként való felfogása került előtérbe, amint azt a Voproszü Filozofii hasábjain megjelent közlemények is tanúsítják [8, 15 és különösen 17]. A rendszertechnika és a rendszerelmélet különbözőségét már korábban is felismerték. A már idézett Zadeh 1962. évi publikációjában olvasható [13]:

„Megjegyezzük, hogy az *információelmélet*et és a *kommunikációs elmélet*et nem tekintjük a rendszerelmélet ágainak. A rendszerelmélet kiterjedten használja az információelmélet fogalmait és eredményeit, de ez nem jelenti azt, hogy az információelmélet a rendszerelmélet egyik ága, vagy fordítva. Ugyanezt mondhatjuk a *statisztika döntéselméletről* a *dinamikus programozásról*, a *megbízhatósági-elmélet*ről stb.

Megjegyezzük, hogy a *rendszertechnikát* és az *operációkutatást* sem soroltuk a rendszerelmélethez. Ezeket a nagy ember-gép rendszerek vezetésével, szervezésével és műveleteivel foglalkozó szakterületeknek tekintjük, míg a rendszerelmélet absztrakt szinten foglalkozik a rendszerek általános tulajdonságaival, tekintet nélkül a rendszerek fizikai formájára és az alkalmazási területekre. Ebben az értelemben a rendszerelmélet igen hasznos forrása a rendszertechnikában és operációkutatásban felhasznált fogalmaknak és matematikai módszereknek, de nem része ezeknek és ezek sem részei a rendszerelméletnek."

Megítélésünk szerint Zadeh jól világítja meg az általános rendszerelmélet és a többi „rendszerközpontú" új és fejlődő tudományszak közötti különbséget és egyúttal közvetve választ ad az önként felmerülő kérdésre is: mi szükség van egyáltalán általános rendszerelméletre? A választ Mesarovic — éppen a rendszertechnikával kapcsolatban — közvetlenül is megadja [16]:

* A Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó 1969. novemberében jelentette meg az általános rendszerelmélet helyzetét és fejlődését tükröző válogatásunkat [32].

„Bonyolult rendszerek megépítésében, különösen az embereket is magukban foglaló rendszerek esetében olyan új problémák merültek fel, amelyeket nem lehetett megoldani a hagyományos eszközökkel és módszerekkel. Következésképpen rendszertechnika (systems engineering) néven új terület fejlődött ki. Ez ideig nagymértékben más szakterületek eszközeit és módszereit kombinálta a szakemberek tapasztalataival és intuiciójával. Ennek oka lényegében azoknak az elméleti alapoknak a hiánya volt, amelyekből a metodológiai eljárások is levezethetők. Az általános rendszerelmélet egyik célja ilyen alapok megteremtése."

A filozófiai indítású „egész" gondolatától indulva, a tudományelméleti problémák vázolásán keresztül eljutottunk tehát oda, hogy *az általános rendszerelmélet szükségességét a megoldandó gyakorlati problémák is indokolják*, bármennyire absztraktnak, a gyakorlati élettől távolállónak és elméleti kuriózumnak tűnik is az általános rendszerelmélet. Nem kétséges, hogy lezárt és kiforrott elméletről még nem beszélhetünk, de az sem vitatható, hogy igen gyorsan fejlődő és részeredményeiben is igen jól kamatoztatható szellemi vállalkozásnak vagyunk tanúi.

Az általános és speciális rendszertechnika

Az előzőek során egy rövid címszó utalt arra, hogy a rendszereket osztályozhatjuk is. Az osztályozásnak különböző elvei lehetnek. Témánk szempontjából az emberalkotta mesterséges rendszereknek van különös jelentősége. Úgy gondoljuk, hogy most nem szükséges adatokkal is alátámasztanunk azt az ismert állítást, amely szerint a műszaki fejlődés egyre bonyolultabb és nagyobb rendszerek létrehozásával járt együtt. A bonyolultság és nagyság nemcsak a rendszert alkotó elemek és a köztük levő kapcsolatok számának ugrásszerű növekedését jelentette, hanem azt is, hogy az elemek között *minőségileg különböző* elemek is megjelentek és ez természetesen a *kapcsolatok jellegére* is kihatott. Így pl. a gyári nagyságrendű rendszerek tervezésében már nem lehetett figyelmen kívül hagyni az emberi elemet, hisz ezek a működő rendszer szerves részét alkották. Éppen az emberi elemet a tervezésben elhanyagoló nagy rendszerek kudarcai tanították meg a rendszertervezőket arra (legalábbis ott, ahol okultak a balsikerekből), hogy a hagyományos tervezési módszerek és az e mögött álló hagyományos szemléletmód bizonyos nagyságrenden túl már egyáltalán nem megfelelő. A rendszereket tervező és működtető mérnökök munkájának tartalma is megváltozott és a hagyományos értelemben „nem műszaki"-nak minősített jelenségek fokozottabb figyelembevételének követelményét helyezte előtérbe. Ezt a követelményt egy ideig a mérnöki *tapasztalatok* alapján is ki lehetett elégíteni, de ez később már elégtelennek bizonyult. Az ún. ember-gép rendszerek problémájában például a felmerülő pszichológiai és fiziológiai problémák megoldásához a mérnöki tapasztalat már egyáltalán nem volt elegendő és ez szükségképpen előtérbe hozta például a pszichológus és munka-fiziológus bekapcsolódását a rendszertervezői (vagy működtetői) munkába.

Hasonlóképpen szükségessé vált gazdasági szakértők alkalmazása, miután világosan felismerték, hogy még kisebb, „hagyományosan műszaki", rendszerek esetében is a lehetséges műszaki változatok közötti választásnál, vagyis döntésnél, olyan gazdasági kritériumok alapján kell választani, amelyekben még a tájékozódás is meghaladja a „hagyományos" mérnök ismeretkörét és tapasztalatait. Szükségessé vált tehát a gazdasági szakember bekapcsolása is.

Mindez persze nem lenne új vonás, ha csak arról lenne szó, hogy a felsorolt és még felsorolható szakemberek *egymástól függetlenül* dolgoztak a szóban forgó probléma megoldásán. Ez tulajdonképpen, ha olykor csökevényesen is, de pl. a hagyományos műszaki tervezésben is megvolt és végül is valahogyan „összeállt" a rendszer. Az új vonás abban a kézenfekvőnek is minősíthető felismerésben volt, hogy a különböző képzettségű szakembereknek már a *tervezés kezdetétől* szervesen együtt kell működni. Ezzel az együttműködéssel kapcsolatban azonban újtípusú problémák is felmerültek. Az adott rendszer tervezésében mindegyik szakembernek (vagy szakembercsoportnak) megvoltak a saját érvényesíteni, ill. elérni kívánt speciális szempontjai és céljai.

Ezek a speciális szempontok és célok azonban nem voltak egymással összhangban, sőt az esetek többségében kifejezetten egymással ellentétes szempontok és célok találkoztak. A konfliktáló „részcélok" egyeztetésében szerzett tapasztalatok felszínre hozták, hogy a helyes megoldáshoz a rendszer *egészének* célját kellene ismerni, erre azonban a részekből nem lehet választ kapni. Ezen a vonalon indulva is világossá vált tehát, hogy az egész nem egyszerűen a részek összege, hanem ettől minőségileg különbözik. Így került tulajdonképpen előtérbe az „egészek" kutatása és így vált lassanként nyilvánvalóvá az is, hogy új módszertani elméletre és új technikára van szükség.

Az új elmélet kifejlesztésére irányuló kísérletekből, a tapasztalatok rendezéséből kiderült, hogy igen komoly elméleti problémák merülnek fel és ezek vizsgálata és megoldása meghaladja az ember-gép rendszerek tervezésének műszaki problémáit. Ennél a felismerésnél találkozott a nagy ember-gép rendszerek tervezésének metodikájával foglalkozó rendszertechnika az általános rendszerelmélettel.

Meg kell mondanunk, hogy éppen az általános rendszerelmélet kiforratlansága következtében nem beszélhetünk még egységes és minden vonatkozásban igazolt rendszertechnikai elméletről sem.

A *rendszertechnika metodológiai elmélet*, ezt igazolja a következő idézet is [10]:

„A rendszertechnika kifejezés olyan szemléletmódot jelent, amelyik az összetevők teljes rendszerét nemcsak az alkotórészek halmazának, hanem szerves egésznek tekinti, vagyis a rendszerben mindegyik alkotórészt a többi alkotó elemhez való megfelelő kapcsolat és illeszkedés figyelembevételével tervezi meg."

A cél problematikáját emeli ki Morton [20]:

„A rendszertechnika módszere azon a felismerésen alapul, hogy minden rendszer összefüggő egészet alkot, még akkor is, ha az különböző specializált szerkezetekből van is felépítve. Felismeri továbbá azt is, hogy bármely rendszernek többféle célja lehet és ezek között a célok között az egyensúly rendszerektől függően nagymértékben különbözhet. A különböző módszerek a súlyozott célok optimalizálására törekszenek."

A rendszertechnikával kapcsolatos másik lényeges megállapításunk az előadottak tükrében már szinte magától értetődő: beszélhetünk *általános rendszertechnikáról*, vagyis *minden mesterséges rendszer* meg-

alkotásában érvényes metodológiáról, és *speciális rendszertechnikákról*. A speciális rendszertechnikáknak természetesen nem feladatuk az általuk használt módszerek rendszerezése, igazolása és az általánosabb elvek szerinti elrendezése.

Az egyes tudományszakokon belül jelentkező rendszerproblémák kezelésére kialakultak a speciálisan szakterületi módszertanok (technikák). Így pl. beszélhetünk a számítógépek, vagy más digitális elven működő gépek logikai tervezéséről, mint digitális rendszertechnikáról, a szabályozások rendszertechnikájáról stb. Beszélhetünk azonban ezen „jelzős" (digitális és más) rendszertechnikákon kívül *általában* is rendszertechnikáról, mégpedig a rendszerek tervezésének *általános* módszertanával kapcsolatban.

Az általános rendszertechnika kialakulása a rendszerek hierarchiájából is levezethető. Köztudott, hogy minden rendszer alrendszerekre bontható, ugyanakkor maga is alrendszere más, bonyolultabb rendszernek, valamely összetettebb rendszerbe illeszkedik. Ez az összetettebb (magasabb szintű) rendszer környezetként is kezelhető, amelyben tehát az adott alrendszernek működni kell. A környezet vagy a magasabb szintű rendszer célja meghatározza az alrendszerek céljait, így jön létre a célok hierarchiája. Az egyes rendszerszintek céljai összefüggnek, egymással összhangban vannak, illetve ezt az összhangot kell megteremteni a rendszertervezés során. Az egyes rendszerszinteken jelentkező feladatok megoldására, a célok realizálására meghatározott módszertanok állnak rendelkezésre.

A különböző rendszerszintekhez tehát különböző módszertanok tartoznak, figyelemre méltó és lényeges vonás azonban, hogy minél magasabb szintű rendszerről van szó, annál inkább elmosódnak a szakterületek különbözőségéből adódó módszertani sajátosságok, és annál inkább előtűnnek a közös vonások. Egy országos méretű adatfeldolgozó rendszer és egy országos távbeszélő rendszer kialakításának módszereiben számos közös vonást találhatunk (például a szolgáltatást használók igényeinek kutatása módszertanilag azonos), egy telefonközpont és számítógép tervezésének műszaki módszerei azonban lényegesen különböznek.

Nyomatékosan hangsúlyoznunk kell, hogy a létesítendő rendszer nagyságának változásával a rendszertechnikai munka tartalma is megváltozik. Ha egy telefonközpont tervezéséhez adottak az alapvető paraméterek, akkor a tervezők feladata egyszerűbb, bármennyire is bonyolult legyen egyébként a telefonközpont műszaki megtervezése. Egyszerűbb a feladatuk, mert az alapvető paramétereket készen kapják és nem nekik kell ezeket kutatni és meghatározni. Egy országos távbeszélőrendszer megalkotásában azonban e rendszer alrendszereinek — a telefonközpontoknak — megtervezéséhez szükséges paramétereket az országos távbeszélőrendszer tervezőinek kell meghatározni olyan összefüggések figyelembevételével is, amelyeket az alrendszer tervezői, alkotói figyelmen kívül hagyhatnak. Az alrendszerek *közötti* kapcsolatok jellege különbözik tehát az alrendszereken *belüli* kapcsolatok jellegétől. Hogy ez a különbözőség mit jelent, azt nem tudja megmondani a kizárólagosan csak az alrendszerek tervezésében járatos szakember (mert csak az alrendszeren belüli kapcsolatok jellegét ismeri). Nem tudja megmondani a kizárólagosan csak az alrendszerek közötti kapcsolatokat ismerő szakember sem. A kettő együttes és alapos ismeretére van ehhez szükség. Elvileg elképzelhető, hogy a két ismeret a részletekben és az egészben egyaránt járatos szakember tapasztalatában egyesül. Ennek valószínűsége azonban annál kisebb, minél nagyobb, átfogóbb rendszerről van szó. Az általános rendszertechnika nagy előnye, hogy éppen a tapasztalatok általánosítása alapján ezek rendezésével és módszeres előadásával nagy segítséget nyújt a fenti típusú problémák megoldásához is. Az általános rendszertechnikai szakkönyvekben megtalálhatók azok a módszertani eljárások, amelyek például a kapcsolatok jellegének megállapítási módszereivel foglalkoznak.

A rendszertechnika egyik fontos alapjellemzője a feltételekkel együtt vizsgált teljes rendszer alkotói folyamat menetének, fázisainak és módszertani lépéseinek kidolgozása. Könnyű azt mondani, hogy valamilyen rendszer megalkotása a társadalmi szükséglet kielégítését szolgálja, de nehéz specifikálni, hogy mit is jelent pontosabban ez a szükséglet vagy igény, sőt van-e egyáltalán ilyen igény. Riasztó példákat sorolhatnánk fel műszakilag egyébként megfelelő, de az igényeket nem kielégítő és így a „főcél" szempontjából alapjaiban elhibázott műszaki alkotások, fejlesztési programok köréből.

Hogyan lehet az igényt adott esetben feltárni, specifikálni és a szóban forgó rendszer céljaként úgy meghatározni, hogy a rendszert tényleges megvalósítása után ellenőrizhető is legyen: kielégítette-e a rendszer a specifikált társadalmi igényt? Hogyan kell a főcél figyelembevételével és ezzel összhangban lebontani és meghatározni a részcélokat? Olyan kérdések ezek, amelyekre a hagyományos műszaki rendszertervezés nem ad explicit választ.

Mindazonáltal ezek a kérdések eddig is felmerültek, csak nem logikusan összefüggő világos fogalmazásban, és ilyen módon a kérdésekre adott válaszok is az intuitive, egyéni tapasztalati alapon születtek. *Az általános rendszertechnika a társadalmi igény bizonytalan és homályos felmerülésének észlelésével kezdődik, majd ezek pontos megfogalmazásán át megadja az igényt kielégítő rendszer megtervezésének és megvalósításának metodikáját.*

Az általános rendszertechnika egyelőre még a különböző tapasztalatok összegzéséből és általánosításából származó elvek alapján foglalja össze és rendezi el más tudományágaktól kölcsönvett (matematikai, gazdasági stb.) eszközeit. A rendeződési és „tisztulási" folyamat azonban egyre intenzívebb, amint ezt az általános rendszertechnika első megjelent könyvének [5], és az ezt követő könyveknek [10, 20, 28] összevetésével megállapíthatjuk.

Az általános rendszerelmélettel való összefüggéséből következik, hogy *az általános rendszerelmélet fejlődése a rendszertechnika fejlődését is maga után vonja.* Jogosan tehető fel a kérdés: mit ér mindez? A kérdésre elméletileg nem válaszolhatunk, de a gyakorlat már igazolta, hogy az általános rendszertechnika alapján való rendszeralkotás igen sikeresnek bizonyult. Az ún. totális vagy integrált minőségellenőrző

rendszerektől a TD-2 mikrohullámú közvetítő láncig hosszú listáját adhatnánk az általános rendszertechnika sikerét bizonyító rendszeralkotásoknak. Erről azonban a szakirodalom tanulmányozása vagy a külföldi személyes tapasztalatok alapján bárki meggyőződhet.

Következtetések

A rendszerelméleti és rendszertechnikai irányzatok bemutatásából, az összefüggések vázlatos feltárásából, úgy gondoljuk belátható, hogy igen jelentős nagy horderejű, az elmélet és gyakorlat szoros összefonódását feltételező és igénylő átfogó tudományterület kialakulásáról van szó.

Alig vitatható, hogy a nagy rendszerek megalkotásával és irányításával kapcsolatos hazai problémáink megoldására az elméletileg is megalapozott rendszertechnika hatékony segítséget nyújthat. Mindenképpen kívánatos volna ezért a jelenlegi, meglehetősen szétszórt és a különféle terminológiák szövevényében szinte elvesző egészséges kezdeményezések összefogása és koordinálása, az elméleti alapok rendezése, a terminológia megtisztítása — egyszóval az eredményes összefogott rendszerelméleti és rendszertechnikai kutatások megindítása.

Az egyes szakterületi kezdeményezések [a híradástechnikában Horváth Gyula publikációi (pl. 19), egy OMFB munkabizottság tanulmánya, az MTA Híradástechnikai Bizottságának Rendszerelméleti Albizottsága] a téma fontosságának nem eléggé átfogó képviselői.

A jövőt alapozó feltételek között első helyen kell megemlítenünk a rendszertechnikai képzés *egyetemi* szintű oktatásának problémáját. A jelenlegi oktatási törekvésekre vagy a személyi és tárgyi feltételek elégtelenségéből származó igénytelen szétszórtság vagy a túlzottan speciális területre húzódó színvonalas, de beszűkült képzés jellemző.

A hazai elmaradottság ezen a téren annál is inkább szembeötlő, mert a rendszerelmélet és rendszertechnika (elsősorban az utóbbi) oktatási kérdéseivel a szakirodalom intenzíven foglalkozik [6, 7, 9, 22, 26 és magyarul 29, 31]. A kérdés jelentősége messze túlnő a szaktárgyi kereteken, mert tulajdonképpen teljes oktatás-szerkezeti reform szükségességére hívja fel a figyelmet.

A témát nem fejthetjük ki még vázlatosan sem, a lényeget azonban markánsan világítja meg Linvill [14]:

„Azt hiszem, hogy a mérnökképzés forradalom előtt áll. A műszaki szakágazatok közötti megkülönböztetést, amelyik a konkrét fizikai hátteret hangsúlyozta, a funkció szerinti megkülönböztetésnek kell felváltani. A villamos, gépész, vegyész és általános mérnöki stb. felosztást helyettesíteni kell a mérnöki szakterület rendszermérnöki és alkatelem-mérnöki (component engineering) felosztással. A rendszertechnika az alkalmazott matematikát és a számítógépeket hangsúlyozza, az alkatelem-mérnöki tudományok pedig az alkalmazott fizikához állnak sokkal közelebb. A rendszerelmélet a normál rendszermérnöki képzésben valószínűleg ugyanazt a helyet tölti majd be, mint az áramkör-elmélet a jelenlegi villamosmérnöki képzésben... A mérnöki tudományok rendszertechnikai és alkatelem technikai felosztásával nem szándékoztam azt mondani, hogy az utóbbi kevésbé figyelemre méltó, hanem két különböző, egymást kiegészítő nézőpont felismeréséről van itt szó. A rendszerorientált-szakemberek hajlandók bizonyos mértékig lemondani a fizikai analízis teljességéről a rendszerfunkció jobb megértésének érdekében. Mások a rendszerelemzés teljességéről mondanak le a fizikai jelenség teljesebb megragadásának kedvéért."

Az oktatási vetület fontosságának hangsúlyozása nem a szerzők hivatásbeli elfogultságát tükrözik, mert tárgyilagos vizsgálattal igazolható az oktatás rendkívüli hatékonysága az új gondolatok és elméletek gyakorlati realizálásában.

Nagy tudományterületekről akkor is nehéz feladat összefoglaló képet adni, ha kiforrott és rendezett területről van szó. A feladat sokszorosan bonyolultabb és súlyosabb, ha forrongásban levő és bizonyos mértékig a megszokottól eltérő logikai világot képviselő, fejlődő tudományterület eddigi útját és fejlődési irányát kell röviden vázolni.

Reméljük, hogy kísérletünk, ha nem is hibátlanul, de érthetően mutatott rá a lényegesebb problémákra és hozzájárul az ez irányú hazai fejlődés előmozdításához.

IRODALOM

1. *Bertalanffy, L. von:* An outline of general system theory. — The British Journal for the Philosophy of Science, 1. k. 2. sz. 1950. aug. p. 134—165.
2. *Bertalanffy, L. von:* General system theory: A new approach to unity of science. — Human Biology, 23. k. 1951. dec. p. 302—361.; Magyarul megjelent: Rendszerelmélet. (32) 25. o.
3. *Bertalanffy, L. von:* General system theory. — General Systems, 1. k. 1965. p. 1—10.
4. *Boulding, K.:* General system theory — The skeleton of science. — Management Science, 2. k. 1956. ápr. p. 197—208.; Magyarul megjelent: Rendszerelmélet (32) 94. o.
5. *Goode, H. H.—Machol, R. E.:* System engineering — An introduction to the design of large-scale systems. New York, 1957. McGraw Hill. 551 p.
6. Educational needs in systems engineering — Panel discussion — 1958 IRE National Convention Record, 6. k. 1958. 4. rész p. 108—125.
7. *Chorafas, D. N.:* Systems engineering in the engineering curriculum. — Journal of Engineering Education, 10. k. 2. sz. 1959. márc.—ápr. p. 135—137.
8. *Lektorszkij, V. A.—Szadovszkij, V. N.:* O principah iszledovanija szisztem. — Voproszi Filozofii, 14. k. 8. sz. 1960. p. 67—89.
9. *Kosavan, H. K.—Myers, B. R.:* Systems theory in a unified curriculum. — IEEE Transactions on Education, 4. k. 1964. szept. p. 102—110.
10. *Hall, A. D.:* A methodology for systems engineering. — Princeton, 1962. Van Nostrand. 551. p.
11. *Gud, H. H. (Goode, H. H.)—Makol, R. E. (Machol, R. E.):* Szisztemotechnika. Vvedenije v projektirovanije bolsih szisztem. — Moszkva, 1962. Szovjetszkoje Radio. 382 p. Pomarov G. V. előszavával.
12. *Bertalanffy, L. von:* General system theory — A critical review. — General Systems, 7. k. 1962. p. 1—22.
13. *Zadeh, L. A.:* From circuit theory to system theory. — Proceedings of the IRE, 50. k. 5. sz. 1962. maj. p. 856—871.
14. What is system theory and where is it going? — A panel discussion. — IEEE Transactions on Circuit Theory, 10. k. 2. sz. 1963. jun. p. 154—160.
15. *Afanaszjev, V. G.:* O principah klasszifikacji celosztnüh szisztem. — Voproszü Filozofii, Vol. 17. vo. 5. 1963. p. 31—43.
16. *Mesarovic, M. D.:* Foundations for a general systems theory. — Views on general systems theory — Proceedings of The Second Systems Symposium at CIT. Ed.: Mesarovic, M. D. New York, 1964. John Wiley and Sons. p. 1—24.
17. *Scsedrovickij, G. P.:* Methodological problems of system research. — General Systems, Vol. 11. 1966. p. 27—53.

(Eredetileg megjelent: Problemü metodologii szisztemnego iszszledovania címen — Znanie, Moszkva, 1964.)
18. *Young, O. R.:* A survey of general systems theory. — General Systems, 9. k. 1964. p. 61—81.
19. *Horváth Gyula:* A rendszertechnika kiinduló kérdései. — Magyar Híradástechnika, 1964. 7. sz. p. 210—215.
20. *Chestnut, H.:* Systems engineering tools. — New York, 1965. John Wiley and Sons. 646 p.
21. *Hall, A. D.:* Systems engineering from an engineering viewpoint. — IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1. k. 1. sz. 1965. nov. p. 4—8.
22. *Berder, W. G.:* A survey of systems science education. — IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics. 1. k. 1. sz. 1965. nov. p. 23—31.
23. A kibernetika klasszikusai. Studium könyvek. — 1965, Budapest Gondolat.
24. *Barney, W.:* New discipline defies definition but the industry wants more of it. — Electronics, 39. k. 9. sz. 1966. máj. 2. p. 115—117.
25. *Hall, A. D.:* The present status and trends in systems engineering. — IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics, 2. k. 1. sz. 1966. aug. p. 1—2.
26. *Motard, R. L.:* Systems engineering: engineering come of age and its academic image. — Journal of Engineering Education, 56. k. 6. sz. 1966. febr. p. 198—202.
27. *Kiss István:* Rendszertechnika. — Műszaki Gazdasági Tájékoztató, 1966. 6. sz. p. 945—966.
28. *Chestnut, H.:* Systems engineering methods. — New York. 1967. John Wiley and Sons. 392 p.
29. *Kindler József—Kiss István:* A rendszertechnika (systems engineering) és az operációkutatás oktatása az angolszász irodalom tükrében. — Felsőoktatási Szakirodalmi Tájékoztató A sorozat, 4. k. 1. sz. 1967. p. 589—632.
30. *Kiss István:* A rendszertechnika (systems engineering) néhány elvi problémájáról. — V. Országos Automatizálási Konferencia előadásai, II. kötet. Budapest, 1968. MTESZ—MATE.
31. *Kindler József—Kiss István:* A műszaki felsőoktatás néhány elvi kérdéséről. — Pedagógiai közlemények, Budapesti Műszaki Egyetem. VIII. k. 1. sz. 1969. p. 35—52.
32. Rendszerelmélet. Válogatott tanulmányok. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1969. Budapest (több mint 300 irodalmi hivatkozással).

Tartalmi összefoglalások

ETO 007:621.391

Dr. Kindler J.—Dr. Kiss I.:

Rendszerelméleti és rendszertechnikai irányzatok

HÍRADÁSTECHNIKA XXI. (1970) 1. sz.

A szerzők a rendszerelmélet és rendszertechnika irányzataitól és összefüggéseiről adnak összefoglaló képet. A tudománytörténeti előzmények tárgyalásában vázolják a szintetizáló, integráló irányzatok megjelenési formáit. Az általános rendszerelmélet szükségességének megvilágítása után röviden ismertetik a fontosabb irányzatok elveit és azok kritikáját. A rendszertechnikát módszertani elméletként értelmezik és megmutatják az általános és speciális rendszertechnika közötti elvi különbséget. Hangsúlyozzák az általános rendszertechnika gyakorlati fontosságát és szükségesnek tartják annak egyetemi szintű rendszeres oktatását.

ETO 537.311.33:621.382

Kocsis M.—Bártfai P.-né:

Epitaxiális felépítésű félvezető eszközök

HÍRADÁSTECHNIKA XXI. (1970) 1. sz.

Az epitaxiás felépítés előnyös tulajdonságai a modern kapcsoló eszközök számára nélkülözhetetlenek. Diódák esetében a bázis soros ellenállás, tranzisztoroknál a kollektor soros ellenállás erőteljes csökkenése jelent előnyt. Az eszközök működési sebessége megnő azáltal, hogy a keskeny bázis-, illetve kollektortartomány következtében lecsökken a töltéshordozók futási ideje. Problémát jelent azonban az epitaxiás felépítésnél az erősen adalékolt alaplemez és a nagy fajlagos ellenállású réteg érintkezési helyénél kialakult elnyújtott $n—n^+$ átmenet, amely lassító térként hat a kisebbségi töltéshordozókra nézve. Ennek az ellentérnek a nagyságáról ad tájékoztatást a dióda töltéstárolási időállandó mért értékeinek az összehasonlítása a számított töltéstárolási időállandókkal. A számításokat különféle ellenterű tartománnyal rendelkező modellekre végeztük el. A BAY 41, 42, 43 diódák esetében igazolódott az a feltételezés, hogy az ellenterű tartomány a dióda bázisszélességének felére terjed ki.

ETO 519.14:621.372.2.001.24

Dr. Solymosi J.:

Másodrendű érzékenységek számítása hatásgráfos módszerrel

HÍRADÁSTECHNIKA XXI. (1970) 1. sz.

Az érzékenység fogalma fontos szerepet játszik a hálózatszintézisben, a toleranciaszámításban és a változtatható paraméterű áramkörök számításában. A cikk röviden összefoglalja a lineáris rendszerek elsőrendű érzékenységgel kapcsolatos jól ismert összefüggéseit, majd pedig a másodrendű érzékenységre vonatkozó összefüggéseket határozza meg hatásgráfos módszerrel. A módszert két példával illusztrálja.

ETO 546.28:548.5:621.382.334

Timár J.:

Epitaxiás szilíciumrétegek növesztése integrált áramkörökhöz

HÍRADÁSTECHNIKA XXI. (1970) 1. sz.

Az epitaxiás Si-rétegek növesztése során a kis mélységű süllyesztések geometriai stabilitása fontos probléma. Az ~1000 Å-ös süllyesztések alakjának és helyzetének torzulásmentes megtartása jelentősen függ a növesztésnél alkalmazott gáz $SiCl_4$ koncentrációjától és a hordozó kristálytani orientációjától. Növesztési kísérleteink során az alkalmazott $SiCl_4$ koncentrációját változtattuk, majd különböző orientációjú hordozókat felhasználva megfigyeltük az epitaxiás növesztések után kapott süllyesztett területek alakváltozását. Tapasztalataink az irodalmi adatokkal megegyeztek.

A kidolgozott kristálynövesztési technika megfelelően reprodukálható és az áramkör technológiai műveletsorába jól beilleszthető.

ETO 621.391.8:621.397.132

Bognár L.:

Színes televízió átviteli rendszerek. Általános átviteli követelmények, jellemzők és tulajdonságok

HÍRADÁSTECHNIKA XXI. (1970) 1. sz.

A szerző ismerteti azokat a követelményeket, jellemzőket és tulajdonságokat, amelyek a ma használatos színes televízió rendszerekre érvényesek. E rendszertechnikai összefoglalás keretében kitér az összeférőség alapkövetelményére és következményeire, a képtartalmat továbbító alapszín-, ill. színkülönbségi jelekre és átviteli sávjuk szélességének kérdésére, megvizsgálja a színinformációt hordozó színsegédvivő jel frekvenciája megválasztásának szempontjait és a képátvitel módszerét és végül ismerteti a képátvitel során keletkező áthallásokat és torzításokat.

ETO 538.566.2:621.371.35

Dr. Ferencz Cs.:

Hullámterjedés inhomogén közegben

HÍRADÁSTECHNIKA XXI. (1970) 1. sz.

A szerző az inhomogén anizotróp, időben változó hullámterjedésnek egy előző cikkben tárgyalt általános törvényszerűségeit veszi alapul. Vizsgálja a műhold és követő állomás közti ionoszférikus terjedést geocentrikus koordinákba való transzformáció segítségével. Meghatározza a diszperzió egyenletet.

KOCSIS MIKLÓS–BÁRTFAI PÁLNÉ
Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet

Epitaxiás felépítésű félvezető eszközök

ETO 537.311.33:621.382

Az epitaxiás technika bevezetésével lehetővé vált, hogy a működő félvezető eszközt néhányszor tíz-, illetve néhány mikronos vékony félvezető rétegben képezzék ki. Az alacsony fajlagos ellenállású, nagyméretű alaplemezre párologtatott epitaxiás réteg vastagságát és fajlagos ellenállását az eszközök tervezésénél megadott szempontok szerint alakítják ki.

A mesa és planáris felépítésű eszközöknél az epitaxiás szerkezet következtében alacsony a félvezető kristálytömb fajlagos ellenállása, amely a diódasoros ellenállás, illetve tranzisztoroknál a kollektorsoros ellenállás erőteljes csökkenésében jelentkezik. Az epitaxiás felépítés másik előnye abban rejlik, hogy a nagy fajlagos ellenállású diódabázis, illetve tranzisztoroknál a kollektortartomány szélessége lecsökkenthető annyira, hogy a kisebbségi töltéshordozók diffúziós úthossza ennél a távolságnál jóval nagyobb legyen, így a töltéshordozók rekombinálódása az alacsony fajlagos ellenállású alaplemezben következik be, ahol a magas adalék-koncentráció következtében igen nagy a rekombinációs sebesség. Az epitaxiás szerkezet előnyös tulajdonságai lényegében e két alapvető szempontra vezethető vissza. A hátrányos tulajdonságokat illetően elsősorban az epitaxiás szerkezetnek az ideálistól való eltérését kell megemlíteni. Sok esetben számottevő lehet az alapkristály soros ellenállása is, továbbá az itt fellépő, nullától különböző diffúziós úthossz. Jelentős hibaforrást képez az epitaxiás réteg és a hordozó lemez érintkezési helyénél kialakult úgynevezett $n-n^+$ átmenet, amely nem tekinthető ugrásszerűnek, mert a hordozó adalékanyaga a réteg növesztése során kisebb-nagyobb mértékben átdiffundál a nagy fajlagos ellenállású, gyengébben adalékolt rétegbe. Ezáltal az n^+ réteg felé haladó töltéshordozók lassító elektromos térbe kerülnek, amely akadályozza a p-típusú részecskéknek az ohmos kontaktus felé haladó mozgását. Az így kialakult lassító elektromos tér azonban szintfüggő, továbbá ugyancsak szintfüggő a lyukélettartam is, ezért a tényleges működési mechanizmus tisztázása ezen tényezők figyelembevételét is megköveteli.

Epitaxiás diódák

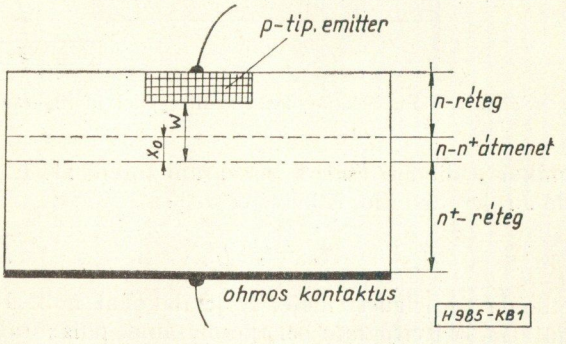
A diódák alkalmazási területét tekintve a kapcsolódiódák azok, amelyeknél az epitaxiás felépítés nélkülözhetetlen. Ezeknél a diódáknál egyaránt fontos az alacsony értékű bázis soros ellenállás, továbbá a gyors működés szempontjából a rövid bázis futási idő. A nagy működési sebesség azt is megköveteli, hogy az átmeneti kapacitás alacsony, néhány pF értékű legyen, ennek elérése érdekében szükséges az átmenet területének csökkentése is. Impulzusüzemű működésnél nem okoz problémát az átlagdisszipáció alacsonyan tartása, így a kis átmenet-terület ebből a szempontból megengedett.

Az átmenet keresztmetszetének csökkentése következtében azonban megnő a soros ellenállás. A soros ellenállás csökkentése különösen a nagyszintű működésnél lényeges, kapcsolóüzemben ugyanis az eszköznek magas, néhányszáz mA-es csúcsáramokat is kell biztosítani lehetőleg alacsony nyitófeszültség mellett. A katalógus által előírt érték pl. a BAY 41, 42, 43 kapcsolódiódáknál 200 mA 1 V nyitófeszültségnél. Nem epitaxiás diódáknál nagy szinten a soros ellenállás a vezetésmoduláció miatt erősen változik. Epitaxiás felépítésnél az alaplemez soros ellenállása állandó, mivel a vezetésmoduláció csak a keskeny epitaxiás rétegre terjed ki, s hatása tökéletesen elhanyagolható.

Az epitaxiás $n-n^+$ átmenet elnyújtottsága csökkentheti a letörési feszültséget. Adott fajlagos ellenállású epitaxiás réteg vastagságát olyan értékűre választják, hogy az átmenetre adott maximálisan megengedett zárófeszültséghez tartozó kiürített réteg teljes egészében a w szélességű epitaxiás rétegbe essék. Ha azonban az átmenet elnyújtott, a kiürített réteg az erősebben adalékolt $n-n^+$ átmenet tartományába is behatol és így a lavinaeltörés az előírtnál alacsonyabb zárófeszültségnél fog bekövetkezni.

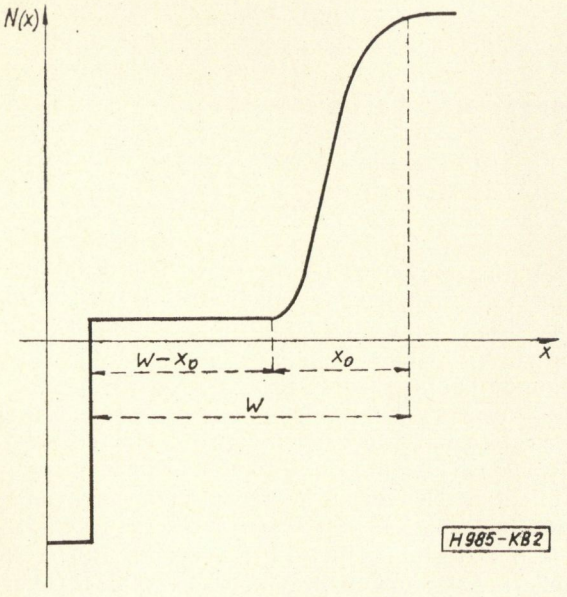
Az epitaxiás dióda felépítését az 1. ábra, a dióda adalékeloszlását pedig a 2. ábra szemlélteti.

Vizsgáljuk meg a félvezető diódák impulzusüzemű működésének sajátosságait, különös tekintettel az epitaxiás szerkezetre. A diódára I_F amplitúdójú nyitóirányú áramugrást, majd ezzel ellentétes irányú I_R amplitúdójú kihúzóáramot adunk. A diódában tárolt töltés miatt egy ideig a diódán átfolyó áram állandó. Ezt az időt telítési időnek nevezzük, jele t_s. A következő időszakaszban a $p-n$ átmenet fokozatosan lezár, végül beáll a stacionér lezárási állapot,

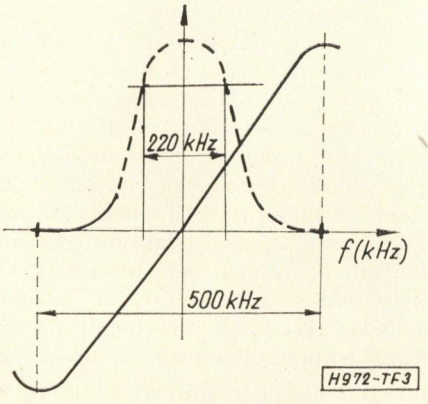


1. ábra. Az epitaxiás dióda felépítése

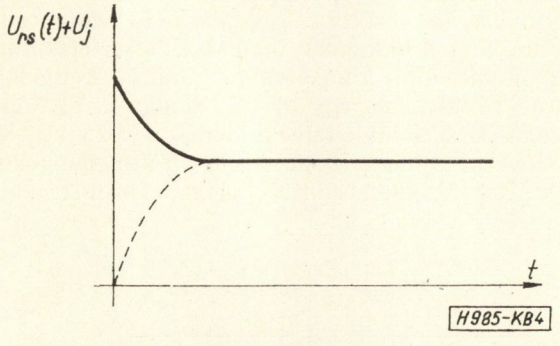
Beérkezett: 1969. július 31.



2. ábra. Az adalékanyag-koncentráció eloszlás az epitaxiás diódában



3. ábra. Dióda újraéledési idő vizsgálata



4. ábra. A dióda bekapcsolási feszültségének időfüggése

amikor a diódán csak a visszáram folyik át. Ez az idő a t_f lefutási idő. A kettő összege:

$$t_{rec}=t_s+t_f$$

a dióda újraéledési ideje. A jelalakokat a 3. ábra mutatja. A nyitóáram bekapcsolásának pillanatában megindul a diódában a töltésfelhalmozódás. A vezetésmoduláció következtében változik a bekapcsolási folyamat alatt a soros ellenállás és ennek megfelelően a rajta fellépő feszültségesés is. Az átmeneten levő feszültség viszont a nyitóáram bekapcsolásának pillanatában nulla, majd τ_F időállandóval exponenciálisan növekszik. A két feszültség eredő időfüggvénye adja a dióda bekapcsolási tranziensét. Ha a bázisszélesség nagy, tehát nagy a soros ellenállás, az időfüggvény a 4. ábrán látható folytonos vonallal kihúzott lefutást mutatja. Kicsiny soros ellenállásnál a szaggatott vonallal jelzett időfüggvény valósul meg. Az első esetben a dióda helyettesítő kapcsolásához egy soros induktivitás illesztése szükséges, ebben az esetben a dióda induktív, míg a második esetben kapacitív jellegű lesz. Az induktív jelleg az impulzusüzemű működésnél zavaró lehet, tehát ez is egyik ok, amiért kapcsolódiódáknál a soros ellenállást csökkenteni kell. Kis bázis soros ellenállásnál, ahol a szaggatott vonal jelzi az időfüggést, a τ_F időállandó jellemzi a bekapcsolási folyamatot.

A dióda újraéledési idejében szereplő t_s és t_f idők a következők szerint alakulnak: a t_s telítési idő függ az I_F és I_R áramok amplitúdójától, továbbá egyenesen arányos a záróirányú működéshez tartozó τ_R töltéstárolási időállandóval. A t_f lefutási idő kifejezésében a τ_R időállandón kívül szerepel az átmeneti kapacitás és az áramkör külső ellenállásának szorzatából adódó időkonstans is.

A dióda működési sebessége annál nagyobb, minél kisebbek a τ_F és τ_R időállandók, valamint a C_t átmeneti kapacitás. A töltéstárolási időállandók nagyságát lényegesen befolyásolja az epitaxiás felépítés, ezért részletesebben foglalkozunk velük. Ha a dióda bázisa olyan keskeny, hogy sokkal kisebb a lyukak diffúziós hosszánál, tehát $w \ll L_p$ teljesül, akkor a töltéstárolási időállandó

$$\tau_F=\tau_f=\frac{w^2}{2D_p}$$

a futási idővel egyezik meg. Az epitaxiás felépítés révén éppen ez a feltétel valósítható meg és így a kisebbségi töltéshordozók rekombinálódása az erősebben adalékolt alaplemezben következik be, ahol a rekombinációs sebesség sokkal nagyobb, mint az epitaxiás rétegben.

A kikapcsolási folyamat időállandója $\tau_R \simeq (0{,}5 \div 0{,}8)\,\tau_F$. A két időállandó közötti eltérés azzal kapcsolatos, hogy kihúzáskor a töltéshordozók jelentős részének kisebb utat kell befutni, mint a nyitószakasz alatt.

Bár az epitaxiás technika révén csökken a töltéstárolási időállandó a futási idő csökkenése révén, ugyanakkor azonban maga az epitaxiás felépítés alkalmazása jelent más szempontból hátrányt a töltéstárolási időállandó számára. Mint korábban említettük, az $n-n^+$ átmenet nem ugrásszerű, többé-kevésbé elnyújtott és így a dióda bázisában elektromos térerősség alakul ki, amely a kisebbségi töltéshordozók mozgását akadályozza. Méréseink szerint nagy szinten (kb. 200—300 mA-nél)

$$\tau_p = \tau_{p\infty} = 28 \text{ ns}$$
$$\tau_{p_{sub}} = \tau_{p_{sub\infty}} = 3{,}3 \text{ ns}$$

Ha

	$x_0=\frac{w}{2}$	és	$x_0=0$
$\tau_{F_{ep}}$	13,4 ns		4,17 ns
$\tau_{F_{sub}}$	1,7 ns		2,8 ns
$\tau_F=\tau_{F_{ep}}+\tau_{F_{sub}}$	15,1 ns		6,97 ns

A mért érték: $\tau_F=14{,}8$ ns. Láthatóan a valódi struktúra az $x_0=\frac{w}{2}$ esethez áll közel, tehát a BAY 41, 42, 43 diódáknál, ahol $w=5$ μm-nek adódott, ezen szakaszból mintegy 2—3 μm-t tesz ki az ellenterű tartomány. Az $x_0=0$ eset, vagyis az ellentér hiánya a számítások szerint lényegesen kisebb τ_F-et eredményezne a mért értéknél. A részletes számítások az [1] irodalomban találhatók.

Epitaxiás tranzisztorok

Az epitaxiás tranzisztorok sok tekintetben hasonlóságot mutatnak az epitaxiás diódákhoz. A ténylegesen működő tranzisztort a vékony epitaxiás rétegben alakítják ki. Az alacsony fajlagos ellenállású alaplemez tehát a kollektor soros ellenállását csökkenti. Hasonlóan, mint a diódáknál a bázis futási idő, tranzisztoroknál a kollektor-tartományban érvényes futási idő fog lecsökkenni azáltal, hogy a kollektor nagy fajlagos ellenállású tartománya néhány μm-es rétegre korlátozódik.

Az epitaxiás technikát tranzisztorok esetében is elsősorban a kapcsolótranzisztoroknál alkalmazzák. A kollektor soros ellenállás lecsökkentésének egyik fontos következménye, hogy a telítési feszültség csökken.

A tranziens viselkedést illetően — hasonlóan, mint a diódák esetében — a tranzisztor emitter-bázisára adott nyitóirányú árampimpulzus, majd ezt követő ellentétes kihúzóáram-impulzus hatására folyó kollektoráram időfüggvényét vizsgáljuk. A nyitóáram megszűnése után az állandósult kollektoráram egy ideig, jelöljük ezt t_s-sel, nem változik és csak ezután kezd el csökkenni. Ez a jelenség annak következménye, hogy a tranzisztorban töltés tárolódik és a nyitóáram megszűnése után a kollektoráramot egy ideig ez a töltésmennyiség biztosítani tudja. A t_s idő függ az áramköri beállítástól, továbbá egyenesen arányos a τ_s töltéstárolási időállandóval, amely már kizárólag a tranzisztor sajátosságaitól függ. Elfogadható közelítéssel

$$\tau_s \cong \tau_{bN}+\tau_{cs}$$

A τ_{bN} bázis töltéstárolási idő állandó a bázis szélességétől és szennyezéseloszlásától függ, bennünket azonban a τ_{cs} kollektor töltéstárolási időállandó érdekel, mivel ez az a mennyiség, amely az epitaxiás felépítés révén befolyásolható.

τ_{cs}-ről lényegében ugyanazt mondhatjuk el, mint az epitaxiás diódáknál τ_F, illetve τ_R-ről a dióda töltéstárolási időállandóiról. Epitaxiás felépítésnél τ_{cs} meg fog egyezni a τ_f futási idővel, amely

$$\tau_f=\frac{w_c^2}{2D_p}$$

ahol w_c a bázis-kollektor átmenet és az epitaxiális $n-n^+$ átmenet közötti távolság.

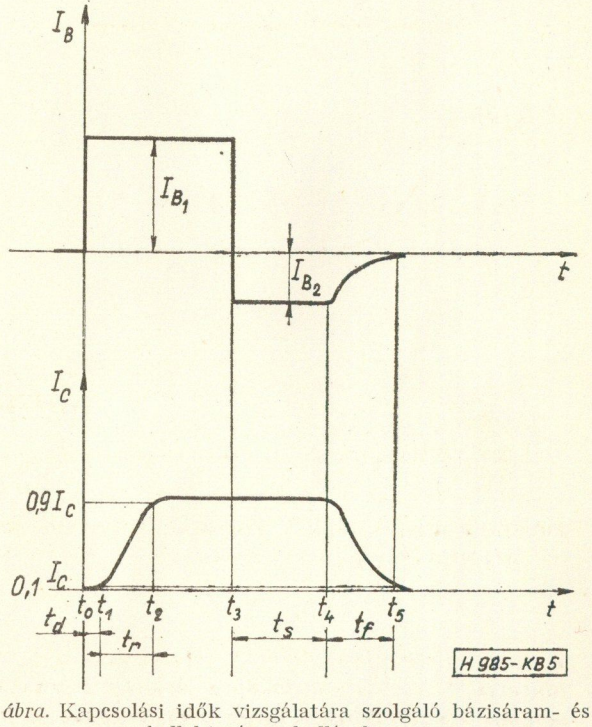
A felfutási és lefutási kapcsolási idők időállandói csökkentése céljából kis kollektorkapacitás és ugyancsak alacsony kollektor soros ellenállás szükséges, tehát az epitaxiás felépítés a gyors működés biztosítása érdekében ezért is fontos. Ha w_c értéke elég nagy, kb. 12—15 μ, mint pl. a BSY 34, 58 tranzisztortípusoknál, akkor ehhez képest az $n-n^+$ átmenet néhány mikronos kiterjedése elhanyagolható. Más kapcsoló tranzisztoroknál, mint pl. a BSY 17, 18, 62, 63 család esetében w_c értéke mindössze kb. 5 μm-t tesz ki, itt az ellentér befolyása lényeges lehet. Ugyanakkor azonban az alacsony τ_{cs} és τ_s értékek alapján arra következtethetünk, hogy az ellentér befolyását — amennyiben ez számottevő volna — a meglehetősen magas aranykoncentráció kb. 4×10^{16} cm^{-3}, megfelelően ellensúlyozni tudta. τ_s mért értékei $4\div11$ nsnak adódtak.

Az epitaxiás felépítés további előnyös tulajdonságai közé sorolható az eszköz határfrekvenciájának kiterjesztése. Az $\frac{1}{2\pi f_T}$ határfrekvencia kifejezésében szerepel az

$$\frac{1}{\omega_c}=r_{sC}C_{tc}$$

időállandó is, amely csökken az r_{sC} soros ellenállás csökkentésével.

Ugyancsak figyelemre méltó, hogy a kollektor soros ellenállás nagysága befolyásolja a telítési feszültség hőfokfüggését is. Verster végzett erre nézve számításokat [2] és kimutatta, minél nagyobb r_{sC}, annál erősebb a hőfokfüggése is és ezáltal a telítési feszültség hőfokfüggése is. Mills adatai szerint [3] a BLY-10 és a vele teljesen azonos struktúrájú, de nem epitaxiás felépítésű BUY-10 esetében a telítési fe-



5. ábra. Kapcsolási idők vizsgálatára szolgáló bázisáram- és kollektoráram-hullámforma

szültség-értékek 150 C°-on és 25 C°-on vett hányadosa a nem epitaxiás eszközöknél 2,15 értékű, míg az epitaxiás eszközöknél 1,15-nek adódott. Ez a körülmény a nagyteljesítményű kapcsolótranzisztorok részére jelent előnyt.

A kollektor soros ellenállás befolyásolja az áramerősítési tényező áramfüggését is. Bickley közölt erre vonatkozó adatokat [4]. Egyik legszemléletesebb példája a BSY-27 planáris epitaxiás tranzisztor összehasonlítása a vele teljesen azonos tulajdonságú, de nem epitaxiás felépítésű BFY-18 típussal. A maximális β-értéket mindkettő ugyanannál az áramértéknél éri el, azonban a nem epitaxiás BFY-18-nál a maximális 60-as β-ról a 20-ra való csökkenés $\sim$80 mA-nél következik be, míg a BSY-27-nél 60-ról 20-ra $\sim$200 mA-nél csökken le a β.

Az elmondottakból kitűnik, hogy az epitaxiás technika különösen a kapcsolóeszközök területén ma már nélkülözhetetlen. A soros ellenállás és a futási idő csökkentésében jelentkező előnyök mellett azonban nem szabad eltekintenünk bizonyos hátrányosságoktól sem, amelyek éppen az epitaxiás felépítés következményei.

Az eszközök vizsgálatából a technológia számára levonható fontos következmény, hogy az epitaxiás rétegek növesztésénél ügyelni kell arra, hogy az alaplemez és a réteg érintkezési helyénél fellépő $n-n^+$ átmenet a tervezés előírásainak megfelelő legyen és helye, valamint jellege az eszköz készítése során alkalmazott technológiai folyamatok alatt ne változzék. Ugyancsak fontos, hogy az alapkristályban a kisebbségi töltéshordozók élettartama az epitaxiás réteghez viszonyítva lehetőleg egy-két nagyságrenddel alacsonyabb legyen. Az epitaxiás rétegek vizsgálatánál alkalmazott minősítő méréseket ezen paraméterek alaposabb vizsgálatára is célszerűnek látszik kiterjeszteni.

IRODALOM

1. *Kocsis M.:* HIKI jelentés, 1966. március hó (0307—3—4109.65)
2. *T. C. Verster:* Silicon planar epitaxial transistore as fast and reliable low-level switches, IEEE Transaction on Electron Devices Vol. ED—11 No. 5. pp. 228. (1964)
3. *B. D. Mills:* Silizium—Epitaxial—Planar Transistoren Das Elektron. H. 19/20. s. 353 (1964)
4. *J. Bickley:* Silizium—Epitaxial—Planar—Transistoren, Das Elektron H. 23/24. S. 427. (1964)

DR. SOLYMOSI JÁNOS
BME Vezetékes Híradástechnika Tanszék

Másodrendű érzékenységek számítása hatásgráfos módszerrel

ETO 519.14:621. 372.2.001.24

Az utóbbi néhány évben folyóiratokban megjelent cikkek, konferenciákon elhangzott előadások sorozata és néhány könyv is foglalkozik érzékenységi problémákkal. Ez a kérdés azért került előtérbe, mivel a hálózatszintézis egyik modern módszere, az iteratív szintézis, nem nélkülözheti az érzékenységek fogalmát, hasonló módon az automatika, ill. szabályozástechnika sem. Jelentős szerepet játszik az érzékenység a toleranciaszámításban is, valamint a változtatható paraméterű áramkörök számításában.

Az érzékenység és a visszacsatolt differencia fogalmát még Bode vezette be immáron klasszikusnak számító könyvében [1], azonban az összefüggések fizikai interpretációja nagyon nehézkes volt a determinánsokkal való számítás következtében. Ezen a nehézségen segített át a Mason által ismertetett hatásgráfos módszer, amely a lineáris matematikai összefüggéseket egy gráfban adja meg [2, 3, 4]. Itt jegyezzük meg, hogy Bingulac [5] speciális visszacsatolt rendszerre megadott egy hatásgráfos módszert, amellyel első és másodrendű érzékenységeket lehet meghatározni, azonban a specialitás (egy direkt átviteli út van, és az összes visszacsatoló ág gyakorlatilag a bemeneti ponthoz kapcsolódik) erősen korlátozza az alkalmazhatóságot.

A következőkben néhány szóban összefoglaljuk a lineáris rendszerek elsőrendű érzékenységgel kapcsolatos jól ismert összefüggéseit, majd pedig a másodrendű érzékenységre vonatkozó összefüggéseket határozzuk meg hatásgráfos módszerrel.

Egyúttal szeretnénk megjegyezni, hogy érzékenységek meghatározására más, differenciálást elkerülő módszerek is léteznek [6, 7, 8].

Elsőrendű érzékenység

A különböző követelményeknek megfelelően különböző érzékenységfüggvényeket definiáltak. Az abszolút-, a kétféle félig relatív és a relatív érzékenységek közül mi most célszerűségi okokból azt a félig relatív érzékenységet használjuk, amelyik a hálózatfüggvény abszolút megváltozását rendeli a változó elem relatív megváltozásához

$$Q_i=\frac{\partial T}{\partial \ln x_i}=x_i\frac{\partial T}{\partial x_i}\,. \qquad (1)$$

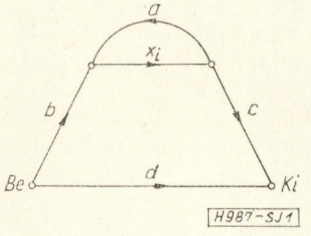
A rendszert leíró függvényt adjuk meg olyan hatásgráfban (1. ábra), amely a rendszer x_i körüli visszacsatolását juttatja kifejezésre. A felelet és a gerjesztés között definiált transzfer függvény

$$T=d+\frac{bcx_i}{1-ax_i}=d+T_r, \qquad (2)$$

a definiált félig relatív érzékenység

$$Q_i=\frac{\partial T}{\partial \ln x_i}=\frac{\partial T_r}{\partial \ln x_i}=\frac{bcx_i}{(1-ax_i)^2}=\frac{T_r}{1-ax_i}=\frac{T_r}{\Delta}\,. \qquad (3)$$

Az összefüggésben a „d" közvetlen átvitel természetesen nem szerepel, mivel az a változó mellett egy additív konstans. A nevezőben szereplő $\Delta=1-ax_i$ a rendszer determinánsa, egyben az x_i elemre vonatkoztatott visszacsatolt differencia is. A (3)-as kifejezésből látható az az igen gyakran emlegetett tény is, hogy egy rendszer relatív érzékenysége, $d=0$ esetén, egyszerűen a visszacsatolt differencia reciproka.



1. ábra

Másodrendű érzékenység

A másodrendű félig relatív érzékenység definíciója

$$Q_{ij}=\frac{\partial^2 T}{\partial \ln x_i\,\partial \ln x_j}=x_ix_j\frac{\partial^2 T}{\partial x_i\,\partial x_j}\,. \qquad (4)$$

Ismét hatásgráf-módszerrel akarunk számolni, ezért a két változóra érvényes hatásgráfot kell felrajzolnunk (2. ábra). Az előzőekben láttuk, hogy a közvetlen átvitel nem szerepel az érzékenységi összefüggésben, ezért most tételezzük fel, hogy $d=0$, vagy értelmezzük úgy a T átvitelt, hogy a teljes átvitelt redukáltuk d-vel. Így elkerüljük a zavaró index használatát. Tehát a továbbiakban T-vel a $2b$ ábra gráfjának átvitelét jelöljük.

A transzfer függvény felírásához használjuk a Mason-formulát:

$$T=\frac{\sum P_K\Delta_K}{\Delta}\,. \qquad (5)$$

Jelen esetben $P_1=b_1c_1x_1$, $\Delta_1=1-a_{22}x_2=D_2$

$P_2=b_1a_{21}c_2x_1x_2$, $\Delta_2=1$

$P_3=b_2c_2x_2$, $\Delta_3=1-a_{11}x_1=D_1$

$P_4=b_2a_{12}c_1x_1x_2$, $\Delta_4=1$

Beérkezett: 1969. augusztus 12.

E kifejezésekben D_1 az x_1 elemre vonatkoztatott visszacsatolt differencia $x_2=0$ esetén, ill. D_2 az x_2 elemre vonatkoztatott visszacsatolt differencia $x_1=0$ esetén.

A hálózat determinánsa

$$\Delta=1-(a_{11}x_1+a_{22}x_2+a_{12}a_{21}x_1x_2)+a_{11}a_{22}x_1x_2. \tag{6}$$

Tehát a transzfer függvény:

$$T=\frac{b_1c_1x_1(1-a_{22}x_2)+b_1a_{21}c_2x_1x_2+b_2c_2x_2(1-a_{11}x_1)+b_2a_{12}c_1x_1x_2}{1-(a_{11}x_1+a_{22}x_2+a_{12}a_{21}x_1x_2)+a_{11}a_{22}x_1x_2}=$$

$$=\frac{b_1c_1x_1+b_2c_2x_2+(-b_1c_1a_{22}+b_1a_{21}c_2-b_2c_2a_{11}+b_2a_{12}c_1)x_1x_2}{1-a_{11}x_1-a_{22}x_2+(a_{11}a_{22}-a_{12}a_{21})x_1x_2} \tag{7}$$

x_1 szerinti deriválással és x_1-gyel való szorzással könnyen megkaphatjuk az elsőrendű érzékenységet az x_1 elemre vonatkoztatva:

$$Q_1=\frac{\partial T}{\partial \ln x_1}=-\frac{b_2c_2x_2}{\Delta}+T\frac{1-a_{22}x_2}{\Delta}=-\frac{b_2c_2x_2}{\Delta}+T\frac{D_2}{\Delta}. \tag{8}$$

Ebből az összefüggésből említésre méltó, hogy a Δ rendszerdetermináns és a T transzfer függvény mellett csak olyan kifejezések szerepelnek, amelyek az x_2 változóval kapcsolatosak, nevezetesen az x_2 ágon áthaladó $b_2c_2x_2$ út és a D_2 visszacsatolt differencia.

A Q_2 érzékenységet indexcserével kaphatjuk meg (7)-ből:

$$Q_2=\frac{\partial T}{\partial \ln x_2}=-\frac{b_1c_1x_1}{\Delta}+T\frac{1-a_{11}x_1}{\Delta}=-\frac{b_1c_1x_1}{\Delta}+T\frac{D_1}{\Delta} \tag{9}$$

a $b_1c_1x_1$ út és a D_1 visszacsatolt differencia szerepel csak Δ és T mellett.

Ezek után kiszámítjuk a vegyes másodrendű érzékenységet. A (8) kifejezést $\ln x_2$ szerint deriválva azt kapjuk, hogy

$$Q_{12}=\frac{\partial Q_1}{\ln x_2}=Q_1\frac{1-a_{11}x_1}{\Delta}+Q_2\frac{1-a_{22}x_2}{\Delta}-\frac{T}{\Delta}=$$

$$=Q_1\frac{D_1}{\Delta}+Q_2\frac{D_2}{\Delta}-\frac{T}{\Delta}, \tag{10}$$

vagyis a vegyes másodrendű érzékenység egyszerűen kiszámítható az elsőrendű érzékenységek, a visszacsatolt differenciák, a transzfer függvény és a rendszerdetermináns ismeretében. Említésre méltó, hogy a megfelelő elsőrendű érzékenységet a megfelelő visszacsatolt differenciával kell szorozni (Q_i D_i). Tehát az x_i és x_j elemekre vonatkoztatott másodrendű félig relatív érzékenység

$$Q_{ij}=\frac{\partial^2 T}{\partial \ln x_i\,\partial \ln x_j}=Q_i\frac{D_i}{\Delta}+Q_j\frac{D_j}{\Delta}-\frac{T}{\Delta}.$$

Abban az esetben, ha egy elemre vonatkoztatjuk a másodrendű érzékenységet, akkor a

$$Q_{11}=\frac{\partial Q_1}{\partial \ln x_1}=2Q_1\frac{1-a_{22}x_2}{\Delta}-Q_1=2Q_1\frac{D_2}{\Delta}-Q_1=$$

$$=Q_1\left(2\frac{D_2}{\Delta}-1\right) \tag{11}$$

illetve a

$$Q_{22}=\frac{\partial Q_2}{\partial \ln x_2}=2Q_2\frac{1-a_{11}x_1}{\Delta}-Q_2=2Q_2\frac{D_1}{\Delta}-Q_2=$$

$$=Q_2\left(2\frac{D_1}{\Delta}-1\right) \tag{12}$$

függvényeket kapjuk. Látható, hogy a kifejezések némileg egyszerűbbek lettek a (10)-hez képest; az x_1 elemre vonatkoztatott másodrendű érzékenység független D_1-től és Q_2-től, hasonlóképpen Q_{22} is független D_2-től és Q_1-től. Általánosságban az x_i elemre vonatkoztatott másodrendű félig relatív érzékenység

$$Q_{ii}=Q_i\left(2\frac{D_j}{\Delta}-1\right).$$

Példák

1. Példa

Az elmondottak illusztrálása céljából vizsgáljuk meg először a 3. ábra egyszerű passzív létrahálózatát. A hosszanti ágakat admittanciában, a keresztágakat impedanciában adtuk meg, mert így bármely elem zérus értékénél a transzfer függvény biztosan zérus lesz és így a d közvetlen átvitel szintén zérus. Számítsuk ki a hálózat Q_1, Q_4 elsőrendű érzékenységeit, valamint a Q_{14}, Q_{11}, Q_{44} másodrendű érzékenységeket.

A hálózatot leíró hatásgráf a 4. ábrán látható ($x_1=Y_1$ és $x_2=Z_4$). A hatásgráf ágainak átvitelei:

$$b_1=\left.\frac{U_1}{U_{be}}\right|_{\substack{I_1=0\\U_4=0}}=1,$$

$$b_2=\left.\frac{I_4}{U_{be}}\right|_{\substack{I_1=0\\U_4=0}}=0,$$

$$a_{11}=\left.\frac{U_1}{I_1}\right|_{\substack{U_{be}=0\\U_4=0}}=-\frac{Z_2Z_3}{Z_2+Z_3},$$

$$a_{22}=\left.\frac{I_4}{U_4}\right|_{\substack{U_{be}=0\\I_1=0}}=-\frac{1}{Z_2+Z_3},$$

$$a_{12}=\left.\frac{U_1}{U_4}\right|_{\substack{U_{be}=0\\I_1=0}}=-\frac{Z_2}{Z_2+Z_3},$$

$$a_{21}=\frac{I_4}{I_1}\bigg|_{\substack{U_{be}=0\\U_4=0}}=\frac{Z_2}{Z_2+Z_3},$$

$$e_1=\frac{U_{ki}}{I_1}\bigg|_{U_4=0}=0,$$

$$c_2=\frac{U_{ki}}{U_4}\bigg|_{I_1=}=1.$$

A visszacsatolt differenciák:

$$D_1=1-Y_1a_{11}=\frac{Z_2Z_3+Y_1Z_2Z_3}{Z_2+Z_3}$$

$$D_4=1-Z_4a_{22}=\frac{Z_2+Z_3+Z_4}{Z_2+Z_3}.$$

A fentiek felhasználásával a hálózat determinánsa (6) szerint

$$\Delta=1-a_{11}x_1-a_{22}x_2+(a_{11}a_{22}-a_{12}a_{21})x_1x_2=$$

$$=\frac{Z_2+Z_3+Z_4+Z_2Z_3Y_1+Z_2Y_1Z_4}{Z_2+Z_3}=\frac{N}{Z_2+Z_3},$$

a hálózat transzfer függvénye (7) alapján

$$T=\frac{b_1a_{21}c_2x_1x_2}{\Delta}=\frac{Y_1Z_2Z_4}{N}.$$

Az Y_1 elemre vonatkoztatott érzékenység (8) szerint

$$Q_1=T\frac{D_4}{\Delta}=\frac{T}{N}(Z_2+Z_3+Z_4)=$$

$$=\frac{Y_1Z_2Z_4(Z_2+Z_3+Z_4)}{(Z_2+Z_3+Z_4+Z_2Z_3Y_1+Z_2Y_1Z_4)^2}$$

és a Z_4 szerinti érzékenység

$$Q_4=T\frac{D_1}{\Delta}=T\frac{Z_2+Z_3+Z_2Z_3Y_1}{N}=$$

$$=\frac{Y_1Z_2Z_4(Z_2+Z_3+Z_2Z_3Y_1)}{(Z_2+Z_3+Z_4+Z_2Z_3Y_1+Z_2Y_1Z_4)^2}.$$

A vegyes másodrendű érzékenység (10) alapján

$$Q_{11}=Q_{41}=Q_1\frac{D_1}{\Delta}+Q_4\frac{D_4}{\Delta}-\frac{T}{\Delta}=$$

$$=2\frac{T}{N^2}(Z_2+Z_3+Z_4)(Z_2+Z_3+Y_1Z_2Z_3)-\frac{T}{N}(Z_2+Z_3).$$

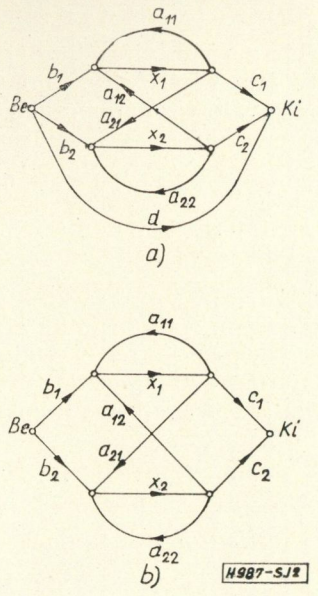
Az egy elemre vonatkoztatott másodrendű érzékenységek (11) és (12) szerint

$$Q_{11}=2Q_1\frac{D_4}{\Delta}-Q_1=$$

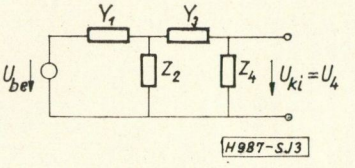
$$=\frac{T}{N^2}(Z_2+Z_3+Z_4)\,[2(Z_2+Z_3+Z_4)-N]$$

$$Q_{44}=2Q_4\frac{D_1}{\Delta}-Q_4=$$

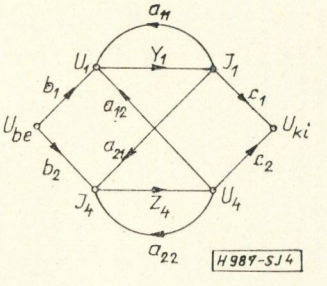
$$=\frac{T}{N^2}(Z_2+Z_3+Z_2Z_3Y_1)\,[2(Z_2+Z_3+Z_2Z_3Y_1)-N].$$



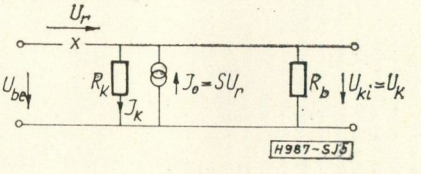
2. ábra



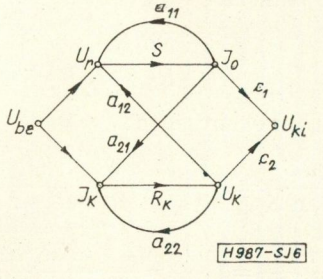
3. ábra



4. ábra



5. ábra



6. ábra

2. Példa

Második példa gyanánt vizsgáljunk meg egy igen egyszerű aktív áramkört. Az 5. ábrán felrajzoltuk egy katódkövető váltakozó áramú helyettesítő kapcsolását, és erre a kapcsolásra határozzuk meg az $\frac{U_{ki}}{U_{be}}$ transzfer függvény meredekségre ill. katódellenállásra vonatkoztatott elsőrendű érzékenységét (Q_S és Q_{R_k}), valamint a másodrendű érzékenységeket (Q_{S,R_K}, $Q_{S,S}$, Q_{R_K,R_K}).

Most is érvényes a 2*b* ábrán feltüntetett hatásgráf, mivel zérus meredekség, ill. zérus értékű katódellenállás esetén $U_{ki}=0$. A katódkövetőt leíró hatásgráfot a 6. ábrán láthatjuk. A gráfban szereplő ágátvitelek:

$$b_1=\frac{U_r}{U_{be}}\bigg|_{\substack{I_0=0\\U_k=0}}=1,$$

$$b_2=\frac{I_k}{U_{be}}\bigg|_{\substack{I_0=0\\U_k=0}}=0,$$

$$a_{11}=\frac{U_r}{I_0}\bigg|_{\substack{U_{be}=0\\U_k=0}}=0,$$

$$a_{22}=\frac{I_k}{U_k}\bigg|_{\substack{U_{be}=0\\I_0=0}}=-\frac{1}{R_b},$$

$$a_{12}=\frac{U_r}{U_k}\bigg|_{\substack{U_{be}=0\\I_0=0}}=-1,$$

$$a_{21}=\frac{I_k}{I_0}\bigg|_{\substack{U_{be}=0\\U_k=0}}=1,$$

$$c_1=\frac{U_{ki}}{I_0}\bigg|_{U_k=0}=0,$$

$$c_2=\frac{U_{ki}}{U_k}\bigg|_{I_0=0}=1;$$

a visszacsatolt defferenciák pedig

$$D_S=1-Sa_{11}=1,$$

$$D_{R_k}=1-R_Ka_{22}=\frac{R_b+R_k}{R_b}.$$

A hálózat determinánsa

$$\Delta=1-\left(-\frac{R_k}{R_b}-SR_k\right)=\frac{R_b+R_k+SR_bR_k}{R_b}$$

és a hálózat transzfer függvénye

$$T=\frac{SR_bR_k}{R_b+R_k+SR_bR_k}.$$

Az elsőrendű érzékenységek:

$$Q_S=\frac{\partial T}{\partial \ln S}=T\frac{D_{R_k}}{\Delta}=\frac{SR_bR_k(R_b+R_k)}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^2}$$

$$Q_{R_k}=\frac{\partial T}{\partial \ln R_k}=T\frac{D_S}{\Delta}=\frac{SR_b{}^2R_k}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^2}.$$

A vegyes másodrendű érzékenység

$$Q_{S,R_k}=\frac{\partial^2 T}{\partial \ln S\,\partial \ln R_k}=Q_S\frac{D_S}{\Delta}+Q_{R_k}\frac{D_{R_k}}{\Delta}-\frac{T}{\Delta}=$$

$$=2\frac{SR_b^2R_k(R_b+R_k)}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^3}-\frac{SR_b^2R_k}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^2}=$$

$$=\frac{SR_b^2R_k}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^2}-2\frac{S^2R_b^3R_k^2}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^3}.$$

Az egy elemre vonatkoztatott másodrendű érzékenységek pedig

$$Q_{S,S}=\frac{\partial^2 T}{(\partial \ln S)^2}=Q_S\left(2\frac{D_{R_k}}{\Delta}-1\right)=$$

$$=\frac{SR_bR_k(R_b+R_k)(R_b+R_k-SR_bR_k)}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^3},$$

és

$$Q_{R_k,R_k}=\frac{\partial^2 T}{(\partial \ln R_k)^2}=Q_{R_k}\left(2\frac{D_S}{\Delta}-1\right)=$$

$$=\frac{SR_b^2R_k(R_b-R_k-SR_bR_k)}{(R_b+R_k+SR_bR_k)^3}.$$

Összefoglalás

A másodrendű félig relatív érzékenység definíciója

$$Q_{ij}=\frac{\partial^2 T}{\partial \ln x_i\,\partial \ln x_j}=x_ix_j\frac{\partial^2 T}{\partial x_i\,\partial x_j}.$$

Kimutattuk, hogy e rendszer-függvény meghatározható a redukált átvitel (T), a rendszer-determináns, az elsőrendű félig relatív érzékenységek (Q_i Q_j) és a visszacsatolt differenciák (D_i, D_j) segítségével a

$$Q_{ij}=Q_i\frac{D_i}{\Delta}+Q_j\frac{D_j}{\Delta}-\frac{T}{\Delta}$$

alakban. Az egy elemre vonatkoztatott ($x_i=x_j$) másodrendű félig relatív érzékenység kifejezése még egyszerűbbé válik:

$$Q_{ii}=Q_i\left(2\frac{D_j}{\Delta}-1\right).$$

Végezetül köszönetemet szeretném kifejezni *dr. Géher Károlynak*, a műszaki tudományok kandidátusának értékes tanácsaiért, a szöveg átnézéséért valamint *dr. Kiss Dénes* és *Trón Tibor* kollégáimnak, akikkel hasznos eszmecserét folytattam.

IRODALOM

1. *H. W. Bode:* Hálózatok és visszacsatolt erősítők tervezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961.
2. *S. J. Mason—H. J. Zimmermann:* Electronic Circuits, Signals and Systems. J. Wiley, 1960.
3. *L. P. A. Robichaud—M. Boisvert—J. Robert:* Signal Flow Graphs and Applications. Prentice-Hall, Inc. 1962.
4. *I. M. Horowitz:* Synthesis of Feedback Systems. Academic Press, 1963.
5. *S. P. Bingulac:* Simultaneous Generation of the Second Order Sensitivity Functions. IEEE Trans. AC-11, July 1966. pp. 563—566.
6. *Géher K.:* Lineáris hálózatok toleranciájáról és érzékenységéről. Híradástechnika XVI. évf. 10. sz. 1965. 289—301. old.
7. *Géher K.:* Érzékenységi módszerek a hálózatelméletben. Híradástechnika XIX. évf. 12. sz. 1968. 353—365. old.
8. *Kiss D.:* Elemérzékenységek meghatározása differenciálás nélkül, az állapotváltozós analízis segítségével. Híradástechnika XVIII. évf. 11. sz. 1967. 333—339. old.

TIMÁR JÓZSEF
Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet

Epitaxiás szilíciumrétegek növesztése integrált áramkörökhöz

ETO 546.28 : 548.5 : 621.382.334

Az integrált áramkörök felhasználása világszerte állandóan növekszik, és az utóbbi években is nagy volt a fejlődés különösen digitális integrált áramkörök területén. Magyarországon ugyancsak megindult a technológiai kutatás, és a HIKI-ben végzett kísérleti munkák első szakaszáról már megjelent egy összefoglaló közlemény [1]. Az alkalmazott előállítási technológiában az epitaxiás szigetelési technikát valósítottuk meg. E szigetelési módszer kialakításával kapcsolatos kutatásainkról korábban egy tanulmányunkban beszámoltunk [2].

Első kísérleti példányaink alapján megállapítottuk, hogy az áramkör kívánt elektromos paramétereinek megvalósításához a kollektor-réteg soros ellenállását csökkenteni kell, és erre jól bevált a szakirodalomból ismert, ún. rejtett réteg (buried layer), azaz a kollektor-rétegben diffúzió útján létrehozott jól vezető n^+ réteg.

Az epitaxiás növesztés szempontjából vizsgálva a problémát a következőket kell figyelembe vennünk:

A rejtett réteg kialakítására a hordozószelet felületén szabályos geometriai alakú, 800—1000 Å mély süllyesztéseket hoznak létre, és ezekben arzéndiffúzióval alakítják ki a kis fajlagos ellenállású n^+ rétegeket. Feladatunk az epitaxiás művelet során úgy irányítani a növesztést, hogy az adott geometriai alakzatok torzulásmentesen megmaradjanak, vagyis sem méretváltozás, sem elcsúszás ne következzék be.

A növesztett réteg kristálytani tökéletessége szempontjából is szigorúak a követelmények, mivel ezek kihatnak az eszköz elektromos paramétereire. Komoly problémát jelent, hogy a növesztés előtti műveletek, vagyis a süllyesztések és az 1,5—2 μm mélységű diffúzió következtében a hordozó felületén a jól bevált sósavgázas marás nem, vagy csak igen kis mértékben alkalmazható. Így a kémiai előkészítési művelet, valamint az Si hordozószeletek behelyezése a reaktorba fokozott tisztasági követelményeket igényel.

Mindezek figyelembevételével dolgoztunk ki egy olyan epitaxiás növesztési technikát, amellyel jól reprodukálható módon állítható elő a konstrukció által meghatározott vastagságú, típusú és fajlagos ellenállású Si réteg.

Epitaxiás szigetelési technika

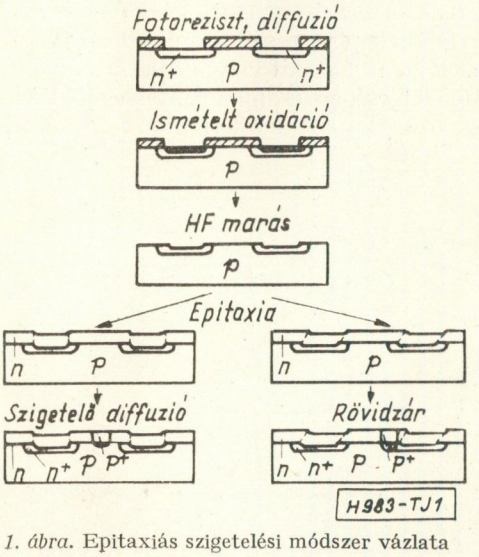
Az epitaxiás szigetelésű monolit integrált áramkörök előállítása lényegileg n típusú epitaxiás réteg növesztése p típusú hordozószeleten. Előzetesen a hordozón erősen adalékolt n^+ területeket alakítunk ki diffúzióval a kollektor soros ellenállás csökkentés céljából.

Az n^+ területek a hordozó felületén jól láthatók, mivel 800 Å mélyen vannak besüllyesztve. Az epitaxia után következő p^+ típusú diffúzió során kialakítjuk az egyes elemek egymástól való elektromos elszigetelését. A szigetelőkeret maszkját pontosan kell illeszteni, mert különben a p^+ és n^+ tartományok elektromos rövidzárba kerülnek, vagy az elcsúszott n^+ réteg nem fejti ki soros ellenállás csökkentő hatását. Az elmondottakat az 1. ábra szemlélteti.

Első lépésként a p típusú Si hordozót termikusan oxidáljuk, és az ismert fotoreziszt technikával ablakokat nyitunk a SiO_2 rétegbe. Utána ezeken a nyitott területeken kis mélységben As-t diffundáltatunk. Az ismételt termikus oxidáció és az oxidréteg lemarása után az n^+ területeknek megfelelő helyeken szabályos alakzatú süllyesztések keletkeznek. A diffúziós és oxidációs műveletek után gondos kémiai tisztítást kell alkalmazni. Az epitaxiás technikával növesztett réteg vastagságát és fajlagos ellenállását a konstrukciós szempontok határozzák meg. Újabb oxidáció és fotoreziszt művelet után az epitaxiás rétegen keresztülható szigetelő diffúzió következik. Ennek kivitelezéséhez feltétlenül szükséges, hogy az eredeti kép, azaz a süllyesztett ábrák a növesztett rétegen is láthatók legyenek, és pontosan a diffundáltatott területek felett helyezkedjenek el. Ellenkező esetben a szigetelőkeret maszkját pontatlanul illesztik, és a jól vezető n^+ és p^+ területek rövidzárba kerülnek.

Kísérleti rész

Laboratóriumunkban az $SiCl_4$ hidrogénes redukcióját alkalmazzuk egykristályos Si rétegek epitaxiás



1. ábra. Epitaxiás szigetelési módszer vázlata

Beérkezett: 1969. július 31.

növesztésére. A folyamatot a következő bruttó reakcióval írhatjuk le:

$$SiCl_4 + 2H_2 \xrightarrow{1200\ °C} Si + 4HCl,$$

illetve az adalékanyagra vonatkozóan:

$$2PCl_3 + 3H_2 \xrightarrow{1200\ °C} 2P + 6HCl.$$

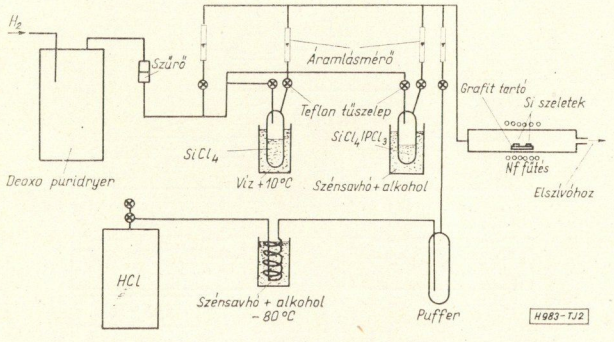
A megfelelően irányított redukció majdnem teljesen heterogén reakció, és így a szilíciumképződés csak a hordozó felületén és nem a gázfázisban játszódik le.

Az epitaxiás növesztő berendezés fő részei: a gáztisztító, a telítők és a reaktor. A berendezés vázlatos rajzát a 2. ábrán tüntetjük fel.

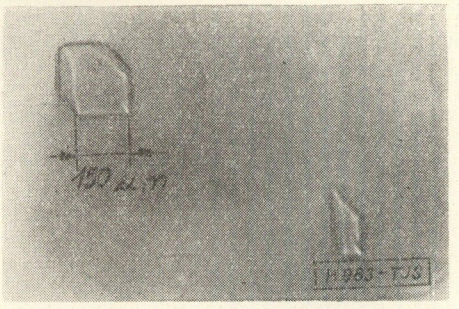
A hidrogén gázt a tisztítórendszeren átvezetve elágaztatjuk. A főágon áthaladó vivőgáz a tiszta, valamint a PCl_3-mal kevert $SiCl_4$-et tartalmazó telítőkön keresztül jut a reaktortérbe. A reaktorcsőben levő fűtött Si lemezeken játszódik le a fenti reakció. H_2 áramlási sebességét műanyag úszós áramlásmérőkkel mérjük, és teflon tűszelepekkel szabályozzuk. Az egyes elemek közti összeköttetést üveg, teflon és polietilén csövekkel oldottuk meg. A reaktor vízszintes elrendezésű, 1 m hosszú, 50 mm átmérőjű kvarc-cső. Az alkalmazott grafit fűtőtesten előzetesen szilíciumkarbid bevonatot képezünk ki, és erre további szilíciumréteget választunk le. A grafit fűtőtest felfűtésére nagyfrekvenciás generátort alkalmazunk. A fokozatos felfűtés és lehűtés biztosítására a generátor nagyfeszültségű transzformátorának primér ágába 18 kW-os toroid transzformátort kapcsoltunk. A növesztés alatt a szeletek hőmérsékletét részsugárzás-pirométerrel állandóan ellenőrizzük.

A növesztőberendezés kiegészítő tartozéka a száraz sósavgáz-tartály, amely teflon csővezetékkel —80 °C-os kifagyasztón és áramlásmérőn keresztül csatlakozik a reaktor vezetékéhez. A reaktorcső végén szűrt nitrogéngázzal öblített kesztyűs box van, ebben végezzük a szeletek berakását. A zárt manipulációs boxban megengedett portartalom 5—8 porszem/liter. A vivő hidrogéngáz maximális oxigéntartalma 15 vpm a rendszer kivezetőcsövén mérve, harmatpontja —60 °C.

Kísérleteink során két fő paraméternek nevezetesen a reaktortérben vezetett gázkeverék $SiCl_4$ koncentrációjának és a szilíciumhordozó kristálytani orientációjának hatását vizsgáltuk. A felület kristálytani tökéletességén és hibamentességén kívül a növesztés után kapott felületi ábrák geometriáját is



2. ábra. Epitaxiás kristálynövesztő berendezés



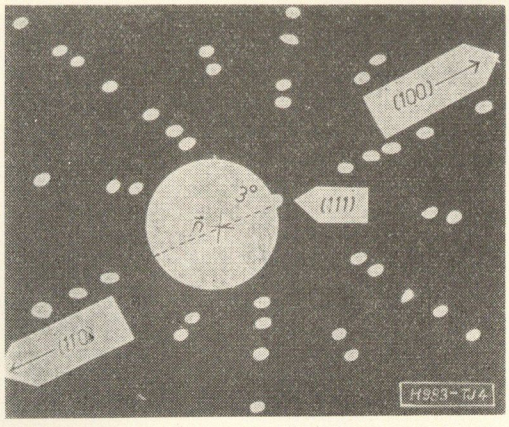
3. ábra. Torzult süllyesztések epitaxiás kristályfelületen pontosan [111] orientációjú hordozó esetén

megfigyeltük. Runyan és munkatársai által leírt [3] megállapításokra támaszkodtunk a növesztéskor alkalmazott reagens gáz töménységének hatását vizsgálva a bemélyesztéseket és kiemelkedéseket tartalmazó hordozószeletre. Ennek alapján megállapítottuk, ha kis koncentrációjú szilíciumtetraklorid tartalmú gázkeverékkel dolgozunk, azaz a $SiCl_4$ koncentrációja 1 mol % alatt van, akkor az eredeti süllyesztések növesztés után is jól látszanak, csak mélyebbek és keskenyebbek lesznek. Mint ismeretes, az epitaxiás szilíciumréteg növekedési sebessége az alkalmazott szilíciumtetraklorid koncentrációjának növekedésével maximumgörbe mentén változik. Ha a növekedési sebesség—koncentráció görbe csökkenő szakaszán, tehát a maximális növekedési sebességnek megfelelő szilíciumtetraklorid koncentrációnál nagyobb értékkel dolgozunk, akkor a hordozón az eredeti sülyesztések és kiemelkedések bizonyos rétegvastagság elérése után eltűnnek, tehát a növesztéskor simító hatás érvényesül.

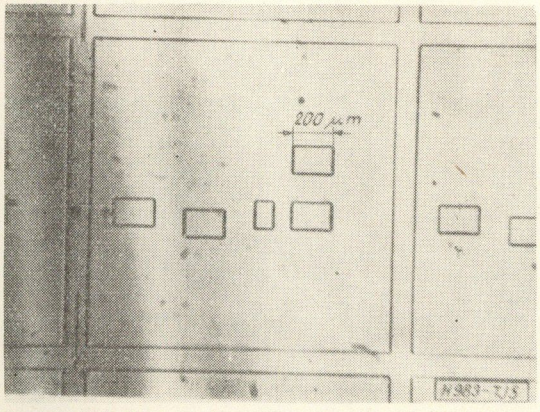
További vizsgálataink során már a kristálytani orientáció hatását is figyelembe vettük. A szakirodalomban is találhatók erre vonatkozó adatok.

C. M. Drum körgyűrű alakú süllyesztéseket tartalmazó hordozószeleten vizsgálta a kristálytani orientáció hatását a növesztés után kapott kép torzultságának függvényében [4]. Azt tapasztalta, hogy akkor lép fel a legkisebb torzulás, ha pontosan [100] kristálytani irányban orientált, vagy az [111] iránytól 3°-kal az [110] kristálytani irányba elorientált hordozószeletet használt fel.

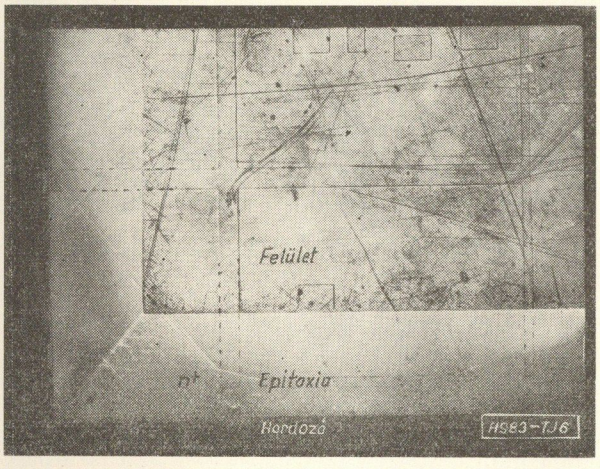
Kísérleteinkben eleinte pontosan [111] orientációjú hordozót alkalmaztunk, és azt tapasztaltuk, hogy az eredetileg szabályos négyszög alakú, ~800 Å mély süllyesztések mérete az epitaxiás réteg növesztése után aszimmetrikusan megváltozott, és négyszögalakja eltorzult. A torzultság mértéke a reaktorba vezetett $SiCl_4$ gőz koncentrációjával változott. 0,3 mol % szilíciumtetraklorid gőzkoncentrációnál viszonylag szabályos felületi kép nyerhető, azonban az epitaxiás réteg növekedési sebessége túl lassú, csak 0,3 μm/perc körüli érték, és ez feleslegesen elnyújtja a 13 μm vastag réteg növesztésének idejét. 2 mol % $SiCl_4$ gőztartalmú H_2—$SiCl_4$ gázkeverékkel végezve a növesztést nagymérvű a torzulás, és elmosódott felületi kép alakul ki. A 3. ábrán pl. egy vizsgáló áramköri elem kialakításához növesztett epitaxiás réteg mikroszkópos képe látható, illetve alig látható. A hordozó *p* típusú, pontosan [111] orientációjú szilícium egykristály, az arzéndiffúzió után a süllyesztés 1000 Å



4. ábra. Elorientált [111—3°—110] sziliciumszelet hátsó reflexiós Laue-diagramja



5. ábra. Szabályos geometriai süllyesztések epitaxiás növesztés elorientált hordozószeleten



6. ábra. Epitaxiás szeletből készült színezett, kettős ferdecsiszolatú metszet

mélységű volt. A növesztést 2 mol % szilíciumtetraklorid tartalmú, 8 l/perc áramlási sebességű hidrogéngázban 1200 °C-on végeztük. Az epitaxiás réteg 15 μm vastag, 0,4 ohmcm fajlagos ellenállású, a növesztés sebessége 1,2 μm/perc volt.

Kísérleteink második szakaszában az egyszerű Miller-indexekkel jellemezhető kristálytani irányok szerint orientált hordozószeleteket alkalmaztunk. Tapasztalataink megegyeztek C. M. Drum megállapításaival: az [111] kristálytani síktól 3°-kal az [110] kristálytani irányba elorientált (jelölése [111 — 3° — 110]) szeleteken és a pontosan [100] orientált szeleteken növesztve az epitaxiás rétegeket, éles és szabályos geometriájú felületi ábrákat kaptunk. Az elorientáltság mértékét röntgenvizsgálattal ellenőriztük. A 4. ábrán megfelelően elorientált szelet hátsó reflexiós Laue-diagramját látjuk az egyes kristálytani irányok feltüntetésével. A szelet lap normálisa (n) az [111] iránytól 3°-kal tér el az [110] irány felé. Eredményeink bemutatására két ábrát közlünk (5. és 6. ábra). Az 5. ábrán fél-léptető-tároló kialakításához növesztett epitaxiás szelet mikroszkópos képe látható. A hordozó p típusú, 7,5 ohmcm fajlagos ellenállású, [111—3°—110] orientációjú szilícium egykristály. A süllyesztések mind az epitaxiás növesztés előtt, mind a növesztés után 800 Å mélyek. A növesztést 1 mol % szilíciumtetraklorid tartalmú, 8 l/perc áramlási sebességű hidrogéngázban 1200 °C-on végezzük. A kapott epitaxiás réteg vastagsága 13 μm, fajlagos ellenállása 0,5 ohmcm, a növesztés sebessége 0,65 μm/perc volt.

Annak igazolására, hogy az eredeti süllyesztéseknek megfelelő helyen vannak az epitaxiás növesztés után látható bemélyesztések is, vagyis nem lépett fel csúszás egyik irányban sem, nézzük meg a 6. ábrát. Ez az 5. ábrán bemutatott szelet egyik részéből kisszögű (2°-os) kettős ferdecsiszolattal készült, színezett metszet. A rejtett n^+ réteg diffúziója során az arzén az egyes elemek közti területekbe is bediffundált, amit a ferdecsiszolaton kémiai színezéssel előhívtunk. A szaggatott vonalak, amelyekkel az eredeti süllyesztést (ill. az arzénes rejtett réteg szélét) és a felületen levő éleket összekötöttük azt mutatják, hogy a felületi ábrák a növesztés után is tökéletesen fedik az eredetit.

Vízszintes reaktorunkban változtattuk a szeletek helyzetét 90°-onkénti elfordítással, hogy a gázáram irányának hatását vizsgáljuk. Semmiféle iránytól függő hatást nem tapasztaltunk. Tehát minden szeletpozícióban — mind az [111—3°—110], mind a [100] orientációjú hordozó esetén — szabályosak és élesek voltak a süllyesztések geometriai határai. Hasonlóképpen megmaradtak torzulásmentesen az eredeti ábrák gázfázisú sósavas marás után is, több mikronos réteget eltávolítva. Ezt kísérletképpen a kristálytökéletességi vizsgálatokhoz végeztük.

Kristálytani tulajdonságok

Epitaxiás laboratóriumunkban gondos szeletelőkészítés, száraz sósavgázas marás esetén a növesztett rétegekben az illeszkedési hibák sűrűsége 100/cm² alatt van [2]. Abban az esetben, ha a hordozószeletet előzetesen termikusan oxidáltuk, és arzént diffundáltattunk a rejtett rétegekhez, akkor az epitaxiás réteg illeszkedési hibasűrűsége 1500—2000/cm²-re nőtt meg.

D. Pomerantz [5] még nagyobb illeszkedési hibaszám növekedést (10^4-szeres) tapasztalt sima és előzetesen oxidált, illetve diffundált hordozószeletekre való növesztéskor. Ezt a hatást a maradék oxid, ill. a tisztítás és leválasztás során bevitt nehézfém szennyezőknek tulajdonította. A hordozószeleteknek oxidáció előtti durva karcolásával vagy bórüveges get-

terezéssel — amik diszlokáció hálózat bevitelét okozzák — lecsökkentette az epitaxiás rétegben keletkezett illeszkedési hibák számát.

Tekintettel arra a tényre, hogy az illeszkedési hibák képződése a hordozófelületen levő oxidnyomok, gödrök (pitek) és a nehézfém precipitátumok okozta rácshibás helyeken indul meg, mi ennek a hibás felületi rétegnek lemarásával igyekeztünk célt érni. Kísérleteink során először általunk növesztett n/n^+ epitaxiás szeleteken beállítottuk azt a legkisebb száraz sósavgázas marási sebességet, ami még reprodukálhatóan ellenőrizhető. A méréseket UR-10-es spektrofotométeren végeztük, és meghatároztuk marás előtt és után az epitaxiás réteg vastagságát különböző térfogatszázalékos sósavgáz tartalom esetén.

Előzőleg jó n/n^+ epitaxiás szeleteken megállapítottuk, hogy különböző ideig tartó 1200 °C-os hidrogénes hőkezelés hatására az epitaxia rétegvastagsága nem változik [6]. Kísérleteink eredményeképpen kimutattuk, hogy 0,2 térfogatszázalék sósavgáz tartalmú hidrogéngázzal 1220 °C-on a marási sebesség 0,25 μm/perc. Tekintettel arra, hogy a száraz sósavgázas marási sebesség nem függ a réteg típusától és fajlagos ellenállásától, tehát az n rétegen mért 0,25 μm/perc érték a p típusú hordozóra is igaz. Több szeleten — amelyekbe előzőleg rejtett réteget diffundáltattunk — az epitaxiás növesztés előtt 2 perces sósavgázas marást végeztünk. Növesztés után leszámoltuk az illeszkedési hibasűrűséget, és összehasonlítottuk az azonos körülmények között készült, de előzetes sósavgázas kezelést nem kapott epitaxiás rétegeken mért hibasűrűség-értékekkel. Azt tapasztaltuk, hogy az illeszkedési hibasűrűség a sósavas marás következtében egy nagyságrenddel csökkent, azaz 1000—2000/cm^2-ről 100—200/cm^2-re javult. A rejtett rétegek diffúziója után mért rétegellenállás azonban sósavas marás után kb. 3-szorosára megnőtt. A rétegellenállásnak ez a növekedése azonban még lényegesen nem befolyásolta az eszköz telítési ellenállását.

Eredmények

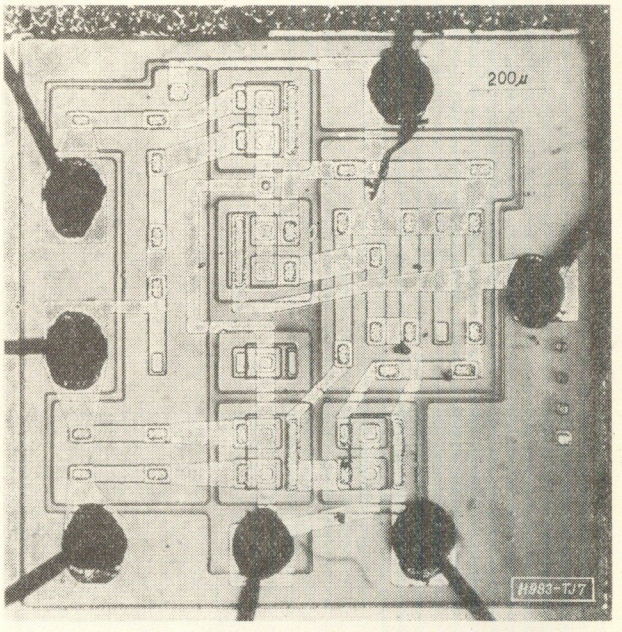
A félvezetőalapú monolit integrált áramkörök előállításához epitaxiás szigeteléstechnikát alkalmaztunk, rejtett kollektor-réteg felhasználásával. A rejtett réteg következtében az integrált áramkörökben levő tranzisztorok kollektor soros ellenállását, ill. kapcsolási idejét lecsökkentettük. Az n^+ rejtett réteg előnye még, hogy vékonyabb epitaxiás réteg (25—30 μm helyett 10—12 μm) alkalmazása elegendő, és az epitaxiás kollektor-réteg fajlagos ellenállása 0,1 ohmcm-ről 0,5 ohmcm-re növelhető, ezáltal a parazita kapacitások lényegesen kisebbek lesznek.

A bevitt süllyesztések epitaxiás növesztés után úgy maradtak szabályosak és jól láthatók, ha elorientált szeleteken 5 mol % alatti szilíciumtetraklorid koncentrációval dolgoztunk. A kristálynövekedés anizotropiáját és a szilíciumrács szimmetria viszonyait ismerve a hordozó szeletek orientációját úgy választottuk meg, hogy az megfeleljen az [111—3°—110] és [100] kristálytani orientációknak.

Kísérleti úton optimálisnak megállapított 1 mol % $SiCl_4$ tartalmú gázkeverékkel biztosítottuk a megfelelő növekedési sebességet minden polírozó vagy mélyítő mellékhatás nélkül. Rejtett rétegű hordozószeleteken gondos szeletelőkészítéssel és növesztéssel az epitaxiás réteg kristályszerkezete megfelelő. Nincsenek rajta makroszkópos hibák, tükörfényesek és közel síkpárhuzamosak.

Az illeszkedési hibák sűrűsége kisebb, mint 2000/cm^2, ami még nem hat az eszköz elektromos tulajdonságaira.

Az általunk leírt 0,5 μm-es száraz sósavgázas marással — amit az epitaxiás növesztés előtt alkalmaztunk — elértük, hogy az illeszkedési hibák száma egy nagyságrenddel csökkent. Az epitaxiás szigetelési technika — rejtett kollektorréteggel — a többi technológiai lépés sikeres megoldásával együtt lehetővé tette, hogy a katalógus adatoknak megfelelő integrált áramköröket készítsünk. A 7. ábrán egy az Intézetben előállított fél-léptető-tároló elem mikroszkópos fényképe látható. A süllyesztett helyeken 4 db kettős és 1 db egyes tranzisztor van kialakítva.



7. ábra. Fél-léptető-tároló áramkör mikroszkópos fényképe

Az epitaxiás növesztési technika reprodukálhatóságát nagyszámú szeleten végzett kísérletekkel bizonyítottuk. Ez a kristálynövesztési, ill. szigetelés technika mind a digitális, mind a lineáris félvezető integrált áramkörök technilógiájában előnyösen alkalmazható.

Ezúton mondok köszönetet azon munkatársaimnak, akik hozzájárultak e dolgozatom elkészítéséhez.

IRODALOM

1. *Egri J —Kirschner M.:* Híradástechnika XIX—7. p. 198. 1968.
2. *Timár J.:* HIKI Közlemények (közlés alatt)
3. *E. G. Runyan—W. R. Alexander.:* Electrochem. Soc. 114—11. p. 1154. 1967.
4. *Drum C. M.—Clark G. A.:* J. Electrochem. Soc. 115—6. p. 664. 1968.
5. *Pomerantz D.:* J. of Appl. Phys. 38—13. p. 5020. 1967.
6. *Fejes L.:* Acta Technica (közlés alatt)

BOGNÁR LÁSZLÓ

Színes televízió átviteli rendszerek. Általános átviteli követelmények, jellemzők és tulajdonságok

ETO 621.391.8:621.397.132

A színes televízió képátvitel megvalósításának gondolata már a fekete-fehér televízió átvitel kimunkálásakor is foglalkoztatta a szakembereket. Több rendszer kidolgozása és a kivitelezett átviteli láncokkal végzett nagyszámú kísérlet elvégzése után 1950-ben az Egyesült Államokban az ipari szakemberek elhatározták, hogy kimunkálják a színes televízió átvitel — akkori ismeretek szerint — legjobb rendszerét. A szervezett munkát a Nemzeti Televízió Rendszer Bizottság (*N*ational *T*elevision *S*ystem *C*ommittee; *NTSC*) fogta össze, és az általa 1953-ban ajánlott rendszer hazai bevezetését jóvá is hagyták. Így jött létre az *NTSC* rendszer.

Európában a második világháború miatt csak később kezdtek foglalkozni a színes televízió átvitel gondolatával és ekkor az *NTSC* rendszer hibái miatt további rendszereket dolgoztak ki a szakemberek. Jelenleg Európában két színestelevízió-rendszer, a *SECAM* és a *PAL* bevezetésével számolhatunk, mivel az egyetlen, közös rendszer elfogadására irányuló erőfeszítések, sajnos eredménytelenek maradtak. Csupán azt sikerült elérni, hogy a színes televízió átvitel az európai országokban mindenütt 625 soros. A *SECAM* és a *PAL* név a két rendszer alapvető és részben megkülönböztető jellemzőjére utalnak. Az előbbi ugyanis a *SE*quentiel *C*ouleurs *A M*émoire, az utóbbi pedig a *P*hase *A*lternation *L*ine elnevezések rövidítése, melyek jelentése: emlékezéssel egybekötött színváltogatás, ill. soronkénti fázisváltogatás.

Az alábbiakban néhány általános rendszertechnikai kérdés, és fogalom ismertetése után az említett három rendszert tárgyaljuk.

Általános átviteli követelmények, jellemzők és tulajdonságok

Általános követelmények

A fekete-fehér televízió átvitel elterjedtsége miatt minden bevezetésre számot tartó színestelevízió-rendszerrel szemben alapkövetelmény az ún. összeférőség (kompatibilitás), mely a fekete-fehér és a színes televízió adás kölcsönös vételhetőségét biztosítja. Eszerint elengedhetetlen, hogy egyrészt a színes televízió adó által kisugárzott műsort a fekete-fehér televízió vevőkészülékekkel is venni lehessen a fekete-fehér adók műsorának vételekor tapasztalható minőségű fekete-fehér kép alakjában, másrészt a színes televízió vevőkészülékek alkalmasak legyenek a fekete-fehér adók műsorának megszokott minőségű visszaadására. A kép természetesen utóbbi esetben is csak szürke árnyalatokat tartalmaz, vagyis egyszínű.

Az összeférőség két fontos követelményt rejt magában: a színes televízió átviteli rendszer tegyen eleget a fekete-fehér képbontás szabványának (váltott soros letapogatás, kép- és sorfrekvencia, tehát sávszélesség, segédjelek) és továbbítsa a fekete-fehér képtartalmat képviselő ún. világosságjelet. Ez azt jelenti, hogy a színes televízió átviteli rendszer szükségszerűen magában foglalja a fekete-fehér átviteli rendszert.

Színes kép továbbításakor a felvett tárgy részleteinek nemcsak a felületi fényességét (világosságát), hanem a színrészleteket jellemző színárnyalatot és színtelítettséget is hűen, a lehető legkevesebb információ továbbítása árán és a fekete-fehér televízió szabványban rögzített szélességű átviteli sávon belül át kell vinni.

További követelmény, hogy a megvalósított átviteli rendszer, az átviteli lánc elemei — elsősorban a vevőkészülékek — egyszerű felépítésűek legyenek.

Fontos végezetül, hogy az átviteli rendszer felépítése és jellemzői tegyék lehetővé az átvitelre kerülő jelek egyszerű átalakítását, átkódolását egy másik színestelevízió-rendszerbeli jelekké.

A képtartalmat továbbító jelek és átviteli sávjuk szélessége

Az egyszerű színkülönbségi jelek

A képfelvevő eszköz a felvételre kerülő tárgytól (kép, színpadi jelenet stb.) érkező fénysugarat a három alapszínnek megfelelő nyalábra bontja és egyszerű esetben három, U_R, U_G, U_B, ún. alapszínjelet állít elő.

A helyes felületi fényesség- (világosság) és színvisszaadás miatt az átviteli lánc elemeinek lineáris átviteli jelleggörbével kellene rendelkezniök. Ez még az áramkörök igen gondos tervezése esetén sem valósul meg, mert a képvisszaadó cső képernyőfényesség (B) — vezérfeszültség (U) jelleggörbéje sohasem lineáris és egyes képfelvevő eszközök megvilágítás — kimeneti jel jelleggörbéje sem lineáris. A nemlinearitásokat úgy ellensúlyozzák, hogy a képfelvevő berendezés kimeneti jelének amplitúdóját egy ún. gamma-korrektorral előtorzítják.

A képvisszaadó cső említett jelleggörbéjének egyenlete egyetlen elektronágyú esetére:

$$B = kU^{\gamma}, \qquad (1)$$

ahol k és γ a képvisszaadó csőre jellemző mennyiség. Színes képvisszaadó cső esetén $\gamma = 2{,}2$-del szokás számolni. A gamma-korrektor kimeneti feszültsége, ha

Beérkezett 1968. december 6.

U_{be} a bemeneti feszültség:

$$U_{ki}=k_0 U_{be}^{1/\gamma}, \qquad (2)$$

ahol k_0 állandó.

A továbbiakban a gamma-korrigált jeleket felső vessző indexszel jelöljük. A gamma korrigált alapszintjelek pl.: U'_R, U'_G, U'_B.

Három egymástól független adattal minden szín egyértelműen jellemezhető. A színes televízió átvitelben az összeférőség követelménye miatt az egyik adat a felületi fényesség, az Y világosság, melyet a világosságjel képvisel. Ez az átvitelre szánt jelek egyike, mely az alapszínjelekkel a következőképpen fejezhető ki:

$$U'_Y=0{,}30\ U'_R+0{,}59\ U'_G+0{,}11\ U'_B. \qquad (3)$$

Az itt szereplő együtthatók arányában összekevert alapszínek (alapszínjelek) a referencia C fehér színt adják. A C fehér színt előállító alapszínek világosság arányai tehát ezen együtthatók arányával azonosak.

A felületi fényesség, az Y világosság mellett a vörös alapszín és a világosság, továbbá a kék alapszín és a világosság különbségét, vagyis két ún. színkülönbségét, az $(R-Y)$-t és a $(B-Y)$-t célszerű továbbítani. Ezeknek az $U'_R-U'_Y$ és az $U'_B-U'_Y$ egyszerű színkülönbségi jelek vagy röviden színkülönbségi jelek felelnek meg.

A világosságjelből és a két színkülönbségi jelből előállíthatjuk az alapszínjeleket, mert

$$\left.\begin{aligned} U'_R&=(U'_R-U'_Y)+U'_Y,\\ U'_B&=(U'_B-U'_Y)+U'_Y,\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

és a (3) egyenletet átrendezve:

$$U'_G=U'_Y-\frac{0{,}30}{0{,}59}(U'_R-U'_Y)-\frac{0{,}11}{0{,}59}(U'_B-U'_Y). \qquad (5)$$

Ha $U'_R=U'_G=U'_B=U$, akkor egyrészt $U'_Y=U$, másrészt $U'_R-U'_Y=U'_B-U'_Y=0$, vagyis fekete-fehér kép közvetítésekor a színkülönbségi jelek zérussal egyenlők. Ezért visznek át a világosságjel mellett színkülönbségi jeleket. Egyébként a színkülönbségi jelek negatív értékűek is lehetnek (ha pl. $U'_R=U'_B=0$).

A színkülönbségi jeleket a gyakorlatban az alábbi súlyozott alakban továbbítják:

$$\left.\begin{aligned} U'_{SR}&=k_1(U'_R-U'_Y),\\ U'_{SB}&=k_2(U'_B-U'_Y),\end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

ahol $k_1 \lessgtr 1$ és $k_2 \lessgtr 1$, az átviteli rendszertől függően.

Az U'_Y, U'_{SR} és U'_{SB} jeleket egy, az alapszínjeleket előírt arányban összekeverő ún. mátrix áramkör állítja elő.

Az információt hordozó jelek átviteli sávjának szélessége és az összetett színkülönbségi jelek

Kísérletek tanúsága szerint az átlagos emberi szem csak a képek nagyobb színes felületeiben érzékeli a valódi, tehát mindhárom alapszínt valamilyen arányban tartalmazó színt, és a kisebb, közepes nagyságú (látószög 10′...25′) színfelületeket két alapszín összetételeként észleli, míg a kicsiny eltérő színű képrészletek színét egyáltalán nem érzékeli, azokban csak felületi fényesség, világosság eltéréseket tud megkülönböztetni. Ezért a világosságjelet a szabványos szélességű (pl. 6 MHz) sávban viszik át, míg a színkülönbségi jelek átviteléhez ennél keskenyebb sáv is elegendő.

Azt is megállapították, hogy a szem színmegkülönböztető, színfelbontó képessége nemcsak rosszabb a fényességfelbontó képességénél, hanem színszelektív is, vagyis különböző színekre eltérő a felbontóképessége. A kísérletek szerint az említett színkülönbségi jelek átviteléhez 0,8...1,5 MHz sávszélesség elegendő sőt az $(U'_B-U'_Y)$ jel átviteli sávja az $(U'_R-U'_Y)$ jelénél kisebb is lehet.

Nézzük a színkülönbségi jelek koordináta-rendszerét (1. ábra; a vörös színhez tartozó feszültségvektor végpontja). Mérések és statisztikai módszerekkel végzett számítások alapján megállapították, hogy a legkevesebb felesleges információ átvitele, vagyis a sávszélesség csökkenthetősége szempontjából akkor legkedvezőbb a színtengelyek elhelyezkedése, ha a szélesebb sávnak megfelelő színtengely +32°-os, a keskenyebb sávhoz tartozó tengely pedig —71°-os szöget zár be az $(U'_R-U'_Y)$ tengellyel (vörös-kékeszöld, ill. bíbor-kék-zöldessárga irány). Ezért az $NTSC$ rendszerben az egyszerű színkülönbségi jelek koordináta-rendszerének +33°-os elforgatásával kapott, az 1. ábrán is látható ún. $U'_I-U'_Q$, koordinátarendszert használják, és ennek megfelelően az U'_I és U'_Q ún. összetett színkülönbségi jeleket viszik át a világosságjel mellett. Az U'_Q a keskenysávú, az U'_I pedig a szélessávú átvitel tengelye. A vizsgálatok tanúsága szerint a keskenyebb sáv szélessége 0,5...0,7 MHz, a másik pedig 1,2...1,5 MHz lehet.

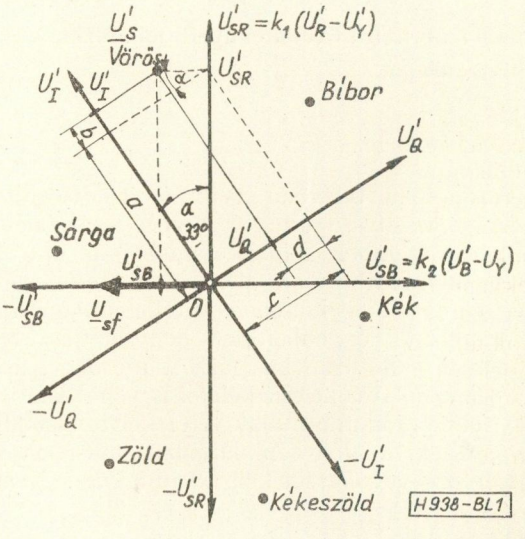
Ha az 1. ábra alapján elvégeznénk a számításokat, azt kapnánk, hogy

$$U'_I=a+b=k_1(U'_R-U'_Y)\cos\alpha-k_2(U'_B-U'_Y)\sin\alpha, \qquad (7)$$

$$U'_Q=c-d=k_1(U'_R-U'_Y)\sin\alpha+k_2(U'_B-U'_Y)\cos\alpha, \qquad (8)$$

ahol $\alpha=33°$ és $\sin 33°\approx 0{,}55$, $\cos 33°\approx 0{,}84$.

Ezek az egyszerű színkülönbségi jelek lineáris kombinációi, tehát a végrehajtott koordináta-transzformáció színméréstanilag megengedhető.



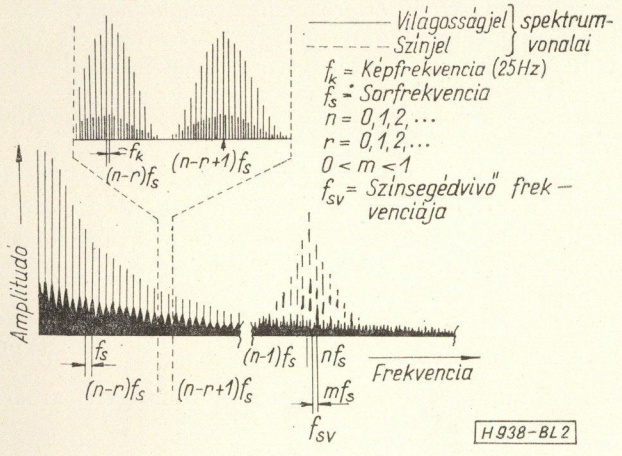
1. ábra

A színinformáció továbbítása, a színsegédvivők, és frekvenciájuk megválasztásának főbb szempontjai

Láttuk, hogy egyrészt a világosságjelet a fekete-fehér átviteli szabványban rögzített módon és sávszélességgel kell átvinni, másrészt a színkülönbségi jelek is csak ugyanezen sávon belül továbbíthatók. Ezenkívül e három jelet úgy kell átvinni, hogy a vevőkészülékben egymástól függetlenül előállíthatók legyenek. Az utóbbi, a három jel szétválaszthatóságára és függetlenségére vonatkozó követelmény miatt e feladat gyakorlatilag egyetlen vivő jel alkalmazásával nem oldható meg. Ezért két színkülönbségi jellel két, a világosságjel átviteli sávjában alkalmas módon elhelyezett ún. színsegédvivő jelet modulálnak, e modulált jeleket, az ún. színjeleket hozzáadják a világosságjelhez és a kapott ún. kódolt jelet az adóban előállított képvivőre ültetve továbbítják a teljes információt.

Kérdés, hogyan célszerű megválasztani a színsegédvivők frekvenciáját?

Fekete-fehér álló kép átvitelekor a jel frekvenciaspektruma a sorfrekvencia pozitív egész számú többszöröseinél ís ezek körül a képfrekvencia (25 Hz) egész számú többszöröseinél elhelyezkedő diszkrét, különálló vonalak csoportjainak sorozatából áll, és e vonalak hossza a megfelelő frekvenciás jelösszetevő amplitúdóját képviseli (l. a 2. ábrát).



2. ábra

Ha a képtartalom változik, az előbbi spektrumvonalaknak oldalsávjai alakulnak ki, a vonalak amplitúdóban és fázisban moduláltak lesznek. Ekkor a frekvenciaspektrum folytonos, de az oldalsávokban a jelösszetevők amplitúdója rohamosan csökken és gyakorlatilag most is vannak a spektrumban szabad frekvenciaközök.

A színkülönbségi jelek átviteli sávja az említett okok miatt gyakorlatilag keskenyebb, mint a világosságjelé. A kódolt jel spektrumának szélességét tehát a világosságjel spektruma határozza meg, és ezen belül helyezkednek el a színsegédvivők, tehát a két színjel spektruma is, vagyis a színjelek spektruma a világosságjelébe szövődik. Ezt nevezzük frekvenciabeszövésnek vagy spektrumbeszövésnek (l. a 2. ábrát).

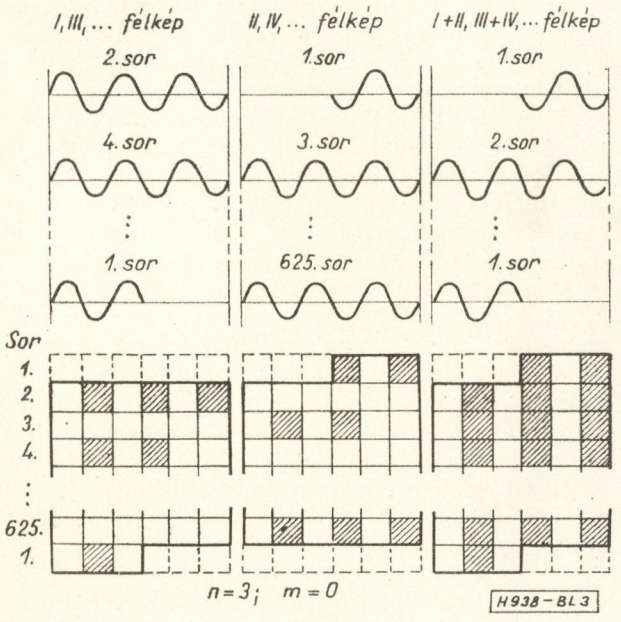
Kézenfekvőnek látszik, hogy a színsegédvivőket a világosságjel spektrumának szabad, üres frekvenciaközeiben helyezzék el. Ez valóban előnyös, amikor egy adott színestelevízió-rendszerbeli jelet egy másik rendszerbeli jellé alakítanak, kódolnak át. A vevőkészülékkel visszaadott kép minősége szempontjából azonban az ilyen színsegédvivő-frekvencia elhelyezési módszer nem mindig kedvező. A világosságjel és a színjelek spektruma ugyanis — jelenlegi ismereteink szerint — csak a vevőkészülék felépítését megengedhetetlenül bonyolító módszerekkel választható szét. Ezért a fekete-fehér televízió vevőkészülékben a demodulált képjelet, vagyis a képvivőről leválasztott kódolt jelet használják fel világosságjelként, tehát a világosságjel spektrumából nem szűrik ki a színjelek összetevőit. Az utóbbi összetevők a világosságjelben zavaró jelként, „áthallásként" jelentkeznek. Hasonló a helyzet a színes televízió vevőkészülékben is, azzal a különbséggel, hogy a világosságjel előállításakor a kódolt jel spektrumából kivágnak, kiszűrnek egy keskeny, a színsegédvivő frekvenciáját is magába foglaló sávban valamennyi jelösszetevőt, tehát nemcsak a színjel-, hanem a világosságjel összetevőket is. Ezáltal természetesen romlik a fényességfelbontás.

A színjelek „áthallása" a világosságjelbe rontja az összeférőséget. Ez a legegyszerűbben modulálatlan vagy egyenfeszültséggel modulált színsegédvivő esetén látható be. A vevőkészülék demodulátora ezt olyan jellé demodulálja, melynek a fekete-fehér televízió vevőkészülék képvisszaadó csövének ernyőjén periódusonként — közelítőleg — egy sötét és egy világos pont felel meg, vagyis az említett áthallás egy zavaró pontrajzolatot okoz. Hasonló a helyzet a színes vevőkészülékkel visszaadott képet nézve is. Ezért a színsegédvivők frekvenciája, tehát a spektrumbeszövés sem lehet tetszőleges. Megválasztásukkor arra kell törekedni, hogy az említett rajzolatnak ne legyen a nézőt zavaró hatása. Éppen e feladat lehető jó megoldását szem előtt tartva nem mindig célszerű a színsegédvivők frekvenciáját a világosságjel spektrumának szabad, energiamentes közeibe helyezni.

A színsegédvivő által okozott zavaró pontrajzolat láthatósága kicsiny, ha a pontrajzolat homogén, finomszerkezetű és áll, továbbá a színsegédvivő amplitúdója kicsiny.

A pontrajzolat akkor homogén felépítésű, ha a kép valamely letapogatásakor jelentkező említett világos, illetve sötét pontokat a kép letapogatását lehető kis p_0 számúszor megismételve sötét, illetve világos pontok fedik, és ez a folyamat periodikusan ismétlődik. Ekkor, ha a színsegédvivő modulálatlan vagy egyenfeszültséggel modulált, a rajzolat az emberi szem összegező tulajdonsága miatt az egész képernyőt egyenletesen befedő szürke árnyalatként jelentkezik. Ha a p_0 nem kis szám, a szem csak a térben egymás mellett levő világos és sötét pontokat képes integrálni, az eltérő időpontban keletkező pontpárokat azonban nem, és utóbbi miatt villogásérzet jelentkezik. A színsegédvivők frekvencia-modulációja esetén a homogenitás csak részben érhető el.

A kedvező homogén rajzolatfelépítéskor szabályos rajzolatból célszerű kiindulni, ami pl. akkor érhető el, ha a színsegédvivő frekvenciája a sorfrek-



3. ábra

vencia egész számú többszöröse. Ekkor minden sorban egész számú színsegédvivő jelperiódus fut le, vagyis e jel minden sorban azonos fázissal indul, következésképpen egymás alatt mindig azonos felületi fényességű, világosságú pontok jelennek meg a képernyőn, és a rajzolat egymás mellett elhelyezkedő függőleges világos és sötét csíkok sorozatából áll (l. a 3. ábrát). Ez a rajzolat nyilván nagyon észrevehető, de ha alkalmas módon összetörik, a zavaró hatás megszüntethető. A rajzolatot úgy törik össze, hogy a térben egymás alá, és az időben egymásra kerülő pontok ellentétes felületi fényességűek legyenek, ami a színsegédvivő jel sorkezdeti fázisának meghatározott rendszerű váltogatásával valósítható meg. E fázisváltogatást vagy a színsegédvivő frekvenciájának alkalmas megválasztásával, vagy a színsegédvivő fázisának színestelevízió-rendszerenként más-más megoldású váltogatásával, vagy e két módszer együttes alkalmazásával érik el.

A pontrajzolat finomszerkezetű, ha a színsegédvivő frekvenciája nagy. Növelésének határt szab az a követelmény, hogy a színjelek átviteli sávja nem nyúlhat túl a világosságjel előírt felső sávhatárán.

A pontrajzolat áll, ha a színsegédvivő frekvenciája egész számú többszöröse a képfrekvenciának. E feltétel nem mindig teljesül, ezért más módszerrel igyekeznek csökkenteni a rajzolat vándorlásérzetét. A zavaró pontrajzolat mozdulatlansága érdekében a színjelek és a világosságjel spektrumának egymáshoz viszonyított helyzete állandó legyen. Ez teljesül, ha a színsegédvivő és a sorfrekvencia között kötött, állandó a frekvencia- és fáziskapcsolat, vagyis

$$f_{sv}=(n-m)f_s=\left(\frac{n}{m}-1\right)mf_s, \qquad (9)$$

ahol f_{sv} a színsegédvivő frekvenciája, f_s a sorfrekvencia, $n=1, 2, 3, \ldots$, és $0 \leqq m \leqq 1$. Az m tényező azt fejezi ki, hogy a színsegédvivő frekvenciáját a sorfrekvencia egymást követő két harmonikusa közötti, sorfrekvencia szélességű sávban a sorfrekvencia hányadrészével toljuk el a sorfrekvencia n-edik harmonikusához [$(n-1)$-edik felharmonikus] viszonyítva. Ezért azt mondjuk, hogy a frekvenciabeszövés eltolása, az ún. offset m-sorfrekvenciás vagy röviden m-soros. A 2. ábra ezt is szemlélteti (csak egyetlen színsegédvivő szerepel).

Térjünk vissza most a homogenitás tárgyalásakor említett fázisváltogatásra. Egyszerűség kedvéért tekintsük a spektrumokat vonalasnak. Amikor $f_{sv}=nf_s$, a színsegédvivő frekvenciája a világosságjel spektrumának éppen a sorfrekvencia n-szeresének megfelelő vonalánál helyezkedik el. A fázisváltogatások hatására a színjelek spektrumvonalai eltolódnak a világosságjel spektrumvonalai közé. E két spektrum tehát elvileg mindig szétválasztható.

Amikor a rajzolat homogén, finomszerkezetű és áll, a szem tehetetlensége miatt csökken a néző zavarérzete, hiszen az emberi szem hajlamos arra, hogy a térben egymás mellett levő, valamint a rövid idő alatt egymásra kerülő világos és sötét pontok felületi fényességét összegezze, integrálja, és tevékenysége főleg akkor hatásos, ha a szóban forgó pontok kicsik és a rajzolat áll. Ha a színsegédvivő jel amplitúdója kicsiny, az összegezés hatására az egész képernyőt befedő szürke árnyalat csak kevéssé változtatja meg a képrészletek eredeti felületi fényességét.

A színsegédvivő frekvenciájának megválasztásakor más hatásokat is figyelembe kell venni. A képvivő és a színsegédvivő interferenciája a (9) képletben szereplő tényezők alkalmas megválasztásával elkerülhető. A képvivő-színsegédvivő frekvenciaköz (l. a 4. ábrát):

$$\Delta f_{ks}=(n-m)f_s \qquad (10)$$

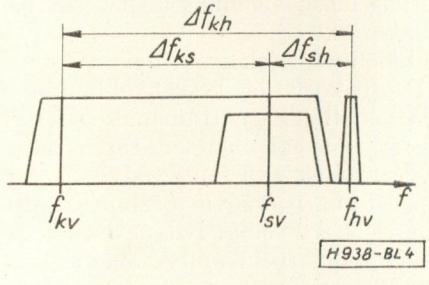
Meg kell akadályozni ezenkívül a színsegédvivő és a hangvivő üttetését is. Itt is alkalmazható az előbbi módszer, de a hangvivő frekvenciamodulációja miatt az kevésbé hatásos. A színsegédvivő-hangvivő frekvenciaeszköz eszerint

$$\Delta f_{sh}=(s-m)f_s \qquad (11)$$

legyen, ahol $s=1,2,3,\ldots$. A képvivő-hangvivő frekvenciaköz tehát

$$\Delta f_{kh}=\left(\frac{n+s}{m}-2\right)mf_s. \qquad (12)$$

Az f_s és az f_{sv} frekvencia szoros kapcsolata miatt az egyiket a másikból származtatják. Fontos, hogy a szükséges frekvenciaosztás megvalósítható legyen.



4. ábra

Áthallások, torzítások

Áthallások

Említettük, hogy a vevőkészülékben a világosságjel spektrumából nem szűrik ki a színjelek spektrumösszetevőit, és ezért a két színjel, a színinformáció „áthallatszik" a világosságjel csatornájába.

Az „áthallás" az átvitt kép átlagos világosságát növeli, hatása tehát a kis felületi fényességű képrészletekben (pl. kék) láthatóbb.

A vevőkészülékben a színjelet olyan felüláteresztő szűrőkkel választják ki a kódolt jelből, melyek áteresztési sávja éppen a színjelek átviteli sávjának felel meg. Emiatt a színjelek a világosságjel nagyfrekvenciás spektrumösszetevőit is tartalmazzák, tehát a világosságjel „áthallatszik" a színcsatornákba (cross color).

A világosságjel „áthallása" elsősorban a világosságátmeneteket érinti, és közvetlenül ugyan színtorzulást okoz, de zavaró hatása — bizonyíthatóan — főleg a világosságban jelentkezik.

Az említett két „áthallásnak" más, kevésbé jelentős forrásai is vannak.

„Áthallás" a színcsatornák között is felléphet, amikor a két színkülönbségi jelet egyidejűleg viszik át. Ez az „áthallás" színtorzulást okoz.

Torzítások

A torzításoknak a fekete-fehér átviteli rendszerben is fellépő hatásával itt nem foglalkozunk. A színes televízió átviteli rendszer érzékenyebb a torzításokra, mint a fekete-fehér, hiszen itt a színcsatornák is ki vannak téve azok hatásának, és az átviteli lánc elemeinek jellemzői nem ideálisak. Hasonló a helyzet a zajokkal kapcsolatban is.

Ha a színsegédvivő frekvenciájának környezetét magába foglaló átviteli sávrészben az erősítés vagy a futási idő nem állandó a frekvencia függvényében, lineáris torzítás lép fel. Ez elsősorban a modulált színsegédvivő átviteli sávja említett korlátozásának köszönhető, és hatására módosul a színsegédvivő amplitúdója és fázisa, ami színtorzulást von maga után. Megfelelő rendszabábályokkal ez a szükséges mértékben lecsökkenthető.

A zavaró jelek (pl. a többutas hullámterjedéskor fellépő visszavert jelek, „áthallott" jelek stb.) szintén lineáris torzítást okoznak.

A színes televízió átvitelben nemlineáris torzítások is keletkeznek, és ezek kiküszöbölése, ill. csökkentése nagyobb feladatot jelent, mint a lineáris torzításoké.

A világosságjelet és a színjeleket együtt átvivő videó erősítőkben a modulált színsegédvivő a világosságjelen helyezkedik el. Mivel az amplitúdó- és a fázisátviteli jelleggörbe sohasem lineáris, a világosságjelnek a világosságváltozásokat kísérő szintingadozásai a színsegédvivő amplitúdójának és fázisának torzulását vonják maguk után. Az említett jelleggörbék nemlinearitásának nagyságát a lineáris és nemlineáris jelleggörbe esetén létrejövő erősítések, ill. fázisszögek különbségével, az ún. differenciális erősítéssel, ill. differenciális fázissal fejezhetjük ki, ill. adhatjuk meg.

Ha a világosságjel amplitúdójának függvényében a színsegédvivő amplitúdója változik, differenciális erősítés- (amplitúdó) torzításról, ha pedig a színsegédvivő fázisa változik, differenciális fázistorzításról beszélünk. Mindkettő színtorzulást eredményezhet.

DR. FERENCZ CSABA

Hullámterjedés inhomogén közegben

ETO 538.566.2 : 621.371.35

Egy előző cikkben [1] az általános, inhomogén közegekben sikerült megadni a Maxwellegyenletek megoldási módját $\overline{E}\cdot e^{j(\omega_0 t-\varphi)}$ alakú terjedő hullámokra. Ez a megoldás a

$$\overline{K}=\operatorname{grad}\varphi$$

és (1)

$$\omega^*=\omega-\frac{\partial\varphi}{\partial t}$$

mennyiségek bevezetése után az

$$\overline{\overline{\epsilon}}=\overline{\overline{\varepsilon}}-j\frac{1}{\omega^*}\frac{\partial\overline{\overline{\varepsilon}}}{\partial t}=\overline{\overline{1}}+\overline{\overline{e}}^*$$

$$\overline{\overline{M}}=\overline{\overline{\mu}}-j\frac{1}{\omega^*}\frac{\partial\overline{\overline{\mu}}}{\partial t}=\overline{\overline{1}}+\overline{\overline{m}}^*$$

$$\overline{\overline{\Lambda}}\ldots=\overline{K}\times(\overline{K}\times\ldots) \qquad (2)$$

$$\overline{\overline{P}}^*\ldots=\overline{\overline{K}}\times(\overline{\overline{e}}^*\ldots)$$

$$\overline{\overline{M}}^*\ldots=\overline{\overline{K}}\times(\overline{\overline{m}}^*\ldots)$$

jelölések felhasználásával a

$$(\overline{\overline{\Lambda}}+\omega^{*2}\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{M}})\cdot\overline{H}+\omega^*\varepsilon_0\overline{\overline{P}}^*\overline{E}=0$$

$$-\omega\mu_0\overline{\overline{M}}^*\overline{H}+(\overline{\overline{\Lambda}}+\omega^{*2}\varepsilon_0\mu_0\overline{\overline{\epsilon}})\overline{E}=0 \qquad (3)$$

homogén lineáris egyenletrendszerre és a hozzá tartozó

$$\left|\left(\frac{\overline{\overline{\Lambda}}}{\omega^*\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}+\omega^*\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\,\overline{\overline{\epsilon}}\right)+\right.$$

$$\left.+\overline{\overline{M}}^*\left(\frac{\Lambda}{\omega^*\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}+\omega^*\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\,\overline{\overline{M}}\right)^{-1}\cdot\overline{\overline{P}}^*\right|=0 \qquad (4)$$

„diszperziós" egyenletre vezet.

Ez utóbbiból — (4) — $\varphi(\overline{r}, t)$ meghatározható, majd az előző (3) egyenletrendszerből $\overline{E}$ és $\overline{H}$. A szükséges előírandó peremfeltételek: pl. adott felületen adott a fázis és a térerősség.

1. A megoldásnál tett feltevések vizsgálata

A fenti megoldás azonban csak akkor létjogosult, ha teljesül a közegjellemzők és a hullámaplitúdók változási sebességére az [1] — (2) egyenlőtlenség:

$$\frac{1}{E_{0i}}\frac{\partial E_{0i}}{\partial x_j}\ll\frac{\partial\varphi}{\partial x_j}$$

$$\frac{1}{a_{ij}}\frac{\partial a_{ij}}{\partial x_i}\ll\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}, \qquad (5)$$

ahol E_{0i} — amplitúdókomponens, a_{ij} — közegjellemző tenzorkomponens, x_i — független változó.

Ha a Maxwell-egyenletekben szereplő differenciálásokat elvégezzük, a következő típusú tagokat kapjuk:

$$\left(\frac{1}{a_{ik}}\frac{\partial a_{ik}}{\partial x_i}+\frac{1}{E_{0k}}\frac{\partial E_{0k}}{\partial x_i}-j\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}\right)a_{ik}E_k, \qquad (6)$$

ahol $E_i=E_{i0}e^{j(\omega t-\varphi)}$.

Homogén közegben a jól ismert

$$(0+0-jk_i)a_{ik}E_k=-jk_ia_{ik}E_k \qquad (7)$$

összefüggésre vezet, ahol $k_i=\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}=áll.$

Vizsgáljunk olyan inhomogén közegeket, ahol az inhomogenitás a λ hullámhosszal összemérhető távolságokon kicsi.

Ekkor

$$\Delta a_{ik}=\frac{\partial a_{ik}}{\partial x_i}\cdot\lambda\sim\varepsilon \qquad (8)$$

ahol ε igen kicsiny szám.

Ekkor (6)-ot λ-val szorozva megbecsülhetjük az egyes tagok nagyságát:

$$\left(\frac{1}{a_{ik}}\frac{\partial a_{ik}}{\partial x_i}\lambda+\frac{1}{E_{0k}}\frac{\partial E_{0k}}{\partial x_i}\lambda-j\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}\lambda\right)a_{ik}E_k. \qquad (9)$$

Jogos a feltevés, hogy

az amplitúdó nem változik gyorsabban, mint a közeg,

a fázis pedig nem változik lassabban, mint a közeg.

Legyen továbbá

$$\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}=k_i+\Delta k_i, \quad \text{ahol} \quad \Delta k_i\neq áll.$$

Ekkor (9) átírható:

$$\left[\frac{\varepsilon}{a_{ik}}+\frac{\varepsilon}{E_{0k}}-j(k_i\lambda+\Delta k_i\lambda)\right]a_{ik}E_k\cong$$

$$\cong-j(k_i\lambda+\Delta k_i\lambda)a_{ik}E_k\sim-jk_i\lambda a_{ik}E_k, \qquad (10)$$

(10)-ből láthatjuk, hogy amíg a hullámhosszhoz képest lassan — (5) — változik a közeg, addig jogosult a $\overline{K}$, ω^* segítségével történő hullámegyenlet megoldás, amelynek (10) szerint is a határesete a homogén közeg. Gyors változások, szakadások esetén a megoldást ilyen egyszerűen nem kaphatjuk meg. (Lásd a publikálás alatt levő Ferencz Cs. „Tetszőleges lineáris közegben való hullámterjedés tárgyalásának egyik lehetséges módja" c. cikket.)

Beérkezett: 1969. szeptember 24-én.

2. Ionoszferikus terjedés, geocentrikus koordinátákat használva

A fentiek alapján a módszert alkalmazhatjuk a Doppler — geodéziában fontos műhold — követőállomás közti terjedés precíz vizsgálatára.

2.1 Kiindulási feltételek

A számításnál tételezzünk fel poláris műholdpályát és ez esetben jogosult földrajzi hosszúság szerinti szimmetriát. Az ionoszférában az elektron és ionsűrűség

$$N_-(r, \vartheta) \cong N_+(r, \vartheta) = N(r, \vartheta)$$

kvázineutralitást feltételezve.

A Föld mágneses terét dipólus terével helyettesítve

$$H_r^0 = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{p_m^{(1)} \cos\vartheta}{r^3}$$

$$H_\vartheta^0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{p_m^{(1)} \sin\vartheta}{r^3} \qquad (11)$$

$$H_\lambda^0 = 0,$$

ahol a dipólus erőteréből ismerjük, hogy a ϑ szög és a

$$\beta = \sphericalangle(\bar{r}_0, \bar{H}^0)$$

szög, ahol $\bar{r}_0$ a sugárirányú egységvektor, kapcsolata

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta. \qquad (12)$$

(A 2. részben λ a hosszúsági koordináta jele és nem a hullámhosszé!)

2.2 Dielektromos tenzor

A plazmafizikából ugyanakkor jól ismert, hogy a dielektromos tenzor a $\bar{H}^0$-val párhuzamos z-tengelyű, jobb sodrású Descartes-koordinátarendszerben

$$\bar{\bar{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_\perp & -j\varepsilon_x & 0 \\ j\varepsilon_x & \varepsilon_\perp & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_\parallel \end{bmatrix}, \qquad (13)$$

ahol

$$\alpha = \frac{\omega_p^2}{\omega^2} = \frac{Ne^2}{\varepsilon_0\omega^2} \frac{m_+ + m_-}{m_+ m_-}$$

$$\beta_\pm = \frac{e\mu_0 H^0}{\omega m_\pm}$$

$$\varepsilon_l = 1 - \frac{\alpha^2}{(1+\beta_-)(1-\beta_+)}; \qquad \varepsilon_r = 1 - \frac{\alpha^2}{(1-\beta_-)(1+\beta_+)}$$

és figyelembe véve az $m_+ \gg m_-$ egyenlőtlenséget

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2}(\varepsilon_l - \varepsilon)_r \cong \frac{e^2}{\varepsilon_0} \frac{1}{m_-} \frac{N}{\omega^2} \frac{e\mu_0 H^0/m_-\omega}{1 - \left(\frac{e\mu_0 H^0}{\omega}\right)^2 \frac{1}{m_-^2}\left[1 - \left(\frac{e\mu_0 H^0}{\omega}\right)^2 \frac{1}{m_+^2}\right]}$$

$$\varepsilon_\perp = \frac{1}{2}(\varepsilon_l + \varepsilon_r) \cong 1 - \frac{e^2}{\varepsilon_0} \frac{1}{m_-} \frac{N}{\omega^2} \frac{1 - (e\mu_0 H^0/\omega)^2 \cdot \frac{1}{m_- \cdot m_+}}{1 - \left(\frac{e\mu_0 H^0}{\omega}\right)^2 \frac{1}{m_-^2}\left[1 - \left(\frac{e\mu_0 H^0}{\omega}\right)^2 \frac{1}{m_+^2}\right]}$$

$$\varepsilon_\parallel = 1 - \alpha^2 \cong 1 - \frac{e^2}{\varepsilon_0} \frac{1}{m_-} \frac{N}{\omega^2}.$$

2.3 Geocentrikus koordinátákba való transzformáció

Az elemi, egy pontban felrajzolható gömbi — Descartes-rendszer és a mágneses térhez rögzíthető elemi Descartes-rendszer egymásba egyszerűen átvihető:

A $\bar{H}^0$-hoz kötött rendszer x tengelye helyébe $-x$, y tengelye helyébe $-y$ vezetendő be és ezután az x tengely körül elforgatjuk $\frac{\pi}{2} - \beta$-val. Ekkor az új z''-tengely a ϑ-tengellyel, az x''-tengely a λ-tengellyel és az y''-tengely az r-tengellyel esik egybe.

$$v_x'' \doteq v_\lambda = -v_x$$

$$v_y'' \doteq v_r = -(v_y \sin\beta + v_z \cos\beta)$$

$$v_z'' \doteq v_\vartheta = -v_y \cos\beta + v_z \sin\beta \qquad (14)$$

A (14) egyenletek és a triviális

$$u = \bar{\bar{T}}\bar{v} \quad \text{és} \quad \bar{u}'' = \bar{\bar{T}}''\bar{v}''$$

összefüggések alapján meghatározhatjuk az erre az esetre érvényes tenzortranszformációt. A (12) egyenletet is felhasználva és ciklikus cserével a szokásos (r, ϑ, λ) sorrendet helyreállítva a következő, természetesen továbbra is hermitikus $\bar{\bar{\varepsilon}}$-hez jutunk [2]:

$$\bar{\bar{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \dfrac{\varepsilon_\parallel + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta \cdot \varepsilon_\perp}{\left(1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta\right)^{3/2}} & \dfrac{\frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta(\varepsilon_\perp - \varepsilon_\parallel)}{\left(1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta\right)^2} & j\dfrac{\frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta \cdot \varepsilon_x}{\sqrt{1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta}} \\ \dfrac{\frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta(\varepsilon_\perp - \varepsilon_\parallel)}{\left(1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta\right)^2} & \dfrac{\varepsilon_\perp + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta\, \varepsilon_\parallel}{\left(1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta\right)^{3/2}} & j\dfrac{\varepsilon_x}{\sqrt{1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta}} \\ -j\dfrac{\frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta \cdot \varepsilon_x}{\sqrt{1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta}} & -j\dfrac{\varepsilon_x}{\sqrt{1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg}^2\vartheta}} & \varepsilon_\perp \end{bmatrix}. \qquad (15)$$

Láthatóan teljesül az $e_{ik} = e_{ki}^*$ hermiticitási feltétel.

2.4 A diszperziós egyenlet, zenitátvonulás esetén

Az [1]-ben bemutatott módon ezután felírható az anizotróp közegre vonatkozó általánosított diszperziós egyenlet:

$$\left|\frac{\overline{\overline{A}}}{\sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0}}+\sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0}\,\overline{\overline{\varepsilon}}\right|=0.$$

Változatlanul hermitikus tenzor determinánsát jelenti, mivel $\overline{\overline{A}}$ szimmetrikus.

Vegyük figyelembe, hogy

$$k^2=\omega^2\varepsilon_0\mu_0 \tag{16a}$$

és

$$\overline{K}=\operatorname{grad}\varphi=\frac{\partial\varphi}{\partial r}\cdot\overline{r}_0+\frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\overline{e}_\vartheta=K_r\overline{r}_0+K_\vartheta\cdot\overline{e}_\vartheta. \tag{16b}$$

ha zenitátvonulásokra írjuk fel az egyenletet. Célszerű jelölések még a továbbiakhoz:

$$\Theta=\frac{1}{2}\operatorname{tg}\vartheta$$

$$a=\frac{e^2}{\varepsilon_0 m};\quad b_-=\frac{e}{m_-};\quad b_+=\frac{e}{m_+}$$

$$m=\frac{m_+m_-}{m_++m_-}\cong m_- \tag{17a}$$

$$B^0=\mu_0H^0$$

továbbá

$$A=\frac{a}{\omega^2}N$$

$$B=\frac{\frac{b_-}{\omega}B^0}{S} \tag{17b}$$

$$\Omega=\frac{1-\frac{b_--b_+}{\omega^2}B^{02}}{s}$$

$$S=1-\frac{b_-^2}{\omega^2}B^{02}\left(1-\frac{b_+^2}{\omega^2}B^{02}\right)$$

vagyis

$$\varepsilon_x\cong AB;\qquad \varepsilon_\perp\cong 1-A\Omega;\qquad \varepsilon_\parallel\cong 1-A. \tag{17c}$$

Az általánosított diszperziós egyenlet ki nem fejtett alakja ekkor:

$$\begin{vmatrix} k_0^2\varepsilon_\parallel-K_\vartheta^2 & k_0^2\varepsilon_{12}+K_rK\vartheta & k_0^2\varepsilon_{13} \\ k_0^2\varepsilon_{12}+K_rK\vartheta & k_0^2\varepsilon_{22}-K_r^2 & k_0^2\varepsilon_{23} \\ -k_0^2\varepsilon_{13} & -k_0^2\varepsilon_{23} & k_0^2\varepsilon_{33}-K_r^2-K_\vartheta^2 \end{vmatrix}=0. \tag{18}$$

A (18) determináns kifejtését elvégezve a következő parciális differenciál-egyenlethez jutunk:

$$\varepsilon_{11}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^4+\frac{1}{r^4}\varepsilon_{22}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^4+\frac{1}{r^2}\epsilon_3\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^2+2\epsilon_4\left[\frac{1}{r}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^3\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)+\frac{1}{r^3}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^3\right]-$$

$$-k_0^2\epsilon_5\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^2-k_0^2\frac{1}{r^2}\epsilon_6\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^2-2k_0^2\frac{1}{r}\epsilon_7\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)+k_0^2\epsilon_8=0.$$

A szereplő ϵ_i együtthatók a (17) jelölések felhasználásával a következő alakúra hozhatók:

$$\varepsilon_{11}=\frac{1}{\sqrt{1+\Theta^2}}\left(1-A\frac{1+\Theta^2\Omega}{1+\Theta^2}\right)\qquad \epsilon_3=\frac{1}{\sqrt{1+\Theta^2}}[2-A(1+\Omega)]$$

$$\varepsilon_{22}=\frac{1}{\sqrt{1+\Theta^2}}\left(1-A\frac{\Omega+\Theta^2}{1+\Theta^2}\right)\qquad \epsilon_4=A\Theta\frac{1-\Omega}{(1+\Theta^2)^2} \tag{19}$$

$$\epsilon_5=\frac{1}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\{\Gamma+(1-A\Omega)[(1-A)+\Theta^2(1-A\Omega)]\}-\frac{1}{1+\Theta^2}A^2B^2 \tag{20}$$

$$\epsilon_6=\frac{1}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\{\Gamma+(1-A\Omega)[(1-A\Omega)+\Theta^2(1-A)]\}-\frac{1}{1+\Theta^2}A^2B^2$$

$$\epsilon_7=\frac{\Theta}{1+\Theta^2}\left[\frac{1}{1+\Theta^2}A(1-\Omega)(1-A\Omega)-A^2B^2\right]$$

$$\epsilon_8=\frac{1}{(1+\Theta^2)^{5/2}}\left\{\left(1+\frac{2\Theta^2}{\sqrt{1+\Theta^2}}+\Theta^4\right)(1-A)\left[\frac{(1-A\Omega)^2}{\sqrt{1+\Theta^2}}-A^2B^2\right]+\right.$$

$$\left.+\frac{\Theta^4}{(1+\Theta^2)^{3/2}}(1-A\Omega)[(1-A)^2+(1-A\Omega)^2]+2\Theta^2\left(\frac{1}{\sqrt{1+\Theta^2}}-1\right)(1-A\Omega)A^2B^2\right\},$$

ahol

$$\Gamma=\frac{\Theta^2}{(1+\Theta^2)^{5/2}}[\Theta^2(1-A\Omega)^2+2(1-A\Omega)(1-A)+\Theta^2(1-A)^2]+\frac{1+\Theta^4}{(1+\Theta^2)^{3/2}}(1-A\Omega)(1-A).$$

A (19) egyenlet számítógéppel megoldható. Ily módon tárgyalható tehát zenitátvonulás esetén a műhold — föld kapcsolat, feltéve, hogy precíz eredményre van szükségünk. A megoldásnál meg kell adni peremfeltételként pl. a gerjesztést, vagyis a hullám amplitúdóját és fázisát egy felületen.

2.5 A diszperziós egyenlet az állomáshoz képesti általános átvonulás esetén

A 2.4 részben látott módon kell felírni ekkor is az általánosított diszperziós egyenletet. Ekkor azonban a hullám már λ-irányban is terjed. Ki kell lépni a $\lambda = áll.$ síkból, tehát $\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} \neq 0$.

Ezt figyelembe véve a megoldandó egyenlet a következő:

$$\varepsilon_{11}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^4+\frac{1}{r^4}\varepsilon_{22}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^4+\frac{1}{r^4\sin^4\vartheta}\varepsilon_{33}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}\right)^4+\frac{1}{r^2}\epsilon_3\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^2+\frac{1}{r^2\sin^2\vartheta}\epsilon_9\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}\right)^2+$$

$$+\frac{1}{r^4\sin^2\vartheta}\epsilon_{10}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}\right)^2+2\epsilon_4\left[\frac{1}{r}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^3\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)+\frac{1}{r^3}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^3+\frac{1}{r^3\sin^2\vartheta}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}\right)^2\right]-$$

$$-k_0^2\epsilon_5\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)^2-k_0^2\frac{1}{r^2}\epsilon_6\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)^2-k_0^2\frac{1}{r^2\sin^2\vartheta}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}\right)^2-2k_0^2\frac{1}{r}\epsilon_7\left(\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}\right)+k_0^2\epsilon_8=0,$$

ahol az előzőekben — (20) egyenletek — még nem ismertetett ε_{ik} és ϵ_i állandók a következők:

$$\varepsilon_{33}=1-A\Omega$$

$$\epsilon_9=\left(1+\frac{1}{\sqrt{1+\Theta^2}}\right)-A\left[\Omega+\frac{1+\Theta^2\Omega}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\right]$$

$$\epsilon_{10}=\left(1+\frac{1}{\sqrt{1+\Theta^2}}\right)-A\left[\Omega+\frac{\Theta^2+\Omega}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\right]$$

$$\epsilon_{11}=\frac{1}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\left\{\frac{1}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\left[\Theta^2(1-A\Omega)^2+\right.\right. \tag{22}$$

$$\left.+(1-A\Omega)(1-\Omega)+\Theta^2(1-A)^2\right]+$$

$$\left.+(1-A\Omega)\left[(1-A\Omega)+(1-A)\Theta^2\left(1+\frac{\Theta^2}{(1+\Theta^2)^{3/2}}\right)\right]\right\}-$$

$$-A^2B^2.$$

Tekintettel arra azonban, hogy az összes szereplő ismert függvényeink (r, ϑ) függvények és λ-tól függetlenek, így a

$$\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}\right)=0 \tag{23}$$

feltételnek teljesülni kell. Tehát (23) alapján

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\lambda}=f_1(r,\vartheta), \tag{24}$$

ahonnan

$$\varphi=f_1(r,\vartheta)\cdot\lambda+C \tag{25}$$

Ily módon átírható a (21) egyenlet az ismeretlen $f(r, \vartheta)$ meghatározására. Ekkor

$$\frac{\partial\varphi}{\partial r}=\lambda\cdot\frac{\partial f_1}{\partial r};\quad \frac{\partial\varphi}{\partial\vartheta}=\lambda\cdot\frac{\partial f_1}{\partial\vartheta}. \tag{26}$$

Belátható egyszerűen, hogy (21) ekkor

$$R(r,\vartheta)\cdot\lambda^4+T(r,\vartheta)\cdot\lambda^2+V(r,\vartheta)=0 \tag{27}$$

alakra hozható. Ez az egyenlet belső ellentmondást tartalmaz, mivel $r=áll.$, $\vartheta=áll.$, $\lambda\neq áll.$ esetben is minden pontban ki kellene elégüljön. Tehát (25) helyett csak az alábbi $\varphi\ (r, \vartheta, \lambda)$ függvényalakkal lehet dolgozni:

$$\varphi=\gamma\cdot\lambda+f(r,\vartheta),\ \gamma=áll. \tag{28}$$

Ez az alak a (23) és (24) feltételeknek eleget tesz. Ekkor a megoldandó egyenlet:

$$\varepsilon_{11}\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)^4+\frac{1}{r^4}\varepsilon_{22}\left(\frac{\partial f}{\partial\vartheta}\right)^4+\frac{1}{r^2}\epsilon_3\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)^2\cdot\left(\frac{\partial f}{\partial\vartheta}\right)^2+2\epsilon_4\left[\frac{1}{r}\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)^3\cdot\left(\frac{\partial f}{\partial\vartheta}\right)+\frac{1}{r^3}\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)\cdot\left(\frac{\partial f}{\partial\vartheta}\right)^3\right]-$$

$$-k_0^2\left(\epsilon_5-\frac{1}{k_0^2}\frac{\gamma^2}{r^2\sin^2\vartheta}\cdot\epsilon_9\right)\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)^2-k_0^2\left(\frac{1}{r}\epsilon_6-\frac{1}{k_0^2}\frac{\gamma^2}{r^4\sin^2\vartheta}\epsilon_{10}\right)\left(\frac{\partial f}{\partial\vartheta}\right)^2-2k_0^2\left(\frac{1}{r}\epsilon_7-\frac{\gamma^2}{k_0^2r^3\sin^2\vartheta}\epsilon_4\right)\left(\frac{\partial f}{\partial r}\right)\left(\frac{\partial f}{\partial\vartheta}\right)+$$

$$+k_0^4\left(\epsilon_8-\frac{1}{k_0^2}\frac{\gamma^2}{r^2\sin^2\vartheta}\epsilon_{11}+\frac{1}{k_0^4}\frac{\gamma^4}{r^4\sin^4\vartheta}\varepsilon_{33}\right)=0. \tag{29}$$

A (29) egyenlet matematikailag azonos felépítésű a (19) egyenlettel, s így a gépi megoldás azonos módon, módosított együttható függvények segítségével kapható meg. γ értékét a peremfeltétel — a gerjesztés — szabja meg.

3. Megjegyzések:

A peremfeltételek — azaz a gerjesztés — megadása olyan kell legyen, hogy a gerjesztő hullámfüggvény az energiamegmaradás elvét ne sértse meg. (Pl.:

gömbhullám amplitúdója $1/r$-rel csökken, síkhullám amplitúdója állandó stb.)

Erős inhomogenitások esetén kimutatható, hogy a (19), ill. (29) egyenlet megoldásainak csak függvényekkel súlyozott kombinációja megoldás. (Lásd az 1. részben említett cikket.) Ez a kombinált, majdnem periodikus megoldás tartalmazza a reflexió hatását stb. Teljesen precíz, energetikailag is kifogástalan eredményt csak így kaphatunk és ezután lehet a számunkra érdekes egyetlen megoldással — „módussal" — tovább számolni. Ez a hatás gyenge inhomogenitások esetén kis mértékben módosítja az amplitúdómenetet.

*

Ez úton is szeretnék köszönetet mondani a munkámhoz nyújtott támogatásért dr. Simonyi Károly professzor úrnak, dr. Csurgay Árpád villamosmérnöknek és dr. Petruska György matematikusnak.

IRODALOM

1. *Ferencz, Cs.:* Wave Propagation in Inhomogeneous, Anisotropic, Time — Varying Medium. Periodica Polytechnika, Vol. 12. No. 3. 1968.
2. *P. Mattila:* Wave Propagation in Anisotropic Media. Electromagnetic Wave Theory, edited by J. Brown. Part. 1. pp. 155—156 (Abstract), Perganom Press, 1967.
3. *K.G. Budden:* Radio Waves in the Ionosphere. University Press, 1966.
4. *W.P. Allis, S.J. Buchsbaum. A. Bers:* Waves in Anisotropic Plasmas, M.I.T.Press, 1963.
5. *Simonyi, K.:* Foundations of Electrical Engineering, Pergamon Press, 1963.

Обобщения

ДК 007:621.391

Д-р Й. Киндлер—Д-р И. Киш:

Тенденции теории и техники систем

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт, XXI./1970) № 1

Дан резюме по тенденциям и соотношениям теории и техники систем. В течение изложения предыдущей истории этой науки рассматриваются виды синтетирующих и интегрирующих тенденций. После объяснения необходимости общей теории систем кратко излагаются принципы и критика важнейших тенденций. Техника систем объясняется как методологическая теория и показывается основная разность между общей и специальной техникой систем, подчеркивается практическая важность общей техники систем и необходимость ее обучение на университетском уровне.

ДК 537.311.33:621.382

М. Кочиш—П. Бартфаи:

Полупроводниковые приборы эпитаксиальной конструкции

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт, XXI./1970) № 1

Преимущества эпитаксиальной конструкции является необходимыми к современным полупроводниковым коммутаторам. В случае диодов уменьшение последовательного сопротивления базы, а в случае транзисторов значительное уменьшение последовательного сопротивления коллектора предоставит преимущества. Скорость работы приборов увеличивается по причине уменьшения времени перехода носителей зарядов в следствие узкой области базы и коллектора. Однако, в эпитаксиальной конструкции при месте соприкосновения базы с многим примесем и слоя высокого удельного сопротивления создается растягиванный переход $n-n^+$, который представляет замедляющее поле носителям зарядов. Сравнение измеренных и вычисленных результатов постоянной времени накопления носителей диода дает информацию о величине этого противодействующего поля. Расчеты были выполнены по моделям имеющим различные противодействующие поля. В случае диодов ВАУ 41, 42, 43 было доказанным предположение, что область противодействующего поля распространится на половину ширины базы.

ДК 519.14:621.372.2.001.24

Д-р Й. Шоймоши:

Расчет вторичных чувствительностей методом графов влияний

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) XXI./1970 № 1

Понятие чувствительности играет важную роль в синтезе сетей, в расчетах допусков и цепей с переменными параметрами. Статья кратко обобщает хорошо известные соотношения по первичной чувствительности линейных систем, потом определяет соотношения по вторичной чувствительности методом графов влияния. Метод иллюстрируется двумя примерами.

ДК 546.28:548.5:621.382.334

Й. Тимар:

Выращивание кремниевых слоев для интегральных схем

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт, XXI./1970) № 1

В течение выращивания эпитаксиальных кремниевых слоев геометрическая стабильность погружений является важной проблемой. Сохранение без искажений приблизительно 1000 Å зависит значительно от концентрации газа $SiCl_4$ примененного к выращиванию и от кристаллографической ориентировки подложки. В течение наших экспериментов выращивания мы изменили концентрацию $SiCl_4$, а потом — используя подложки различной ориентировки — наблюдали изменение формы погруженных мест после эпитаксиального выращивания. По нашим опытам эти совпадали с литературными данными. Технология выращивания кристаллов воспроизводится удобно и хорошо включать в ряд технологических операций.

ДК 621.391.8:621.397.132

Л. Богнар:

Системы передачи для цветного телевидения. Общие требования, параметры и свойства передачи

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт, XXI./1970) № 1

Автор излагает требования, параметры и свойства по системам цветного телевидения примененным в настоящее время. В рамках этого обозрения рассматриваются: основные требования и последствия совестимости, цветоразностные сигналы и ширина их полосы передачи, точки зрения выбора частоты поднесущей содержающей цветоинформации и метод передачи изображения, а наконец перекрестная модуляция и искажения возникающие в течение передачи изображения.

ДК 538.566.2:621.371.35

Д-р Ч. Ференц:

Распространение радиоволн в неоднородной среде

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт, XXI./1970) № 1

Изложения основываются на общих закономерностях установленных в предыдущей статье автора по распространению радиоволн неоднородной, анизотропической средстве, переменной во времени.

Рассматривается распространение между спутником и следящей станции при помощи трансформации в геоцентрические координаты. Определится уравнение рассеяния.

Zusammenfassungen

DK 007:621.391

Dr. J. Kindler—Dr. I. Kiss:

Systemtheoretische und systemtechnische Tendenzen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) Nr 1

Die Verfasser geben ein zusammenfassendes Bild über die systemtheoretischen und systemtechnischen Tendenzen und deren Zusammenhang. Während der Diskussion der wissenschaftlichen Vorgeschichte stellen sie die Erscheinungsformen der synthetisierenden, integrierenden Tendenzen, dar. Nach der Erklärung der Notwendigkeit der allgemeinen Systemtheorie werden die Prinzipien der wichtigeren Tendenzen und die Kritik derjenigen erötert. Sie erklären die Systemtechnik als eine methodische Theorie und erötern den prin zipiellen Unterschied zwischen der allgemeinen und speziellen Systemtechnik. Sie betonen die praktische Wichtigkeit der allgemeinen Systemtechnik und halten deren systematische Hochschulunterricht als notwendig.

DK 537.311.33:621.382

M. Kocsis—Frau P. Bártfai:

Halbleitergeräte mit epitaxialem Aufbau

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) Nr 1

Die vorzüglichen Eigenschaften der epitaxialens Aufbau sind der modernen Schaltgeräte unentbehrlich. Bei den Dioden ist die Verminderung des Basisreihenwiderstandes und bei den Transistoren die des Kollektorreihenwiderstandes, vorzüglich. Die Funktionsgeschwindig-Beit der Geräte vergrösserts sich dadurch, dass infolge des schmalen kasis- und Kollektorbereiches die Laufzeit der Ladungsträger sich vermindert. Die zwischen der stark dosierten Grundplatte und dem Schicht mit grossem spezifischem Widerstand entwickelter ausgedehnter n—n+ Übergang an der Kontaktstelle, welcher ein Verzögerungsfeld auf die Minoritäts-Ladungsträger wirkt, bedeutet auch ein grosses Problem bei dem epitaxialen Aufbau. Der Vergleich der Messwerte der Zeitkonstante der Ladungsspreicherung der Dioden mit der ausgerechneten Ladungsspeicher-Zeitkonstanten gibt eine Information über die Grösse dieses Gegenfeldes. Die Berechnungen wurden auf Modellen mit Bereichen von verschiedenen Gegenfeldern ausgeführt. Im Falle von den BAY 41, 42 und 43 Dioden wurde die Annahme bekräftigt, dass der Bereich des Gegenfeldes auf die Hälfte der Basisgreite sich ausstreckt.

DK 519.14:621.372.2.001.24

Dr. J. Solymosi:

Berechnung der sekundären Empfindlichkeit mit der Signalfluss diagrammethode

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) Nr 1

Der Begriff der Empfindlichkeit spielt eine wichtige Rolle in der Netzwerksynthese, Toleranzrechnung und Berechnung der Stromkreise mit variablen Parameters. In dem Artikel werden kurz die wohl bekannten Zusammenhänge der linearen Systeme bezüglich der Empfindlichkeit erster Ordnung zusammengefasst und die Zusammenhänge bezüglich der Empfindlichkeit zweiter Ordnung mit der Signalfluss diagrammethode bestimmt. Die Methode wird durch zwei Beispiele illustriert.

DK 546.28.548.5:621.382.334

J. Timár:

Züchten der epitaxialen Siliziumschichten für integrierte Stromkreise

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) Nr 1

Während des Züchtens der epitaxialen Si Sichten ist die geometrische Stabilität der Versenkungen von kleiner Tiefe ein sehr wichtiges Problem. Die deformationsfreie Behaltung der Form und Lage der Versenkungen von etwa 1000 Å hängt wesentlich von der $SiCl_4$ Konzentration, die bei dem Züchten angewendet ist und von der kristallographischen Orientation des Trägers ab. Während der Züchtenexperimente wurde die angewendete Konzentration der $SiCl_4$ geändert, ferner Träger mit verschiedenen Orientationen benützend, wurde die Formveränderung der versenkten Flächen nach den epitaxialen Züchten beobachtet. Die Erfahrungen waren mit den literarischen Angaben in Einklang. Die ausgearbeitete Technik des Kristallzüchtens kann entsprechend reproduziert werden und in der technologischen Operationsreihe wohl eingepasst werden.

Résumés

CDU 007:621.391

Dr. J. Kindler—Dr. I. Kiss:

Tendences de la théorie et technique des systèmes

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

Les auteurs donnent un résumé des tendences et rélations de la théorie et technique des systèmes. Au cours de la discussion des antécédents historiques scientifiques les aspects des tendences synthétisantes et intégrantes sont indiquées. Après une exposition de la nécessité d'une théorie générale des sistèmes les principes et la critique des tendences plus importantes plus sont brièvement discuétes. La technique des systèmes est inter- prétée comme une théorie méthodologique et les différences entre les principes de la technique des systèmes générale et spéciale sont présen- tées. L'importance pratique de la technique des systèmes générale et la nécessité de son enseignement universitaire sont soulignées.

CDU 537.311.33:621.382

M. Kocsis—Mme P. Bártfai:

Dispositifs sémiconducteurs à construction épitaxiale

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

Les propriétés avantageuses de la construction épitaxiale sont indispensables pour les moyens de commutation modernes. En cas des diodes la réduction considérable de la résistance série de la base, en cas des transistors celle-cei du collecteur donne des avantages. La vitesse de fonction des dispositifs augmente par le fait que le temps de transit des porteurs de charge est réduit par conséquence du domaine de base ou bien celui de collecteur étroit. Des problèmes se posent, toutefois, avec la construction épitaxiale auprès du lieu de contact entre la couche sous-jacente à haute contamination et la couche à résistance spécifique haute, où se forme une jonction n—n+ prolongée présentant un champ ralentissant aux porteurs minoritaires. En ce qui concerne le valeur de ce contre-champ, la comparaison des résultats calculés et mesurés des constantes d'accumulation des charges des diodes donne des informations. Les calculations ont été faites en cas des modèles ayant des domaines de contre-champ différents. Pour les diodes BAY 41, 42 et 43 la supposition a été prouvé, que le domaine de contre-champ s'étend sur la moitié de la largesse de la base.

CDU 519.14:621.372.2.001.24

Dr. J. Solymosi:

Calcul des sensibilités de deuxième ordre par la méthode des graphes

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

Le concept de sensibilité joue une rôle importante dans la synthèse des réseaux, le calcul des tolérances et le calcul des circuits à paramètres variables. L'article donne un bref résumé les rélations bien connues des systèmes linéaires concernant la sensibilité de premier ordre, ensuite les rélations de la sensibilité de deuxième ordre sont déterminées par la méthode des graphes La méthode est illustrée par deux exemples.

CDU 546.28.548.5:621.382.334

J. Timár:

Dépositions des couches de silicium épitaxiales pour circuits integrés

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

Au cours de la déposition des couches épitaxiales de silicium la stabilité géométrique des encastrements de petite profondeur est un problème important. Le maintien sans distorsions de la forme et du lieu des encastrements d'environ 1000 Å dépend considérablement de la concentration du gaz $SiCl_4$ et de l'orienfation cristallographique du support. Nous avons varié la concentration du gaz $SiCl_4$ employé au cours de nos essais, ensuite nous avons observé—utilisant des cristaux avec orientations différentes—les déformations des surfaces encastrées après les dépositions épitaxiales. Nos expériences coïncident avec les données literaires. La technologie de la déposition des cristaux peut être reproduite convenablement et inserée dans la série des opérations.

DK 621.391.8:621.397.132

L. Bognár:

Farbfernsehübertragungssysteme.
Allgemeine Übertragungsanforderungen, Kennwerte und Eigenschaften

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) Nr 1

In dem Artikel werden jene Anforderungen, Kennwerte und Eigenschaften erörtert, welche für die heutzutage gebrauchten Farbfernsehsysteme gültig sind. In dem Rahmen der Zusammenfassung dieser Systemtechnik wird auf die Grundanforderungen und Folgen der Kompatibilität, auf die Grundfarben und Farbenunterschieds-Signale, welche das Bildinhalt übertragen und auf die Fragen der Breite ihrer Übertragungsbänder hingewiesen. Es werden die Schaupunkte der Frequenzwahlder Farhilfsträgersignale, welche die Farbinformation übertragen und die Methode der Bildübertragung geprüft. Zuletzt werden die „Nebensprechen" und Verzerrungen die während der Bildübertragung entstehen, erötert.

CDU 621.391.8:621.397.132

L. Bognár:

Systèmes de transmission pour la télévision en couleurs. Exigences générales de transmission, caractéristiques, propriétés

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

L'auteur expose les exigences, caractéristiques et propriétés qui sont valables pour les systèmes de télévision en couleurs utilisés actuellement. Dans le cadre de resumé de la technique des systèmes les problèmes suivants sont discutés: les exigences fondamentales et conséquences de la compatibilité, les signaux de la couleur fondamentale et de différence des couleurs comprenant le contenu de l'image et leurs largeurs de bande. Les points de vue de la selection de la fréquence sous-porteuse véhiculant l'information de couleur et la méthode de transmission de l'image, ainsi que l'intermodulation et distorsions au cours de la transmission de l'image sont analysés.

DK 538.566.2:621.371.35

Dr. Cs. Ferencz:

Wellenausbreitung in nicht-homogenem Medium

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) Nr

Der Verfasser nimmt als Grund die allgemeinen Gesetzlichkeiten der inhomogenen, anisotropen zeitvariablen Wellenausbreitung, die er in einem vorangehendem Artikel erörtert hatte. Die ionospherische Ausbreitung zwischen den Satellit und der Folge-Station wird mit Hilfe der Transformation in geozentrische Koordinaten untersucht. Die Dispersionsgleichung wird bestimmt.

CDU 538.566.2:621.371.35

Dr. C. Ferencz:

Propagation des ondes dans un milieu inhomogène

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

L'auteur base l'article présent sur les thèses générales traitées dans son article précédent concernant la propagation des ondes dans un milieu inhomogène, anisotropique et variable dans le temps. La propagation ionosphérique entre satéllite et station terrestre est examinée à l'aide de transformation en coordonnées géocentriques. L'équation de dispersion est déterminiée.

Summaries

CDU 007:621.391

Dr. J. Kindler—Dr. I. Kiss:

Trends of the System Theory and System Engineering

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

A comprehensive survey is given on the trends of the system theory and system engineering and their correlation. In the course of the discussion of the preceding history of the science the synthetizing integrating trends are outlined. After the illustration of the importance of the general system theory the principles and the criticism of the most important trends are briefly described. The system engineering is explained as a methodological theory and the difference between the principles of the general and special system engineering is shown. The practical importance of the general system engineering is emphasised and its systematic teaching on university level is considered to be necessary.

UDC 537.311.33:621.382

M. Kocsis—Mrs. P. Bártfai:

Semiconductor Devices with Epitaxial Construction

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

The advantageous properties of the epitaxial semiconductor constructions are indispensable for the modern switching circuit devices. For diodes the considerable reduction of the base series resistance and for transistors the collector series resistance has andvantages. The operational speed of the devices increases by the way, that the transit time of the charge carriers is reduced in consequence of the narrow base and the collector domain. The extended $n—n^+$ junction developed at the contact surface of the high specific resistance layer and the highly doped supporting plate is a great problem, having a retarding field effect on the minority charge carriers. The comparison of the measured values of the time constant of the charge storage of the diode with the computed charge storage time constant gives an information on the magnitude of the counter field. The calculations were made on models having different counter field domains. In the case of BAY 41, 42 and 43 diodes the suppositions was proved, that the domain of the counter fi extends to the half base width of the diode.

UDC 519.14:621.372.2.001.24

Dr. J. Solymosi:

Calculation of Second Order Sensitivity with Signal-Flow Graph Method

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

The concept of sensitivity plays an important role in the network synthesis, in the calculation of tolerances and in the computation of circuits with variable parameters. The paper gives a brief summary of the well known relations of the linear systems with the first order sensitivity and dertermines by means of the signal flow graph method the relations referring to the second order sensitivity. The method is illustrated by two examples.

UDC 546.28:548.5:621.382.334

J. Timár:

Growing of Epitaxial Silicon Layers for Integrated Circuits

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

In the course of the growing of epitaxial Si layers the geometrical stability of the sinks of small depth is a very important problem. The deformation-free maintenance of the shape and position of the sinks of about 1000 Å depends considerably on the concentration of the $SiCl_4$ gas used for the growing and on the crystallographic orientation of the support. In the course of the growing the $SiCl_4$ concentration was changed and using supports with different orientations the deformation of te sinked areas obtained after the epitaxial growing was observed. The experiences are in conformity with the data of literature. The developed crystal growing technique can be reproduced conveniently and can be well adapted to the series of the operations of technology of the circuit.

UDC 621.391.8:621.397.132

L. Bognár:

Transmission System for Colour Television. General Transmission Requirements, Characteristics and Properties

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

Those requirements, characteristics and properties are presented, which are in force concerning the colour television systems used at present. In the framework of this systems engineering abstract the basic requirements and consequences of the compatibility, the fundamental colour and colour difference signals transmitting the picture contents and the question of the width of their transmission bands are dealt with. The aspects of the choice of the frequency of the colour subcarrier signal carrying the colour information and the method of the picture transmission and finally the cross-colour and distortion occurring during the picture transmission are presented.

UDC 538.566.2:621.371.35

Dr. Cs. Ferencz:

Wave Propagation in Inhomogeneous Media

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXI. (1970) No 1

The author makes as a basis the general laws of the inhomogeneous, anisotropic, time-variable wave propagation discussed in his preceding paper. He examines the inospherical propagation between the satellite and its ground station by the aid of transformation in geocentric coordinates. Ha determines the dispersion equation.

SIEMENS

Relés kapcsolómezők gyors hírátvitelre

Egymást keresztező be- és kimenővezetékek, kereszteződési pontjaikon — „Crosspoints" — egymástól függetlenül kapcsolható relékkel; ez a Siemens-Crosspoint-technika relés kapcsolómezeje. A másodperc ezredrésze alatt összekapcsolható valamelyik bemenővezeték bármelyik kimenővezetékkel. Az összekötetések felépítésére ESK-reléket alkalmaznak a kereszteződési pontokon. Ezek lehetővé teszik a gyors és biztos kapcsolást mechanikus elemek közreműködése nélkül. Az ESK-relék kiemelkedő jellegzetességei a Siemens-Crosspoint-technikának.

Előnyei:

- **rövid kapcsolási idő (kb. 2 ezredmásodperc)**
- **kis térfoglalás**
- **kiemelkedő átviteli tulajdonságok**
- **hosszú élettartam**
- **mechanikusan függő alkatrészek hiánya**
- **a karbantartás szükségtelensége**

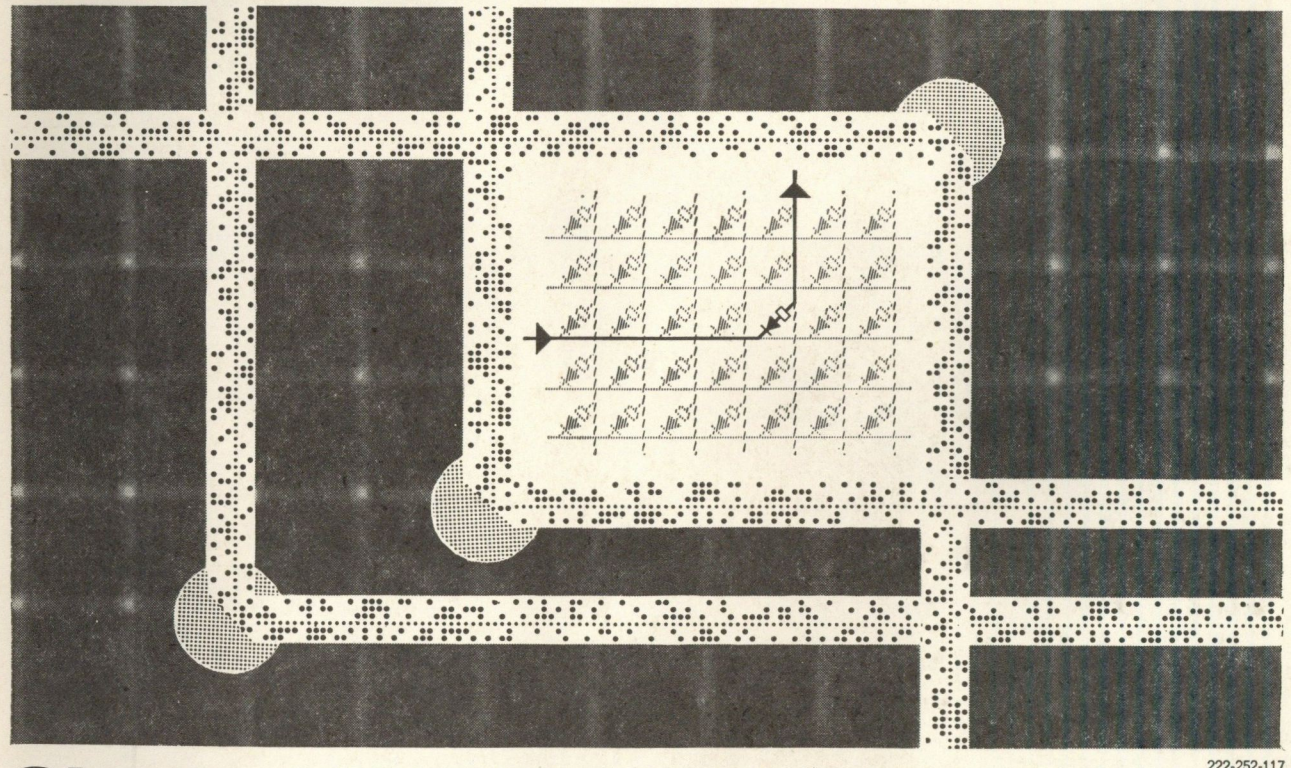
A Siemens-Crosspoint elv alapján müködő távíró-távvállasztó rendszer (TWK) kis helyet igénylő bedugó chassis-ju felépítésével a Siemens távíró-távválasztó rendszer magas technikai szinvonalát és teljesítőképességét reprezentálja.

A távíróösszekötetések felépítésénél a távválasztás minden egyes műveletét a számítógépekhez hasonlóan program vezérel és ellenőriz.

Egyszerü olcsó beszerelés; nagy üzembiztonság; az összekötetések gyors felépítése; ezek a TWK-technika különleges ismérvei.

A TWK-rendszer nagysebességü táviratozásra alkalmas (2400 Baud-ig). Egyébb jellemzői a Siemens-TWK-rendszernek alkalmazhatósága speciális hálózatok felépítésénél, mint pl. Gentex, Datex stb., valamint tetszőleges üzemeltetése számtárcsás vagy billentyűs választás esetében.

Információs anyagot küld Önnek:
SIEMENS AG,
D-8000 München 25,
Postfach 701



222-252-117

Siemens TWK-System