Bevezető gondolatok

WOLLITZER GYÖRGY
Mikroelektronikai Vállalat

Bizonyára nem tévedek, ha azt állítom, hogy a Mikroelektronikai Vállalat, a „MEV", ma az ország elektronikai iparának legvitatottabb vállalata. A MEV körül folyó vita tárgya valójában nem csak maga a vállalat, hanem egyúttal az ország félvezető politikája, a mikroelektronikai stratégia, a jövő ezen a területen. Ez a vita nem újkeletű, sok éve tart, és bár a MEV-et létrehozó Minisztertanácsi döntés után elcsitulni látszott, az emlékezetes tűzeset újra előhívta, és ma — nehezebb gazdasági helyzetben — élesebb, mint a korábbi években bármikor.

A MEV-vel, a mikroelektronika jövőjével az elmúlt egy-másfél év alatt olyan sok fórum foglalkozott, oly sok oldalról mutatták be a problémát és keresték a kivezető utat, hogy ezzel itt, nem kell és nem is szabad foglalkozni. Ismertek az érvek és az ellenérvek a szakma teljes nyilvánossága előtt és félő, hogy mindehhez újat már aligha lehet hozzátenni.

A MEV azonban iparágunknak nemcsak legvitatottabb, hanem egyúttal legfiatalabb vállalata is és éppen az elmúlt év sokoldalú elemzései mutatták, hogy még a szorosabban vett szakmai közvélemény sem ismeri a vállalat tevékenységét, eredményeit, gondjait.

A MEV létrehozásánál kiemelkedő fegyvertény volt, hogy a félvezető technika területén először sikerült az országban akkor meglévő szellemi erő és technikai eszköztár szinte teljes koncentrációja és ez az eredmény értékes maradt azóta is. A koncentráció olyan nélkülözhetetlen lépés volt, melyet másutt már sokkal korábban megtettek. Sok éves, és többé kevésbé indokolatlan alkudozásokra, indokolatlan párhuzamosságokra tettünk ezzel pontot és reális lehetősége nyílt a gyorsabb, hatékonyabb fejlődésre.

Az új vállalatnak szinte lehetetlen feladatot kellett megoldania:

— egyetlen vállalatot, egyetlen összehangolt szervezetet kellett létrehozni és működtetni két, teljesen különböző múltú, — bár egyenként is igen értékes múlttal rendelkező — két teljesen eltérő filozófiájú, önmagában logikus, de eltérő szervezetű vállalatból és ipari kutató intézetből;
— születése után azonnal gazdaságosan kellett működtetni ezt az új szervezetet, tekintélyes örökölt terhekkel, állandóan módosuló és kedvezőtlenül változó gazdasági környezeti feltételek mellett;
— létrehozni az ipar eddig legnagyobb mikroteehnikai beruházását és azt rekord idő alatt üzembehelyezni.

A vállalat megalakulása után a mikroelektronika hazai szükségessége és lehetősége körül folyó viták átalakultak, más síkra helyeződtek át. A beruházás megvalósult, üzembehelyezése folyamatban volt, a szükséges eszközök, ha nem is az eredetileg tervezett formában, de lényegében rendelkezésre álltak, azonban hiányzott az új beruházással szembeni türelem.

Sajnos az új chip-gyártó üzem létrejöttével egyidőben, de attól teljesen független, okok miatt zavarok jelentkeztek az alkatrész ellátásban, ezen belül a félvezető ellátásban is. Érthetően „egyszerű", de teljesen érthetetlen logikával a két jelenséget igen sokan okokozati kapcsolatba hozták és ezzel kétségbevonták az új üzem, az új beruházás, sőt az új vállalat hasznát már akkor, amikor az még valójában nem is termelt. Ez idő tájt az új üzembena mégkísérleti jelleggel készülő félvezető eszközökön csak vizsgálatok folytak, az eredményeket, a terméket a felhasználó vállalatok még nem ismerhették. Mind többen várták az alig megvalósult, és valóban bonyolult technikára épülő beruházástól a félvezető alkatrész-ellátás azonnali javulását, és a tapasztalt ellátási zökkenőkért az új vállalatot okolták. A negatív véleményhez gyorsan társultak hasonlóan „megalapozott" és természetesen szintén negatív információk. A mikroelektronika jövőjét megalapozó és mindenképpen pozitív irányú lépés ilyen módon sajnálatosan negatív színezetet kapott. A „gyermek" tehát még alig született meg, már kialakult az előítélet képességeivel kapcsolatban. Ennek a téves ítéletnek a hatása ma is tart.

Érdemes megemlíteni, hogy ugyanezen időszakban a MEV nemzetközi elismerése és elismertsége nőtt. Az igen nagyszámú látogató szakember — a látogatás földrajzi irányától függetlenül — értékelte és a hazai megítéléssel szemben jónak minősítette a megvalósított színvonalat.

A tűzkár a technikai lehetőségeket sajnos igen nagy mértékben visszavetette. A pótlásról — elvi igenlő határozat mellett — az egyértelmű döntés még várat magára. Ez esetben, ha késéssel is, de a program folytatódhat.

Míg a technikai lehetőségek részbeni pusztulása ismert, addig lényegesen kevesebb szó esik a létrejött vállalat másik, jelentős és ma még szinte sértetlen eleméről, a szellemi erőről. A vállalatnak ezt az arculatát kívánjuk ezúttal bemutatni a Híradástechnika célszámában.

A MEV tevékenysége, részben történelmi okok miatt, részben a gazdaságos működés érdekében

igen sokrétű és a fejlesztési tevékenység természetesen igazodik ehhez a sokrétűséghez.

A félvezető technika, a mikroelektronika nem képzelhető el fejlett méréstechnika, fejlett berendezés háttér, mélyreható vizsgálati háttér nélkül. Ugyanakkor a méréstechnikai fejlesztés és gyártás, a technológiai berendezésgyártás, ennek robotika felé hajló ága ma talán az egyik legérdekesebb felhasználási területe is a születő új alkatrészeknek. Ezek a fejlesztések egyben motorjai az alkatrészfejlesztésnek. Sok nagy vállalat tudatosan épít ki olyan kölcsönhatásokat, melyet a MEV „örökölt".

Ebben a célszámban, és terjedelmi okokból a Híradástechnika következő számaiba tolódott közleményekben igyekeztünk átfogó képet adni a MEV tevékenységéről, mely a mikroelektronikai alkatrészek, — ezen belül félvezető eszközök, hibrid áramkörök és szenzorok — mellett kiterjed a méréstechnikára, mérőautomaták fejlesztésére és gyártására, valamint egyes gépipari termékekre, robotikára.

A célszámban nem lehetett teljes képet adni a félvezető fejlesztés és gyártás egészéről. A bemutatott kép szükségképpen egysíkúbb a valóságnál. A katalógusáramkörökkel kapcsolatos munkák, a diszkrét félvezető fejlesztések nehezebben publikálhatók, ugyanakkor a diszkrét eszközök területén az elmúlt év alatt új technikák sorát emeltük és emeljük gyártási szintre.

A katalógus-áramkörök mellett a MEV széleskörűen foglalkozik semi-custom (berendezésorientált) áramkörök fejlesztésével is.

A félvezető technika mellett, a mikroelektronikai alkatrészek másik, nem kevésbé fontos csoportját a hibrid integrált eszközök képezik. A MEV nagy súlyt helyez a fejlesztés folyamatosságára ezen a területen. Korábbi feladatunknak a szakembergárda színvonalának és technikai lehetőségeinek megfelelően a bonyolultabb, összetettebb munkákat keressük.

A félvezető és a hibrid technika egymásra hatása mind jelentősebb. Fejlesztési munkáinkban kifejezetten keressük ezeket a közösnek mondható területeket, így a hibrid áramkörök legtöbbet „tudó" tagjai e célra tervezett félvezető IC-chipekkel készülnek. A többrétegű hibrid technológia viszont bonyolult, nagy felület- és térfogatnyereséget eredményező tokokat, vagy összeköttetés rendszereket tud biztosítani a félvezető technika részére. Mindkét feladatcsoport fejlesztési munkáink közeljövőben realizálható, hangsúlyozott részét képezi.

Mikroelektronikai alkatrészeink legfiatalabb csoportját az érzékelők alkotják, ezen belül, mind a félvezető, mind a rétegtechnikai megoldások. A nagy energiával végzett fejlesztések egyes eredményei már hozzáférhetőek: a nyomás-, a fény-, a hőmérséklet- és a gázérzékelők. Összefoglaló mutatja be azt a területen folyó fejlesztési és kísérleti gyártási munkát.

A publikációkból, melyek tudatosan konstrukció-irányúak, csak közvetve érzékelhető az a nagy technológiai fejlesztési program, mely a megvalósítás alapját képezi.

A technológiafejlesztési munkákban, valamint az ehhez kapcsolódó vizsgálatokban — elsősorban az anyagszerkezeti vizsgálatoknál — a MEV igen sok kutató intézettel, tanszékkel működik együtt. Ki kell emelnünk a KFKI-val, az MFKI-val a BME intézeteivel és tanszékeivel, a Kandó Főiskolával a mikroelektronikai technológiák és speciális vizsgálatok terén évek óta fennálló eredményes kapcsolatokat.

A kész alkatrészek vizsgálata a technológiai láncnak nélkülözhetetlen és egyre nagyobb szellemi és technikai felkészültséget igénylő eleme. Az e téren folyó nemzetközileg is elismert munkáról szól az egyik publikáció.

A terjedelem adta lehetőségeket figyelembe véve érdemeinél szűkebb anyaggal szerepelnek ebben a célszámban a vállalat tevékenységének mintegy felét kitevő méréstechnikai, gépgyártási és robotikai munkái.

Az integrált áramköri mérőrendszerek fejlesztése és gyártása több mint 15 éve a MEV egyik fontos tevékenységi területe. A fő fejlesztési irányvonal itt értelemszerűen — a monolit áramkörök bonyolultságának növekedéséből adódóan, — az egyre bonyolultabb áramkörök mérése és a mérési sebesség növelése. A bonyolultság növekedése nemcsak a mérés elektromos feltételeit előállító hardware, hanem a működtető software szempontjából is komoly igényeket támaszt.

A közlemények utolsó csoportja a mikroelektronikai alkatrészek technológiájához kapcsolódó, és más területen is alkalmazható berendezések fejlesztésének és gyártásának egyik elemét mutatja be. A félvezető és a hibrid technológiában, a mágneslemezes tárolók gyártásában egyaránt jól alkalmazható Penning-kisüléses katódporlasztó forrás működését, felépítését és félvezető-technológiai alkalmazását mutatja be a közlemény. A porlasztóforrás mágnesterének kialakítása szabadalommal védett.

A célszerszám közleményei útján és azon publikációkkal, melyek terjedelmi okokból a híradástechnika további számaiban jelennek meg, keresztmetszetet kívántunk adni a MEV-nél folyó elsősorban félvezető technikához kapcsolódó, de nem kizárólag alkatrészfejlesztő munkákról. Reméljük sikerült felhívni a figyelmet arra, hogy az ismert minisztertanácsi határozat alapján számottevő mérnöki erőkoncentráció jött létre fiatal vállalatunknál. A célszám — ha csekély mértékben is — de segíthet abban, hogy a szenvedélyes és sok esetben felesleges viták mellett megismerjék egy új vállalat céljait, munkáját és eredményeit.

Mikroelektronikai technológiákkal megvalósítható érzékelők

DR. LIGETI RÓBERTNÉ
DR. KOLTAI MÁRTA
Mikroelektronikai Vállalat

DR. LIGÉTI RÓBERTNÉ

Tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Vegyész Szakán végezte 1966-ban. Azóta a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben, ill. a Mikroelektronikai Vállalatnál dolgozik. Jelenleg az Egyedi Eszköz Főosztály (korábbi nevén Érzékelő Féjlesztési Főosztály) vezetője.

OSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekintést ad a félvezető, vastag-, ill. vékonyréteg technológiai alapon a MEV-ben kifejlesztett és már gyártásban lévő opto-, piezórezisztív-, hő-, és gázérzékelő elemekről, valamint a fejlesztési célkitűzésekről.

Bevezetés

A mikroprocesszorok térhódításával az elektronika egy sor új területre vonult be, nagymértékben hozzájárult az elektronikus szabályzás elterjedéséhez, egyúttal erőteljesen megnövelte a korszerű érzékelők iránti igényt. 1986-ban az USA évi mérőátalakító értékesítése optoérzékelők nélkül közel 1,1 Md $, optoérzékelőkkel együtt 1,3 Md $ volt [1]. Ez megközelíti a diszkrét félvezetők értékesítését és a félvezető alapú integrált áramköri forgalom 14%-át teszi ki. 1986-ban, 85-höz képest 11%-os növekedés következett be, illetve 87-re 11%-ot prognosztizálnak. 1984—85 között igen jelentős ugrás mutatkozott, az érzékelők értékesítésének növekedése 50% volt [1, 2].

Ezek az adatok áramlás- folyadékszint-, elmozdulás-, nyomás-, hőmérséklet- (kivéve termopár és termisztor), valamint rezgés-érzékelőkre vonatkoznak. A mérőátalakítók összértékének 42—43%-át a nyomásérzékelők teszik ki, a legdinamikusabb, évi 15% növekedés mellett.

A kémiai érzékelők területéről példaként említjük a japán Figaró Eng. Inc.-t, mely 1968-ban hozta forgalomba gázszivárgás érzékelőit, azóta ezekből 12 millió darabot értékesített, jelenlegi éves gyártása 4,5 millió darab. A felhasználók, gyártók, fejlesztők célkitűzése egységesen: olcsó, pontos, specifikus, megbízható, karbantartást nem igénylő, kisméretű, könnyű, mikroprocesszoros-kompatibilis érzékelő. Ugyancsak fontos szempont az intelligens, a multifunkcionális, jelfeldolgozással könnyen illeszthető érzékelők megvalósításának lehetősége, tömeggyártásra alkalmas technológiai bázison. Ez utóbbi az egyre nagyobb mennyiségi igények viszonylag nem túl költséges kielégítése miatt szükséges.

Mindezen szempontok alapján a szenzorgyártás kulcstechnológiáinak [3] az alábbiakat tekintjük:

— szilícium technológia (félvezető alapú IC technológiák)
— vékonyréteg technológia
— vastagréteg technológia
— fólia technológia
— szinter technológia
— üvegszálas technológia.

A megfelelő technológia kiválasztását általában az érzékelési feladat, a megkívánt érzékelő tulajdonságok, a szükséges beruházás, gyártás költsége, valamint a várható gyártási mennyiségek szabják meg [3].

A Mikroelektronikai Vállalatnál a szilícium, továbbá a vastag- és vékonyréteg technológia áramköri, illetve diszkrét eszközök céljára hosszú évek óta művelt technológiák. Ezek kellő alapot szolgáltattak a később elindított szenzorfejlesztési programhoz, egyúttal meghatározták a fejlesztendő irányokat is.

Az alábbiakban rövid áttekintést adunk a legelterjedtebben alkalmazott érzékelő típusokról, a Mikroelektronikai Vállalatnál gyártott, fejlesztés alatt álló, illetve fejlesztési célkitűzésben szereplő érzékelőkről.

1. Főbb érzékelő típusok:

Az alábbiakban csak a leggyakrabban mért fizikai, kémiai alapmennyiségekről és mérési elvekről adunk vázlatos ismertetést, hiszen ezek részletes tárgyalása jóval meghaladja egy cikk lehetőségeit. A leggyakrabban mért mennyiségek:

— hőmérséklet
— mechanikai jellegű mennyiségek (nyomás, erő, gyorsulás, rezgés stb.)
— optikai jellegű mennyiségek (fényerősség, szín stb.)
— geometriai jellegű mennyiségek (lineáris méretek, szögértékek stb.)
— kémiai jellegű mennyiségek (gázösszetétel, pH-érték stb.)

Hőmérséklet érzékelők

A legelterjedtebben alkalmazott érzékelők. Az alkalmazott mérési elv is igen változatos:

— fémellenállás hőfokfüggése
— félvezető ellenállás hőfokfüggése

Beérkezett: 1987. I. 16.

DR. KOLTAI MÁRTA

1968-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen vegyészmérnöki, majd 1981-ben korróziós szakmérnöki diplomát szerzett. 1958 óta a HIKI, majd jogutódja a Mikroelektronikai Vállalat dolgozója. Fő munkaterülete a hibrid integrált áramkörök területén a vékonyrétegekkel kapcsolatos kutatás, fejlesztés és gyártás, valamint a vastag- és vékonyréteg technológiákkal megvalósítható érzékelők fejlesztése. Műszaki doktori értekezésének témája a porlasztott vékonyrétegek különböző villamos és anyagszerkezeti összefüggéseinek vizsgálata volt.

— termisztorok (hőfokfüggő félvezető, fémoxidok, vegyületek)
— félvezető terjedési ellenállás hőfokfüggése
— infrasugárzásra érzékeny ötvözetek ellenállás változása
— infrasugárzásra érzékeny p—n átmenet karakterisztika változása
— félvezető p—n átmenet hőfokfüggése/dióda, tranzisztor)
— termoelektromos effektus
— piroelektromos effektus
— piezoelektromos effektus hőfokfüggése
— fénymoduláció üvegszállal

Emellett adott hőfokon történő kapcsolásra alkalmasak a szigetelő-vezető átmenetnél éles vezetőképesség-ugrással jelző eszközök [4], csak detektálásra pedig a folyadékkristályos hőmérők.

A felsorolt eszközféleségek mindegyike megvalósítható a mikroelektronikai technológiák (félvezető, vastag-, vékonyréteg) valamelyikével.

Vállalatunknál a fémrétegellenállás, a terjedési ellenállás, a p-n átmenet hőfokfüggésén alapuló, illetve infrasugárzásra érzékeny félvezető hőérzékelők fejlesztésével és gyártásával foglalkozunk. E négyféle érzékelővel várhatóan a —50 °C.... 1000—1200 °C-ra terjedő sáv lesz lefedhető.

Elektromechanikus átalakítók

Az érzékelők érték szerinti piaci forgalmának mintegy 40%-át az elektromechanikus érzékelőkhöz tartozó nyomásérzékelők teszik ki. Az elektromechanikus érzékelők mindegyikében tulajdonképpen erő hatására deformáció és mechanikai feszültség ébred, melynek hatására

— elektromos ellenállás—,
— feszültség—,
— kapacitás—,
— mágneses anizotrópia—,
— p-n átmenet karakterisztika—,
— drain-source áramváltozás
— fénymoduláció következik be.

Ennek megfelelően
— piezorezisztív,
— piezoelektromos,
— kapacitív,
— magnetostrikciós,
— deformáció érzékeny p—n átmenetűfélvezető
— MOSFET,
— üvegszálas érzékelőről beszélünk.

A felsorolt típusok mindegyike előállítható félvezető és/vagy vékony, illetve vastagréteg technológiával. Vállalatunknál a félvezető alapú piezorezisztív érzékelő és nyúlásmérő bélyeg fejlesztése és kísérleti gyártása folyik.

Optikai érzékelők

A fényintenzitás és hullámhossz mérésére a korszerű technológiákon alapuló eszközök közül gyakorlatilag csak a félvezetők terjedtek el. Legfontosabb alaptípusok a fényelemek, fotodiódák, fototranzisztorok, illetve félvezető ellenállások. Az üvegszálas érzékelők tekintélyes hányadánál is a tényleges érzékelési funkciót ezek az eszközök látják el [5]. Az utóbbi években rohamosan terjedtek az alak-, képfelismerő érzékelők, a CCD eszközök. Igen nagy jelentőségük van az automatizálás, robotika területén.

Vállalatunknál fényelemek, fototranzisztorok gyártása folyik, illetve színérzékelők kifejlesztése van folyamatban.

Geometriai mennyiségek érzékelői

Az automatizálás és robotika igen jelentős igényeket támasztott az elmozdulást, elfordulást, helyzetet, fordulatszámot, hosszt, sebességet, forgási sebességet érzékelő eszközök irányában.
E feladatokra elterjedten alkalmazzák a

— kódadókat (szög és lineáris),
— félvezető alapú analóg helyzetérzékelőket,
— ultrahang,
— mágneses,
— potenciometrikus ós
— üvegszálas érzékelőket.

Vállalatunk ezek közül inkrementális kódadó és analóg helyzetérzékelő fejlesztésével, illetve mágneses elvű közelítés érzékelő gyártásával foglalkozik.

Kémiai érzékelők

Ezen érzékelőknek különös jelentősége van a környezetvédelmi, biztonságtechnikai, energiatakarékossági feladatok megoldásában. A korszerű technológia és tudomány ugyancsak igényli a kémiai környezet komponenseinek gyors és pontos meghatározását. Az utóbbi területen ma még a hagyományos analitikai eszközök uralják a piacot, azonban világszerte intenzív kutatómunka folyik a különböző, már forgalomban lévő érzékelők szelektivitásának, érzékenységének, öregedési tulajdonságainak javítására, valamint új anyagok, eljárások kidolgozására [6].

A kémiai érzékelők családjába tartoznak:

— gáz-,
— nedvesség-,
— ionszelektív-,
— bio-érzékelők.

A mikroelektronikai technológiákkal megvalósítható érzékelő elem általában különleges tulajdonságokkal rendelkező passzív vagy aktív elektronikai alkatrész, pl. ellenállás, kondenzátor, dióda, tranzisztor, de lehet pl. ionvezető szilárd elektrolitot tartalmazó Nernst cella is (szelektív oxigén érzékelő). A ma legelterjedtebben alkalmazott kémiai érzékelőkről — a gázérzékelőkről — kitűnő összefoglalót ad Kékedi [7]. A MEV a konduktometriás mérési elvű gázérzékelők kísérleti gyártását megkezdte, a kapacitív működési elvű nedvességérzékelő kísérleti gyártásának beindítása 1987 végére várható.

2. A MEV-ben gyártott, illetve fejlesztett érzékelők

2.1 *Félvezető érzékelők*

2.1.1 Hőmérséklet érzékelők

Terjedési ellenállás elven működő hőmérséklet-érzékelő

Működése a Si egykristály ellenállásának hőfokfüggésén alapszik. Kis átmérőjű kontaktus körül homogén adalékolású szeleten létrejött vezetési tér „terjedési ellenállását" hasznosítja. Jelenleg kétféle kivitelben (TO—18 tokozásban és egy speciálisan szerelt kisméretű, gyorsabb válaszidejű változatban) áll rendelkezésre. Fejlesztés alatt áll SOT—32 tokozási formában szerelve is. (Ez egyszerű csavaros rögzítési lehetőséget és gyors válaszidőt biztosít.)

Az érzékelők 25 °C-on mórt alapértéke 1000 Ohm, hőmérsékleti együtthatója (TK) a hőmérséklet növekedésével növekszik. A szokásos TK kifejezés helyett megfelelőbb az alábbi formula [8]:

$$R_T = R_0\left(\frac{T}{T_0}\right)^m$$

ahol R_T = ellenállásérték a mérendő hőfokon
R_0 = ellenállás értéke 298 K-en
m értéke: $2{,}21 \pm 0{,}03$

Ez a szórásérték azt jelenti, hogy hitelesített alapérték esetén a hőmérés hibája:

—15 °C-on	±0,6 °C
0 °C-on	±0,3 °C
50 °C-on	±0,3 °C
100 °C-on	±1,0 °C

Ismert m érték mellett a hőérzékelő tized °C pontosságú mérésre is alkalmas.

P-n átmenet hőfokfüggésén alapuló hőmérséklet érzékelő

A hőmérsékletérzékelő állandó kollektoráram mellett az U_{BE} hőfokfüggését hasznosítja. A hőérzékelő ±0,5% linearitású, —50....125 °C működési hőmérséklettartományban használható eszköz. Csereszabatosságát egy sorbakötött, egyedileg beállított vastagróteg ellenállás biztosítja.

2.1.2 Piezorezisztiv elven működő érzékelők

Működésük azon alapszik, hogy a szilícium egykristály membránján diffúzióval létrehozott ellenállások fajlagos értéke mechanikai feszültség hatására megváltozik. A mechanikai feszültséget okozhatja nyomás, erő, illetve M tömegre ható gyorsulás. Eszerint nyomás, erő-, súly-, illetve gyorsulásérzékelőkről beszélünk.

Nyomásérzékelők

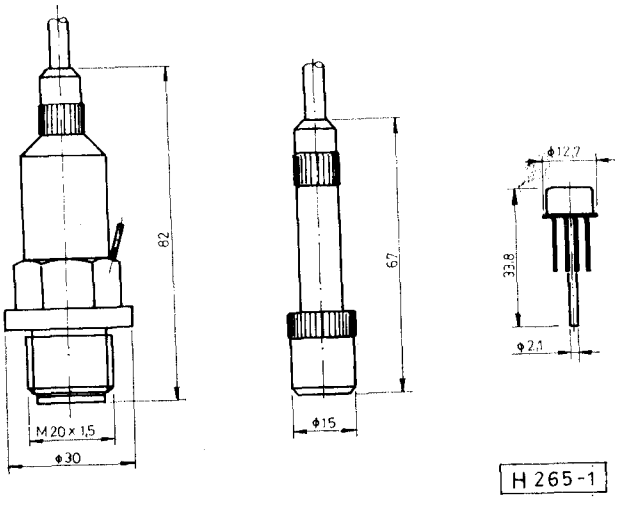
A nyomást olyan szilícium membrán érzékeli, melyen az ellenállások Wheatstone híd elrendezésben helyezkednek el. A membrán elvékonyított felülete és az ellenállások egymáshoz viszonyított elrendezése nagy nyomásérzékenységet és jó linearitást biztosít. A szelettechnológia a p—n átmenetek adott mélységével és megfelelő profil kialakításával biztosítja a viszonylag alacsony hőfokfüggést, mely külső kompenzáló tagok segítségével jobb, mint ±0,1% FSO/°C és eléri a 0,02% FSO/°C-t.

A nyomásérzékelők működési hőfoktartománya —50....+80 °C, kompenzált hőfoktartománya —50....+60 °C [9, 10].

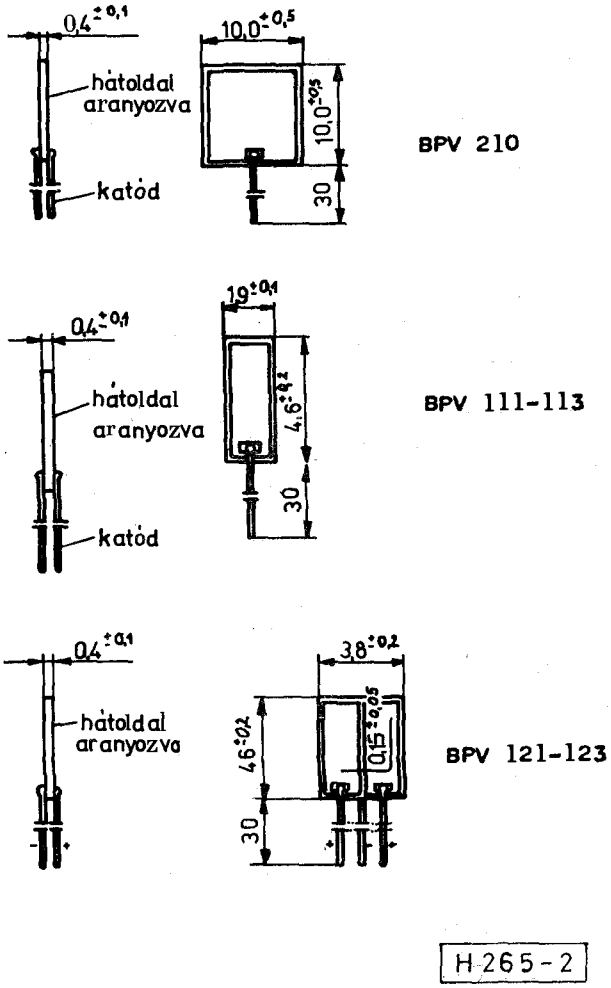
Fejlesztés, illetve továbbfejlesztés alatt állnak az 1. sz. ábrán látható kiviteli formákban. Felhasználási területük: folyadékok és gázok nyomásának és nyomáskülönbségének érzékelése mellett egyéb jellemzők, pl. áramló mennyiségek mérése. Az átfogott nyomástartomány: 1.....400 bar.

Gyorsulásérzékelők

Működésük azon alapszik, hogy a Si membránra rögzített határozott értékű tömegre ható gyorsulással arányos erő mechanikai feszültséget ébreszt a Si membránban. Egytengelyű változatot fejlesztettünk ki, 1—500 g tartományban alkalmasak gyorsulás érzékelésre. Rezonancia frekvenciájuk (néhány kHz a tokozási változattól függően) 20 százalékáig gyakorlatilag frekvenciafüggetlenek, a gyorsulás értékének növekedtével lineárisan növekvő jelet adnak ki.



1. ábra. Nyomásérzékelő tokozási formák

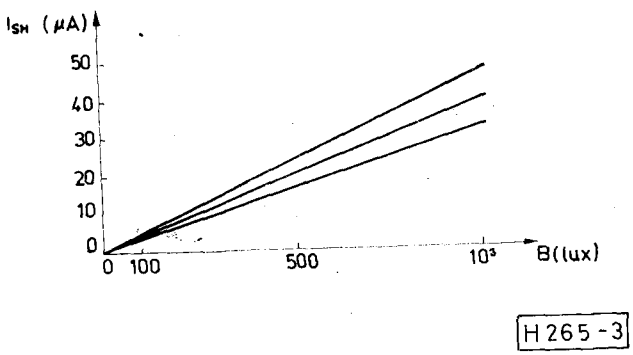


2. ábra. Fényelemek

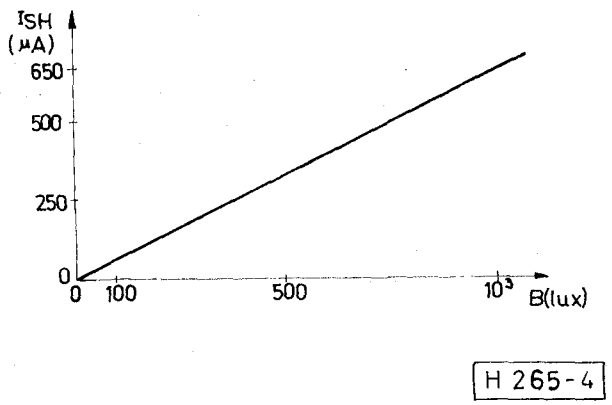
2.1.3 Optoérzékelők

Fényelemek

Működésük azon alapszik, hogy a p—n átmenethez érkező fotonok (amennyiben energiájuk nagyobb, mint a Si tiltott sávszélessége) elektron—lyuk párt gerjesztenek. A keletkezett töltéshordozók a kiürített réteg két oldalán összegyűlnek. Így a p—n átmeneten feszültség mérhető, illetve az áramkört zárva fotoáram indul meg. Rövidzárban az áram (rövidzárási áram) nagysága adott megvilágítás esetén a felülettel arányos, adott felületű fényelem esetén pedig a megvilágítás intenzitásával áll egyenes arányban. A 3. sz. ábra kisfelületű (7 mm²), a 4. sz. ábra nagyfelületű (100 mm²) fényelem rövidzárási áramát ábrázolja a megvilágítás függvényében. Üresjárási feszültségük 260—280 mV. A fényelemek érzékenységi spektruma 420—1020 nm közé esik (a max. érzékenység hullámhossza kb. 850 nm), így jól illeszkednek a GaAs alapú fénykibocsátó eszközökhöz. Működési frekvenciahatáruk üresjárási üzemmódban: 10 kHz.
rövidzárási üzemmódban: 100 kHz.
A fényelemek felhasználási területei: helyzet-, elmozdulásérzékelés, kis fényintenzitások érzékelése. A robottechnikában elterjedten alkalmazzák kódtárcsa elfordulásának érzékelésére.



3. ábra. Kisfelületű fényelem rövidzárási árama a megvilágítás függvényében



4. ábra. Nagyfelületű fényelem rövidzárási árama a megvilágítás függvényében

Fototranzisztorok

A BPT 131 típus a TEXAS TIL 99, illetve a Telefunken BPT 13 típusának, a BPT 141 típus a TEXAS TIL 81, ill. a Telefunken BPT 14 fototranzisztorának felel meg.

Mindkét fototranzisztor azonos chip, TO—18 típusú tokba szerelve. A BPT 131 síküveggel, a BPT 141 üveglencsés sapkával van ellátva, melynek fókusza a chip felületére esik. Ennek megfelelően érzékenysége jóval nagyobb, mintegy négyszerese a BPT 131-hez viszonyítva.

A BPT 131 optikai látószöge ±45°, a BPT 141 optikai látószöge ±15°.

Spektrális érzékenységük a fényelemekhez hasonlóan jól illeszkedik a GaAs fénykibocsátó diódákhoz. Működési frekvenciájuk fototranzisztorként kapcsolva: kb. 100 kHz, fotodiódaként kapcsolva: kb. 2 MHz. Felhasználási területük: lyukszalag és lyukkártya olvasókban, sebesség és fordulatszám mérőkben, infratávkapcsoló érzékelőjeként stb. [11].

Színérzékelő

Fejlesztés alatt álló érzékelő. Működése azon alapszik, hogy a fény behatolási mélysége a szilíciumban erősen hullámhossz függő, így adott

p—n átmenet-mélységek adott hullámhossztartomány érzékelését teszik lehetővé. Kétféle változat kifejlesztését tervezzük, egyrészt a látható hullámhossz[1] tartományra, másrészt magas hőmérsékleten (színhőmérsékletek) mérésére.

2.2 Vékonyréteg érzékelő

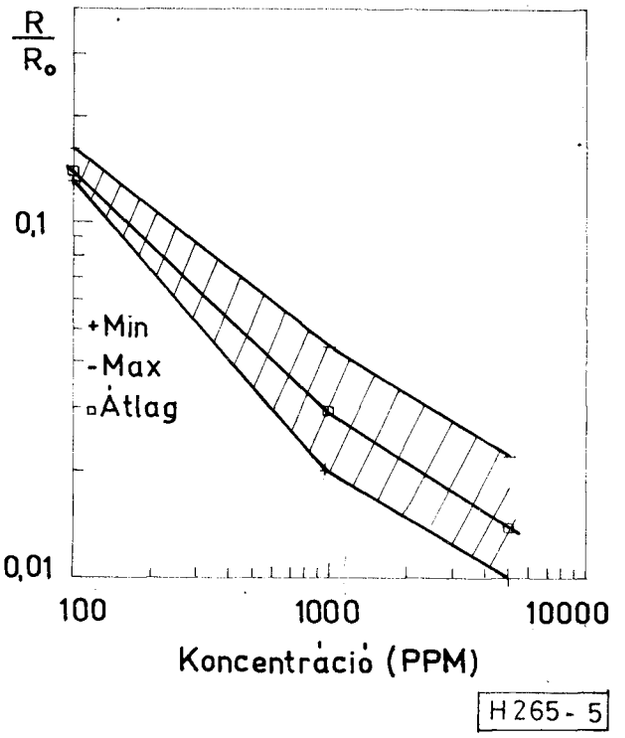
2.2.1 Platina ellenállás-hőérzékelő

Fejlesztés alatt álló érzékelő. A fejlesztés célja a Pt 100 hőérzékelő megvalósítása.

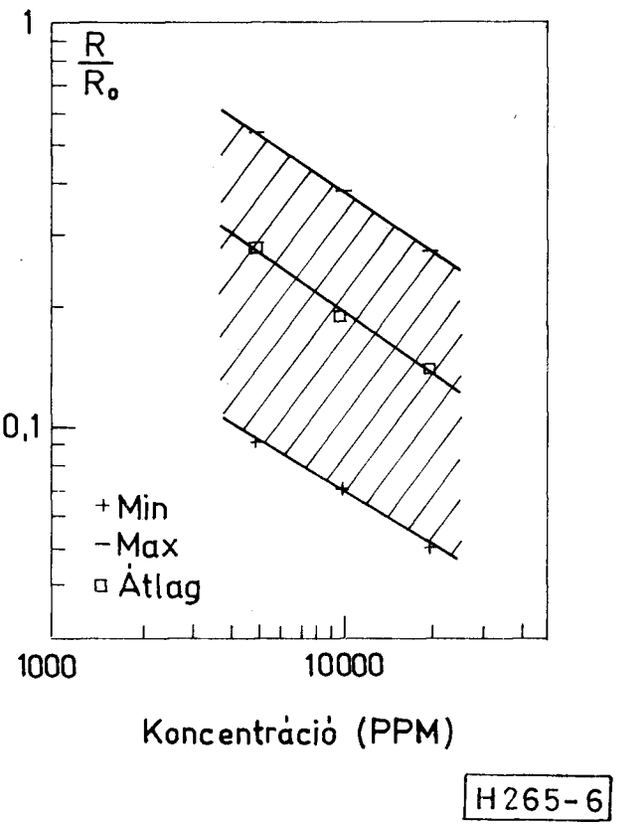
2.3 Vastagréteg érzékelő

Gázérzékelő

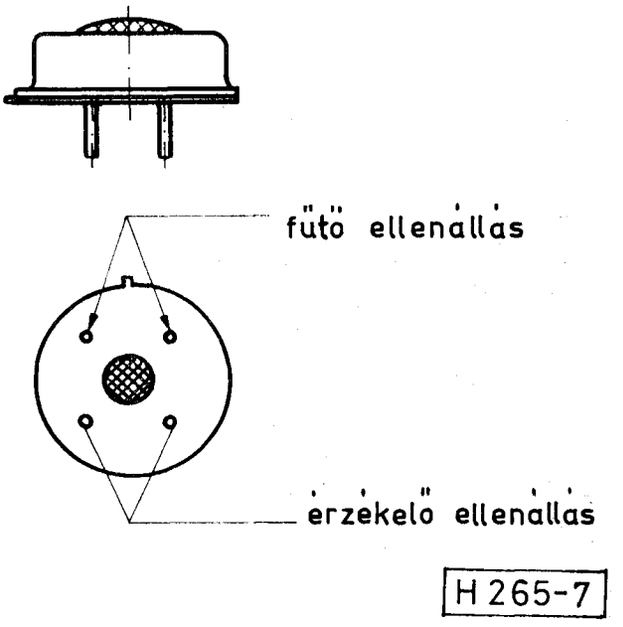
Félvezető oxid alapanyagból készül vastagréteg technológiával. Működése felületi adszorpció-deszorpció következtében előálló vezetőképesség változáson alapul. Lényegében olyan ellenállás, amelynek a vezetőképessége nagymértékben megnövekszik a tiszta levegőn mért értékhez képest redukáló, illetve éghető gázok, vagy szerves oldószergőzök jelenlétében. Az 5. sz. ábra a HSGM-ol típusjelű érzékelő jelleggörbéjét mutatja etilalkohol jelenlétében, a HSGM—05 jelleggörbéje butánra a 6. sz. ábrán látható. A jelleggörbék a relatív ellenállásváltozást adják meg a koncentráció függvényében. A viszonylag gyors beállási idő érdekében (adszorpciós-deszorpciós folyamatok sebességének növelése) az érzékelőt 200—300 °C-on kell üzemeltetni. Ezt az érzékelő-fejbe épített speciális ellenállásfűtés biztosítja. A TO—8-as tokban elhelyezett érzékelő kiviteli formáját a



5. ábra. HSGM—01 típusú érzékelő jelleggörbéje etilalkohol jelenlétében



6. ábra. A HSGM—05 típusú érzékelő jelleggörbéje bután jelenlétében



7. ábra. HSGM típusú gázérzékelő

7. sz. ábra mutatja. Az érzékelő fej négy kivezetéssel rendelkezik, melyekből kettő az érzékelő ellenálláshoz, kettő a fűtőellenálláshoz tartozik. Jellemző adatok:

Fűtőfeszültség:	5 V
Felfűtési idő:	2 perc
Beállási idő:	1—5 sec.
Visszaállási idő:	1—5 perc
Állandósulási idő:	7 nap

Az oxidérzékelők szelektivitása csekély, ezért laboratóriumi és gázanalitikai mérésekre nem ajánlható. Kiválóan alkalmas azonban gázszivárgás detektálására, alkoholszondaként, automatikus szellőztetésszabályozásra oldószerekkel dolgozó üzemekben, valamint füstérzékelőként tűzjelzésre.

A gázérzékelők szelektivitásának növelése, illetve szelektív gázérzékelők kifejlesztése a MEV fejlesztési célkitűzése. Ezen érzékelők működési elve eltér az előbbiekben vázoltakhoz képest. A potenciometrikus elven működő, ionvezető szilárd elektrolitot tartalmazó szelektív oxigénérzékelő fejlesztési munkái 1986-ban megkezdődtek, a kísérleti gyártás beindítása 1988-ra várható.

A MEV fejleszti az érzékelőkhöz szükséges elektronikát is, részint műszerkivitelben, részint folyamatszabályozásra alkalmas jeladó formában. Ezek első típusa — az elektronikus alkoholszonda — kísérleti gyártási termékként már kapható.

IRODALOM

[1] Electronics, Jan. 1987. p. 51.
[2] Electronics, Jan. 1986. p. 40.
[3] *G. Tschulena, M. Selders,* Key Technologies for Sensor Manufacture. Conf. Proc. of Sensors' 82. 1982
[4] *D. K. Pondya:* Thin Solid Films. Sept. 1978. p. 81.
[5] *B. E. Jones:* Optical Point Sensors Using Incoherent Light and Multimode Fibre Links, Conf. Proc. of Capteurs 84 Paris p. 150.
[6] Proc. 2nd International Meeting on Chemical Sensors July 7—10 1986. Bordeaux, France.
[7] *Kékedi L.:* A kémia újabb eredményei 56. Gázszenzorok Akadémiai Kiadó Budapest, 1983.
[8] *Dr. Pásztor Gy., Berkecz J., Forrai M.:* Szilícium ellenállás hőmérő. Magyar Elektronika II. 4. sz. 1985. 24—27 old.
[9] *I. Bársony, E. Háhn:* Silicon pressure transducers 1982. Kecskemét, Mikroelektronikai Konferencia.
[10] *I. Bársony, Gy. Erlaky, E. Hahn:* Herstellung von Sensoren durch mikroelektronische Technologie ERAM'83, Lipcse 1983. nov.
[11] Texas Optoelektronikai receptek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

A MEV Penning-kisüléses katódporlasztó forrásai (PENTRON)

DR. VÁGÓ GYÖRGY, KERTÉSZ GÁBOR
BACKHAUSZ LÁSZLÓ, SZAKÁLY ISTVÁN
GLASER PÉTER
Mikroelektronikai Vállalat

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a katódporlasztásnak a Penning-kisülésen alapuló változásával foglalkozik, amelyet a szakirodalomban magnetronos porlasztásnak is neveznek. Az első rész a Penning-porlasztás működési elvét és a mikroelektronikában betöltött szerepét mutatja be. A második rész a MEV PENTRON katódporlasztó forrásait ismerteti, kitérve a segédmágnesekkel kiegészített mágneses elrendezés előnyeire. A befejező rész néhány kész technológiát, valamint több további alkalmazási lehetőséget mutat be.

DR. VÁGÓ GYÖRGY

1956-ban fejezte be tanulmányait az ELTE fizikus szakán. Fő szakterülete a különböző vékonyréteg-technológiai berendezések fejlesztése. Jelenleg a MEV Vákumtechnikai Féjlesztési Osztályának vezetője. Több közlemény szerzője. A műszaki tudomány kandidátusa.

1. Bevezetés: A Penning-porlasztás szerepe a mikroelektronikában

A félvezetőeszközök gyártásának fontos fázisa a szilíciumszeleteken kialakított áramköri elemeket egymással és az áramkör kivezetéseivel (tappancsokkal) összekötő fémhálózat létrehozása. Ez a művelet általában két részből áll: a szelet teljes felületének fémezéséből és a felesleges részek fotolitográfiai úton történő eltávolításával a vezetékhálózat elkészítéséből. A Penning-porlasztás a szeletek fémezésére igen előnyösen alkalmazható vékonyréteg-készítési módszer.

A fémezésre korábban tiszta alumíniumot használtak, melyet vákuumpárologtatással juttattak a szeletekre, elektronsugaras forrásból. (A volfrámcsónakból történő párologtatás erre a célra azért nem alkalmas, mert az olvadt alumínium kioldaná a volfrámhoz — annak gyártásakor — adalékolt nátriumot, amely a fémrétegbe kerülve tönkretenné a MOS eszközöket.)

Az áramköri elemek méreteinek csökkenésével új követelmények merültek fel a fémréteg anyagával szemben, ezért az alumíniumrétegnek bizonyos ötvözőket kell tartalmaznia: egyrészt szilíciumot, megakadályozandó az alumínium és a szilícium egymásba diffundálását, valamint rezet, amely az alumíniumvezetékekben a nagyobb áramsűrűség miatt fellépő hiba, az ún. elektromigráció kialakulását gátolja.

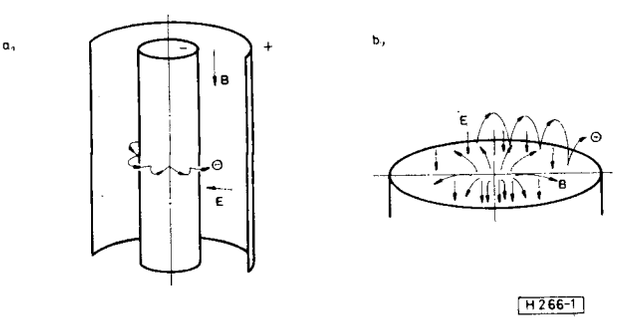
A háromkomponensű ötvözetrétegek előállítása párologtatással igen bonyolult, nehezen szabályozható. Katódporlasztással — melynél a katód ionbombázás hatására porlódik, s az így eltávozó atomok hozzák létre a bevonatot — ötvözetrétegek is kényelmesen készíthetők, viszont a gázkisülésből származó nagyenergiájú (1—2 keV) töltéshordozók a MOS eszközöket károsítják. Ezt az ellentmondást oldja fel a Penningporlasztás alkalmazása: a mágneses tér miatt a gázkisülés kis térrészre korlátozódik, így a bevonandó szeleteket lényegében nem érik töltéshordozók.

Beérkezett: 1986. XII. 3.

2. A Penning-porlasztás elve

A Penning-kisülés létrejöttében igen fontos szerepet játszik az egyidejű, egymásra merőleges villamos és mágneses tér [1]. Mint ismeretes, egymásra merőleges, homogén villamos és mágneses tér jelenlétében a töltéshordozók cikloispályán mozognak, amely mozgás egy haladó és egy körmozgás eredőjeként fogható fel [2]. A haladó mozgás iránya merőleges mind a villamos, mind a mágneses tér irányára.

A villamos és mágneses tér megfelelő kialakításával elérhető, hogy a haladó mozgás pályája lényegében önmagában záródjon, azaz az elektronok ún. csapda pályákon mozogjanak. (Az ionok nagyobb tömege miatt az ionok mozgását nem befolyásolja lényegesen a mágneses tér.) Két ilyen elrendezés látható az 1. ábrán. Ez a kialakítás a következőképpen módosítja a gázkisülés működését: A katódról vagy közvetlen közeléből induló elektronok a cikloispálya miatt jóval hosszabb utat tesznek meg, amíg elérik az anódot, ezért átlagosan több ütközésben vesznek részt. Így — bár nem minden ütközés jár ionizációval — az egy elektron által keltett ionok — átlagos — száma sokkal nagyobb, mint mágnestér alkalmazása



1. ábra. A Penning-kisülés elve: elektronok mozgása speciális elektromágneses térben. *a)* hengeres, *b)* sík katód esetén

nélkül (ugyanakkora anódfeszültség és gáznyomás mellett), mert mágneses tér hiányában az elektronok akár egyetlen ütközés nélkül is eljuthatnak az anódra. A nagy ionizációs valószínűség miatt a gázkisülés tulajdonságai sok tekintetben különböznek a ködfénykisülés sajátosságaitól:

— a kisülés létrejöttéhez szükséges gáznyomás sokkal kisebb (kb. egytizede), mint a ködfénykisülésnél;

— a gázkisülés kis térrészre korlátozódik, csak ott alakul ki, ahol a villamos és a mágneses tér elegendően nagy és közel merőleges egymásra, így a kisülés általában a katód felületének közelében lokalizálódik;

— a töltéshordozó-koncentráció nagyobb, emiatt kisebb az anódesés;

— viszonylag kis feszültséggel (néhányszáz volt) igen nagy áram (többször 10 A) tartható fenn;

— nagyobb áramsűrűség és teljesítmény érhető el;

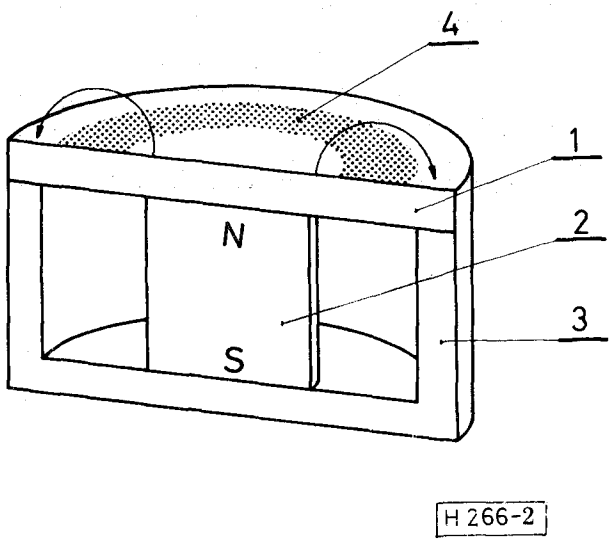
— a kisülés jól szabályozható, villamos karakterisztikája kedvező:

$$I = c \cdot U^n$$

ahol I az *áram*, U a *feszültség*, c és n állandók, n nagyobb egynél.

Ezek a sajátosságok általában előnyként jelentkeznek, amikor a Penning-kisülést katódporlasztásos vékonyrétegkészítésre alkalmazzák: alacsonyabb gáznyomáson kisebb a maradékgázbeépülés; a lokalizált gázkisülés miatt a bevonandó szubsztrátumokat nem érik töltéshordozók; a villamos hatásfok kedvezőbb; nagyobb a teljesítmény, ezáltal nagyobb rétegépülési sebesség érhető el; a folyamat jól szabályozható, viszonylag egyszerű felépítésű villamos tápegység alkalmazható.

További előnye a Penning-porlasztásnak, hogy — mint a katódporlasztásnál általában — nagyfrekvenciás táplálás is alkalmazható, így szigetelőanyagok is porlaszthatók, valamint mivel — ellentétben a vákuumpárologtatással — a porlódáshoz nem szükséges a katód felmelegítése, ezért hőre érzékeny anyagokra is készíthető bevonat, ezen kívül ötvözetrétegek készítése is egyszerű.



2. ábra. Sík katóddal működő Penning-katódporlasztó forrás sematikus rajza. 1 — target (katód); 2 — mágnes; 3 — pólus; 4 — plazma

Penning-porlasztásra az 1.b) ábrán látható, sík katóddal működő elrendezést használják gyakrabban, ennek vázlatos kialakítását a 2. ábra mutatja. A porlasztandó anyagból készült katód, az ún. target alatt helyezkedik el a mágneskör, melyben általában állandó mágnesek gerjesztik a mágneses teret. A hengerszimmetrikus kialakításon kívül négyszögletes vagy egyéb alakú elrendezés is lehetséges.

A porlasztási folyamat alatt a target hűtést igényel, mert a katódot bombázó ionok (melyek a teljes áram felét szállítják és gyorsító feszültségük a teljes feszültség 90%-a) energiája nagyrészt hővé alakul, a porlódással eltávozó atomok az energia igen kis részét viszik el. A kellő hűtés biztosítására különböző megoldások terjedtek el, így pl. közvetlen hűtésnél a target hátoldala érintkezik a hűtővízzel, míg közvetett hűtés esetén a targetet vízhűtés tömbhöz rögzítik úgy, hogy a kettő között a hőátadás megfelelő legyen.

A Penning-porlasztók kialakításakor gondoskodni kell a katód villamos szigeteléséről is. Anódként általában a katódporlasztó forrás külső burkolata, vagy a vákuumkamra fala szerepel, egyes esetekben külön anódot is alkalmaznak, amely pl. a tárcsa alakú target központi furatában helyezkedik el.

A Penning-katódporlasztók alacsony nyomású gázban működnek, ezért a vákuumtömörséget is biztosítani kell. A porlasztóforrások működésének és konstrukciójának részletesebb leírását ld. [3], [4], [5].

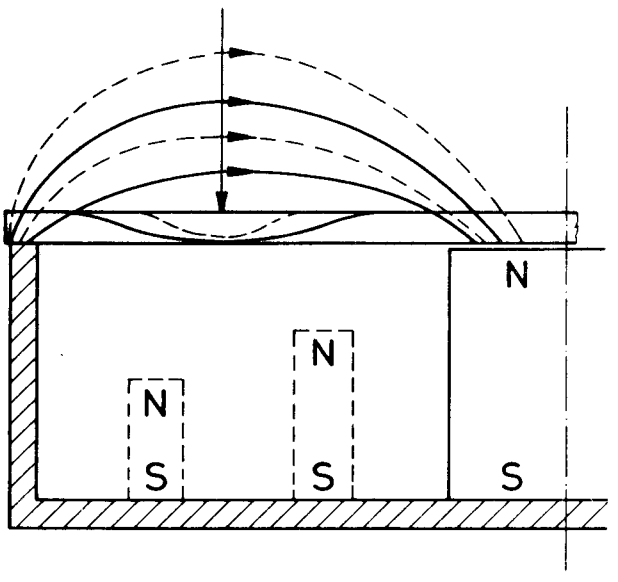
3. A MEV PENTRON katódporlasztó forrásai

Mágneses elrendezés

A **PENTRON** katódporlasztókban a mágneses teret SmCo ötvözetből készült állandó mágnesek keltik. A mágneskörben a főmágnes mellett segédmágnesek is vannak ((szabadalmaztatott megoldás [6]), ennek a különleges elrendezésnek köszönhető, hogy mind a működési tulajdonságok, mind a gazdaságossági jellemzők jobbak a szokásosnál. Ez az alábbiakkal magyarázható (3. ábra):

A Penning-kisülés feltételei ott a legjobbak, ahol a villamos és a mágneses tér merőleges egymásra, azaz — mivel a katód közelében a villamos tér merőleges a katód felületére, mert a felette elhelyezkedő plazma ekvipotenciális, virtuális anódnak tekinthető — ahol a mágneses tér a target felületével párhuzamos. Segédmágnesek nélkül ez a feltétel csak egy szűk tartományban teljesül, ezért a gázkisülés és ezzel együtt a porlódás is csak vékony körgyűrű mentén megy végbe, emiatt a kopási profil igen keskeny. A segédmágnesekkel a mágneses tér úgy módosítható, hogy szélesebb tartományban legyen közel párhuzamos a target felülete és a mágneses tér iránya, így jóval szélesebb kopási profil keletkezik.

A különlegesen széles porlódási zóna az alábbi előnyökkel jár:



3. ábra. A mágneses tér ós a kopási profil segédmágnesek nélkül (szaggatott) és segédmágnesekkel (folytonos vonal)

— a *targetkihasználás* jóval nagyobb a szokásosnál, eléri a 60%-ot, azaz a target anyagának több, mint a fele elporlasztható, mire a kopási zóna mélysége eléri a target vastagságát.

— kiváló a *lépcsőfedés*, ami különösen a mikroelektronikai alkalmazásoknál lényeges;

— az előállított vékonyrétegek *vastagságeloszlása* kedvező, így egyenletes bevonat készíthető viszonylag nagyméretű tárgyakra is, azok — rétegkészítés közbeni — mozgatása nélkül.

A PENTRON katódporlasztók konstrukciója

A PENTRON katódporlasztók vázlatos felépítése a 4. ábrán látható. A target — típustól függően — kerek vagy négyszögletes alakú.

A target hűtése az összes típusnál közvetett (azaz a target a vízzel hűtött tömbbel érintkezve adja le az ionbombázás keltette hőt), viszont a target rögzítésének módja szerint három csoportba sorolhatók a típusok. Kisméretű porlasztóforrásoknál a targetet a pereménél szorítja a hűtőtömbhöz a csavarokkal rögzített leszorító gyűrű. Néhány típusnál a targetet központi leszorítócsavar rögzíti a hűtőhöz és a jó hűtést az biztosítja, hogy a target a hőtágulás miatt a hűtőtömbben lévő mélyedés oldalához szorul. A nagyméretű típusoknál a targetet lágyforrasztással kötik a hűtőtömbhöz.

A hűtőtömb alatt helyezkednek el a mágnesek.

A katódporlasztó források tetszőleges helyzetben (alulra, felülre, oldalt) szerelhetők a vákuumrendszerbe. A kamra belsejében működő források szinte minden meglévő vákuumrendszerbe beépíthetők, a kisebb típusok (MC—2, MC—5) egyetlen ∅25 mm furatba szerelhetők, melyben a forrás rögzítőcsonkja egyben áram- és vízbevezetőként is szolgál, míg az M—10 típus beszereléséhez csak áram- és vízbevezetőkre van szükség.

A kamrafalra szerelhető változatoknál a target a kamrafal megfelelően kialakított nyílásában helyezkedik el, míg a forrás többi része, a csatlakozások kívül vannak. Így jobb a helykihasználás, könnyebb a karbantartás. (Ilyen típust ábrázol a 4. ábra.) Szintén kamrafalra, Conflat csatlakozóra szerelhető az MC—5U típus, amely kifűthető, így ultra-nagyvákuumrendszerekben is alkalmazható.

A PENTRON katódporlasztók legfontosabb jellemzőit foglalja össze az I. táblázat.

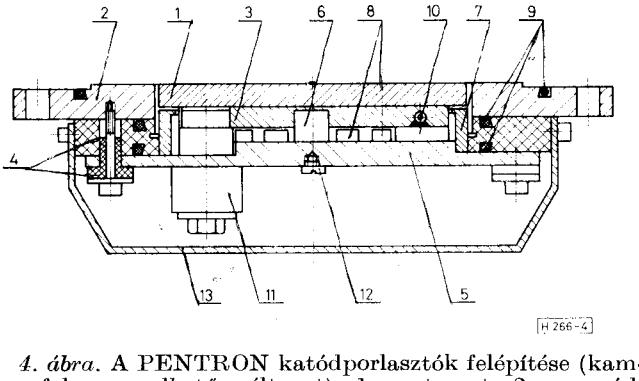
Rétegvastagságeloszlás

A katódporlasztó források fontos jellemzői a rótegvastagság-eloszlásgörbék, melyeket a katéddal párhuzamosan, különböző távolságokra elhelyezett sík szubsztrátumokra készített rétegeken, a vastagságot a szimmetriatengelyen áthaladó egyenes mentén mérve vesznek fel.

A Penning-katódporlasztók működési elvéből következik, hogy a target csak a gyűrű alakú porlódási zónában kopik, ezért ha a target és a szubsztrátum távolsága kicsi, a rétegvastagságeloszlásgörbében két maximum lesz, közepén pedig — ahol a target általában nem kopik — helyi minimum. A távolságot növelve ez a hatás eltűnik és a görbe a más forrásoknál is megszokott alakú lesz, egy maximummal. Az M—10 típusú katódporlasztóval mért tipikus rótegvastagságeloszlásgörbéket mutat az 5. ábra.

A rétegvastagságeloszlás kismértékben függ a porlasztott anyagtól, a gáznyomástól és a katódáramtól is, ezért amennyiben fontos a réteg egyenletessége, az optimális technológiai jellemzőket kísérleti úton kell meghatározni, bár vannak a számítógépes modellezésre irányuló kezdeményezések [7].

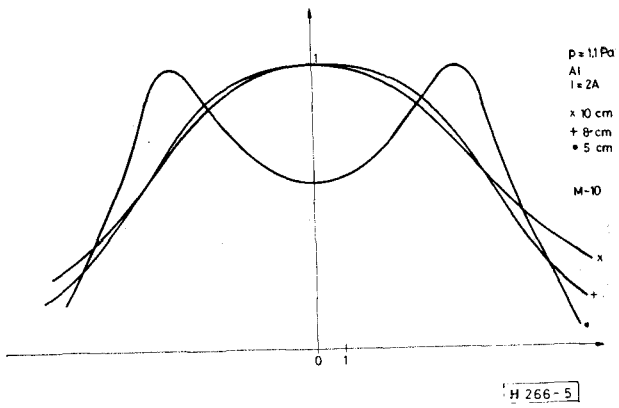
A különlegesen egyenletes fémbevonatok készítésére kifejlesztett típusok segítségével 150 (M—15K) ill. 200 (M—20K) mm átmérőjű szubsztrátumok (pl. szilíciumszeletek) fémezése is lehetséges a rétegvastagság ±5% tűrése mellett úgy, hogy nincs szükség a szubsztrátumok rétegkészítés közbeni mozgatására.



4. ábra. A PENTRON katódporlasztók felépítése (kamrafalra szerelhető változat). 1 — target; 2 — anód; 3 — hűtő; 4 — szigetelő; 5 — alaplap; 6 — főmágnes; 7 —pólus; 8 — segédmágnesek; 9 — „0"-gyűrűs tömítés; 10 — hűtővízcsatorna; 11 — hűtővízbevezető; 12 — villamos csatlakozó; 13 — burkolat

KERTÉSZ GÁBOR

1954-ben végzett a Budapesti Műszaki Egyetemen, erősáramú gépészmérnökként. Korábban a lokátoros berendezések erőátviteli részeivel foglalkozott, később a permanens mágnesekkel gerjesztett mágneskörök tervezése és kivitelezése lett a fős zakterülete. Jelenleg MEV Vákuumtechnikai Fejlesztési Osztályán dolgozik, a párologtató- és porlasztó források mágnesköreit tervezi.



5. ábra. Különböző target-szubsztrát távolságoknál felvett rétegvastagság-eloszlás görbék

1. táblázat

Típus	Maximális teljesítmény (kW)	Target méret (mm)	rögzítés: perem leszorítás	rögzítés: központi	rögzítés: forrasztás	Szerelés: kamrán belülre	Szerelés: kamrafalra	Kamrafalon szükséges nyílás (mm)	Alkalmazás: általános célra	Alkalmazás: ferromágneses anyagokhoz	Alkalmazás: ultranagyvákuum-rendszerbe	Megjegyzés
MC—2	0,6	∅51×3	×			×		∅25	×			
MC—5	2	∅76×4	×			×		∅25	×			
MC—5U	1	∅76×4	×				×	Conflat ∅152,4 (külső átmérő)			×	
M—10	10	∅162×16		×		×		áram- és vízbevezetés	×			
M—10K	10	∅162×16		×			×	∅213	×			
M—15K	15	∅210×18		×			×	∅261	×			
MF—15K	15	∅210×3...9			×		×	∅400		×		
M—20K	20	∅279×10			×		×	∅318	×			
M—8N... ..M—30N	10... ...30	203...762× ×127×10			×		×	209...768× ×133	×			7-féle hosszméretben
MF—8N.. .MF—20N	10... ...20	203...508× ×140×3...9			×		× ×	209...514× ×152		×		4-féle hosszméretben

A nagyméretű, négyszögletes források esetében ha a szubsztrátumot a bevonás alatt keresztirányban, egyenletes sebességgel mozgatják, elvileg tökéletesen egyenletes réteg készíthető (6. ábra). Ez a módszer igen nagy méretű lapok egyenletes bevonására is alkalmas, a lapok hossza megfelelő vákuumrendszer esetén szinte tetszőleges, a szélességet csak a target hossza korlátozza.

Ferromágneses anyagok porlasztása

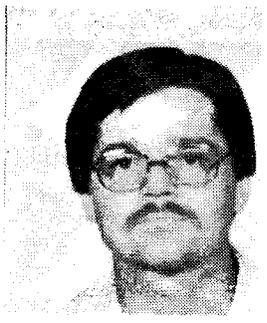
A ferromágneses anyagok Penning-porlasztásakor általában nem alkalmazhatók a szokásos vastagságú targetek, mert a target anyaga rövidrezárná (söntölné) a mágneskört és így nem alakulna ki a Penning-kisüléshez szükséges erősségű mágneses tér.

Ezért általában igen vékony, vagy — ami pl. a target élettartama szempontjából ugyanazt jelenti — több helyen elvékonyított, felhasított targetet alkalmaznak. Így a target mágnesesen telítődik, nem képes rövidrezárni a mágneskört, tehát a target felett létrejön a kellő mágneses tér.

A ferromágneses anyagok porlasztására készült PENTRON típusok a különleges mágneses elren-

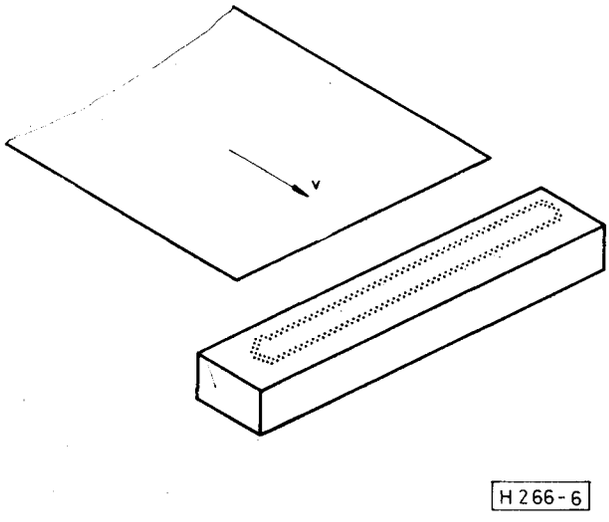
BACKHAUSZ LÁSZLÓ

1983-ban végzett a BME villamosmérnöki karának elektronikai technológiai szakán. Ezután a Mikroelektronikai Vállalat dolgozójaként nappali tagozatú szakmérnöki tanfolyamon vett részt, melynek során a vékonyrétegek mechanikai vizsgálati módszereivel foglalkozott, majd 1985-ben elektronikai technológiai szakmérnöki oklevelet szerzett. 1984-ben Felsőoktatási Tanulmányi Érdemérem kitüntetésben részesült. Jelenleg a MEV Vákuumtechnikai Fejlesztési Osztályán dolgozik, technológusként.



SZAKÁLY ISTVÁN

1977-ben végzett a Gépipari Automatizálási Műszaki Főiskolán, majd a Budapesti Rádiótechnikai Gyárban dolgozott, célgéptervezőként. 1982-től a Mikroelektronikai Vállalatnál a Vákuumtechnikai Fejlesztési Osztályon különböző vákuumtechnikai eszközök (elektronsugaras párologtatóforrások, katódporlasztó berendezések) gépészeti tervezésével foglalkozik. 1980 óta a BME gépészmérnöki karának hallgatója.



6. ábra. Nagyméretű lemez bevonása négyszögletes katódporlasztó forrás segítségével

dezésnek közönhetően 3—9 mm vastag targettel működnek, szemben a szokásos 1—2 mm-es targetvastagsággal. A megfelelő targetvastagság anyagonként változik, durván fordítva arányos a target anyag telítési indukciójával.

4. Alkalmazások, technológiák

Félvezetőfémezés

Mint arról a bevezetőben szó volt, a Penning-porlasztást a félvezetőfémezés fejlődése hozta létre, így a legfontosabb alkalmazási terület is ez. A speciális feladatokról eltekintve, itt alumínium, illetve alumínium-ötvözetréteg kialakítása a cél. A tiszta és ötvözött alumínium porlasztása ma már rutintechnológiának számít, ós a hazai targetgyártás eredményeként semmilyen problémát nem jelent.

Mint említettük, az alumínium ötvözésével mindkét, az áramkörök méretcsökkentése miatt jelentkező hiba elkerülhető [8]. Az alumínium-szilícium interdiffúzió megakadályozására 1——1,5% szilíciumot tartalmaz az alumínium réteg (a szilárd oldékonyság 400 °C-on kb. 0,8%), az elektromigráció visszaszorítására pedig 4—5% rezet. A target ilyen koncentrációban tartalmazza egyik vagy mindkét ötvöző fémet.

Az N-csatornás, szilícium vezérlő elektródás MOS integrált áramkörök technológiájának fejlesztése során a következő tapasztalatokat szereztük a porlasztott AlSi rétegekkel (a mai PENTRON típusok egyik elődjével, a HIM—10 porlasztó forrással):

— Mind a szilícium adalékolás, mind a porlasztás a réteg *fajlagos ellenállásának* növekedését okozta. A porlasztott AlSi réteg fajlagos ellenállása mintegy kétszerese volt a párologtatott tiszta alumínium(referencia) rétegének, de ez az ellenállásnövekedés az IC-k belső összekötő fémezése céljára még elfogadható volt.
— A porlasztott Al és AlSi rétegek *szemcseméretе* 10—22 mm között volt, míg az azonos hőmérsékleten, elektronsugaras forrásból párologtatott Al-rétegé 120—150 nm és az AlSi-rétegé 40—50 nm (a réteg Si-tartalma a mérési hibán belül nem befolyásolta a szemcseméretet).
— A fém-félvezető *kontaktusellenállás* a szilícium adalék hatására kismértékben megnőtt, a porlasztás a párologtatáshoz képest nem jelentett ilyen szempontból különbséget.
— *A p—n átmenetek szivárgását* a fémezési módszer nem befolyásolta, a szilícium adalék viszont magasabb hőmérsékletű és/vagy hosszabb idejű hőkezeléseket tett lehetővé a szivárgás növekedése (vagy extrém esetben zárlat keletkezése) nélkül.
— A MOS struktúrát jellemző *oxidtöltés* meghatározására szolgáló CV/BT vizsgálatokban a flatband feszültség csúszása a mérési hibával azonos mértékű volt az összes minta esetén, károsodást nem tapasztaltunk.
— A porlasztott Al és AlSi rétegek *lépcsőfedése* olyan tökéletes volt, hogy a sík SiO_2 felületen, illetve 600 vastagoxid ($d \approx 0{,}8$ μm) és 560 poli-Si ($d \approx 0{,}5$ μm) lépcsőn átmenő fémcsíkok ellenállása a mérési hibán belül azonos volt.

Fenti tapasztalatainkról, ill. vizsgálatainkról korábban már részletesen beszámoltunk különböző hazai és nemzetközi fórumokon [pl. 9, 10, 11].

Átlátszó vezetőrétegek

Néhány fém oxidja nem szigetelő, hanem kisebb-nagyobb mértékben vezető, ugyanakkor — vékony rétegben — fényáteresztő. Ilyen pl. az ón és az indium.

Ezen anyagok oxidjaiból átlátszó vezetőréteg alakítható ki. E rétegek felhasználása rendkívül

GLASER PÉTER

1966-ban fejezte be tanulmányait a BME Vegyészmérnöki Karán. 1970-ben került a HIKI Félvezető Főosztályára, ahol félvezető fémezési technológiák fejlesztésével foglalkozott. Emellett részt vett az elektronsugaras párologtató források és Penning porlasztó források fejlesztési munkáiban. Több közlemény szerzője.

széles körűvé vált. Két példa: a folyadékkristályos kijelzők felső elektródája és a fűthető pilótakabinablak. A réteg előállítására számos eljárás ismert, ezek közül egyet vázolunk.

Kiindulásként olyan ötvözettargetet használunk, mely 90% indiumot és 10% ónt tartalmaz. Ezt a targetet használjuk a reaktív porlasztáshoz, melynél az argonhoz 10% oxigént keverünk. Az így kialakuló réteg még gyakorlatilag fémes, ezt még 400 °C hőmérsékleten 10 percig hőkezelve alakul ki az átlátszó vezetőréteg (ennek szakirodalmi rövidítése ITO), melynek tipikus tulajdonságai: *négyzetes ellenállás 100 ohm/□, vastagsága 200—500 nm, transzmissziója 80—85%.*

Mágneses adathordozók

A korszerű mágneses információhordozók jelsűrűségének jelentős növekedése változást hozotte hordozó anyagában és a hordozóréteg felvitlia technológiájában egyaránt. E változás lényege elsősorban a rétegvastagság csökkenésében nyilvánul meg. Ez azt eredményezi, hogy a hagyományos „felöntéses" eljárás helyett mind nagyobb szerepet játszik a vákuumtechnológiai rétegelőállítás, és ezek közül is elsősorban a katódporlasztás.

Az általunk kidolgozott technológiával diszk tároló réteget készítettünk kobalt-nikkel-volfrám ötvözetből. *A rétegvastagság 200 nm, a koercitív erő 0,5—0,7 T, a négyszögesség 0,7—0,8, a határfrekvencia 5 MHz* volt.

Egyéb felhasználási lehetőségek

A felsorolt példák csak a „honosított" technológiák. A lehetséges alkalmazások felsorolása is reménytelen feladat, azok rendkívül nagy száma miatt. Még megemlítünk három példát, melyek az elektronika területén kívül esnek, de jelentőségük azzal egyenértékű vagy nagyobb:

— forgácsolószerszámok élettartam-növelő kemény réteg bevonatának készítése;
— nagyméretű üvegablakok hővisszaverő rétegeinek felvitele;
— csomagolóanyagok alumíniumozása (pl. az ún. Tetrapack csomagolás).

5. Összegezés

Cikkünkkel talán sikerült érzékeltetni a Penningporlasztásban rejlő lehetőségeket. A források oldaláról a jelenlegi helyzetet legjobban a piacon kapható források méretválasztékával jellemezhetjük: a legkisebb forrás 5 cm átmérőjű és 5 cm magas, a legnagyobb 20 cm × 300 cm felületű.

A cikkben vázolt technológiák csak példák, és nem érzékeltetik azt a fejlődést, amit a Penningporlasztás az elmúlt tíz év alatt megtett, és várhatóan még legalább akkora fejlődési lehetőség van előtte, mint amennyin már átment.

IRODALOM

[1] *Penning, F. M.:* US Patent No. 2. 146. 025 (1039).
[2] *Simonyi Károly:* Elektronfizika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.
[3] *Vossen, J. L.—Kern, W.:* Thin Film Processes. Academic Press, New York, 1978.
[4] *Thornton, J. A.:* Magnetron sputtering: basic physics and application to cylindrical magnetrons. J. Vac. Sci. Technol. Vol. 15 (1978), No. 2, p. 171.
[5] *Waits, R. K.:* Planar magnetron sputtering. J. Vac. Sci. Technol. Vol. 15 (1978), No. 2., p. 179.
[6] *Kertész Gábor—Vágó György:* US Patent No. 4. 232. 083.
[7] *Gy. Vágó et al.:* Calculation of film thickness at magnetically enhanced (Penning-) sputtering (first approximation). J. Vac. Sci. Technol. (közlés alatt).
[8] Thin Films — Interdiffusion and Reaetions (ed J. M. Poate et al.), John Wiley and Sons, Inc., New York, 1978.
[9] *Glaser P., Kertész G., Vágó Gy.:* Tapasztalatok a HIM—10 típusú Penning porlasztó forrással, Finommechanika—Mikrotechnika, 20. évf. 12. szám, 353—356. old. (1981).
[10] *P. Glaser, Gy. Vágó, P. Barna, O. Herkner-Geszti:* Some physical and technical properties of various aluminium films Proe. 5th Int. Symp. „High purity materials in science and technology", Dresden, May 1980, p. 347.
[11] *P. Glaser, D. Sawicka:* Investigations on Al/Si interface, Acta Physica Hungarica, Tom. 56 (1—4), pp—111—118 (1984).

MELECON '87

(Mediterranean Electronical Conference) Roma, 1987. március 24—26.

Az IEEE által is támogatott MELECON'87 egyike a rangos európai elektronikai konferenciáknak; kétévente tartják valamely dél-európai országban.

Az idei konferencián mintegy 160 előadás hangzott el az alábbi szekciókban:

A) Communication Systems
B) Communication and Computer Networks
C) Technologies for Communication
D) Energy systems and Networks

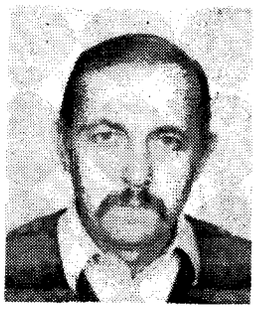
Az *A)* szekcióban űrtávközlési ós kapcsolástechnikai (ISDN) témákban, az optikai ós koaxiális kábeles rendszerekkel kapcsolatban és a földi rádiórendszerek területéről hangzottak el érdekes előadások. A *B)* szekció témaköréből elsősorban az integrált szolgáltatású lokális hálózatokkal és a széles sávú technikán (CATV) alapuló „metropolitan area network"-okkal foglalkozó előadások emelhetők ki. A *C)* szekció fő témái a mikroelektronikai eszközök és áramkörök, illetve a digitális jelfeldolgozás voltak. A *D)* szekcióban a hangsúly új energia-szolgáltatási lehetőségek (nap-, szól-, geometrikus energia) kihasználása volt.

A konferenciával párhuzamosan elektronikai kiállítást is szerveztek, ahol ezúttal is meg lehetett győződni a vezető olasz távközlési és számítástechnikai cégek (ITALTEL, SELENIA, Olivetti stb.) által képviselt igen jó színvonalról.

Dr. Szabó Csaba

LIDI- egy új bipoláris félkész áramkör

MÉHN MÁRTON—GERGELY ISTVÁN
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A LIDI a Mikroelektronikai Vállalat bipoláris félkész áramkörcsaládjának újabb tagja, mely a sorozat előző tagjához, a LINA—1-hez hasonlóan kis és közepes bonyolultságú integrált áramkörök gyors elkészítését teszi lehetővé.
A két félkész áramkör közül elsősorban akkor célszerű a LfDI-t választani, ha az integrálandó kapcsolás 20 és 36 V közé eső tápfeszültséget, vagy igen kis maradékfeszültségű npn tranzisztorokat igényel.

MÉHN MÁRTON

Okl. fizikus, félvezető technikai szakmérnök, villamosmérnök—matematikus szakmérnök. 1962—1982-ig az Egyesült Izzóban félvezető eszközök fejlesztésével foglalkozott. 1978-ban UNIDO-ösztöndíjasként MIS szerkezetek vizsgálatát végezte az NSZK-ban. 1982-től a Mikroelektronikai Vállalatnál bipoláris integrált áramkörök tervezésével foglalkozik, emellett az Eötvös Loránd Tudományegyetemen laboratóriumi gyakorlatot vezet.

1. Bevezetés

A szakemberek körében ma már aligha kétséges, hogy az analóg és digitális áramkörök integrálása az ún. félkész (semi-custom) szeletek alkalmazásával oldható meg a legegyszerűbben és a leggyorsabban, sőt, hogy közepes (néhány ezertől néhányszor tízezer darabig terjedő) igény esetén többnyire gazdaságosság szempontjából is ez a legelőnyösebb eljárás.

A gyorsaság és a kedvező ár abból adódik, hogy a kívánt IC chipeket tartalmazó szilíciumszelet előállításához mindössze három rutinfeladat megoldására van szükség:

— a raktáron tárolt félkész szeleteken már meglévő áramköri elemek (tranzisztorok, ellenállások stb.) összekapcsolására szolgáló fémhálózat megtervezésére,
— a megfelelő maszk elkészítésére,
— végül a maszk segítségével a fémhálózat kialakítására.

Az elmondottak alapján érthető, hogy a félkész áramkörök (mind a MOS, mind a bipoláris kivitelűek) egyaránt népszerűvé váltak az alkatrészgyártók és az alkalmazók körében. Ismeretes, hogy a semi-custom eszközök legnagyobb részét nagybonyolultságú digitális MOS áramkörök teszik ki, de a bipoláris félkész áramkörök jelentősége sem csekély, minthogy ez utóbbiak igen rugalmasan alkalmazhatók különböző bonyolultsági fokú analóg, digitális és vegyes (digitális—analóg) áramkörök elkészítésére. Mindenesetre — akár MOS, akár bipoláris konstrukciójú ill. technológiájú félkész áramkörökről van szó — az alkalmazásuk révén nyert IC rendszerint olcsóbb, megbízhatóbb és jóval kisebb helyet igényel, mint a szabványos („katalógus") áramkörökből összeállított, hasonló funkciót ellátó kapcsolás.

A LIDI, a MEV egyik legújabb félvezető gyártmánya a bipoláris félkész áramkörök csoportjába tartozik. Belső felépítése és felhasználása tekintetében hasonló a szintén a MEV-ben készített LINA—1 áramkörhöz (1, 2), alkalmazási köre azonban szélesebb. Az alábbiakban ennek az új áramkörnek a főbb jellemzőit és alkalmazási lehetőségeit mutatjuk be. A chip rajza az 1. ábrán látható.

Megjegyezzük, hogy a már idézett közleményekben a LINA—1 áramkör felhasználásáról leírtak kisebb részletektől eltekintve a LIDI-re is érvényesek, így a jelen ismertetésben az alkalmazás számos vonatkozására nem szükséges újból kitérni.

Beérkezett: 1986. XII. 3.

2. Elemkészlet, az elemek elrendezése

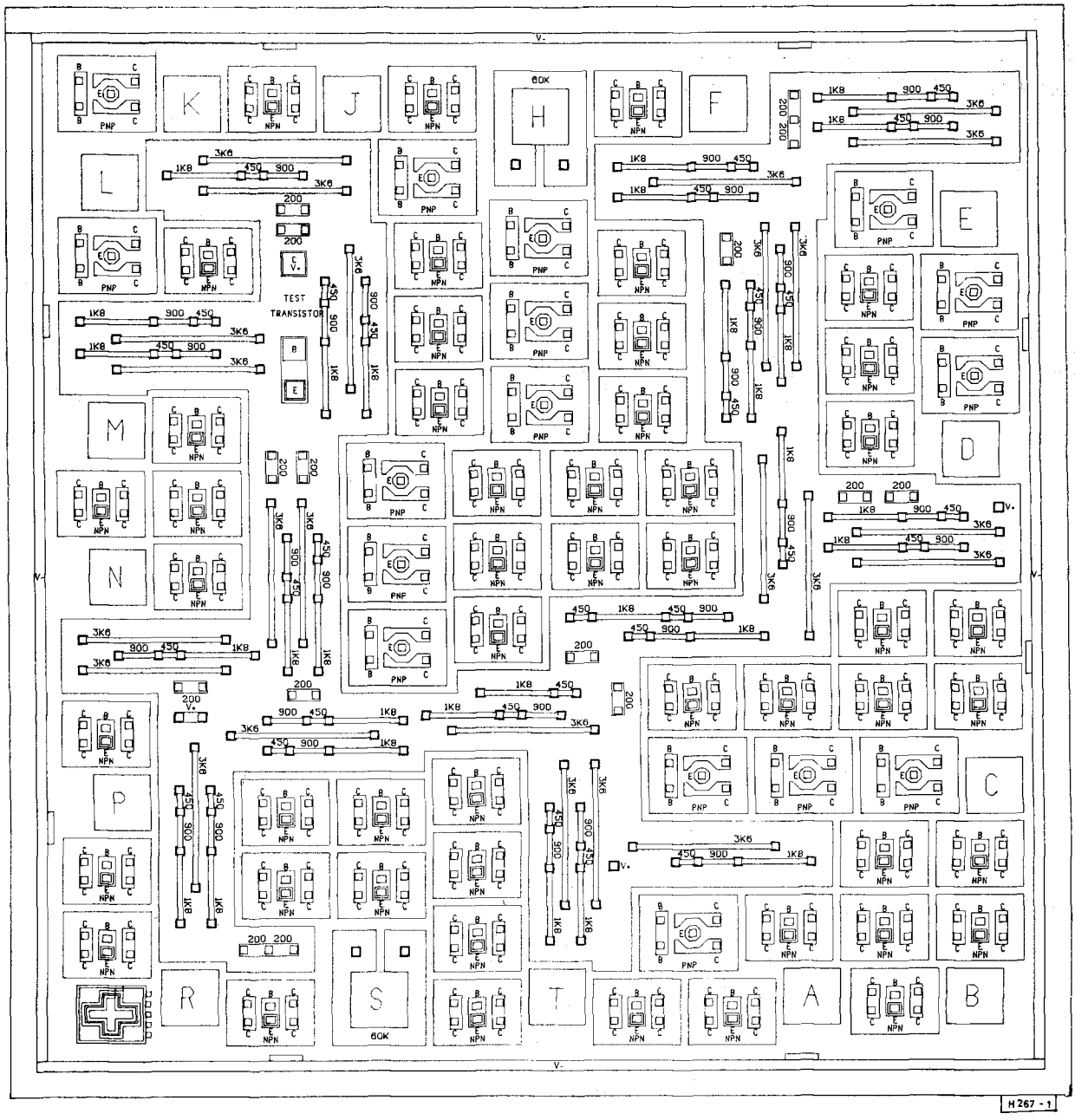
A LIDI chipen, melynek mérete 2,05×2,15 mm, 194 áramköri elem (tranzisztor és ellenállás), valamint 16 termokompressziós kontaktus található.
Az elemek megoszlása a következő:

50 db kisméretű npn tranzisztor,
16 db két kollektoros laterális pnp tranzisztor,
15 db 200 ohmos ellenállás,
30 db 450 ohmos ellenállás,
28 db 900 ohmos ellenállás,
29 db 1,8 kohmos ellenállás,
24 db 3,6 kohmos ellenállás,
2 db 60 kohmos ellenállás.

A felsorolás utolsó tagjától eltekintve az ellenállások közös szigetben helyezkednek el; e szigetet a +V kontaktusok segítségével lehet előfeszíteni a szubsztráthoz, ill. az ellenállásokhoz képest.

Az ellenállások úgy vannak elrendezve, hogy minden egyes tranzisztor közelében bármelyik hozzáférhető legyen a 200—3600 ohmosak közül. A 60 kohmos ellenállások — a tranzisztorokhoz hasonlóan — önálló szigetben vannak elhelyezve. Ami az előbbieket illeti: ezek az epitaxiális rétegből kialakított ellenállások valójában olyan JEET tranzisztoroknak tekinthetők, melyek kapuelektródja a szubsztrát; ez a körülmény jelentős mértékben befolyásolja tulajdonságaikat és alkalmazhatóságukat.

Az azonos fajtájú tranzisztorok orientálása és



1. ábra. A LIDI chip rajza

méretei megegyeznek az egész chipen, ezért jellemzőik is jó közelítéssel azonosnak tekinthetők.

Kivételesen az ellenállásszigeten belül is van egy (a többitől eltérő méretű) npn tranzisztor, ezt azonban a gyártó használja a chip ellenőrzésére, így az áramkörben nem használható fel. (Kollektorát viszont alkalmazhatjuk +V kontaktusként.) A chip bal alsó sarkában további, csak a gyártó számára fontos elemeket találunk; ezek a maszkoknak a szeleten kialakított ábrához való pontos illesztését teszik lehetővé.

3. Az elemek elektromos tulajdonságai

A LIDI tranzisztorai és ellenállásai mind méretük, mind elektromos tulajdonságaik tekintetében hasonlítanak a megfelelő LINA—1 elemekhez, ezért az alábbiakban főleg az eltérésekről lesz szó. Mindjárt megjegyezzük, hogy a legfontosabb eltérés az alkalmazható maximális feszültségre vonatkozik, mely a LINA—1 esetében 20 V, míg a LIDI-nél 36 V.

A megengedhető disszipáció ugyanaz, mint a LINA—1 áramköröknél: 0,5 W, 70 °C-nál alacsonyabb környezeti hőmérsékletet feltételezve. Nincs oly követelmény, hogy a chipben fejlődő hő egyenletesen oszoljon el a chip felülete mentén; a megadott maximális teljesítmény akár egyetlen elemen is felléphet.

3.1 Ellenállások

A LIDI 0,2—3,6 kohm értékű ellenállásai (számuktól, elrendezésüktől, valamint a rájuk kapcsolható

GERGELY ISTVÁN

A vegyészmérnöki diploma megszerzése után 1957-ben helyezkedett el az Egyesült Izzóban. Először germánium egykristályok készítésével és vizsgálatával foglalkozott, majd bekapcsolódott a félvezető eszközök fejlesztését végző osztály munkájába. 1975-ben ENSZ ösztöndíjjal angliai tanulmányúton vett részt. 1982 óta a MEV dolgozója, jelenleg félvezető eszközök tervezésével és szerkezetvizsgálatával, valamint a félvezető technológiai folyamat mérőábrák segítségével történő ellenőrzésével foglalkozik.

maximális feszültségtől eltekintve, mely feszültség csak ott érheti el a 36 V-ot, ahol ezt a disszipációs határ lehetővé teszi) mindenben megegyeznek a LINA—1-beliekkel. Így pl. az ellenállások értéke ±25%-kal térhet el a névlegestől, arányuk pedig egy chipen belül legfeljebb 6%-kal különbözhet a számított értéktől.

Az ellenállások közti kölcsönhatást (éppúgy, mint a LINA—1 áramkörnél) a sziget és az ellenállások közti zárófeszültséggel lehet megakadályozni ill. minimálissá tenni; ehhez rendszerint a pozitív tápfeszültségpólust kapcsoljuk a szigetre, azaz a +V pontok valamelyikére.

A 60 kohmos ellenállások tulajdonságai — az előzőekkel ellentétben — jelentősen eltérnek a LINA—1-beliekétől, minthogy más eljárással készülnek. Az eltérés főként a megengedhető maximális kapocsfeszültségben és az ellenállás feszültségfüggésében jelentkezik. Míg a LINA—1-ben két diffúziós művelettel alakítjuk ki a 60 kohmos ellenállást (az npn tranzisztorok bázisrétegének kialakításával egyidejűleg), és így az ellenállás anyaga erőteljesen adalékolt szilícium, mely még erősebben szennyezett szilíciummal határos, a LIDI-ben a nagy fajlagos ellenállású epitaxiális rétegből képezzük ugyanezt az ellenállást. Az így adódó szerkezeti eltérés magyarázza tulajdonságaik különbözőségét. Az npn tranzisztorok bázisrétegéhez hasonló szerkezető LINA—1-beli ellenállás érthető módon csak annyi feszültséget visel el, mint az npn tranzisztorok emitter-bázis átmenete, tehát legfeljebb 6 V-ot, ezzel szemben a LIDI analóg ellenállása kibírja a teljes tápfeszültséget is.

A szerkezeti különbségekből adódik az ellenállásérték feszültségfüggésének eltérése is.

Említettük már, hogy a LIDI-beli 60 kohmos ellenállás JFET jellegű elem — ám ugyanez elmondható a LINA—1 hasonló ellenállásáról is. Míg azonban az utóbbinál a vezető csatorna nagy adaléksűrűsége folytán alig észlelhető a feszültség növekedésekor szükségképpen fellépő csatornaszűkülés, ugyanez a nagy fajlagos ellenállású LIDI-ellenállásnál erőteljesen jelentkezik: az utóbbinál az ellenállás voltonkénti növekedése mintegy tízszer nagyobb, ami a rákapcsolható nagy feszültség miatt már korántsem elhanyagolható változást okoz. (Az ellenállásnövekedés szempontjából csaknem közömbös, hogy a feszültség az ellenállás végei, vagy az ellenállás és a szubsztrát között lép-e fel.)

A LIDI-beli ellenállás nagyobb terhelhetősége előnyösen használható fel az áramkörök alapáramának beállításához. Ebben az alkalmazásban a nagyobb feszültségfüggés is kedvező, mert így a rajta átfolyó áram alig függ a tápfeszültségtől.

Ami a 60 kohmos ellenállások értékének a névlegestől való eltérését illeti, ebben nincs különbség a LINA—1 és a LIDI között: mindkettőnél 30 és 120 kohm közé eshet a kisfeszültségű ellenállás. A LINA—1 esetében a két diffúzió egymáshoz való szabatos illesztésének, a LIDI-nél pedig az ellenállást kialakító egyetlen, de nagy mélységű diffúzió pontos beállításának nehézsége indokolja az ohm érték viszonylag nagy szórását.

3.2 Tranzisztorok

A LIDI-ben csak egyféle (kis áramú) npn tranzisztort találunk, szemben a LINA—1 chippel, melyben nagyobb áramú tranzisztor is van. Tekintve, hogy a LIDI-ben 12-vel több npn tranzisztor áll rendelkezésre, szükség esetén a nagy tranzisztor párhuzamosan kapcsolt npn-ekkel pótolható. Nagyobb a LIDI-ben a pnp tranzisztorok száma is.

Hasonló a két IC-ben a tranzisztorok kialakítása: az npn tranzisztorok négy kollektorkontaktussal készülnek, a pnp tranzisztorok pedig két báziskontaktussal és két, egymástól független, azonos méretű kollektorral. A kétkollektoros forma előnyösen használható áramtükör készítéséhez, az egyes elektródokhoz való csatlakozás többféle lehetséges módja pedig a fémezést könnyíti meg. Ami a tranzisztorok elektromos tulajdonságait illeti: a LINA—1-hez képest a legfontosabb különbség a nagyobb megengedhető U_{CE} feszültségen kívül (20 V helyett 36 V), az, hogy az npn tranzisztorok kis U_{CE} feszültségnél nagyobb I_C áramig használhatók. Arról van szó, hogy kis kollektorfeszültségnél a B áramerősítési tényező erősen függ U_{CE} értékétől, minthogy ilyen körülmények között a tranzisztor kollektor-bázis átmenete nyitóirányú előfeszítést kaphat és így az emitterből hozzáérkező kisebbségi töltéshordozók egy részét visszainjektálhatja a bázisba. Nyitóirányú előfeszítés akkor következik be, ha (npn tranzisztort feltételezve) a kollektor potenciálja a báziséénál negatívabbá válik. Ez a helyzet akkor is előállhat, ha a kollektorkivezetés pozitívabb a báziséénál, minthogy a valóságos kollektor és a kollektorkivezetés között rendszerint jelentékeny ellenállás van „beépítve", ez az R_{SC} kollektorellenállás.

Következésképpen: a kis U_{CE} feszültségnél a kollektoráram növelésekor bekövetkező B esés annál nagyobb mértékű, minél nagyobb az R_{SC} ellenállás.

Mindezt azért volt fontos előrebocsátani, mert a LIDI npn tranzisztoraiban — egy technológiai többletművelet következtében — kb. feleakkora az R_{SC} értéke, mint a LINA—1-ben. Ez azzal az előnnyel jár, hogy a LIDI tranzisztorai még az $U_{CE}=1$ V, $I_C=40$ mA munkapontban is számos funkcióban elfogadhatóan működnek (annak el-

lenére, hogy az ajánlott áramhatár a LIDI és a LINA—1 esetében egyaránt $I_C = 20$ mA a kis npn tranzisztorokra), míg a LINA—1 tranzisztorai ilyen beállításban csak kivételesen alkalmazhatók.

A LIDI npn tranzisztoraira jellemző kis B_{SC} érték előnyös a tranzisztorok kapcsolóüzemű alkalmazása szempontjából is, minthogy több fontos kapcsolóüzemi paraméter (pl. a kapcsolási sebesség és a maradékfeszültség) erősen függ a kollektorellenállástól. Ezért a LIDI nemcsak lineáris (analóg), hanem digitális áramkörökhöz is kiválóan alkalmas. (Ezzel van kapcsolatban az áramkör elnevezése is.)

Egyéb tekintetben a LIDI és a LINA—1 npn tranzisztorai között nincs jelentékeny eltérés, így pl. nagyfrekvenciás szempontból is hasonlóan viselkednek, ha $U_{CE} > 2$ V és $I_C < 10$ mA. 2 V-nál kisebb feszültségnél, ill. 10 mA-nél nagyobb áramnál az R_{SO} érték különbözősége a nagyfrekvenciás működésben is észrevehető különbséget okozhat a LIDI tranzisztorainak javára.

Van eltérés a laterális pnp tranzisztorok viselkedésében is, jóllehet ez kevésbé szembetűnő, mint az npn-ek esetében. A nagyobb BV_{CEO} letörési feszültség ugyanis nagyobb bázisvastagságot követel meg a laterális tranzisztoroknál, és ennek természetesen más tulajdonságokra is hatása van.

Ilyen a határfrekvencia, mely szükségképpen kisebb a nagy bázisvastagságú LIDI tranzisztorokban. Figyelembe véve azonban, hogy a laterális tranzisztorokat többnyire kisfrekvenciás ill. egyenáramú kapcsolásokban használjuk, ez a körülmény nem jelent hátrányt a gyakorlatban.

A már említett technológiai többlet a pnp tranzisztoroknál is előnyös: a bázisellenállásukat csökkenti. Ennek természetesen kisebb a jelentősége, mint az npn tranzisztorok kollektorellenállása esetében, minthogy a pnp tranzisztorok árama viszonylag csekély.

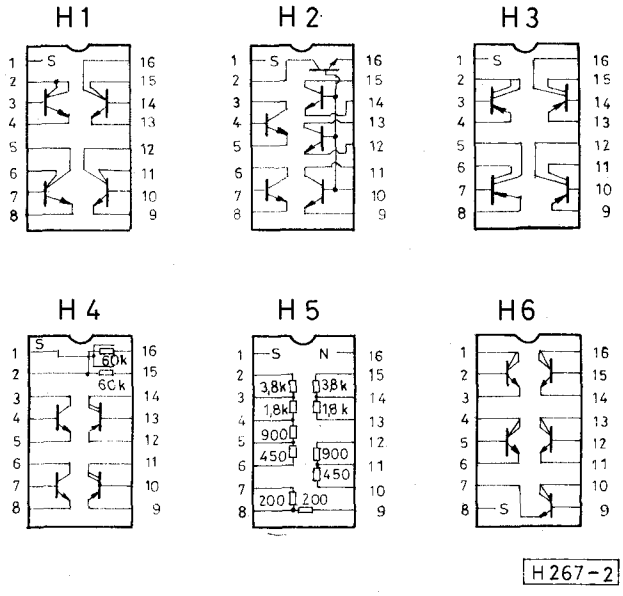
4. A LIDI alkalmazása

Amint már jeleztük, az új áramkör neve a lineáris és digitális szavakból származik, arra utalva ezzel, hogy a LIDI alkalmas mind analóg, mind digitális ill. vegyes működésű áramkörök készítéséhez. Alkalmazási példaként erősítők, komparátorok, áramforrások, frekvenciaosztók, kapuáramkörök, oszcillátorok, fázisdetektorok, időzítő áramkörök, digitális-analóg, hőmérséklet-áram és egyéb átalakítók, ill. a hasonló részáramkörökből felépített bonyolultabb kapcsolások jöhetnek szóba.

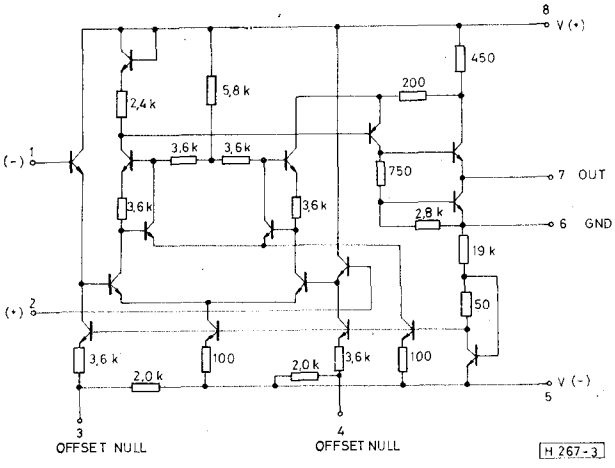
Jóllehet az integrálható kapcsolások körét a rendelkezésre álló elemkészlet a viszonylag kevés elemet tartalmazó áramkörökre korlátozza, számos, a gyakorlatban felmerülő feladat megoldható a LINA—1, vagy a LIDI segítségével. A két félkész áramkör közötti választást elsősorban a felhasználandó tranzisztorok száma, a megkívánt tápfeszültség-tartomány és az npn tranzisztorok maradékfeszültségével, ill. a nagy értékű ellenállások megengedhető kapocsfeszültségével szemben támasztott követelmények befolyásolják.

Akár a LINA—1-et, akár a LIDI-t választjuk az adott feladat megoldásához, a további munka menete lényegében azonos. Egyszerű a helyzet, ha már rendelkezünk alkalmas áramköri kapcsolással: ilyenkor az adott félkész chip felnagyított rajzán, mely a MEV-től beszerezhető, elkészítjük a kapcsolási rajznak megfelelő fémhálózat vázlatát. E munka végzésekor ügyeljünk arra, hogy a vezeték csak a chipvázlaton szaggatott vonallal berajzolt útvonalak mentén haladhat$_1$

A bekötés tervezését megkönnyíti, ha az adott áramkört természetes működési egységekre bontjuk, kijelöljük az egységeknek szánt chipterületet, és a fémezést egységenként, egymás után tervezzük meg. A kapcsolás megfelelő működését célszerű deszkamodell megépítésével ellenőrizni, a modellben a megfelelő alkatrészek (a LIDI használata esetén a LIDI-kit) alkalmazásával. A LIDI-kit rendelkezésre álló elemeit (H1—H6) a 2. ábrán mutatjuk be. Amint látjuk, a tranzisz-



2. ábra. A LIDI-kit elemeinek bekötése



3. ábra. LIDI-vel megvalósítható feszültségkomparátor kapcsolása

torok többféle kombinációban szerepelnek a kitben és a chip valamennyi ellenállásfajtája is megtalálható benne.

Mind a vázlat, mind a deszkamodell készítésével ill. kimérésével megbízhatjuk a MEV szakembereit is. Természetesen az is járható út, hogy csak a megkívánt működést, a tervezendő áramkörrel szemben támasztott követelményeket adjuk meg, vagy a chipgyártóval együttműködve dolgozzuk ki az adott feladat megoldására alkalmas, integrálható kapcsolást.

A LIDI használhatóságát végezetül egy vele megépíthető nagypontosságú feszültségkomparátor példáján mutatjuk be. (Az áramkör kapcsolását a 3. ábra szemlélteti.) Jóllehet az áramkör alkatrészigénye korántsem meríti ki a LIDI lehetőségeit, minthogy a rendelkezésre álló elemek csupán kis részét használja fel (pl. a 66 db tranzisztorból mindössze 17-et), elektromos jellemzői igen kedvezőek: nagy bemenő ellenállás, erősítés és működési sebesség, széles tápfeszültség-tartomány, csekély hőfokérzékenység, TTL kompatibilitás stb.

IRODALOM

[1] *Dr. Balogh Béláné, Gergely István, Méhn Márton:* A LINA—1 jelzésű félkész áramkör felépítése és alkalmazása. Híradástechnika, 1984. 9. szám, 400. oldal.

[2] MEV-kollektíva: Egy új MEV-termék: a LINA—1 félkész áramkör. Magyar Elektronika, 1984. 2. szám, 51. oldal.

Félvezető digitális jelfeldolgozó eszközök fejlesztésének általános kérdései

DR. TUZSON TIBOR
Mikroelektronikai Vállalat

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk összefoglalja a Mikroelektronikai Vállalatnál kialakult, a digitális jelfeldolgozó IC-k fejlesztésére vonatkozó elképzeléseket. Megállapítja, hogy a modern VLSI fejlesztésben az algoritmus, illetve rendszertechnikai (struktúra) tervezés súlya döntő lesz mivel így az adott feladatra optimális áramköröket lehet létrehozni. Az új, multidiszciplináris fejlesztési stratégia minőségileg új, szakosodáson és együttműködésen alapuló alkotó kollektívák kialakulását követeli meg. Adottságaink figyelembevételével az előre gyártott BOÁK, a bitpárhuzamos- illetve bit-soros makrocellás megközelítések perspektivikusak. Ezek egymás kiegészítői és részletesen velük jelen szám további cikkei foglalkoznak.

DB. TUZSON TIBOR

1947-ben született Kolozsváron, 1970-ben végzett a Bukaresti Műszaki Egyetemen. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalat BOÁK tervező Osztályán csoportvezető. Fő érdeklődési területe a digitális jelfeldolgozás és eszközei, a témában több mérnöktovábbképző előadás és jegyzet szerzője és társszerzője, számos magyar és külföldi konferencián vett részt, mint előadó. 1985-ben egyetemi doktori címet szerzett.

1. Bevezető

A Mikroelektronikai Vállalat már évek óta foglalkozik jelfeldolgozó eszközök fejlesztésével, beleértve a különböző folytonos és diszkrét idejű, folytonos és diszkrét amplitudójú hibrid, illetve monolit eszközök megvalósítását ill. alkalmazási lehetőségeinek kutatását, feltérképezését. A jelen tanulmány a diszkrét idejű és diszkrét amplitudójú, tehát digitális jelfeldolgozó monolit eszközök fejlesztési lehetőségeivel foglalkozik, ezen belül áttekintést adva a MEV fejlesztési munkájáról, amelyet a jelen szám három következő cikke (1), (2) (3) mutat be konkrétan.

A digitális jelfeldolgozó eszközök fejlesztésénél, azok ASIC (Alkalmazásspecifikus IC) jellege miatt döntő szerepük van a rendszertechnikai, számítástechnikai, jelelmóleti, algoritmus és matematikai (pl. Boole-algebra) ismereteknek (4) (10), (11), (14).

Ezek az ismeretek, eltérő jellegük miatt, általában nem voltak jelen magas szinten a klasszikus félvezető fejlesztő és technológus környezetben. Az élenjáró technológiákkal rendelkező cégeknél ezen kívül sok esetben hiányzott a kényszer a másjellegű, újszerű algoritmusok fejlesztésének irányába.

Ennek eredményeképpen az algoritmusok fejlesztésének üteme — általánosságban — valamelyest elmaradt a technológiai fejlesztés ütemétől. Így történhetett, hogy még egyes nagy világcégek is digitális jelfeldolgozó eszközeik struktúráját (pl. a TRW szorzó áramkörei) a legegyszerűbb, legkönnyebben megérthető algortimusok alapján tervezték meg. Ebben az időszakban jók voltak az esélyek arra, hogy csupán rendszertechnikai, illetve matematikai szaktudással kompenzáljuk a konzervatívabb technológiai lehetőségeket, vagyis új és jobb algoritmusok implementálásával egy technológiai generációváltásnak megfelelő teljesítménynövekedést érjünk el a digitális jelfeldolgozó eszközök területén. Jó példák erre a MEV szorzók: a TMC2010MAC (3), (10), (12), (14) és TMC2024-SPM (2), (13), (14), és a TMC2000 BSP (BOÁK Szignal Processzor) (10) (14).

Az utóbbi időben azonban az algoritmusok kutatása felgyorsult. Ezt bizonyítja az is, hogy a nagy egyetemi és ipari kutatóközpontok munkájának jelentős része az új, félvezető implemetálásra alkalmasabb algoritmusok kidolgozásával kezdett foglalkozni. A „VLSI algoritmusok" gyűjtőnév is széles körben elfogadottá vált. A nagy elektronikai kutatási programok (VHSIC, VHPIC, ESPRIT stb.) nagy hányada is erre a területre koncentrál. Hihetetlenül gyorsan jut el egy új ötlet a rendkívül széles körű ismertség szintjére, majd szinte azonnal megjelennek a kísérleti és kereskedelmi alkalmazások is, valamint a CAD háttér is. Példaként lehet említeni a szisztolikus és hullámfront digitális jelfeldolgozó algoritmusokat és struktúrákat (11).

Nyilvánvaló ezek alapján, hogy továbblépni a fejlesztés útján csak egy jólképzett, technológiai és alkalmazástechnikai területen jártas szakemberekből álló gárda szoros együttműködésével lehet. A klasszikus, SSI—MSI szinten megszokott fejlesztési stratégiákkal ezen a területen eredményt elérni ma már nyilvánvalóan nem lehet.

2. Lehetséges fejlesztési irányok

Figyelembe véve a hazai technológiai színvonal lehetőségeit, alapvetően négy lehetséges út képzelhető el. Ezek természetesen nem egymás alternatívái, hanem egymás kiegészítői. Az egyik ilyen lehetőség, amelynél a gyors termékkibocsátás érdekében előre gyártott (semi-custom) szeletekre tervezünk. Erre jó példa az U400EBM (6), (7), (8), (9), (10), (14) aminek már konkrét sorozatgyártásban levő alkalmazása található pl. az OMC—104 típusú asztali gyors Fourier-transzformáción (FFT) alapuló digitális spektrum analizátorban (1). Több különböző gyártmányfejlesztésben is sikeresen kipróbálták, illetve alkalmazását

Beérkezett: 1987. V. 21.

fontolgatják. Ezzel a BOAK megoldással szerényebb integrált áramköröket lehet megvalósítani, viszont biztosítják azt a műszaki tapasztalatot, ami elengedhetetlen a továbblépéshez.

A legnagyobb teljesítményt biztosító megközelítés a bitpráhuzamos makrocellás megoldás. Ennél néhány funkcionálisan önálló makrocella segítségével egyrészt közvetlenül piacképes IC-ket fejleszthetünk, és a későbbiek folyamán ezekkel komplex áramköröket, pl. egyedi, alkalmazásspecifikus (custom) jelprocesszorokat vagy akár egyéb célprocesszorokat lehet implementálni. Néhány használható makrocella a következő lehet: a 16×16+35 bites szorzó-összeadó, amelynek tervei készen vannak (3), (12), a sorrendi vezérlő, a cim-aritmetikai egység és az ALU. Ezekre alapozva komplexebb chipeket is implementálni lehet: szorzó-akkumuláló IC (TMC2010MAC= =Multiplier, Accumulator, (3), (12), belső szorzólépéses processzor (IPSP=Inner Product Step Processor) szisztolés tömbprocesszorokhoz (SAP= =Systolic Array Processor) (14), egyszerű szorzó, lebegőpontos párhuzamos szorzó, lebegőpontos ALU, sequencer, cim-aritmetikai egység (AAU-Address Arithmetic Unit) stb.

A struktúra legnagyobb előnye a sebesség, ami elsőrendű követelmény a digitális jelfeldolgozó rendszerekben. Hátránya viszont a vezetékek, illetve kivezetések nagy száma. Erre szolgáltat egy kompromisszumos megoldást a következő struktúra.

Komplexitás és huzalozás szempontjából a bitsoros jelfeldolgozó struktúrák a legelőnyösebbek. Ez a tulajdonság teszi rendkívül alkalmassá a közeljövőben várható technológiai szinten a rekonfigurálással átprogramozható struktúrák megvalósítására (10), (14). Az első ilyen megvalósított eszköz a TMC2024SPM (Serial Pipeline Multiplier), egy 24×24+24 bites szorzó (2), (13), valamivel fejlettebb kb. 3 μm csíkfelbontású technológiával implementálható lehetne a TMC2000BSP (BOÁK Szignál Processzor) (10), (14). Ez tartalmazna egy néhány bitsoros szorzót, léptető regisztert, összeadót, kivonót és előjelváltó egységet. Ezek rekonfigurálásával rendkívül széles skálán lehetne implementálni digitális jelfeldolgozó algoritmusokat, a digitális szűrőktől a digitális spektrumanalizátorokig, sőt pl. a PARCOR jellegű beszédfeldolgozásig. A rekonfigurálás következtében magát a hardvert programozzuk optimálisan a feladathoz. Az általános célú jelprocesszorokhoz viszonyítva a rugalmasság kisebb, de minőségileg más. Ennek következménye, hogy az alapvető jelfeldolgozó algoritmusok zömét azonos félvezető technológia mellett több, mint egy nagyságrenddel nagyobb sávszélességű jelre el lehet végezni. Azonos teljesítmény mellett pedig legalább egy technológiai váltást helyettesít.

3. Következtetések

A fejlődés irányvonalából és a műszaki lehetőségek alapján egyértelműen csak arra a következtetésre lehet jutni, hogy a digitális jelfeldolgozó áramkörök a legperspektívikusabbak közé tartoznak, amelynek a felhasználása már igen széles körű és ez a közeljövőben rohamosan tovább fog nőni. Ennek megfelelően a nagyobb sorozatú hazai igények is hamarosan jelentkezni fognak, ami elől egy félvezető-gyártással foglalkozó cég nem térhet ki.

Nyomatékosan figyelembe kell azonban venni, hogy a VLSI tervezésben és különösen a digitális jelfeldolgozó félvezető eszközök fejlesztésében a rendszertechnikai ismeretek súlya inkább döntő lesz. Enélkül már a referencia áramkörök megértése is lehetetlen, ezek részletes megismerése pedig összemérhető feladat lesz azok önálló megtervezésével. Erre a hazai áramkör-tervezésnek is fel kell készülnie.

IRODALOM

[1] *Nagy Pál:* U400EBM típusú MEV szorzó alkalmazása az OMC 105 FFT analizátorban, Híradástechnika.

[2] *Aggod József, Asztalos András:* Soros szorzó tervezése a Mikroelektronikai Vállalatnál, Híradástechnika jelen száma.

[3] *Szőke Sándor, Dr. Tuzson Tibor:* A MAD nagysebességű kombinációs 16×16+35 bites szorzó-összeadó alapcella és az erre épülő TMC2010MAC szorzó-akkumláló integrált áramkör real-time jelfeldolgozáshoz. Híradástechnika jelen száma.

[4] *T. Tuzson, A. Asztalos:* VLSI Digital Signal Processing Structures and Their Feasibility: Proceedings of the Third Symposium on Microcomputer and Microprocessor Application, (uP'83, Budapest, 18—21, Oct. 1984. P: 148—164.

[5] *Kerényi I., Tuzson T.:* Analóg perifériák mikroprocesszoros rendszerekhez, BME Mérnöki Továbbképző Intézet, Jegyzet Budapest, 1984.

[6] U400EBM 8 bites μP kompatibilis szorzó. Előzetes adatlap. Mikroelektronikai Vállalat, Budapest 1984.

[7] *János Erdélyi, Tibor Tuzson:* A μP Compatible 8×8 bit Multiplier on ULA, Mikroelektronika'84, Prága, Szeptember 1984. II. kötet, 175—176 old.

[8] *Tibor Tuzson, János Erdélyi:* A Low-Cost μP-Compatible Multiplier on Logic Array, International Conference on Digital Signal Processing, Firenze, 5—8. September, 1984.

[9] *Tuzson Tibor, Erdélyi János:* U400EBM 8 bites párhuzamos szorzó, Magyar Elektronika, II. évfolyam 2. szám, 1985. P. 45—49.

[10] *Tuzson Tibor:* VLSI a digitális jelfeldolgozásban: Magyar Elektronika, III. évfolyam 1. szám, 1986. P—16—29.

[11] *Dr. T. Tuzson, S. Szőke:* The Mutual Impact of VLSI and Parallel Processing; Proceedings of the First Hungarian Custom Circuit Conference, CCC'87 Gyöngyös 11—15 May 1987.

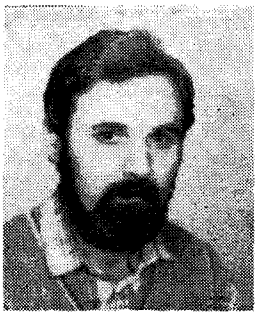
[12] *S. Szőke, Dr. T. Tuzson:* The TMC2010MAC, a High-Speed Combinational Multiplier-Accumulator, Proceedings of the First Hungarian Custom Circuit Conference, CCC'87 Gyöngyös 11—16 May 1987.

[13] *A. Asztalos, J. Aggod:* Design of a 24 bit Serial Parallel Multiplier. Proceedings of the First Hungarian Custom Circuit Conference, CCC'87, Gyöngyös, 11—15 May 1987.

[14] *Dr. Tuzson Tibor:* A jelfeldolgozás hardver eszközei, Prodinform, Budapest, 1986.

Integrált áramköri mérőrendszerek fejlesztése a MEV-ben

BÜKKI LÁSZLÓ—DR. KORMOS ISTVÁN
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A világpiacon található VLSI mérőautomaták két csoportba sorolhatók: a megosztott erőforrású (SR) és a pinenkónti erőforrású (TPP) architektúrájú. A dolgozat ismerteti előnyeiket ós hátrányaikat, majd részletesebben az utóbbival foglalkozik. Összehasonlítja a MEV új fejlesztés alatt álló automatáit a gyártásban lévő típusokkal. A nagy pinszámból eredő problémákat vizsgálja. Áttekintést ad a rendszer pontosságát befolyásoló tényezőkről. Analizálja a hibacsökkentós módszereit. Foglalkozik az autokalibrációval ós a vele elérhető eredményekkel. Végül ismerteti a távlati fejlesztési feladatokat.

BÜKKI LÁSZLÓ

13 éve dolgozik a MEV-nél, illetve jogelődjénél a HIKI-nél, számítógépvezérelt IC mérőrendszerek fejlesztésén. Egyik fő tervezője volt az 1985 óta sorozatban gyártott ICT 115 és 200 LSI mérőrendszereknek. Jelenleg a VLSI mérőautomaták új generációjának fejlesztésén dolgozik. Univerzális rendszer és áramkör tervező szakember, a készülő új berendezésekben saját tervezésű ECL gate array áramköröket is alkalmaz. Lelkes úttörője a korszerű technológiák, a sokrétű nyák és a felületszerelés (SMT) alkalmazásának.

Akárki fogalmazta is meg először, hogy a „VLSI technológia fejlődése probléma és kihívás a mérőautomaták fejlesztői és gyártói számára" — valószínüleg igaza volt.

Kb. 10 évvel ezelőtt a 8 bites mikroprocesszorok a szó szoros értelmében elözönlötték a világot. Nyomukban megjelentek a 16 bites processzorok, amiket napjaink 32 bites egy chip-es központi egységei követtek. Vagy ha végig tekintünk a memória áramkörök generációin a kb. 15 éves 1103-as 1 kbites dinamikus RAM-tól napjaink 1 sőt 4 Mbites memória áramköréig, megérthetjük, micsoda erőfeszítést követel ez a fejlődés az ezen eszközök minősítését végző univerzális mérőrendszerektől.

Amikor az IC mérésről vagy tesztelésről beszélünk, általában funkcionális vizsgálatot értünk alatta „worst case" vagy ehhez közeli dinamikus feltételek mellett. Ezen kívül mérni lehet az eszközök egyenáramú és dinamikus paramétereit is, de a nagybonyolultságú áramkörök esetén döntő fontossága a dinamikus funkcionális vizsgálatnak van (9). A paramétermérés általában csak az áramkör kisebb, a kivezetésekről közvetlenül elérhető részeiről ad információt. A működőképesség teljes ellenőrzése csak a szimulált üzemi körülmények közti funkcionális teszteléssel lehetséges.

A mérendő áramkörök bonyolultságával együtt nőtt működési sebességük, kivezetésszámuk sőt a típusválasztékuk is. Egyre nagyobb hányadot képviselnek a világ IC forgalmában a félfogyasztói ós fogyasztói áramkörök. Ezért a mérőrendszereknek nemcsak a frekvenciahatárát, a pinszámát kell növelni, hanem a flexibilitást, a programozhatóságot is. Ma, amikor egy „custom design" áramkör átfutása (tervezéstől a szállításig) hónapos nagyságrendre rövidült, a mérőautomata szoftverekkel szemben is nagyon nagyok a követelmények — a mérés nem lassíthatja és nem drágíthatja (?!) jelentősen az új termékek piacra kerülését. A számítógéppel segített tervezés CAD mellé fel kell, hogy zárkózzon a számítógéppel segített tesztelés (CAT) illetve az automatikus teszt program generálás (ATPG) is.

A teljesség kedvéért megemlíthetjük, hogy újabban a tesztelést kiegészítő illetve részben kiküszöbölni szándékozó irányzatok is rohamosan fejlődnek: ezek a tesztelhetőségre tervező módszerek, valamint az öntesztelő és javító áramkörök.

De nézzük, hogy követték ezt a fejlődést a mérőautomaták! (1). A 10 évvel ezelőtti korszak gépei jórészt memóriamérésre orientáltságuk miatt algoritmikus mintagenerátorra épültek. A mérendő áramkör kivezetéseit néhány csoportba lehetett sorolni, amelyek kiszolgálását 8 vagy max. 16 programozható órajel (fázis) látta el. Ennek a generációnak gyűjtőneve az irodalomban „Shared Resource" azaz megosztott erőforrás, t. i. az egyes pinek osztoznak a gép erőforrásain (pl. az óra, ill. fázisjeleken és a programozható feszültségszint párokon is) (6, 7, 8). Ilyen architektúrájú gépeket gyártott a világon az összes ismert „nagy" cég: jól ismert a Fairchild Sentry sorozata (7, 10, 20, 21 és a 85 elején piacra dobott 50 is), a Tektronix 3200-es sorozatú gépei, a Accutest 7800, 7900, a szinte „ipari standard" Terydane J 941, a Takeda Riken TR 3340, a Macrodatáról (ma Eaton) nem is beszélve.

A mérendő áramkörök bonyolultságának növekedésével egyidőben struktúrájuk is változott, egyre szaporodtak azok a regulárisnak egyáltalán nem nevezhető alkatrészek, amelyek bonyolult időzítési, meghajtási igényeivel túlnőtték az „SR" architektúrájú automaták lehetőségeit. Ekkor jelentek meg a piacon a „Tester per Pin" felépítésű mérőautomaták, az elsők között is a Megatest cég a „Megaone" elnevezésű rendszerével (3, 4, 1). Ez a felépítés minden áramköri kivezetés „pin" számára saját jelforrást biztosít, amely tetszés szerint programozható. Ennek a megoldásnak egyéb előnyei vannak: a rendszer struktúrája

Beérkezett: 1987. V. 21.

egyszerűbb (elhagyhatók bizonyos egységek, pl. a topológiai rendező) a programozás szempontjából kedvezőbb, az autokalibráció realizálása is egyszerűsödik.

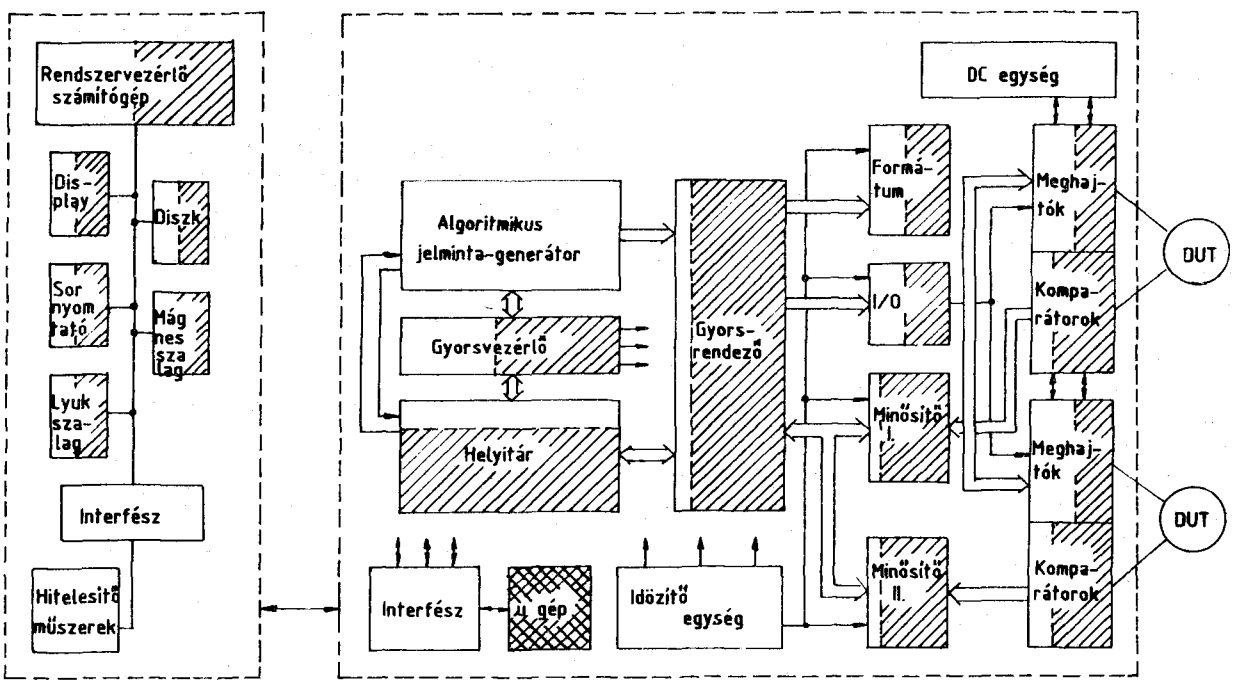
Nem sokáig maradt egyedül a Megaone a „TPP kategóriában, csatlakozott hozzá az LTX Trillium az Arraymaster" elnevezésű rendszerével. Ez a berendezés főleg a dinamikusan fejlődő CMOS gate array eszközöket vette célba. (A mai CMOS technológia 0,7 ns kapukésleltetést, 50 ezer kapu equivalens bonyolultságot képes produkálni optimálisan alacsony teljesítményfelvétel mellett! (1, 2).

A kihívás nem maradt válasz nélkül a régi „nagy"-oknál sem, a Fairchild soronkövetkező típusa a Sentry 15 már „TPP" felépítésű. A Teradyne 1986 végén jelent meg ugyancsak „TPP" struktúrájú berendezésével a J 953-mai. A Tektronix 86 augusztusában publikálta LT 1000 típusú automatáját, amely némi kompromisszummal szintén a TPP családba tartozik (5).

Úgy tűnik tehát, hogy koncepció váltásnak vagyunk szemtanúi a VLSI méréstechnikában. (Ez persze nem jelenti azt, hogy a hagyományos „SR" architektúra nem élne tovább, elsősorban a memóriamérés területén.) Említésre méltók az új mérőrendszerek fejlesztésének költség és idő adatai is. A Megaone 5 év alatt 20 millió dollárból született. Az LTX Trillium Arraymaster 2 év alatt 15 millió dollárból készült el (1). A Teredyne J 953 fejlesztési költsége kb. 25 millió dollár, de a cég piaci vezető pozíciójának visszaszerzését reméli tőle (1).

A MEV mérőautomaták múltja és jelene

Az integrált áramkör mérőautomaták fejlesztése és gyártása vállalatunknál (illetve jogelődjénél a HIKI-nél) már meglehetősen nagy múltra tekint vissza. Kb. 15 évvel ezelőtt készült pl. az ICT—2 típusjelű számítógép vezérelt mérőautomata. Néhány évvel később pedig már egy korszerű algoritmikus mintagenerátor fejlesztése indult meg memóriamérési célra. Ebből a „memory exerciser"-ből alakult ki az az ICT 110 C néven ismert mérőautomata, amelynek a gyártását az EMG vette át a későbbiekben. Az algoritmikus mintagenerátorra alapozva fejlesztettük ki a ma is gyártásban levő „SR" architektúrájú 10 MHz-es mérőautomata családot: az ICT 200-as és az ICT 115-öt. Közös blokkvázlatuk az 1. ábrán látható (9). Mindkét gép fő funkcionális egysége azonos: az algoritmikus mintagenerátor. A mintagenerátor jelei egy rendezőhálózaton keresztül a „format" egységre kerülnek. A „Format" egység 8 (vagy max. 12) programozható órafázis segítségével állítja elő a pinelektronika számára a meghajtó jeleket, illetve a várt mintát. Az egységek összehangolt működését, illetve a 3 állapotú driverek vezérlését és a komparátorok maszkolását teszi lehetővé egy parancsmemória. A buffermemória tömörített, nem algoritmikus minták



1. ábra. Az ICOMAT 115 és ICOMAT 200 egyesített blokkvázlata

előállítására szolgál. A méréshez szükséges programozott szintek előállítását, illetve a statikus paraméterek mérését végzi a DC egység.

Az ICT 200 vezérlését a világszerte sikeres és elterjedt 16 bites számítógép a PDP 11/40 végzi (illetve ennek szocialista megfelelői). Alkalmazási területe főleg MOS (és bipoláris TTL) LSI áramkörök, mikroprocesszorok és perifériaillesztők, memóriák stb. DC és funkcionális mérése.

Használható szeletmérővel gyártásközi ellenőrzésre vagy automatikus adagolóval végmérésben. Rendkívüli flexibilitása alkalmassá teszi különböző karakterizációs vizsgálatokra is. Az alkalmazott számítógéppel komplex adatgyűjtés és adatfeldolgozás is végezhető. A berendezés 2 mérőhelyes, mérőhelyenként 48 I/O vagy 96 I+O pin kiszolgálására alkalmas. A mérőprogramok RT 11 alatt futó IPS programnyelven írhatók meg.

Az ICT 200 mérőautomata memóriamérésre dedikált egyszerűsített változata az ICT 115. Paraméterei hasonlóak az ICT 200-éhoz, csak mérőhelyei kevesebb pin kiszolgálására alkalmasak (24 drivert és 16 komparátort tartalmaznak).

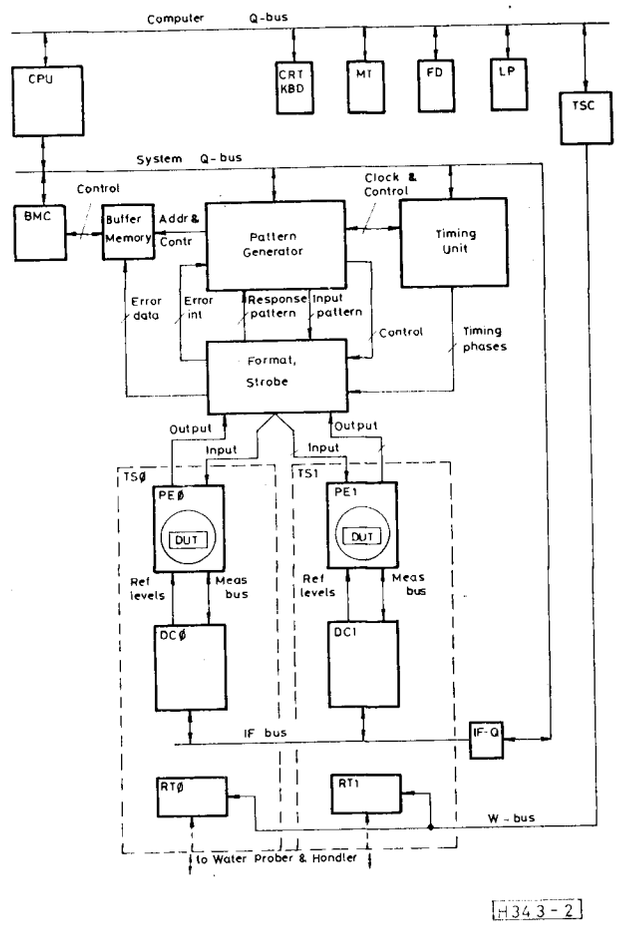
Két ICT 115 berendezés alkot együttesen egy 115 S rendszert. Az egyes mérőtornyok mikrogépes vezérléssel működnek (LSI 11/03 ill. Elektronika 60). A mikrogépek soros vonalon kapcsolódnak egy Elektronika 100/25 számítógéphez. Az egyes tornyok autonom is működhetnek, ez esetben floppylemezes tárolót kell csatlakoztatni a vezérlő mikrogéphez.

A vállalat új fejlesztésű mérőautomatái részben a határfrekvencia, részben a pinszám tekintetében térnek el az eddig gyártott 10 MHz-es típusoktól.

Az ICT 115 20 MHz-es utóda: az ICT 125. Ez a memóriamérő nemcsak sebességben szárnyalja túl elődjét, de a mintagenerátor szolgáltatásai is magasabbrendűek. (X—Y címzés, automatikus háttérgenerálás stb.) Bit számban képes lesz kiszolgálni a mai legkorszerűbb áramköröket is. Számítógépes vezérlése is korszerűsödik. Vezérlő mikrogépe az LSI 11/23, amelyen többfelhasználós operációs rendszer is futhat. Ez lehetővé teszi a vezérlő számítógépen is az egyidejű mérést és programfejlesztést. A mérőprogramok korszerű Pascal bázisú mérőnyelven írhatók. A fejlesztés 1987-ben fejeződik be és még ez évben megindul a gyártás is. A mérőrendszer blokkvázlata a 2. ábrán látható. A jelmintagenerátor szolgál a funkcionális vizsgálat elvégzéséhez szükséges jelmintasorozatok generálására és a nagysebességű vezérlési feladatok ellátására.

A vezérlőpult (RT) elsősorban az ipari környezetben történő rendszerfelhasználást segíti elő.

Az időzítő és formáló egység a szükséges jelminták fizikai tulajdonságait határozza meg és meghajtja a pin elektronika egységeit ill. az annak kimenetén lévő jelsorozatokat feldolgozza. DC egység szolgál az analóg jellemzők előállítására, valamint azok mérésére. Korszerű interface rendszer biztosítja a számítógép ós egyes részegységek közötti kapcsolatot. Mindkét pin elektronika (PE) egyidejűleg akár 2—2 áramkör vizsgálatát tudja elvégezni. A helyi vagy buffer memória



2. ábra. ICT—125 blokkvázlat

(BM) random mintákat szolgáltathat, illetve hibagyűjtést végezhet. A buffer memória és a számítógép adattároló perifériái adatgyűjtést és speciális adatfeldolgozási feladatok megoldását teszi lehetővé. Így kielégíthetők a gyártásközi és végellenőrzés statisztikai és a félvezető fejlesztés karakterizációs igényei is.

A VLSI mérő ICT 220 esetében a nagy pinszám (256) új problémákat vet fel. A generált jelek, illetve az érzékelő áramkörök hibáit szűk tűrésen belül kell tartani. Ez — mint látni fogjuk — rendszeres önhitelesítés nélkül nehezen biztosítható. „SR" felépítés esetén tovább duzzadna az a kapcsoló-hálózat, amely az erőforrásokat a pinekhez rendeli. Ez pedig magával hozna egy sereg nehezen korrigálható hibaforrást, illetve bonyolult korrekciós áramköröket ezek kiküszöbölésére (3, 5). Ezért az új VLSI mérő pin-szelet felépítésben (TPP) készül legalábbis két lényeges egység tekintetében: az időzítőgenerátor fázisjeleit és a driverkomparátor referenciaszintjeit pinenként állítjuk elő. (ld. 3. ábra). A megoldás gazdaságtalannak tűnhet, különösen nagy pinszámok mellett, de az alkalmazott technológia és kapcsolástechnika kiküszöböli ezt a problémát. (Magával hoz viszont miniatürizálási és hűtési problémákat.) A pinenkénti időzítés teljes szabadságot, flexibilitást ad a mérendő áramkör idődiagramjainak programozá-

DR. KORMOS ISTVÁN

diplomáját 1966-ban védte meg a BME Villamosmérnöki Karán. 5 évvel később digitális szakmérnöki diplomát szerzett. Ipari méréstechnikai területen irt értekezésére 1975-ben egyetemi doktori címet kapott. A MEV-ben (illetve HIKI-ben) 1974 óta dolgozik. Fő munkaterülete az automatikus mérőműszerek és mérőrendszerek fejlesztése. Jelenleg az új VLSI mérőrendszerek fejlesztési főosztályvezetője.

sához és ami még fontosabb, megfelelő statikus, illetve dinamikus pontosságot csak a funkciók pinenként független kiépítése esetén lehet elérni.

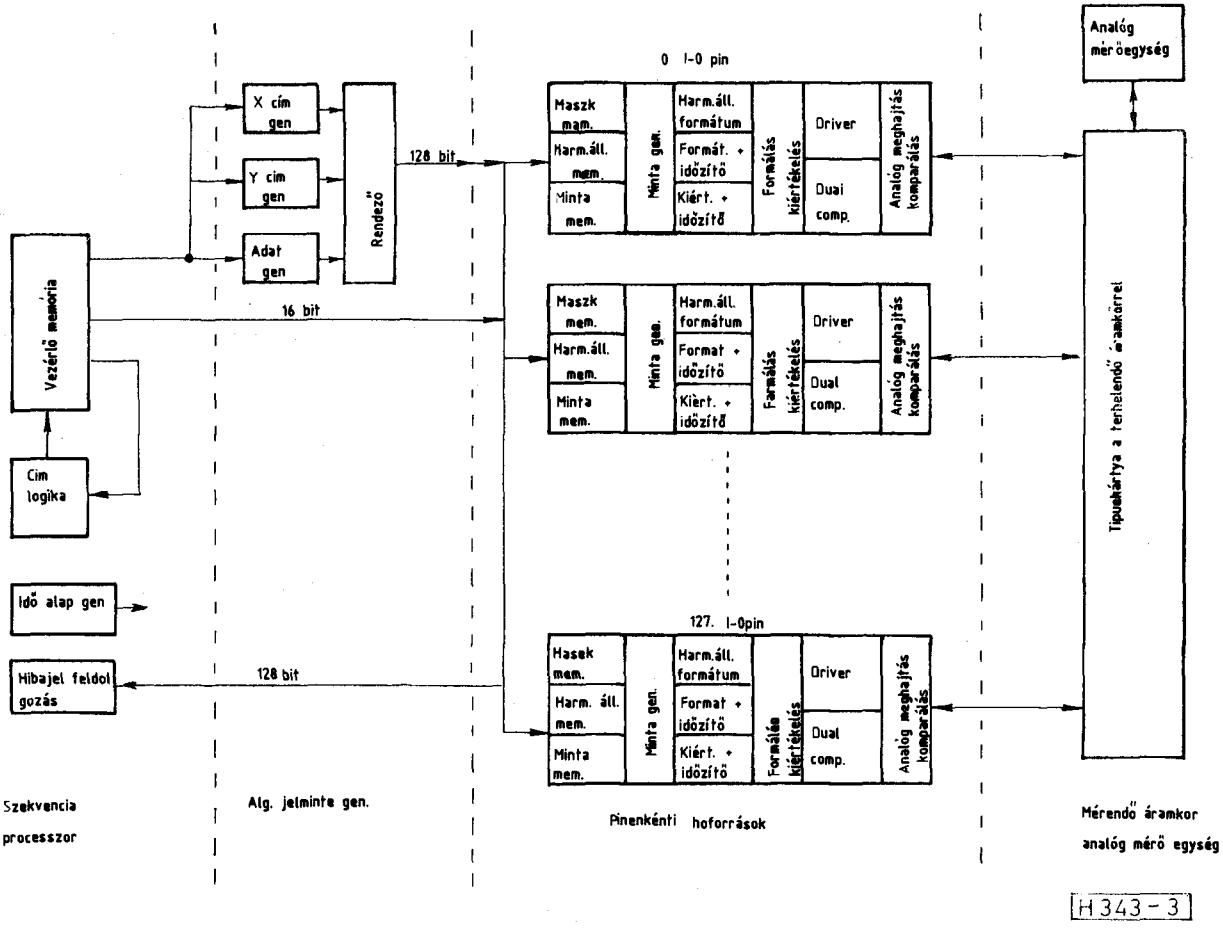
Rendszerpontosság—autokalibráció

Most vizsgáljuk meg először mi okozza a mérőrendszerek mérési hibáját, és ezek után vizsgáljuk meg, hogy milyen módszerrel csökkenthetők ezek, (valamint, hogy miért lehet hasznos a pinszeletek független kiépítése).

A dinamikus pontosságot befolyásoló tényezők közül említhetjük az azonos funkciójú pinszeletek közti áramköri késleltetésből eredő differenciákat. Úthosszbeli különbségeket, (skew hiba) tápfeszültség és hőmérséklet érzékenységet. (Léteznek utánállítással nem kiküszöbölhető tényezők is, pl: a kitöltés és mintaérzékenységből eredő dinamikus hibák.) A generált jelszintek statikus pontosságát szintén az eszközök paraméter szórása (nyitóirányú feszültségek, erősítési tényezők szórása stb.), valamint a tápfeszültség és a hőmérséklet érzékenység befolyásolja.

Kézi állító elemek alkalmazása helyett kézenfekvő módszer valamilyen visszacsatoláson alapuló automatikus kalibráció. A módszer lényege röviden, hogy a beállított NOMINALIS idő v. feszültség értékét egy megfelelően nagypontosságú eszközzel megmérjük, vigyázva arra, hogy a mérőműszer becsatlakoztatás csak elhanyagolható módon zavarja meg fizikai jellemző értékét. A nominális és mért érték számítógépes összehasonlításából a számítógép a nominális értékét módosítja. A módszer alkalmazása során a számítógép szoftver elemei végzik a művelet stratégiáját, azonban a hardver oldalon is szükség van kiegészítő elemekre. Szükséges például a fizikai jellemzők (időzítés, feszültségszint) megfelelően finom felbontású programozhatósága, az egyes vizsgált jelek vagy áramkörök programozott összekapcsolhatósága az etalon mérőműszerrel, és mindezeken kívül szükség van az etalon mérőműszer által mért eredmény visszajuttatására a számítógépbe.

Az autokalibrációs módszer a szoftver stratégiai oldalról kétféle típusú lehet. Megoldható a feladat úgy, hogy egy olyan eljárást készítünk,



3. ábra. ICOMAT 220 mérőrendszer architektúra

amely felméri a pinek közötti eltéréseket, és letárolja azokat. Ezek után minden felhasználói program niminális értékeit ezekkel a korrekciós tényezőkkel kell módosítani. A másik lehetőség a direkt módszer, ahol a beállítást a felhasználói mérőprogram egy erre a célra elkülönített része végzi, a saját programjára jellemző pontokban, a mérendő áramkörre specifikusan. A helyes beállítás után a módosított értékek a méréssorozat időtartamára a mérőrendszerben maradnak mindaddig, amíg az ellenőrző program felülegyelete újabb kalibrációs eljárás elkezdését nem kezdeményezi. Ez utóbbi eljárással lényegesen nagyobb pontosságot lehet elérni, azonban az ellenőrző és az autokalibráló eljárást a felhasználónak magának kell megírnia.

Térjünk most vissza az autokalibráció hardver vonzatára. A fizikai jellemzők (idő, feszültség, áram) finom felbontásához különféleképpen juthatunk. Egyszerűbb teszterekben a fizikai erőforrások korlátozott számban vannak jelen, mert ezt a különböző pincsoportok azonos tulajdonságai (azonos szintek, időzítések) lehetővé teszik. Az anomáliákat azonban az egyes pinszeleteken másmás mértékben kell kompenzálni. Az állító szerveket tehát pinenként kell kiépíteni. Ha a feladatot megfelelő körültekintéssel, exaktul akarjuk megoldani, akkor ez a megoldás nagy pinszám esetén elég költséges, hiszen a pinenként kiépítendő „hasznos" funkciókkal terjedelmük összemérhető.

Visszatérve a pinenként kiépített erőforrású rendszerekre, látható, hogy nincs szükség külön finom állító szervre (pl. deskew áramkör) pinenként, mert pinenként nagy felbontással előállítható a fizikai jellemző névleges, ill. annak kompenzált értéke is.

A mérőrendszer nem tartalmazza az erőforrások szétosztásához szükséges nagyszámú elemet (kapcsoló hálózat), ezért egy pin felépítése önmagában egyszerűbbé válik, ezért stabilabbá, megbízhatóbbá pontosabbá. Szerencsére a félfogyasztói áramkörök megjelenésével (GATE-ARRAY) a megnövekedett hardver többlet ma már nem jelent gondot. Ilyen áramkörök alkalmazásának akkor van létjogosultsága, ha egy berendezésben sokat használunk belőle. A pinenkénti erőforrású berendezésekre pedig éppen az a jellemző, hogy egyre több és mélyebb szeletekre vágható hardver elemeket alkotnak, amely szerencsésen összetalálkozik a Gate-array áramkörök alkalmazásának feltételével.

A pinenkénti erőforrások kiépítésére VLSI mérőrendszerünknél nem csak a pontosság növelése miatt van szükség, hanem a rendszer univerzalitását, szélesebb körű felhasználhatóságát tesszük lehetővé azzal, hogy megengedjük, hogy a mérendő áramkörök egymás melletti lábai funkcionálisan és paramétereikben is eltérően viselkedjenek. A VLSI áramkörök mérése (Gate array, mikroprocesszorok stb.) pedig egyre több váratlan feladat elé állítja a mérés megtervezőjét, akinek jókora segítséget jelent, ha nem kell állandóan a mérőberendezés szabta korlátokba ütköznie.

A fejlesztés távlati feladatai

Egyértelmű, hogy a félvezetőipar az egyre nagyobb sebességű mérőautomatákat várja, ezért a középtávú tervekben szerepelnek a 40/80 MHz-es, illetve az ennél nagyobb sebességű mérőautomaták. Rendszertechnikailag érdekességként kiemelhető az ICT 135 nagysebességű redundáns memóriamérő berendezés. Feladata 40 MHz-es sebességgel tesztelni a max. 4 Mbyte méretű IC-ket. A tesztelésen túlmenően RCM beégetőhöz hasonlóan a hibás memória sorok helyére a tartalék sorokat kell bekötnie az erre alkalmas áramköröknél.

IRODALOM

[1] „Better Design can Solve Test Problems" Test! March 1986. pp. 45—50.

[2] „New CMOS Design Demand Different and Radical Test Approaches" *James T. Healy* Electronics Test December 1985. pp. 63—71.

[3] „VLSI-Chip Test System Tests Itself at Board Level" (MegaOne Hardware) Electronics August 5, 1985. pp. 46—49.

[4] „Test Technology: Thivind in Adversity" *Richard Camerford* Electronics, Test, January 1986. pp. 39—44.

[5] „An Architectural Solution to the Shyscraping Cost of VLSI Testing" *Dan Dunatchik* Electronics Test, August 1986. pp. 23—31.

[6] „Multiplexed Timing Sources Yield Accurate VLSI Tests" *Jefferey A. Davis* Electronics Test December 1985. pp. 107—113.

[7] „Teradyne J 967 VLSI Test System" *Wayne Ponik* IEEE Design et Test, December 1985. pp. 57—62.

[8] „Milestones of New-Generation ATE" *Tohru Kazamaki* IEEE Design et Test, December 1985. pp. 83—89.

[9] „LSI—VLSI Áramkörök" *Masszi—Szamosközi* Műszaki Könyvkiadó 1985.

[10] „VLSI Mérőautomaták architekturális fejlődése" *Bükki—Kormos* VI. Műszer és Méréstechnika Konf.- és Kiáll. 1987.

[11] „VLSI Testermarkt wird enger" Elektronik, 25/12, 12. 1986. p. 12.

Mikroelektronikai eszközök megbízhatósági vizsgálatai a MEV-ben

DR. BALOGH ALBERT—GÖBLÖS IMRE—
VÁRADI ISTVÁN
Mikroelektronikai Vállalat

DR. BALOGH ALBERT

matematikus, a műszaki tudomány kandidátusa. 1961 óta foglalkozik az elektronikai alkatrészek megbízhatóságának értékelésével a HIKI-ben, majd 1982 óta a MEV-ben, jelenleg főosztályvezető-helyettes. A témakörben több mint 50 buplikációt jelentetett meg. 1981-ben az EOQC „Quality folyóirat EQ díját kapta meg. A HTE Megbízhatósági és Minőségügyi Bizottságának elnöke. 1976-ban Puskás Tivadar díjat, 1986-ban Polák-Virág díjat kapott.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány áttekintést ad a MEV-ben alkalmazott megbízhatóság-vizsgálati módszerekről. Ismerteti a rendelkezésre álló vizsgáló berendezéseket. Összefoglalja a megbízhatósági adatok értékelésének és közlésének módszereit. Vázolja a berendezések megbízhatóságának számítási eljárását alkatrészadatok felhasználásával.

Bevezetés

A mikroelektronikai eszközök minőségbiztosítási rendszerének egyik fontos alkotó része a termékek megbízhatóságának biztosítása és az ezzel kapcsolatos vizsgálati tevékenység.

A Mikroelektronikai Vállalat kialakított általános minőségbiztosítási rendszeréről ad áttekintést az [1] közlemény, amelyben a Vállalat minőségbiztosítással foglalkozó szakemberei összefoglalják az idegenáru-ellenőrzéssel, műveletellenőrzéssel, végellenőrzéssel és jóváhagyással, vizsgálatokkal, selejtelemzéssel, valamint a felhasználókkal való együttműködéssel kapcsolatos legfontosabb módszertani kérdéseket.

A jelen közlemény ehhez az általános tevékenységhez kapcsolódóan kívánja bemutatni a MEV-ben kidolgozott megbízhatóságvizsgálati módszereket, a rendelkezésre álló vizsgáló berendezéseket és az adatközlés legfontosabb szempontjait. Tanulmányunkban a gyakorlati megvalósítást helyezzük előtérbe, azonban közvetlenül támaszkodunk a témakörben megjelentetett tudományos, elméleti kérdéseket tárgyaló publikációkra. A megbízhatósági információk feldolgozását így az általános minőségügyi információs, adatgyűjtő- és feldolgozó rendszerhez illeszkedően kell elvégezni MÁTRAI [2] közleményében kifejtett alapelveknek megfelelően. A gyakorlati munka során felhasználtuk azokat a fizikai-kémiai összefüggéseket leíró modelleket, amelyek egyrészt a gyorsított vizsgálatok tervezéséhez vezetnek (CSORNAI [3]) másrészt a rendszerek megbízhatósági tervezésénél használhatók fel (BALOGH—GERLAI [4]).

A megbízhatósági vizsgálatok matematikai-statisztikai tervezésénél és értékelésénél felhasználtuk a vonatkozó hazai szabványokat [5], [6], [7], [8], [9] és a hazai szakirodalmat is [10]. Ezekre az eredményekre alapozott vizsgálati rendszer gyakorlati tapasztalatait foglalja össze közleményünk. Ez a vizsgálati rendszer megfelel a nemzetközileg elfogadott gyakorlatnak, amely szerint a mikroelektronikai eszközök gyártói megbízhatóság-ellenőrző és értékelő eljárásokat alkalmaznak mind a nyugati országokban (pl. TELEFUNKEN, FAIRCHILD, NATIONAL stb.), mind pedig a szocialista országokban (BNK, NDK, LNK, CsSzSzK, SzU). A vizsgálatok módszereit, a követelményeket és az adatok közlési módját nemzetközi szabványrendszerek [IEC—(11), MIL-előírások (12), valamint KGST szabványok] rögzítik. Ezek kidolgozásában és észrevételezésében a hazai megbízhatósági szakértők a magyar nemzetközi bizottságok tagjaként alkotó módon vesznek részt és érvényesítik a hazai elméleti és gyakorlati tapasztalatokat. A mikroelektronikai eszközök vizsgálatainak eredményeként, nemcsak adott minőségi követelményeknek megfelelő termékeket bocsátunk a felhasználó vállalatok rendelkezésére, hanem olyan eszközöket, amelyek hosszú időtartamig hibamentesen működnek a felhasználó berendezéseiben (ld. 1. fejezet).

A megbízhatóság általános alapelveit az 1. fejezet tárgyalja. Ezek alkalmazásával elvégzett megbízhatósági vizsgálatok céljáról és módszereiről a vállalatunknál rendelkezésre álló vizsgáló berendezéspark rövid áttekintésével kívánunk számot adni a 2. fejezetben.

Ezeknek a berendezéseknek a felhasználásával nemcsak a jóváhagyási vizsgálatok összetételébe tartozó igénybevételi szinteken tudjuk a vizsgálatokat elvégezni, hanem annál jóval szélesebb tartományban is. Ezzel lehetővé válik fokozott megbízhatóságú termékeink megfelelőségi és megbízhatósági szintjének ellenőrzése és igazolása, szűrővizsgálatok elvégzése (ld. 3. fejezet), azok hatékonyságának értékelése, valamint a felhasználó vállalatok által alkalmazott és nem vállalatunk által előállított integrált áramkörök vizsgálatainak elvégzése. Az elvégzett vizsgálatok eredményeit a nemzetközileg elfogadott módszerekkel értékeljük és az adatokat is így közöljük felhasználóinkkal (ld. 4. fejezet).

Beérkezett: 1986. XII. 3.

1. *A megbízhatóság alapelvei*

A megbízhatósággal kapcsolatos alapelvek ismertetésekor először is fontosnak tartjuk annak megértését, hogy milyen kapcsolat van a szűkebb értelemben vett minőség, másképpen megfelelőség és a megbízhatóság között. Ez a két fogalom nem azonos, ugyan kapcsolatban vannak egymással. A szűkebb értelemben vett minőség (megfelelőség) egyszerűsített meghatározása a következő: a termék azon tulajdonsága, hogy megfelel a felhasználás megkezdése előtt ($t=0$ időpontban) az előírásokban rögzített követelményeknek. A szűkebb értelemben vett minőséget (a megfelelőséget) mennyiségileg a hibaszinttel határozzák meg, így követelményként az átviteli hibaszintet (AQL) szokásos megadni %-ban kifejezve.

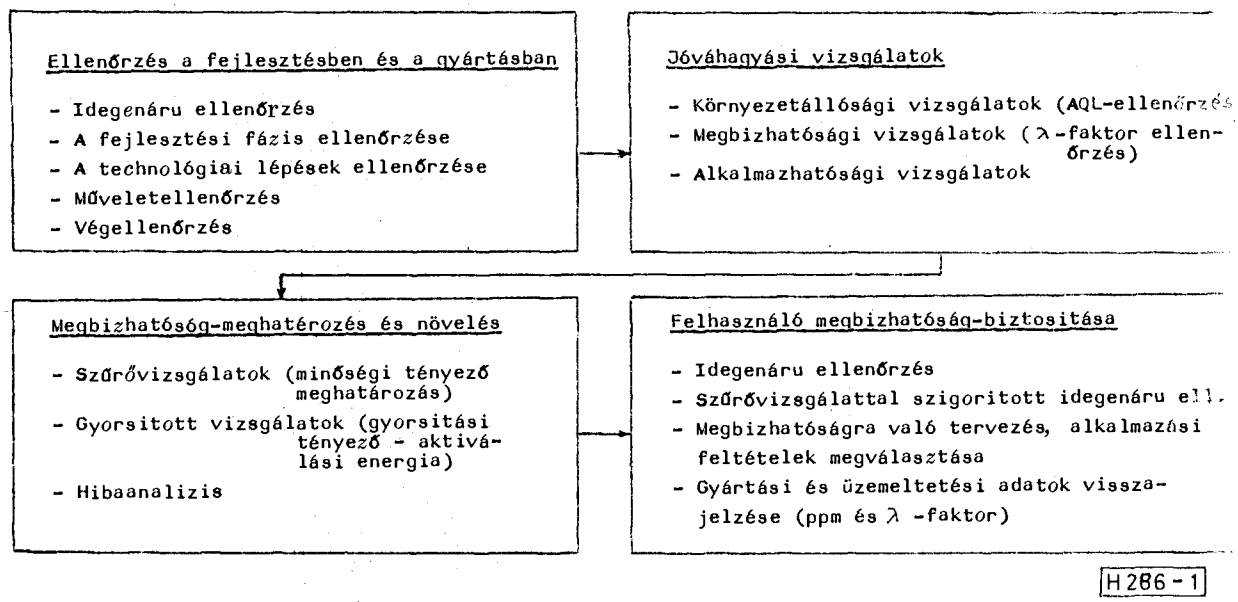
A termék megbízhatóságának egyszerűsített meghatározása: a termék azon tulajdonsága, hogy adott idejű (t idejű) felhasználása során megfelel-e az előírásokban rögzített követelményeknek. A megbízhatóságot mennyiségileg a meghibásodási rátával (λ-faktorral) jellemzik, amely az időegységre eső meghibásodási gyakoriságot fejezi ki 1/óra vagy 1 fit $=10^{-9}$/óra egységben.

A szűkebb értelemben vett minőség (megfelelőség) és a megbízhatóság együttesen alkotja a termék általános értelemben vett minőségét, azaz megfelelőség + megbízhatóság = minőség (általános értelemben).

GÖBLÖS IMRE

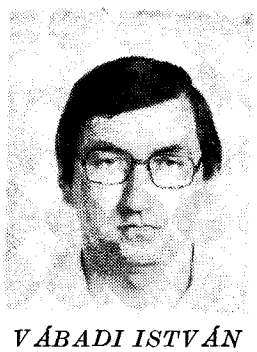
villamosmérnök 1964 óta foglalkozik az elektronikai alkatrészek vizsgálati módszereinek fejlesztésével a HIKI-ben, 1982 óta pedig a MEV-ben. Több előadást tartott a témakörben, közel 10 publikációt jelentetett meg. A HTE Alkatrész- és Alapanyag Szakosztályának titkáraként az évenkénti Alkatrész Szemináriumok szervezője. A BME Elektronikai Technológia Tanszék külső előadója. 1987-ben „Puskás Tivadar" díjat kapott.

A fentiekből látható, hogy a termék felhasználás előtti megfelelősége szoros kapcsolatban van a termék hosszú idő alatti alkalmazása során várható megbízhatóságával. Ez azt jelenti, hogy vállalatunk termékeinek megbízhatóság-biztosítási tevékenysége egyaránt kiterjed a fejlesztés ós gyártás szakaszában történő ellenőrzésekre (idegenáru-ellenőrzés, technológiai lépések ellenőrzése, műveletek ellenőrzése, végellenőrzés), a jóváhagyásra (környezetállósági vizsgálatok, megbízhatósági vizsgálatok és alkalmazhatósági vizsgálatok), a megbízhatóság meghatározására és növelésére irányuló tevékenységekre (szűrővizsgálatok, gyorsított vizsgálatok és hibaanalízis), valamint figye-



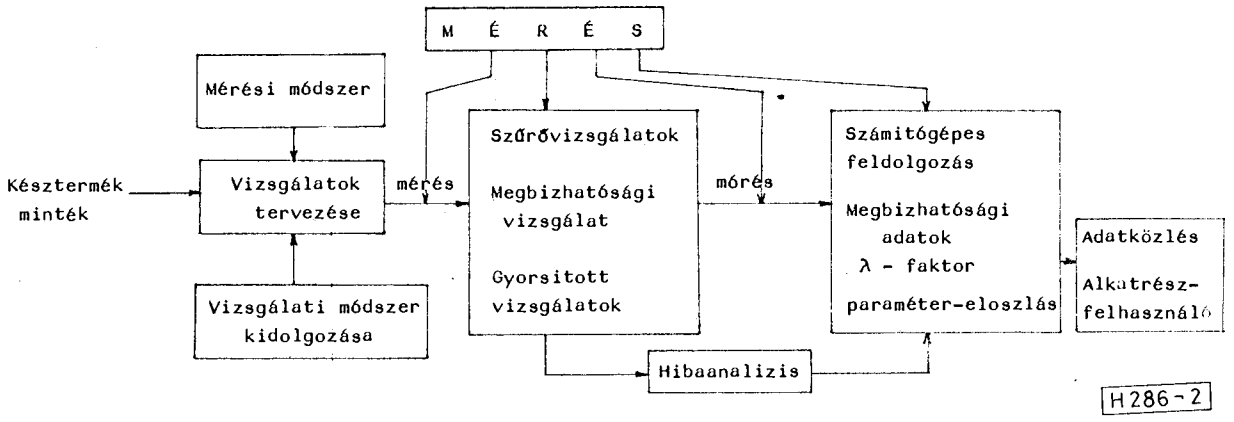
1. ábra. Mikroelektronikai eszközök megbízhatóságának biztosítása

lembe veszi a felhasználó megbízhatóság-biztosító tevékenységét is. A mikroelektronikai eszközök általános értelemben vett megbízhatóság-biztosító tevékenysége az *1. ábrán* látható. Az *1. ábrából* látható, hogy a megbízhatóság és megfelelőség közötti összefüggés minősített eszközök esetében egy arányszámmal jellemezhető, amelyet az ún. minőségi tényező fejez ki (ld. később szűrővizsgálatok). Az *1. ábrán* azt is feltüntettük, hogy nagyon lényeges a felhasználó által végzett megbízhatóság-biztosító tevékenység, amelyet előnyösen lehet alkalmazni többek között a felhasználó és



VÁBADI ISTVÁN

villamosmérnök, megbízhatósági szakmérnök 1974 óta foglalkozik a megbízhatósági adatok számítógépes feldolgozásával a HIKI-ben, majd később a MEV-ben, jelenleg csoportvezető. Közel 10 előadást tartott, illetve közleményt jelentetett meg a tématerületről. A HTE Megbízhatósági és Minőségügyi Bizottságának tagja.



2. ábra. Késztermékek megbízhatósági vizsgálatának folyamatábrája

gyártó együttműködésének kialakításában a felhasználó által szolgáltatott, visszacsatolt információk (például ppm-értékek) hasznosítása területén.

A késztermékek megbízhatósági vizsgálatának folyamatábrája *(2. ábra)* a vizsgálat-tervezéstől a mérésen és igénybevételen keresztül az adatfeldolgozásig és közlésig terjed. A vizsgálati folyamat négy fő részre tagozódik: igénybevétel, mérés, adatfeldolgozás és hibaanalízis.

A megbízhatósági vizsgálatok tervezése során figyelembe vesszük, hogy azok a megbízhatósági mutató (λ-faktor) ellenőrzésére illetve új konstrukciójú termékek esetében annak adott konfidencia szintű meghatározására irányulnak. Mindkét esetben a meghibásodási ráta megkövetelt illetve várt értékéből, valamint a megengedett meghibásodások számából és a konfidencia szintből indulunk ki ós ehhez tartozóan határozzuk meg a szükséges eszközóra mennyiséget (mintanagyság és vizsgálati időtartam szorzatát), a nemzetközi (IEC, MIL stb.) szabványoknak megfelelően.

Megjegyzendő, hogy a hibaszint ellenőrzésére irányuló vizsgálatok (klímaállósági és mechanikai vizsgálatok) tervezését az előírt AQL értékeknek megfelelően (egyes esetekben a visszautasítási hibaszintet reprezentáló LQ értékek szerint) tervezzük a minősítéses mintavételi terveket előíró nemzetközi és hazai (MSZ 548) szabványok előírásai alapján.

A meghibásodási ráta ellenőrzésénél és meghatározásánál figyelembe vesszük, hogy a mikroelektronikai eszközök megbízhatósága több technológiai és alkalmazási tényezőtől függ, így a λ-faktor függvénye az eszköz gyártástechnológiájának, a gyártástechnológia kiforrottságának, az eszköz funkciójának, bonyolultságának, tokozásának és a kivezetések számának, az alkalmazott igénybevételi szintnek (rendszerint a réteghőmérsékletnek). A meghibásodási ráta megkövetelt értékének ellenőrzése illetve meghatározása esetén jelentős mértékben számításba kell venni a gyártástechnológiai folyamatokba beépített ellenőrző vizsgálatok szigorúságát, illetve az így kialakított minőségbiztosítási rendszer eredményeként elérhető megbízhatóság-javulást, amely minősített eszközök esetében — szűrővizsgálatok alkalmazásával — 1—2 nagyságrendnyi megbízhatóság-javulást (meghibásodási ráta csökkenést) eredményezhet a kereskedelmi minőségi szinthez viszonyítva. Ennek a javulásnak számszerű értékelése a minőségi tényezővel mérhető, amely a kereskedelmi minőségű és a fokozott megbízhatóságú eszközök meghibásodási rátájának hányadosa. A minőségi tényező tulajdonképpen a mennyiségi kapcsolatot fejezi ki a minőség (megfelelőség)-javulása és a megbízhatóság növelése között.

2. Vizsgálati módszerek és vizsgáló berendezések

A következőkben ismertetjük vizsgálati módszereinket és az egyes vizsgálatok elvégzéséhez szükséges vizsgáló berendezéseket. Az egyes vizsgálati módszerek kidolgozása során figyelembe vettük a vonatkozó hazai és nemzetközi szabványokat (MSZ, IEC, MIL-STD).

2.1 Tartós terheléses és tárolásos megbízhatósági vizsgálatok

a) A vizsgálat célja: Integrált áramkörök (MEV termékek) meghibásodási rátájának meghatározása vagy ellenőrzése a megengedett működési, illetve tárolási igénybevételi szinteken.

b) A vizsgálat módszere: A vizsgálatra kiválasztott integrált áramköröket legalább 1000 óra időtartamra az előírt hőmérsékletű vizsgáló térbe helyezzük. Terheléses vizsgálat esetén még a szükséges villamos terhelést is bekapcsoljuk. Az eszközök működőképességét elektromos paramétereik lemérésével ellenőrizzük egyrészt már a vizsgálat megkezdése előtt, másrészt a vizsgálat során 168, 500 és 1000 óra vizsgálati idő letelte után. 1000 óránál hosszabb vizsgálat esetén minden további 1000—3000 órában végzünk ellenőrző méréseket.

A tárolásos vizsgálatot általában az eszközre megengedett legmagasabb hőmérsékleten végezzük. Ez a legáltalánosabban használt műanyag tokozású IC-k esetében 125 °C—150 °C. A terheléses vizsgálatnak két változata terjedt el, a sztatikus és a dinamikus elektromos terhelés.

Digitális IC-k sztatikus terhelése egyszerűen a tápfeszültség rákapcsolásából áll. Lineáris áram-

körök esetén külső elemekkel be kell állítani egy stabil munkapontot is.

A dinamikus terhelésnek több módszere létezik. Kapuáramkörök esetében az egyik legegyszerűbb megoldás, amikor páratlan számú kapu „gyűrű"-be kapcsolásával oszcillátort készítünk. Általában a digitális áramkörök bemenetére egy külső generátor és egy alkalmasan választott logikai hálózat segítségével vezérlő jeleket vezetünk, a kimeneteket pedig az üzemeltetés során leggyakrabban előforduló módon terheljük. Nagybonyolultságú (LSI) eszközök esetében mikroprocesszoros jelminta generátort használunk. Lineáris IC-k dinamikus terhelésekor az illető eszköz leggyakoribb üzemi felhasználási körülményeit modellezzük passzív külső elemekkel és meghajtó generátorral.

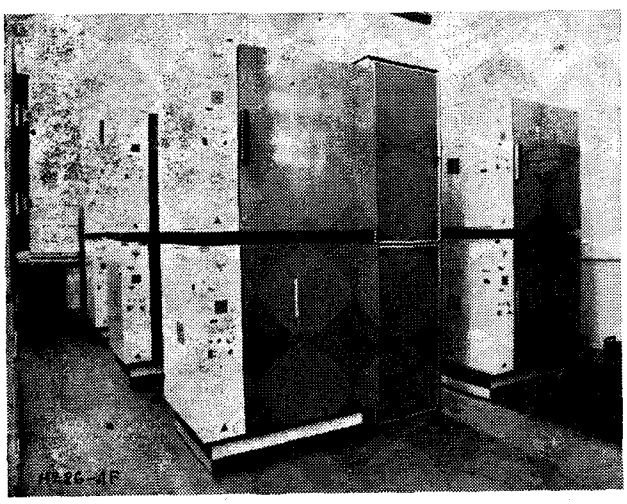
Mind a sztatikus, mind a dinamikus terhelés esetén vigyázni kell arra, hogy az áramkörök réteghőmérséklete ne haladja meg az adatlapon előírt felső határértéket.

A vizsgálatok elvégzésére LP—321/2 típusú („LABOR" MIM gyártmányú) szárítószekrények állnak rendelkezésünkre (1. fénykép), amelyek vizsgáló terének térfogata 200 liter, az üzemi hőmérséklettartomány +30...+300 °C. A sztatikus és a dinamikus vizsgálatok esetében a tápfeszültséget kapcsoló üzemű, illetve analóg tápegységekkel biztosítjuk.

Az ellenőrző méréseket ICOMAT 2/D, ICOMAT 110 és DELTEST 2200 típusú programozható mérőautomatákon végezzük. A mérési eredmények feldolgozása vagy magán a mérőautomatán (DELTEST 2200) vagy külön számítógépen történik (ICOMAT 2/D).

c) A vizsgálatból származtatott adatok

— a legfontosabb villamos jellemzők eloszlása az idő függvényében,
— a meghibásodási ráta becslése és felső konfidencia határa,
— a meghibásodási ráta hőmérséklet és villamos igénybevétel függését leíró összefüggések,
— jellemző hibamechanizmusok és azok aktiválási energiája.



1. fénykép: Tartós terhelő berendezés

2.2 Mechanikai vizsgálatok

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy az integrált áramkörök az adott alkalmazás során fellépő mechanikai igénybevételt képesek-e károsodás nélkül elviselni.

b) A vizsgálat módszere: Az eszközöket meghatározott időtartamig adott szintű mechanikai igénybevételnek vetjük alá, amit fárasztásnak is szokás nevezni. A vizsgálat megkezdése előtt és az igénybevétel után az elektromos paraméterek lemérésével ellenőrizzük a működőképességet, valamint szemrevételezéssel az alaki megfelelőséget. Három jellegzetes típusa van a mechanikai vizsgálatoknak, a rázás, az ejtegetés és az állandó gyorsulás (centrifugálás).

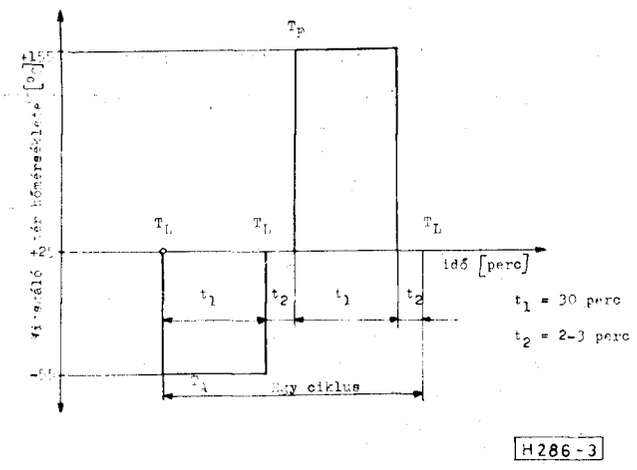
A *rázás vizsgálatot* szinusz alakú meghajtó jellel egy Brüel and Kjaer gyártmányú rázógépen végezzük. Az áramköröket — NYÁK-lapra forrasztva — egy felerősítő szerelvény segítségével úgy rögzítjük a rázóasztalra, hogy három egymásra merőleges irányú rázásuk megvalósítható legyen. Az igénybevétel általában ún. pasztázásos rázás, ami azt jelenti, hogy a rázási frekvencia egy adott tartományon belül oda-vissza folyamatosan változik. Az alsó határfrekvencia 10 Hz, a gyakrabban előforduló felső határfrekvenciák: 55 Hz, 150 Hz, 500 Hz, 2000 Hz és 5000 Hz. A vizsgálat szigorúsági fokát a pásztázási frekvenciatartomány a rázási amplitudó és a fárasztási időtartam határozza meg. A rázási amplitudót rendszerint a csúcsgyorsulás értékével szoktuk előírni az 5 g—50 g tartományban. A fárasztási időtartam sok esetben 3×30 perc, de 3×120 perc is lehet. Rázógépünk üres asztallal 140 g maximális gyorsulás elérésére képes, de 2,4 kg terhelés mellett még megvalósítható 50 g gyorsulási amplitudó. A működési frekvenciatartomány 2 Hz—5000 Hz.

Az *ejtegetésállóság vizsgálatot* is NYÁK-lapra szerelt alkatrészeken végezzük. Az igénybevétel nagyszámú félszinuszhullám alakú, 5—10 msec széles impulzus. A szigorúsági fokot a csúcsgyorsulás értéke (10 g—500 g) az ejtegetések gyakorisága (0,3/sec—3/sec) és az ejtegetések száma (1000—5000) határozza meg.
Ejtegetőgépünk NDK gyártmányú és 50 kg terhelés mellett még alkalmas 500 g csúcsgyorsulás megvalósítására. Maximális terhelhetősége 400 kg, 10 g gyorsulás mellett.

Az *állandó gyorsulás* vizsgálat során a hermetikus tokozású eszközöket egy ultracentrifugában helyezzük el, amelyben előállítható a szükséges 30 000 g nagyságú gyorsulás. Az igénybevétel időtartama 1 perc, a gyorsításhoz és a leállításhoz szükséges időn felül. Az ellenőrző méréseket a 2. 1. pontban említett mérőautomaták segítségével végezzük.

c) A vizsgálatból származtatott adatok

— meghibásodási arány, amelynek ismeretében ellenőrizzük, hogy az alkatrész előre megadott AQL értéknek, mint megbízhatósági követelménynek megfelel-e, vagy sem az előírt szigorúsági fokú vizsgálaton,
— jellemző hibafajták eloszlása.



3. ábra. Hőmérsékletváltozás vizsgálat két vizsgáló térben

2.3 Klímaállósági vizsgálatok

2.3.1 Hőmérsékletváltozás hatásának vizsgálata

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy az integrált áramkörök a környezeti hőmérséklet megváltoztatásának hatását képesek-e károsodás nélkül elviselni.

b) A vizsgálat módszere: Az alább ismertetendő három módszer egyike. A vizsgált eszközök alaki megfelelőségét szemrevételezéssel, működőképességét elektromos paramétereik lemérésével ellenőrizzük a vizsgálat megkezdése előtt és annak befejezése után.

„A" módszer: gyors hőmérsékletváltozás hatásának vizsgálata *két* vizsgálótérben.

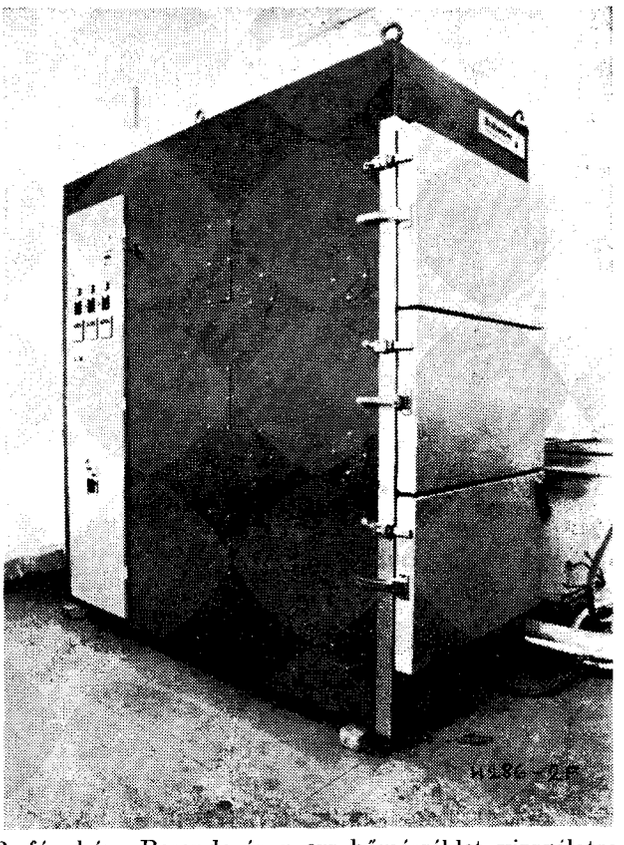
Az egyik vizsgálóteret a T_A alsó, a másikat a T_F felső vizsgálati hőmérsékletre állítjuk be. A vizsgálati anyagot először a T_A hőmérsékletű térben tartjuk t_1 ideig, majd t_2 idő alatt átrakjuk a T_F hőmérsékletű térbe, ahol ugyancsak t_1 ideig fog tartózkodni és utána t_2 idő alatt visszakerül a T_A hőmérsékletű térbe. A gyors hőmérsékletváltozást az biztosítja, hogy a t_2 idő elég rövid, mindössze 2—3 perc. A vizsgálat előbb leírt egy ciklusának idődiagramját a *3. ábrán* közöljük. A t_1 hőntartási időtartamot a vizsgált alkatrészek termikus időállandójától függően választhatjuk 3 órának, 30 percnek vagy 5 percnek. A vizsgálat szigorúsági fokát a t_1 és a t_2 időtartamon kívül a T_A és a T_F hőmérsékletek, továbbá a ciklusok száma határozza meg. A szabványos választható hőmérséklet-értékeket az *1. táblázatban* közöljük.

1. táblázat

T_A alsó hőmérsélet (°C)	T_F felső hőmérsélet (°C)
—65 —54 —40 —25 —10 5	30 40 55 70 85 100 125 *155* 175 *200*

Integrált áramkörök esetében általában az alá-húzással jelölt hőmérsékletértékeket választjuk, a t_1 időtartam 30 perc, a ciklusszám pedig 10.

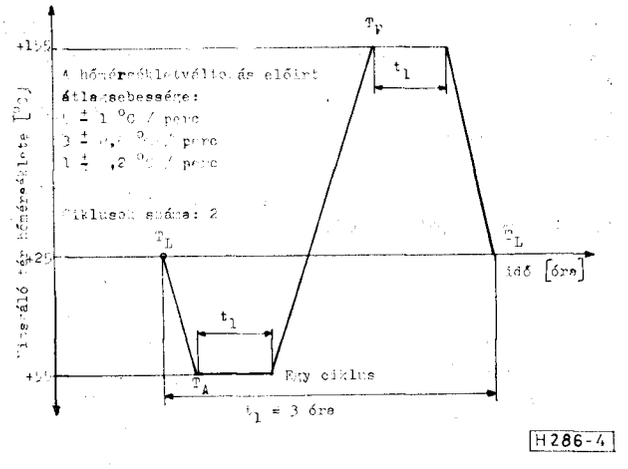
A gyors hőmérsékletváltozás vizsgálatokat a három vizsgálótérrel rendelkező Brabender gyártmányú TSE—S 3—80/80 típusú berendezésünkben végezzük (2. fotó). A vizsgáló terek egymás fölött helyezkednek el. A felső vizsgálótér max. 250 °C-ra melegíthető, a középső vizsgálótér szobahőmérsékletű, az alsó vizsgálótér —80 °C-ra hűthető. A vizsgálati anyagot egy beépített lift mozgatja egyik térből a másikba. A t_1 és a t_2 időtartamok, a T_A és a T_F hőmérsékletek, valamint a ciklusszám programozható.



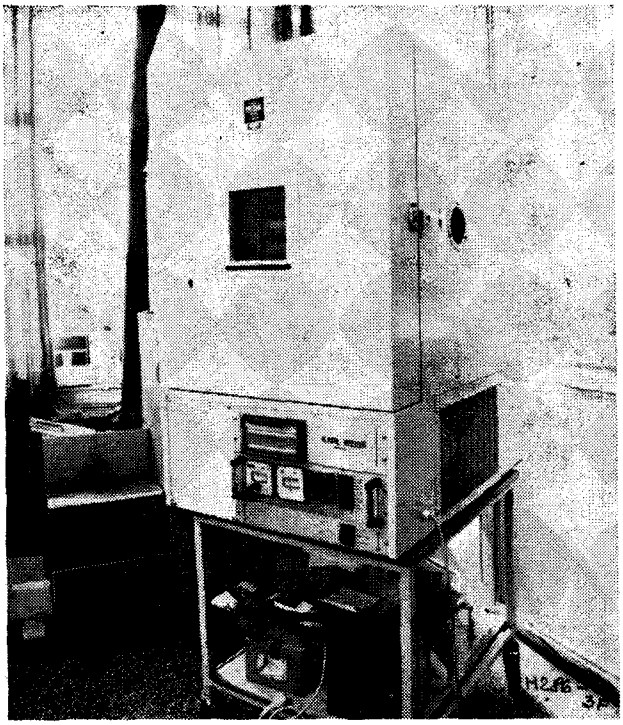
2. fénykép: Berendezés gyors hőmérséklet vizsgálatra

„B" módszer: folyamatos hőmérsékletváltozás hatásának vizsgálata *egy* vizsgálótérben.

A vizsgálótér hőmérsékletét a *4. ábrán* látható idődiagramnak megfelelő módon változtatjuk. A vizsgálat szigorúsági fokát a t_1 hőntartási idő,



4. ábra. Hőmérsékletváltozás vizsgálat egy vizsgáló térben



3. fénykép: „Száraz" vizsgálószekrény

a T_A és T_F hőmérsékletek (leírásuk az „A" módszernél), valamint a hőmérsékletváltozás átlagsebessége és az igénybevételi ciklusok száma határozza meg. A hőmérsókletváltozási sebesség választható átlagértékei: 5 ± 1 °C/perc, $3 \pm 0{,}6$ °C/perc, $1 \pm 0{,}2$ °C/perc. Az igénybevételi ciklusok száma általában kettő. A vizsgálat elvégzésére alkalmas berendezésünk a Weiss gyártmányú 160/8—100 DU típusú vizsgálószekrény (3. fénykép), amelynek hőmérséklete a —80—+180 °C tartományban $\pm 0{,}3$ °C pontossággal programozható.

„C" módszer: igen gyors hőmérsékletváltozás hatásának vizsgálata *két fürdőben*

A vizsgáló terekben ennél a vizsgálatnál nem levegő, hanem az előírt hőmérsékletű folyadék van, egyebekben a vizsgálat hasonlít az „A" módszerhez. Az időDiagram a *3. ábrán* közölthöz hasonló alakú, de az idő és hőmérsékletértékek eltérőek. A t_1 hőntartási idő legalább 5 perc, a t_2 átrakási idő legfeljebb 10 másodperc, és az igénybevétel legalább 10 ciklus. A következő táblázatban leírt szigorúsági fokozatú vizsgálatokat tudjuk elvégezni PESPATCH gyártmányú RANSCO típusú berendezésünkön.

2. táblázat

Szigorúsági fokozat	Hőmérséklet (°C) T_A	T_F	Folyadék A tér	F tér
A	0	100	víz	víz
B	—55	125	FC 77	FC 70 vagy FC 40
C	—65	150	FC 77	FC 70 vagy FC 40

c) A vizsgálatból származtatott adatok (ld. 2. 2. pont)

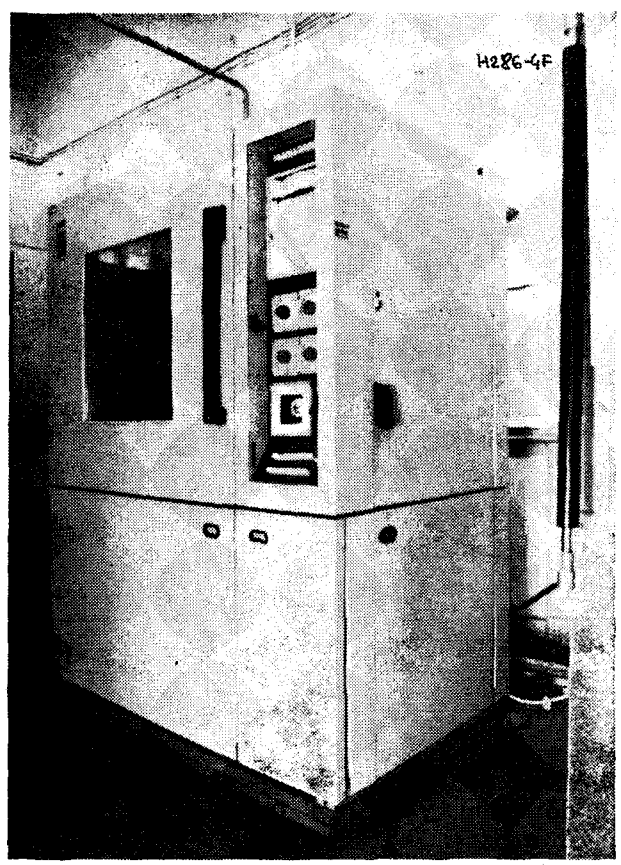
2.3.2 Tartós nedves melegállósági vizsgálat

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy a vizsgált eszközök megőrzik-e működőképességüket hosszú idejű nagy páratartalmú levegőn történő tárolás alatt.

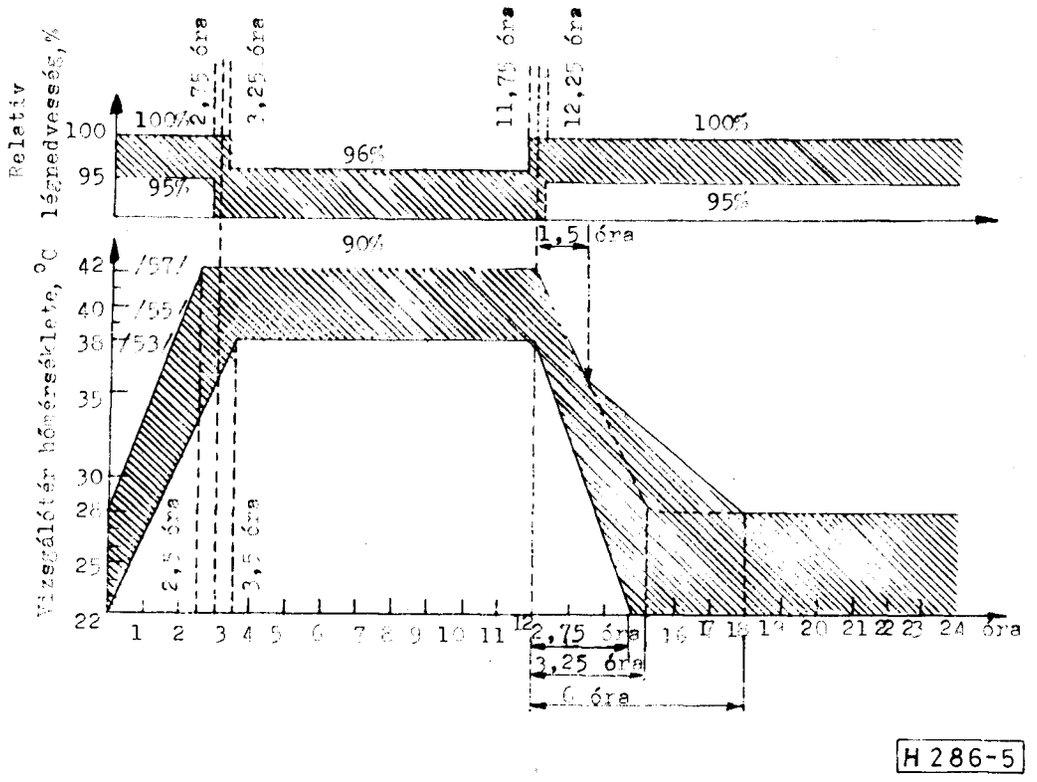
b) A vizsgálat módszere: A vizsgálati anyagot a 40 °C hőmérsékletű 90%—95% relatív páratartalmú vizsgáló térbe helyezzük. Egyes esetekben a tápfeszültséget is rákapcsoljuk az eszközökre. A vizsgálati idő típusvizsgálat esetén 21 nap vagy 56 nap, megbízhatósági vizsgálat esetén 2000—5000 óra. Az eszközök működőképességét elektromos paramétereik lemérésével ellenőrizzük a vizsgálat megkezdése előtt és a vizsgálat befejezése után. Hosszabb vizsgálati idő esetén (56 nap, ill. 5000 óra) közbenső időpontokban is végzünk ellenőrző méréseket. Az egyes mérési időpontokban szemrevételezéssel ellenőrizzük az eszközök felületi épségét is, különös tekintettel a fém felületek korróziójára. Az előírt hőmérsékletű és páratartalmú vizsgáló teret NDK gyártmányú Feutron klímaszekrényben hozzuk létre (4. fénykép).

c) *A vizsgálatból származtatott adatok*

— típusvizsgálat esetén a meghibásodási arány, amelynek ismeretében ellenőrizzük, hogy az



4. fénykép: „Nedves" klímaszekrény



5. ábra. Nedveemeleg-állóság vizsgálat idődiagramja

alkatrész megfelel-e a követelményként megadott AQL értéknek az előírt időtartamú vizsgálaton,
— megbízhatósági vizsgálat esetén a meghibásodási ráta becslése és annak felső konfidencia határa, továbbá a legfontosabb villamos jellemzők eloszlása az idő függvényében,
— jellemző hibafajták és azok eloszlása.

2.3.3 Ciklikus nedves meleg-állósági vizsgálat

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy a vizsgált eszközök alkalmasak-e a nagy légnedvességgel párosuló ciklikus hőmérsékletváltozással együttjáró környezeti hatások károsodás nélküli elviselésére.

b) A vizsgálat módszere: A vizsgálati mintát olyan vizsgáló térbe helyezzük, amelynek hőmérséklete és relatív légnedvessége az *5. ábrán* látható idődiagram szerint változik 24 órás ciklusokban. Az igénybevétel szigorúsági fokát az alkalmazott vizsgálati hőmérséklet (40 °C vagy 55 °C) és a ciklusok száma együttesen határozza meg, az alábbi táblázat szerint:

3. táblázat

Vizsgálati hőmérséklet	Választható ciklusszámok				
40 °C	2	6	12	21	56
55 °C	1	2	6		

A vizsgált eszközök működőképességét villamos paramétereik lemérésével ellenőrizzük a vizsgálat megkezdése előtt és a vizsgálat elvégzése után. Szemrevételezéssel ellenőrizzük az eszközök felületi épségét, különös tekintettel a fém felületek korróziójára. Ezt a vizsgálatot is az előző pontban említett Feutron típusú klímaszekrényben végezzük.

c) A vizsgálatból származtatott adatok (ld. 2. 2. pont)

2.3.4 Sztatikus terheléses vizsgálat magas hőmérsékletű, nagy páratartalmú vizsgáló térben (Temperature Humidity Bias test)

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy a vizsgált eszközök a magas hőmérséklet, a nagy relatív légnedvesség és a sztatikus terhelés együttesen jelentkező igénybevételét képesek-e működőképességük elvesztése nélkül megőrizni.

b) A vizsgálat módszere: a vizsgálatra kiválasztott műanyag tokozású integrált áramköröket (jelen vizsgálati módszert a szakirodalom elsősorban ezekre az eszközökre ajánlja) a 85 °C hőmérsékletű, 85% relatív légnedvességű vizsgáló térbe helyezzük és bekapcsoljuk a tápfeszültséget, ami az illető áramkörökre előírt névleges érték lehet. A vizsgálat időtartama 1000 óra, elektromos paraméter méréseket és szemrevételezéses ellenőrzést a vizsgálat megkezdése előtt és annak befejezése után végzünk. A korróziós hibák gyors előhívására ez az egyik leghatékonyabb módszer. Az előbbiekben említett Feutron típusú klímaszekrényünk ezen vizsgálat elvégzésére is alkalmas.

c) A vizsgálatból származtatott adatok (ld. 2.2. pont)

2.3.5 Túlnyomásos vízgőz vizsgálat (Pressure Cooker Test)

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy a magas hőmérsékletű, túlnyomás alatt lévő

vízgőz károsító hatásának a vizsgált áramkörök képesek-e ellenállni.

b) A vizsgálat módszere: a vizsgáló térben 0,1 Mpa túlnyomás mellett 121 °C-on telített vízgőzt, azaz 100%-os relatív légnedvességet hozunk létre. Ebben helyezzük el 168 óra időtartamra a vizsgált műanyag tokozású integrált áramköröket (a szakirodalom elsősorban ezekre az eszközökre ajánlja a tárgyalt módszert). Ez az igénybevétel is igen alkalmas a korróziós hibák gyors előhívására. A vizsgálat megkezdése előtt és annak befejezése után elektromos paraméter mérést és szemrevételezéses ellenőrzést végzünk a működőképesség meghatározására. Az előbbiekben részletezett vizsgálati feltételek megvalósítására Labor MIM gyártmányú ún. „csírátlanító" kamrát használunk.

c) A vizsgálatból származtatott adatok (ld. 2.2 pont)

2.3.6 Kombinált klíma és rázásállóság vizsgálat

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy a klíma-és a rázás igénybevétel együttesen jelentkező hatását képesek-e károsodás nélkül elviselni a vizsgált áramkörök.

b) A vizsgálat módszere: megegyezik a rázás vizsgálatnál (ld. 2.2 pont) leírtakkal azzal a különbséggel, hogy a rázógépre egy Brabender gyártmányú KVSE 180/70 X típusú klímaszekrényt szerelünk, és így a vizsgálati anyagot nem szobahőmérsékleten és normál légtérben rázzuk, hanem a klímaszekrény segítségével előállított hőmérsékleten és adott légnedvesség mellett. A klímaszekrény vizsgáló terét —70 °C—+150 °C-ra állíthatjuk be ±0,5 °C pontossággal. A +10 °C—+90 °C hőmérséklettartományban a ±3%-os pontossággal szabályozott relatív légnedvesség 10%—98% lehet.

c) A vizsgálatból származtatott adatok (ld. 2.2 pont)

2.3.7 Kombinált hőmérséklet-kislégnyomás vizsgálat

a) A vizsgálat célja: annak megállapítása, hogy a vizsgált eszközök képesek-e károsodás nélkül elviselni adott környezeti hőmérsékleten a légnyomás alacsony értéke miatt megnövekedett hőellenállás következtében létrejövő túlmelegedést.

b) A vizsgálat módszere: A vizsgált eszközöket a vizsgáló térbe helyezzük és bekapcsoljuk a tápfeszültséget. A hőmérsékletet az előírt értékre állítjuk, majd csökkentjük a légnyomást. A szükséges nyomásértéket egy órán keresztül tartjuk fent (amennyiben a termékszabvány másként nem rendelkezik), majd száraz levegő bebocsátásával visszaállítjuk a normál légköri nyomást. A hőmérséklettel visszaállunk 25 °C-ra és lekapcsoljuk a tápfeszültséget. Az áramkörök működőképességét és felületi épségét a korábban részletesen ismeretetett módszerekkel ellenőrizzük a vizsgálat előtt és annak befejezése után. A szóbanforgó vizsgálatot Brabender gyártmányú KBSE 500/70 H típusú vizsgálószekrényünk segítségével tudjuk elvégezni, amelynek vizsgáló tere 0,5 m^3 űrtartalmú, és hőmérséklete a —70 °C—+80 °C tartományban állítható be. A +10—+90 °C hőmérséklet-intervallumban a relatív páratartalom 10%—98% lehet. Kis légnyomás csak száraz légtér mellett hozható létre, 40 perc alatt kb. 1 mbar, 70 perc alatt kb. 0,01 mbar. Szabályozhatósági tartománya kb. 18 mbar-ig terjed.

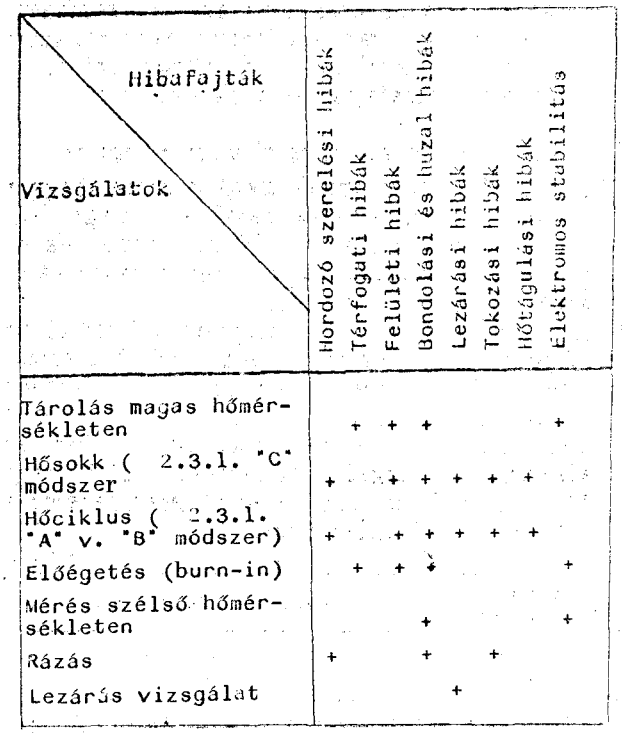
c) A vizsgálatból származtatott adatok (ld. 2.2 pont)

3. Szűrővizsgálatok

a) A vizsgálatok célja, az alkatrésztételekben lévő rejtett hibás példányok kiszűrése, a legfontosabb hibamechanizmusok gyors feltárása, ezáltal az alkatrész-tétel megbízhatósági szintjének növelése és minősített eszközökre minőségi tényező meghatározása.

b) A vizsgálat módszere: a szűrővizsgálatokat az eszköz technológiájától, bonyolultságától, tokozásától és funkciójától függően úgy kell megtervezni, hogy azok az alkatrészek meghibásodásához vezető hibafolyamatokat rövid idő alatt aktiválják, ugyanakkor a hibátlan (jó) példányokban degradációs folyamatokat ne idézzenek elő, azok későbbi felhasználását ne gátolják. Ezért célszerű szűrővizsgálati sorozatokat kidolgozni a legjellemzőbb hibamechanizmusok előhívására a nemzetközi minősítési rendszereknek (IEC- és MIL- minősítési előírásoknak) megfelelő követelményeket alapul véve.

Mikroelektronikai eszközök esetében az egyes szűrővizsgálati eljárások és azok által aktivált meghibásodási fajták közötti összefüggéseket a *6. ábra* szemlélteti.



6. ábra. Hibafajták és előhívásukra ajánlott vizsgálatok

Például félvezető IC-k esetében hatékony szűrővizsgálati sorozatot alkotnak a következő vizsgálatok:

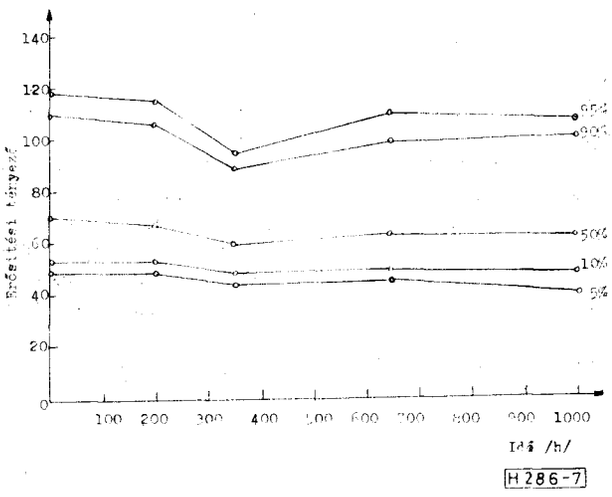
— *Tárolás magas hőmérsékleten* (2.1 pont szerint),
— *Hőciklus vagy hősokk vizsgálat* (2.3.1 pont szerint),

— *Lezárás vizsgálat* (csak hermetikus tokozású eszközök esetében alkalmazható)
A MIL STD 883 szabványban leírt 1014.5. számú módszer szerint végezzük a vizsgálatot Veeco gyártmányú MS17 típusú ún. „finom lyuk" vizsgáló berendezésünkön. Az eljárás lényege a következő: a vizsgált alkatrészt 2 óra időtartamra 0,4 MPa nyomású héliumba helyezzük. Rövid pihentetés után az áramköröket alacsony nyomású térbe helyezzük és figyeljük a He atomok szivárgását. Az eszköz belső üregének térfogatától és az alkalmazott kis légnyomás értékétől függően az időegység alatt észlelt He mennyisége kisebb kell legyen egy kritikus értéknél.

— *Előégetés (burn-in) vizsgálat*
A burn-in vizsgálat lényegében megegyezik a tartós terhelés vizsgálattal, de sokkal rövidebb ideig tart. Az alkalmazott vizsgálati időtartamok: 48 óra, 96 óra és 168 óra, a szűrés szigorúságától függően. Előégető berendezésünket az NSZK-beli Brabender-cég gyártotta, két klímaszekrényből és egy vezérlő mikroszámítógépből áll. A klímaszekrények hőmérséklete —40 és +150 °C között állítható be. A vezérlő mikroszámítógép segítségével programozhatóak a vizsgált eszközök tápfeszültségét előállító tápegységek, valamint a dinamikus terhelő jelminták. A számítógép ellátja az egész rendszer felügyeletét is, az előforduló hibákat diszken rögzíti, illetve szükség esetén leállítja a vizsgálatot, kikapcsolja a szekrényeket. A magas hőmérsékleten fellépő oxidáció megakadályozása érdekében a vizsgáló térben nitrogén öblítést alkalmazunk.

— *Szélső üzemi hőmérsékleten történő mérés*
A szűrővizsgálati sorozat utolsó lépése minden esetben a villamos paraméterek lemérése kell legyen, mert egyébként a meghibásodott alkatrészeket nem tudjuk eltávolítani a szűrt eszközök közül. A szélső hőmérsékleten történő méréssel az illető eszközre megengedett felső üzemi hőmérsékleten ellenőrizzük a működőképességet.

c) *A vizsgálatokból származtatott adatok:*
A szűrővizsgálatokat funkcionális minták ellenőrzésére, a gyártási folyamat végén az alkatrészek minőségbiztosítási rendszere hatékonyságának ellenőrzésére alkalmazzuk, valamint a felhasználó vállalatok részére is vállalkozunk hatékony szűrővizsgálati eljárások kidolgozására és a vizsgálatok elvégzésére a berendezésgyártó vállalatok által beépítésre kerülő nem MEV gyártmányú integrált áramkörök esetében. A szűrővizsgálatok eredményei lehetőséget adnak annak meghatározására is,



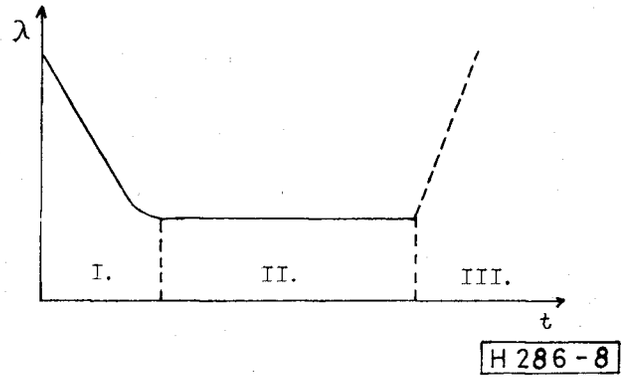
7. ábra. Százalékos diagram

hogy mennyivel megbízhatóbbak a szűrővizsgálatokon átment eszközök a kereskedelmi minőségi szintű eszközöknél. Ezt az arányszámot a minőségi tényező fejezi ki.

4. Adatok közlése és felhasználása

A mikroelektronikai eszközök megbízhatóságára vonatkozó adatok közlését a nemzetközi szabványrendszerekben (IEC, KGST stb.) elfogadott előírásoknak megfelelően végezzük.

A vizsgálati megfigyelések alapján az eszközök egyes fontosabb villamos jellemzőinek időbeli változását az ún. százalékos diagrammal *(7. ábra)* adjuk meg, amely azt ábrázolja, hogy előre megadott P%-os értékekre (rendszerint 5, 10, 50, 90 95%) a vizsgált eszköztétel P%-a adott mérési időpontban milyen paraméterértékkel rendelkezik. Például a *7. ábrából* meghatározható, hogy 300 óránál a tranzisztorok erősítési tényezője 60 vagy annál kisebb a tétel 50%-ánál. Az eszközök megbízhatóságát a meghibásodási rátával jellemezzük, amely 1/óra vagy 10^{-9}/óra = 1 fit egységben az időegységre eső relatív meghibásodási gyakoriságot adja meg. A vizsgálati adatok alapján ezt a λ faktort a meghibásodások számának és az eszközökön megfigyelt összes működési időnek (eszközóra mennyiségnek) hányadosával becsüljük, ha a meghibásodási ráta állandó. Például 100 IC 10 000 órás vizsgálata során 2 meghibásodást figyeltek meg, ekkor



8. ábra. Λ meghibásodási ráta időfüggvénye (kádgörbe)

$$\lambda = \frac{2}{100 \cdot 10\,000} = 2 \cdot 10^{-6}/\text{óra} = 2000 \text{ fit}$$

Az állandó meghibásodási ráta reciprokát meghibásodások közötti átlagos működési időnek, angolnyelvű rövidítéssel MTBF-nek nevezik.

A meghibásodási ráta azonban nem mindig állandó. A meghibásodási ráta időfüggvénye a *8. ábrán* látható kádgörbe. Ennek három szakasza van: I. — a kezdeti meghibásodások szakasza, amelyben a meghibásodási ráta monoton csökkenő és ez a szakasz hatékony szűrővizsgálatok alkalmazásával megszüntethető; II. — az állandó meghibásodási ráta szakasz, amely az alkatrészek hasznos élettartamát jellemzi és amelyre vonatkozóan rendszerint a mikroelektronikai eszközök megbízhatóságát is meghatározzuk (egyes ettől eltérő esetekben a Weibull-eloszlást és a Weibull valószínűségi papírt alkalmazzuk); III. — az elhasználódási vagy öregedési meghibásodások szakasza, amelyben az eszközöket már nem szabad felhasználni nagymegbízhatóságú berendezésekben.

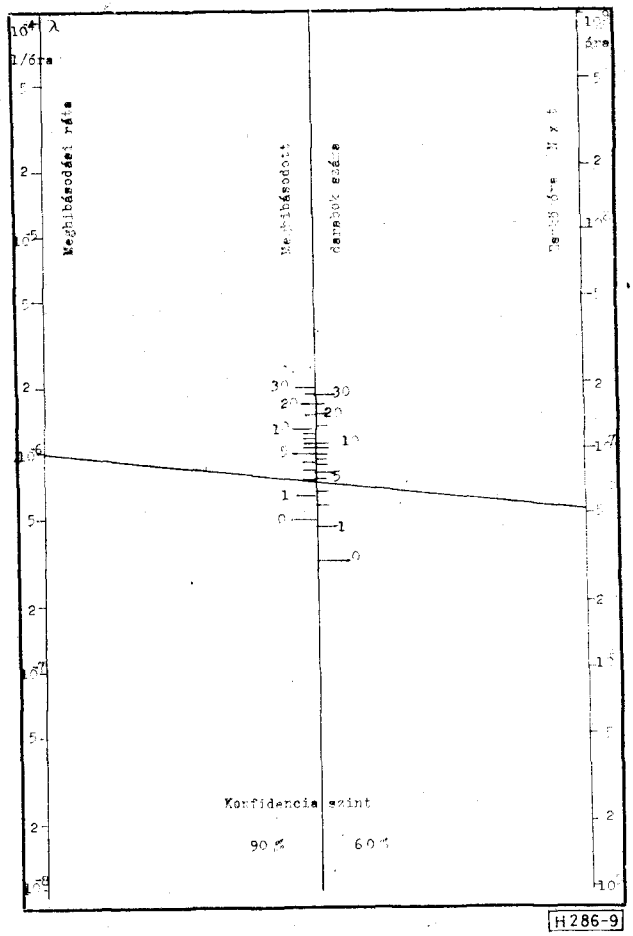
A mikroelektronikai eszközök megbízhatóságát nemcsak a meghibásodási ráta pont-becslésével, hanem a statisztikai biztonságot jellemző felső konfidencia határral is meghatározzuk. Ez a meghibásodási ráta felső határ azt adja meg, hogy az esetek adott (például 60 és 90) százalékában a meghibásodási ráta tényleges értéke a felső határnál kisebb. A meghibásodások száma, a meghibásodási ráta felső határa és a megfigyelt eszköz-órák száma között összefüggés származtatható állandó meghibásodási ráta esetében a χ^2-eloszlás táblázata alapján, különböző konfidencia szintekre vonatkozóan. A *9. ábrán* látható nomogram 60 és 90%-os konfidencia szintre adja meg a λ-meghibásodási ráta, a meghibásodások száma és az eszköz-óra szám közötti összefüggéseket. Például 0 meghibásodás esetén és 300 000 megfigyelt eszközóra mellett 90%-os konfidencia szinten a meghibásodási ráta felső konfidencia határa

$$\lambda_{\text{felső, 90}} = \frac{2{,}3}{3 \cdot 10^5} = 7{,}66 \cdot 10^{-6}/\text{óra}$$

A *9. ábra* nomogramját felhasználhatjuk adott statisztikai pontosságú vizsgálati tervek elkészítéséhez is. Például $1 \cdot 10^{-6}$/óra meghibásodási ráta ellenőrzéséhez 90%-os konfidencia szinten 2 meghibásodás előfordulása esetén $5{,}3 \cdot 10^6$ eszközóra vizsgálati adatmennyiség előállítása szükséges.

A fentiekből látható, hogy a nagy megbízhatóság (alacsony meghibásodási ráta) igazolásához nagy eszközóra mennyiség szükséges. Ha figyelembe vesszük a meghibásodási rátának az igénybevételi szinttől, rendszerint a réteghőmérséklettől való függését, akkor az ún. gyorsított vizsgálatok eredményei alapján kisebb eszközóra mennyiség is elegendő a magasabb réteghőmérsékleten előforduló magasabb meghibásodási ráta érték igazolásához. A meghibásodási ráta réteghőmérséklettől való függését az Arrhenius-törvény írja le a

$$\lambda = A \exp\left[\frac{-E}{kT}\left(\frac{1}{T_j} - \frac{1}{T_{j0}}\right)\right]$$



9. ábra. A meghibásodási ráta grafikus becslése

képlettel, ahol A a λ-faktor T_{j0} hőmérsékleten, E az aktiválási energia, k a Boltzmann-állandó, T_j a réteghőmérséklet K-ben, T_{j0} a vonatkoztatási réteghőmérséklet, pl. $T_{j0} = 343$ K (70 °C).
A T_j réteghőmérsékletet a

$$T_j = T_K + P\Delta T$$

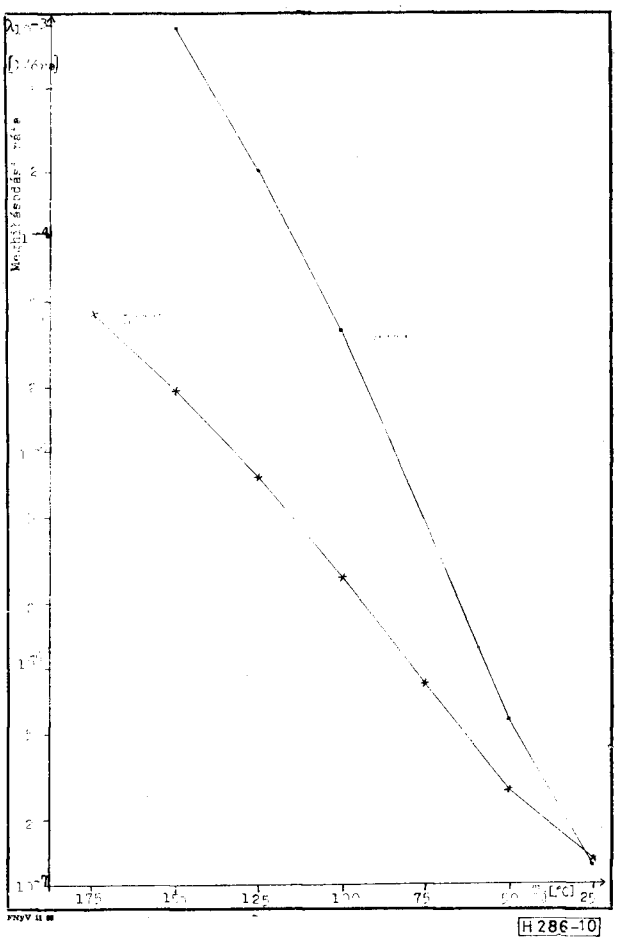
képletből kell számítani, ahol T_K a környezeti hőmérséklet, P a villamos disszipáció W-han, ΔT az 1 W terhelés hatására fellépő túlmelegedés. Megjegyzendő, hogy egyes esetekben a bonyolultabb Eyring-modellt használják.

A meghibásodási ráta hőmérséklet-függése bipoláris illetve MOS technológiával előállított IC-k esetében a *10. ábrán* látható. A hőmérséklet gyorsítást jellemző aktiválási energia hibamechanizmusonként változik. Például a *4. táblázatban* felsorolt hibamechanizmusokhoz különböző aktiválási ener-

4. táblázat

Jellemző hibamechanizmusok és aktiválási energiák

Hibamechanizmus	Aktiválási energia (eV)
Oxid-letörés	0,3
Elektromigráció	0,5
Intermetallikus hibák	0,7
Fémezési hibák	0,8
Felületi hibák	0,9
Térfogati hibák	1,0



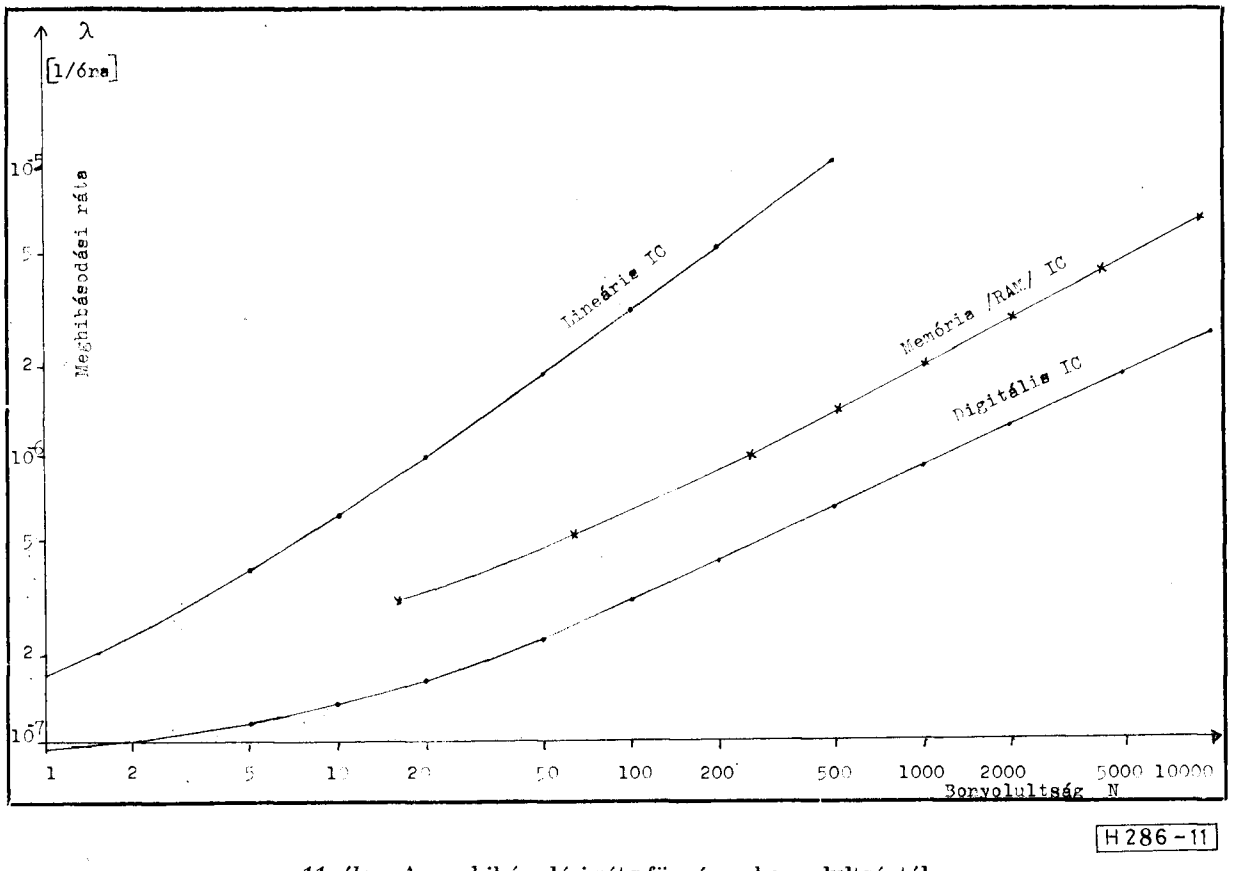
10. ábra. A meghibásodási ráta bőmérsékletfüggése

giák tartoznak. A *10. ábrán* látható hőmérsékletfüggés súlyozottan átlagolt hibamechanizmusokat jellemez. A gyorsítási tényező 50 °C és 75 °C között bipoláris eszközök esetében 3, MOS technológiával előállított alkatrészek esetében 8,3. Hasonlóképpen adódik, hogy 50 C és 125 °C között a gyorsítási tényező 28, illetve 356, attól függően, hogy bipoláris technológiájú eszköz vagy MOS technológiájú alkatrész gyorsított vizsgálatáról van szó.

A meghibásodási ráta az eszköz bonyolultságától is (például IC-knél a kapuk vagy tranzisztorok, illetve programozott bitek számától) függ. Ez rendszerint $\lambda = C_1 N^{d_1}$ típusú függvény, ahol N az eszköz bonyolultságát jellemző mennyiség, c_1 és d_1 állandók. Digitális IC-k, lineáris IC-k és memóriák esetében a meghibásodási ráta bonyolultság függése 50 °C réteghőmérsékletre vonatkoztatva a *11. ábrán* látható.

A meghibásodási ráta réteghőmérséklettől való függését is figyelembe véve az *5. táblázatban* összefoglaljuk egyes alkatrésztípusokra az 55 °C-ra extrapolált meghibásodási ráta értéket és annak igazolásához szükséges 125 °C-on elvégzett vizsgálatok eszközóra mennyiségét (gyorsítási tényező: 5,8—146).

A mikroelektronikai eszközök meghibásodási rátáinak ismeretében, valamint az egyéb elektronikai alkatrészekre rendelkezésre álló megbízhatósági jellemzők felhasználásával elvégezhető a berendezések megbízhatóságának előrejelzése, amely a következő lépésekből áll:



11. ábra. A meghibásodási ráta függése a bonyolultságtól

5. táblázat

IC típus	Bonyolultság (kapu)	λ (10^{-9}/6) T_j=55 °C	Eszközóra (óra) T_j=125 °C
7400	4	110	1 640 000
7442	18	180	660 000
7447	44	250	382 000
74 143	70	305	286 000
74 393	96	380	234 000
8048	625	1635	5 000
8080	1100	2000	4 000
8085	2067	2500	3 100
Z 80	2830	2800	2 800
8086*	6000	890	45 300
68 000*	17 000	1250	30 100

Megjegyzés: a *-gal jelölt típusok esetében hermetikus tokot tételeztünk fel, a többi típusnál viszont műanyag tokra vonatkoznak a meghibásodási ráta és az eszközóra értékek.

— a megbízhatósági jellemző kiválasztása (pl. λ-faktor vagy MTBF)
— a berendezés műszaki leírása
— a berendezés megbízhatósági modelljének meghatározása
— a berendezés matematikai modelljének meghatározása
— a berendezés megbízhatósági és matematikai modelljében az alkatrész adatok felhasználása
— az előrejelzés elvégzése.

Például megbízhatósági szempontból soros rendszer esetében a berendezés Λ meghibásodási rátája, az MTBF-reciproka a

$$\Lambda = (\mathrm{MTBF})^{-1} = \sum_{i=1}^{k} n_i \lambda_i$$

képletből számítható, ahol

λ_i az i-edik alkatrésztípus meghibásodási rátája a berendezés jellemző üzemeltetési és alkalmazási feltételeire vonatkoztatva,
n_i az i-edik alkatrésztípusból a berendezésben működő alkatrészek száma,
k a berendezésben működő alkatrésztípusok száma.

Általában a Λ_E előrejelzett érték kedvezőtlenebb (2—5-szöröse) a ténylegesen megfigyelt berendezés Λ_M meghibásodási rátának.

5. Következtetések

A Mikroelektronikai Vállalatnál kidolgozott és alkalmazott megbízhatósági vizsgálati módszerek, valamint a rendelkezésre álló vizsgálóberendezések felhasználásával az előállított mikroelektronikai termékek megbízhatósági szintjét a felhasználói követelményeknek megfelelően biztosítjuk.

A jelenlegi vizsgálati rendszert olyan irányban célszerű továbbfejleszteni, amely biztosítja, hogy a fokozott megbízhatóságú termékek megbízhatósági szintjének ellenőrzését az új, korszerű alkalmazási körülmények szimulálásával is lehessen végezni. Ezért a vizsgálati módszerek és a vizsgáló berendezéspark fejlesztését a következő területeken tervezzük: akusztikus zajállóság vizsgálat, sugárzásállóság vizsgálat, kisméretű (különleges kivitelű) alkatrészek vizsgálata.

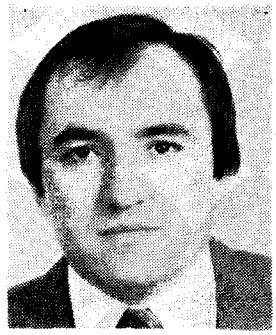
A megbízhatósági adatokat a nemzetközi előírásoknak megfelelő rendszerben közöljük, amely lehetővé teszi a berendezésgyártók számára azok számbavételét berendezések tervezésekor. A vizsgálati módszerek és berendezések felhasználásával lehetőség nyílik az alkatrészfelhasználó vállalatok által alkalmazott, külföldi gyártmányú termékek vizsgálatára és megbízhatóságának értékelésére is. A MEV a jövőben kiadványsorozatot kíván megjelentetni, amely az egyes terméktípusokra közöl megbízhatósági adatokat a jelen közlemény eljárásainak felhasználásával.

IRODALOM

[1] *Dr. Balogh, A.—Csornai, L.—Dr. Kalmár, G.—Dr. Mátrai, G.—Váradi, I.:* Félvezetőtermékek minőségbiztosítása. Magyar Elektronika, III. No. 5. (1986).
[2] *Dr. Mátrai G.:* Minőségügyi információs rendszer az elektronikai iparban. Minőség és Megbízhatóság (1987) (Megjelenés alatt.)
[3] *Csornai L.:* Félvezető eszközök gyorsított vizsgálatai. Minőség ós Megbízhatóság (1987). (Megjelenés alatt.)
[4] *Balogh A.—Gerlai M.:* Rendszerek megbízhatósági tervezése... Híradástechnika, XXXVI. No. 2. (1985).
[5] MSZ—KGST 548: Statisztikai átvételi ellenőrzés (1977).
[6] MSZ—KGST 1192: A hibamentes működési idő ellenőrzési tervei exponenciális eloszlás esetében (1978).
[7] MSZ—18957: Megbízhatósági megfigyelések tervezése (1984).
[8] MSZ 18828: A megbízhatósági mutatók meghatározásának paraméteres módszerei (1983).
[9] MSZ 11010: Elektronikai alkatrészek megbízhatósági adatainak közlése (1974).
[10] *Balogh A.—Dukáti F.—Sallay L.:* Minőségellenőrzés és megbízhatóság (1980) Műszaki Könyvkiadó
[11] IEC TC 47 (CO)974: IEC quality assessment system. Specification for IC-s (1984).
[12] MIL—STD—883: Test methods and procedures... (1983).

Analóg szűrők generálparaméteres approximációja

ILLÉS IMRE
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

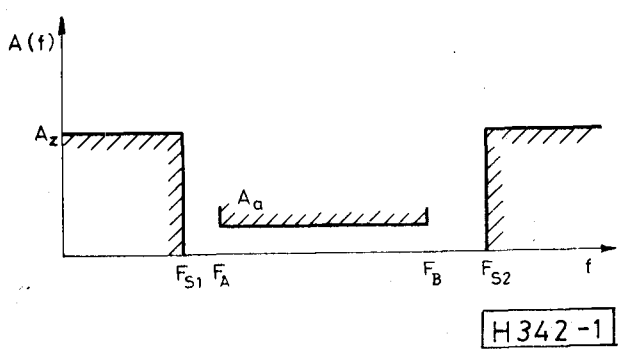
A szűrőtervezés első lépése megtalálni a megfelelő transzfer függvényt, ami a szűrő specifikációit teljesíti. Ha az áteresztő és zárósávi csillapítást egy-egy adattal adjuk meg, a klasszikus approximációk jól használhatók, lépcsős specifikáció esetében azonban nem adnak optimális eredményt. A lépcsők közelítésének egy módszerét mutatjuk meg itt, s végül egy példával illusztráljuk az elmondottakat.

1. Bevezetés

Ezen dolgozatban a hibrid integrált áramkörök, azon belül pedig az aktív szűrők tervezésének — approximációjának — egy új módszerét mutatjuk be. A dolgozat anyaga egy kiterjedt, többszegmenses programrendszer, amely a már korábban kifejlesztett szűrőtervező programjainkhoz kapcsolódik, és így együttesen az összes lehetséges approximációs feladat optimális megoldását biztosítja. Ezen új módszer segítségével a szűrőspecifikációt jobban kihasználó, egyszerűbb, olcsóbb szűrők tervezhetők, ami az áramkörök gyártása szempontjából vállalatunk számára is rendkívül előnyös, hiszen évente több ezer hibrid integrált aktív RC készül. A program segítségével e szűrők lényegesen jobb műszaki paraméterekkel és ugyanakkor gazdaságosabb módon készülhetnek.

2. Szűrőspecifikációk

A szűrőtervezés mindig a kívánt amplitudó — esetleg futási idő — karakterisztika közelítésével — approximációjával — kezdődik. Ezen approximáció legtöbbször a jól ismert és a különböző szakirodalmakban részletesen ki is dolgozott klasszikus (Butterworth, Csebisev, inverz Csebisev, Cauer stb.) közelítésének segítségével történik.

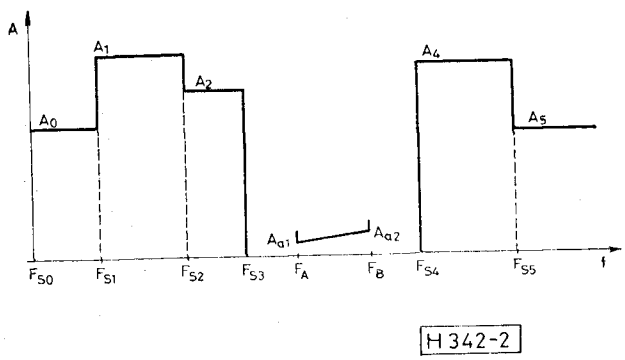


1. ábra. Sáváteresztő szűrő specifikáció

Beérkezett: 1987. V. 21.

ILLÉS IMRE

A BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika szakán végzett 1979-ben. Azóta a MEV-ben (ill. a jogelőd HIKI-ben) dolgozik, ahol fő munkaterülete az aktív szűrők tervezése, mérése. 1987-ben szakmérnöki diplomát szerzett, szakmai érdeklődési körébe a digitális jelfeldolgozás tartozik.



2. ábra. Általános csillapításkarakterisztika zárósávi lépcsőkkel

Fenti közelítések közös tulajdonsága, hogy az áteresztő és zárósáv határfrekvenciáihoz tartozó egyetlen csillapítási értékkel jellemzett karakterisztikát tudják csak közelíteni (lásd 1. ábra).

Az 1. ábrán sáváteresztő esetre jól látható, hogy a klasszikus közelítések az áteresztő tartományban $F_A < f < F_B$ egyetlen A_a, míg a zárósávban $F_{S_1} > f > F_{S_2}$ egyetlen A_z csillapításkövetelményt tudnak közelíteni.

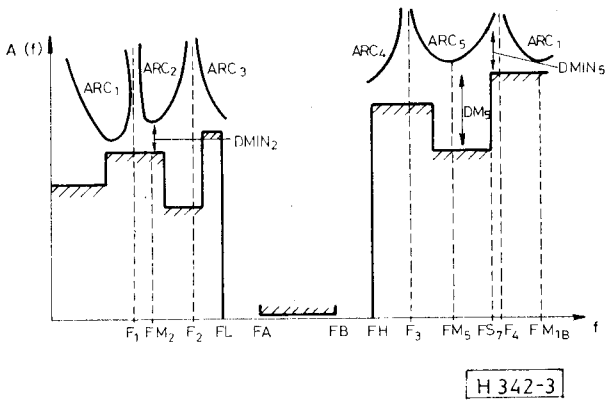
Ugyanakkor a gyakorlatban nem ritka, hogy az amplitudó karakterisztika több frekvencia értékhez rendelt különböző csillapításértékekkel — azaz valamiféle lépcsős tolarencia — adott. A 2. ábrán felrajzoltunk egy ilyen lépcsős specifikációt.

Igaz ez mindig visszavezethető valamilyen klasszikus esetre, így azonban jelentős csillapítás tartalékok maradnak kihasználatlanul, vagyis a szükségnél magasabb fokszámú, tehát drágább és nagyobb szűrő adódik a tervezés végeredményeként. Ilyen esetekben használható az általános csillapításkarakterisztikájú szűrőtervezés, s jelen dolgozatban röviden ismertetjük ezen szűrőtervező módszer elméletét és gyakorlati megvalósulását.

3. A csillapításpólusok helyének meghatározása

Csillapításpólusnak azokat a zárósávbeli frekvenciákat értjük, ahol a csillapítás végtelen nagy. Ilyenek a 3. ábrán az $F_1 \ldots F_4$ frekvenciák.

A 3. ábrán megadtuk egy sáváteresztő szűrő specifikációját, s annak egy tetszőlegesen felvett zárósávbeli közelítését. A specifikációból az egyes



3. ábra. Sáváteresztő szűrő specifikációja, s annak zárósávbeli közelítése

lépcsőfrekvenciák és a hozzátartozó csillapításértékek az F_{Si}, A_i számpárok adódnak, s ezek a szűrőtervező program bemenő adatait képezik. (Definíciószerűen $F_{S0}=0$ és a 3. ábrának megfelelően $A_4=0$.)

Ehhez a csillapítás követelményhez akarjuk megválasztani úgy a csillapításpólusokat, hogy az így kiadódó csillapítás optimális legyen. Mielőtt megmondanánk mit is értünk optimum alatt, térjünk vissza a 3. ábra jelöléseihez.

Az adott specifikációt közelítő görbéket Arc_i-vel jelöltük. Megfigyelhető, hogy Arc_1-nek két része van, egyik a legkisebb csillapításpólus, F_1 alatti rész, másik a legnagyobb csillapításpólus, F_4 feletti rész. Azért van ilyen felbontásra szükség, mert így kapunk az ismeretlenek számával megegyező számú egyenletet. További csillapításpólust jelöl meg F_2 és F_3, valamint F_{Mi} jelöli az i-dik Arc minimumának helyét.

Nézzük most pl. Arc_5-t. Azt akarjuk tudni, hogy Arc_5 mennyire közelíti meg az adott specifikációt. Definiáljuk Arc_5 minimális távolságát úgy, mint

$$D_{\min 5}=\min_{F_3<f<F_4}[A(f)-A_R(f)] \qquad (1)$$

ahol: A(f) jelenti Arc_5 csillapítás értékeit
$A_R(f)$ jelenti a megadott csillapítás követelményt.

A 3. ábrán pl. $D_{\min 5}$ az F_{S7} lépcsőfrekvenciánál van. Ezek után az optimális póluselrendezés definíciója a következő: A csillapításpólusok optimális helyen vannak, ha a minimális távolság $D_{\min i}$ egyenlő minden egyes Arc-ra.

4. Az optimális csillapítás póluselrendezés megoldása

A megoldás a következő lépésekből áll.

1. Felvesszük: N_z-t az origóban lévő csillapítás pólusok számát
   N_{in}-t a végtelenben lévő csillapítás pólusok számát
   N_A-t az alsó zárósávban lévő csillapítás pólusok számát.
   N_B-t a felső zárósávban lévő csillapítás pólusok számát ($N_A=2$, $N_B=2$ a 3. ábrán).
2. Felvesszük a kezdeti csillapítás pólus elrendezést, azaz F_i-k helyét. $i=1,2\ldots N (N=N_A+N_B)$.
3. Megkeressük azokat az F_{Mi} frekvenciákat, ahol az egyes Arc_i-nek minimuma van. $i=1,2\ldots N+1$
4. Megkeressük azokat az $F_{\min i}$ frekvenciákat ahol Arc_i legközelebb van a megadott specifikációkhoz. Ezután kiszámítjuk a különbséget, $D_{\min i}$-t.
5. Módosítjuk a csillapítás pólus elrendezést úgy, hogy a minimális különbség, $D_{\min i}$ minden egyes Arc-nál ugyanaz legyen ($D_{\min i}=D_{\min}$).

Nem célunk, hogy a fenti lépéseket itt részletesen elemezzük. Azonban annyit meg kell jegyezni, hogy a megoldás 1. és 2. pontja a szűrőtervezés szubjektív pontjai. Az első lépésben ugyanis ha túltervezzük (túl sok csillapításpólust választunk) úgy egy nagy $D_{\min}$ fog kiadódni, tehát a követelményeket sok tartalékkal túlteljesítettük. Másrészt viszont ha kevés csillapításpólust, választunk, akkor negatív $D_{\min}$ adódik, tehát a követelmények nem teljesíthetők.

A megoldás 2. pontja, a kezdeti csillapításpólus elrendezés megválasztása csak a program futás idejének szempontjából kritikus. Azonban ha a kiindulásunk közelebb van az optimumhoz, akkor gyorsabban jutunk el a végső megoldáshoz. A további lépések már hosszadalmasak, számításigényesek, és ügyes programozási megoldásokat követelnek. Végeredményben a számítógépes program megadja minden egyes Arc-ra az $F_{\min i}$, $A_{\min i}$ és $D_{\min i}$ számhármast, azaz azt a frekvenciát ($F_{\min i}$) ahol az Arc_i legközelebb van a specifikációhoz, továbbá az $F_{\min i}$ frekvencián az Arc_i értékét ($A_{\min i}$), valamint az $A_{\min i}$ és a specifikáció távolságát ($D_{\min i}$).

Ezután „folytassam-e tovább?" kérdés jelenik meg a képernyőn, s ha a $D_{\min i}$ minden egyes Arc-nál más és más, és a szűrőtervező egy jobb póluselrendezést kíván, akkor „I" válasz esetén a számítógépes program maga módosítja a kezdeti csillapítás pólus elrendezést, és ismét végrehajtja a megoldási lépések 3. és 4. pontját.

Mindez addig ismételhető, amíg a $D_{\min i}$-k egy közös $D_{\min}$-hez nem konvergálnak.

5. Az áteresztősáv paramétereinek meghatározása

Az approximáció ezen részének megoldása egzakt matematikai lépésekből adódik. Most sem kívánjuk részletesen elemezni a feladatot, csupán a fő vázat közöljük. Először is néhány alapösszefüggést definiálunk.

$T(p)$: a hálózat ki/be típusú transzfer függvénye

$$\frac{U_{\text{ki}}(p)}{U_{\text{be}}(p)}=T(p) \qquad (2)$$

$H(p)$: a hálózat be/ki típusú transzfer függvénye

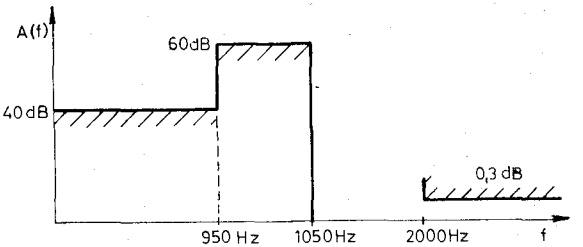
$$\frac{U_{\text{be}}(p)}{U_{\text{ki}}(p)}=H(p)=\frac{e(p)}{q(p)} \qquad (3)$$

ahol $e(p)/q(p)/H(p)$ számlálója (nevezője), polinomok.

$K(p)$: a hálózat karakterisztikus függvénye

$$H(p)H(-p)=1+K(p)K(-p) \qquad (4)$$

(4)-ből következik, hogy $H(p)$-nek és $K(p)$-nek ugyanaz a nevezője.



H342-4

4. ábra. Egy felületáteresztő szűrő specifikációja

Így ha

$$H(p)=\frac{e(p)}{q(p)} \tag{5}$$

akkor

$$K(p)=\frac{f(p)}{q(p)} \tag{6}$$

alakba írható.

A 4. pontban meghatároztuk a zárósávban lévő csillapításpólusokat, azaz ismerjük a $K(p)$ karakterisztikus függvény, illetve a $H(p)$ be/ki típusú transzfer függvény nevezőjét, $q(p)$-t.

A következőkben meg kell határozni $f(p)$-t majd $e(p)$-t, aminek eredményeként kapjuk az áteresztősáv paramétereit, azaz a pólusfrekvenciákat és a pólusjósági tényezőket. Ezen lépésekhez a szükséges matematikai formulák [1]-ben megtalálhatók.

Az eddigiekben egyenletes ingadozású vagy maximálisan lapos áteresztősávú szűrőket feltételeztünk, s ez bizonyos esetekben korlátozást jelent a transzfer függvényre. A legfontosabb korlátozás az alábbi:

Egyenletes ingadozású vagy maximálisan lapos sáváteresztő szűrők esetében az N_z+N_{in} összegének páros számnak kell lennie. (Azaz a csillapításpólusok száma az origóbanpl usz a csillapításpólusok száma a végtelenben páros számot adjon.)

De vannak ún. paraméteres approximációk [1], melyek a fenti korlátozást megszüntetik. Ezek a közelítések nem egyenletes ingadozásúak, nem maximálisan laposak, de tetszőlegesen közelíthetik a klasszikus approximációkat.

6. Mintapélda

A 4. ábrán egy felüláteresztő szűrő specifikációja látható.

Az approximációt az alábbi bemeneti adatokkal futtattuk.

$N_z=1$ $\quad N_{in}=0$
$N_A=2$ $\quad N_B=0$
$F_A=2000$ $\quad F_B=10\,000$

A kezdéti csillapításpólus elrendezés pedig:

$F_1=960$ Hz $\quad F_2=1040$ Hz

Ezen kezdeti elrendezésből a program az alábbi végső pozíciókat találta.

$F_1=883$ Hz $\quad F_2=1026$ Hz

Ekkor a minimális különbség a specifikáció és a közelítő függvény között minden függvényszakaszra egyenlő, azaz $D_{\min\ i}=D_{\min}=7{,}6$ dB.

Ezután a program megadta az áteresztősávra jellemző pólusfrekvenciákat és pólusjósági tényezőket.

$F_p(1)=2366$ Hz $\quad Q_p(1)=0{,}9$
$F_p(2)=1897$ Hz $\quad Q_p(2)=4{,}0$
$\sigma=2828$ Hz

IRODALOM

[1] *R. W. Daniels:* Approximation Methods for Electronic Filter Design Mc Graw-Hill Book Co. 1974.

Beszámoló a USERCOM' 87 konferenciáról

London, 1987. március 25—27.

Az ITU és INTUG közös rendezésében másodszor került sor az USERCOM konferencia megrendezésére, ezúttal Londonban. A konferencián 173 küldött vett részt a legkülönbözőbb szervezetek képviseletében. (A résztvevők listáját a BHG Műszaki Könyvtárban leadott anyag tartalmazza.)

A konferencia keretében az alábbi főbb előadások hangzottak el:

„*Változó perspektívák*" c. előadásában IAIN VALLANCE a British Telecom képviseletében értékelte azokat a változásokat, amelyek 1985-ben Münchenben megrendezett USERCOM óta bekövetkeztek. Előadásának leglényegesebb mondanivalója abbéli örömének kifejezése volt, hogy az INTUG képviselőinek részvételével lehetővé válik a hírközlés gyártóinak és szolgáltatóinak közvetlen eszmecseréje a felhasználókkal.

R. E. BUTLER az ITU főtitkára a „*Szabályzatok felülvizsgálata*" c. előadásában hangsúlyozta az ITU szerepét a nemzetközi szabványosításban, valamint kifejtette azt a véleményét, hogy a liberalizációval együttjáró események egyre nagyobb mértékben igénylik a nemzetközi szabványosítás kézbentartását.

G. G. MoKendrick az INTUG nevében kifejtette véleményét a nemzeti és nemzetközi híradástechnika szabályozási rendszerével kapcsolatban, hangsúlyozva a nyíltabb piac, az egyszerűbb szabványok, a jó minőségű nyilvános szolgáltatások, korrekt tarifák ós korlátlan információs folyamatok kedvező megjelenését.

KOJI KOBAYASI a NEC képviseletében tartotta meg a „*Kihívás megválaszolása*" o. előadását, melynek lényege a NEC által követett stratégia ismertetése volt.

Dr. RAINER PAUSCH a Nixdorf cég nevében ismertette az „*ISDN befolyásai*" c. előadásában azt az alközpontokra alapozott stratégiát, amelyet a Nixdorf követni kíván az integráció elérése érdekében.

NEIL TUCKWELL „*Értéknövelő szolgáltatások*" c. előadásában részletezte azokat a lehetőségeket, amelyeket a híradástechnikai hálózatok értéknövelő szolgáltatásainak érdekében előre lehet jelezni.

REIDAR PREIVIK a norvég Statiol vállalat nevében tartotta meg „*felhasználói hálózatok*" c. előadását. Ebben az üzleti hírközlés ráfordításait és az ebből következő előnyöket tárgyalja vállalata szempontjából.

PETER BENTON az „*Üzleti társadalom és a hírközlés*" c. előadásában fejtette ki véleményét a hírközléssel szemben támasztott elvárásaira.

J. L. DOYLE a Hewlett-Packard cég nevében „*Technológia nyomása, mint az előrehaladás gyorsítója*" c. előadásában kifejtette cége véleményét a technológia szerepéről.

GIANCARLÓ RUZZA a SIP képviseletében tartotta meg „*Híradástechnika és szociál-gazdasági fejlődés*" c. előadását, melynek lényege az egyes lehetséges megközelítések előnyeinek ós hátrányainak tárgyalása.

DR. ALFRED HARTMANN a Rothschild Bank nevében tartotta meg a „*Híradástechnika változásainak kivárása*" című előadását. Ebben kifejtette véleményét a bank szakma elvárásairól a híradástechnika szolgáltatásaival szemben.

DAVID PALMER a Financial Times vezérigazgatója „*Hogyan használják az újságok a hírközlés technikát*" c. előadásában részletesen ismertette a sajtótársadalom elvárását a hírközléssel szemben.

JOHN P. LEIGHFIELD az ISTEL Ltd. nevében tartotta meg a „*Hírközlés és gazdasági növekedés, valamint az automobil ipar összefüggései*" c. előadását. Ebben kifejtette azt a véleményét, hogy a hírközlés jellemzője az egyre nagyobb területi szótszórtság, ós az ebből következő szabványosítás fogja jellemezni.

(Folytatás a 451. oldalon.)

Folytatás a 440. oldalról.

ROBERT R. BRUCE a Debevoise and Plimpton cég nevében a *„Hogyan működnek a postaigazgatások, nyomás és választás, amelyet az új környezet igényel"* o. előadásában leírja azt a belföldi és nemzetközi nyomást, amely az igazgatásokat terheli.

MICHAEL L. FORD a British Telecom képviseletében tartotta meg a *„Hálózatot szolgáltató felelősségei"* c. előadását, melyben a postaigazgatások felelősségét tárgyalja.

BERNARD W. OVEREYNDER a Xerox cég nevében, az INTUG képviseletében tartotta meg az *„Üzleti felhasználók perspektívái"* c. előadását. Ebben kifejtette a privát hálózatok szerepót ós ezek összefüggését a nyilvános hálózatokkal.

ETIENNE DREYFOUS a *„Hírközlés több mint a kereskedelem mozgatója"* c. előadásában kifejtette véleményét azokról a lehetőségekről, amelyeket az elosztott számítástechnikai szolgáltatások fejlődésének értéknövelő hálózatokon történő kihasználása jelent.

MARINO BENEDETTI a *„Belföldi szabványoktól a nemzetközi szabványokig"* c. előadásában ismertette a STET véleményét a témával kapcsolatban. Előadásának hangsúlya a nemzetközileg elfogadott szabványok jelentőségének hangsúlyozása volt.

Fenti előadások teljes anyaga a BHG Műszaki Könyvtárában hozzáférhető.

Az egyes szekció ülések után minden alkalommal kerekasztal megbeszélésre került sor T. IRMER úrnak a CCITT igazgatójának elnökletével.

Nagyon fontos ós érdekes tapasztalatnak tekintem azt, hogy az ITU milyen nagy jelentőséget tulajdonít a felhasználókkal való kapcsolat kialakításának. Ugyanakkor észrevehetően nagy súlyt fektetnek az egyes kérdések megbeszélésére a felhasználók képviselői is.

Legfontosabbnak azt a megállapítást tartom, miszerint a hírközlő hálózatok liberalizálódása, az új szolgáltatások megjelenése, valamint a szolgáltatások integrációjának folyamata egyre nagyobb igénnyel jelentkezik a nemzetközi szabványosítás kialakításában. Ezt a feladatot az ITU ós ezen belül a CCITT vállalja magára, ezért minden korábbinál fontosabb a hírközlés gyártóinak számára is a CCITT munkájában való aktív részvétel.

Horváth Imre