

DR. MÁTRAJ GÉZA:

Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt., Gyöngyös

## A mikroelektronika jövője

ETO 621.3.049.77:681.3

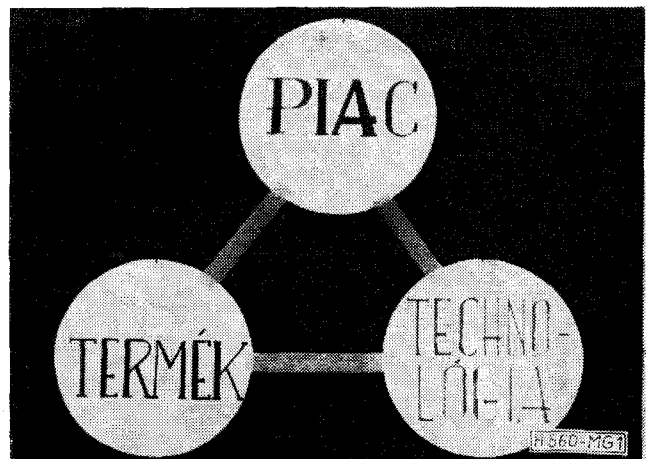
A mikroelektronika kiindulópontját a tranzisztor 1948-ban történő felfedezése jelentette. Az elmúlt 30 esztendőben az egyetlen funkciót ellátó tranzisztortól jutott el a mikroelektronika a legáltalánosabb alkalmazásokig. Az integrált áramkörök megjelenése olyan minőségi ugrást jelent, amely mélyreható technológiai forradalmat indított el, melynek eredményeképpen az iparosodott világ az elektronika korszakába lép. Ma egyetlen  $0,6 \times 0,6 \times 0,55$  cm<sup>3</sup>-es szilícium darabkán egy egész számítógép elhelyezhető, amely 16 kbites ROM-ot, 512 bites RAM-ot, 8 bites CPU áramkört tartalmaz, megközelítően 100 utasítás egyidejű fogadásával és 32 soros általánosan alkalmazható ki/bemenetű interface-szel. Az integrált áramkörök apró chipjei egyszerű, hétköznapi munkaeszközzé fogják tenni a számítógépeket. De az integrált áramkörök nemcsak az ipart fogják meghódítani; megjelentek és megjelennek hétköznapijainkban: bevonulnak a hivatalokba, üzletekbe, segítenek a háztartásban és kényelmet adnak gépkocsijainknak.

Ha az elmúlt 30 év hihetetlen méretű fejlődését áttekintjük, felvetődik a kérdés, merre tart a mikroelektronika fejlődése a következő évtizedben? Hogy a kérdésre megközelítő választ kaphassunk, próbáljuk meg áttekinteni a mikroelektronika fejlődését, a technológiai fejlődés várható irányait, valamint a mikrokomputerek területén felbecsülhető változásokat.

### A mikroelektronika fejlődése

A mikroelektronika egészének fejlődésére nagy hatással van a megvalósítás három elemének viszonya, kölcsönhatása. Ezek az elemek, amint ezt az 1. ábrán látni lehet: technológia, piac, gyártás. Amint ezt az ábra szemléletesen mutatja, a teljes termék-előállítás e három eleme állandó kapcsolatban van egymással. Az alapvető egymásra hatást az alábbiak jellemzik:

- bármely két elem meghatározza és feltételezi a harmadikat,
- egyetlen elem változása elindítja és meghatározza a másik kettő változását is.



1. ábra

Amikor megpróbáljuk felbecsülni a várható fejlődést, e kölcsönhatásokat nem szabad figyelmen kívül hagyni, hiszen a piac kiszélesedése és kereskedelem növekedése meghatározza a technológia fejlődését, ez utóbbi pedig új termékek létrejöttéhez vezet. Az új termék azonban nemcsak egyszerűen kiszolgálja a piacot, hanem új alkalmazási területeket, és így új piacot is teremt. Az olyan áttörő jellegű új termék, mint a tranzisztor vagy az integrált áramkör, majd később a mikrokomputer, forradalmi változást hozott nemcsak az iparban, hanem saját életünkben is, és egy új fejlődési folyamat elindítója volt. Ilyen áttörő jellegű, forradalmian új termékek megjósolása meglehetősen nehéz, mert a technológiai és tudományos eredmények meglehetősen bonyolult úton mennek át az egyszerű termékekbe.

A mikroelektronika várható fejlődésének előrejelzésében nagy segítségünkre lehet, ha áttekintjük annak fejlődését, és e történelmi áttekintésből próbáljuk extrapolálni a jövőt. A 2. ábrán a mikroelektronika fejlődésének főbb állomásait tüntettük fel 1950-től napjainkig.

A 2. ábra összefoglaló táblázatában szereplő valamennyi új technológia kialakulásának megvan a maga izgalmas története. Valamennyi új termék létrejötte igazolja a technológia — piac — termék hármásának kölcsönhatásait. De nem kevésbé izgalmasak

A mikroelektronika fejlődésének főbb állomásai.					
Idő	1950	1961	1966	1971	1977
Technológia	Diszkrét elemek	SSI	MSI	LSI	VLSI
Termékek	Tranzisztor és áramkörök Dióda	Inverterek Flip-Flop Stb...	Számlálók Összegzők Multiplexerek Stb...	RAM ROM Kalkulátorok I/O Stb...	Mikrokomputerek [μC]

H 560-M 62

2. ábra

e történelem részletei sem. Harminc esztendő megfeszített tudományos-műszaki kutatásainak eredményei öltenek testet az egyetlen monolitikus áramkörben 25 000 aktív komponenset tartalmazó mikrokomputerben.

A nagy bonyolultságú áramkörök (LSI) speciális technológiájának kidolgozása teremtette meg az első mikroprocesszor 1971-ben történő megjelenésének lehetőségét. A mikroprocesszor voltaképpen központi egységből, aritmetikai egységből, különböző munkaregiszterekből és a folyamatvezérlőből álló egység. Ebben az elrendezésben azonban a mikroprocesszor önmagában még nem működőképes egység. Ha a mikroprocesszort program- és munkatárral, valamint be/kimeneti egység elemekkel egészítjük ki, megkapjuk a működőképes rendszer minimális feltételét, melyet mikrokomputernek nevezünk. A mikroelektronika fejlődését az elkövetkezendő évtizedekben lényegében ez az út határozza meg.

Mielőtt azonban a mikrokomputer várható fejlődését vázolnánk, tekintsük át a fejlődés egyik fontos, meghatározó elemének, a technológiának alakulását, változását és ezen változás várható irányát.

### A technológia fejlődésének irányvonala

A technológia, a piac és termék között már előzőekben vázolt szoros összefüggés alapján a technológia fejlődése is rendkívül dinamikus volt az elmúlt években.

A technológia fejlettségi szintjét az alábbi tényezőkkel jellemezhetjük:

— Teljesítményfelvétel. Másképpen fogalmazva a törekvést: az áramkör működéséhez a legkedvezőbb esetben szükséges teljesítmény csökkentése, miközben a terhelhetőség és működési sebesség értéke növekszik. A teljesítményfelvétel pJ nagyságú.

— Működési sebesség (terjedési idő). E jellemzőt az átlagos késleltetési idővel szoktuk megadni, amely definíció szerint azonos logikai áramkörök sorbakapcsolt egységeinél az azonos polaritású jelhomlokok közötti jelkésés és a jelhomlokok közötti fokozatok számának hányadosa. Mértéke nsec nagyságrendű.

— Kapu- és tárolásűrűség. Értékét gate/mm<sup>2</sup>, ill. bit/mm<sup>2</sup> egységekben szokás megadni.

— Végül az egy kapufunkcióra, ill. 1 bit tárolt információra eső költségek, amelyek természetesen nagy mennyiségű tömeggyártás feltételek mellett értendők.

Mielőtt azonban a teljesítményfelvétel és működési sebesség közötti összefüggés, valamint az elemsűrűség és költségszint alapján megvizsgáljuk a technológia jelenlegi fejlettségi szintjét és az elkövetkező

évekre vonatkozóan valamilyen prognózist adnánk, röviden tekintsük át a nagy bonyolultságú integrált áramkörök előállításának főbb alatechnológiáit (továbbiakban LSI technológiák).

A mikroprocesszorok előállítására alkalmas LSI technológiák több szempontból is különböznek az SSI vagy MSI áramköri technológiáktól:

— Az alap kutatások és alkalmazott kutatások eddig nem tapasztalható szoros együttműködése. Itt elsősorban a termodinamika és anyagvizsgálat éppen a félvezetőkutatás által iniciált nagy sebességű fejlődésére gondoljunk, mely megalapozta az LSI elemgyártást.

— Teljesen új technológiai lépések kidolgozása, mint pl. az ionsugaras technológia, a plazmakémia alkalmazása vagy az egyszerű, de nagy fontosságú dörzsmosás.

— Merőben új tervezési megfontolások alkalmazása, mely elsősorban abban nyilvánul meg, hogy a programozás lényegében kiszorítja a logikai tervezést.

— Végül — de fontosságban az előzőkkel azonos rangsorban — újszerű tudományszervezési, együttműködési és hasznosítási elvek, módszerek használata a kutatás területén és újszerű, az előzőeknél szorosabb szervezésű minőségbiztosítás a gyártás területén.

A nagy elemsűrűség (általában 10 mm<sup>2</sup>-nél nagyobb felületen megvalósított, 1000-nél több kapufunkciót megvalósító áramköröket illetjük az LSI névvel), az egyszerű, kedvező felületi elrendezés, az egy kapufunkcióra jutó veszteségi teljesítmény csekély volta, a nagy kapcsolási sebesség, kedvező zavarállóság és kedvező áramerősség a kimeneten — ezek az egymással gyakran ellentmondó műszaki szempontok jellemzik az LSI technológiát. Ha mindehhez még hozzátesszük a mindent átható és a gazdaságos előállítást parancsolóan előíró szempontot is, érthető, hogy az LSI technológiák rendkívüli sokfélesége alakult ki napjainkig, és a jövőben számuk növekedése várható.

Az alapvető technológiák áttekintése azonban a mikroelektronika várható fejlődésének megértése szempontjából feltétlenül szükséges.

A MOS technológiák közül (melynek egyébként legalább nyolc válfaja ismeretes) messze a legegyszerűbb eljárás a p-csatornás MOS technológia. Mindössze négy maszkolás és egyetlen diffúziós lépés jellemzi, így érthető, hogy az első mikroprocesszor építőelemek 1971-ben p-MOS technológiával készültek. Az egyszerű előállíthatóság ára azonban a csekély munkasebesség, amely természetesen egyes területeken nem túl érdekes, így a fogyasztási elektronika (asztali és zsebszámológépek) területén tökéletesen kielégítő.

Az n-csatornás MOS eljárás ugyan valamivel bonyolultabb (1–3 járulékos maszkolás), ionimplantációs technika alkalmazásával azonban itt is lehetővé válik az alaplépések csökkentése. Az n-Mos technológia elsősorban a gyors táruk és mikroprocesszorok szempontjából előnyös.

Az eljárások szempontjából sokkal igényesebb a komplementer MOS technika (röviden CMOS). Ez azokra a járulékos folyamatokra vezethető vissza,

amelyek az egyazon kristályon elhelyezkedő p- és n-csatornás tranzisztorok előállítására miatt szükségesek. A mikroprocesszor-rendszerek rugalmas alkalmazásához szükséges nagy zavarbiztonság és rendkívül csekély veszteségi teljesítmény kárpótolt a technológia viszonylagos bonyolultságáért. A komplementer MOS technika továbbfejlődését tette lehetővé az ún. helyi oxidáció bevezetése (LOCMOS), valamint az ún. dinamikus CMOS technológia (DYCMOS) alkalmazása. A DYCMOS tervezési rendszer olyan dinamikus komplementer MOS áramköröket eredményez, amelyek — a LOCMOS technikával összekapcsolva — a már említett kedvező elektromos tulajdonságok mellett kedvező elemsűrűséghez (130 kapu/mm<sup>2</sup>) vezetnek.

A közelmúltban azonban megjelent a MOS technika konkurrensa az integrált injekciós logika (röviden: I<sup>2</sup>L) képeben. Itt a tranzisztorok egymástól történő elszigetelése nem szükséges, így a maszkolások száma csökkenthető. Az injekciós logika vonzó voltát azonban inkább annak köszönheti, hogy alkalmasá válik izolált integrált injekciós logikával (I<sup>3</sup>L) készült bipoláris analóg áramkörökkel való integrálásra, így egyetlen chipen analóg/digitális kombináció állítható elő.

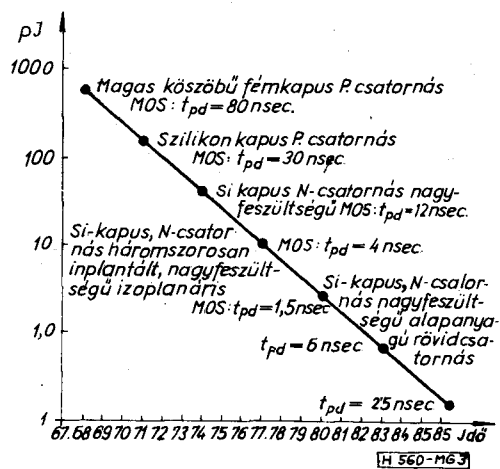
Végezetül említsük meg a „szilícium a zaffron” (SOS) technológiát, amely elsősorban működési sebességben múlja felül a többi MOS technológiát és a komplementer MOS technikával kombinálva nagy reményekkel kecsegtet.

Összegezve a nagy bonyolultságú áramkörök előállítási technológiájára vonatkozó rövid áttekintésünket, azt mondhatjuk, hogy tisztán eljárás szempontból az egycsatornás MOS technika, elvénél fogva pedig a bipoláris injekciós logika technika a legalkalmasabb LSI áramkörök gyártására, végül a nagymértékben tökéletesített utasításkészlet kialakítása szempontjából minden valószínűség szerint a szilícium kapus CMOS/SOS technológiáé a távolabbi jövő.

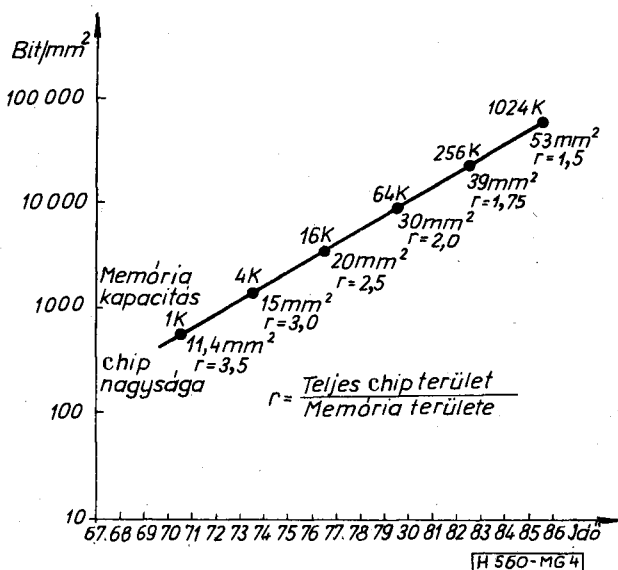
Az előzőekben vázolt áttekintés ismeretében néhány következő ábrán bemutatjuk az LSI technológia eddigi és várható fejlődését, a már előzőekben leírt, a fejlődést alapvetően meghatározó tényezők és követelmények szempontjából.

A 3. ábrán a nagy sebességű MOS technológiával készült eszközök teljesítményfelvételének várható csökkenése látható. Jelenleg a Si-kapus, n-csatornás, háromszoros implantációjú, nagyfeszültségű izoplanáris MOS eszközök vezetnek 10 pJ körüli teljesítményfelvétellel és 4 nsec körüli terjedési idővel. Körülbelül 10 év múlva várhatóan a teljesítményfelvétel két nagyságrendet csökken (1), miközben a működési sebesség több mint egy nagyságrenddel növekszik. Az ábrából egyébként látható, hogy az alapvető egycsatornás MOS technológiának mennyi válfaja ismert és nyert alkalmazást napjainkig.

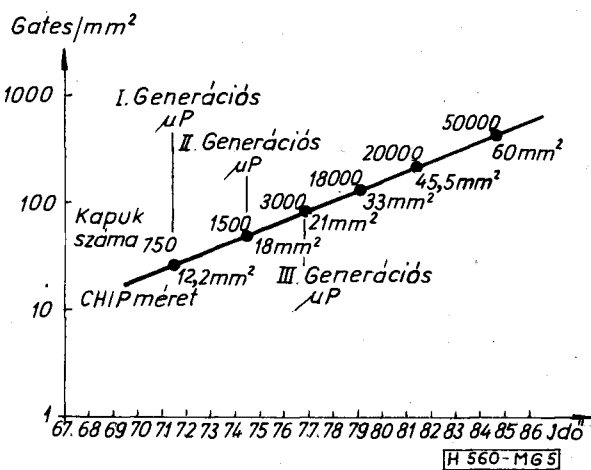
A mikroprocesszoroktól az önmagában is működőképes mikrokomputerek felé haladó fejlődésben meghatározó szerepük van — amint ezt már említettük — a munka- és programtárak kapacitásnövelésének. A közvetlen hozzáféréstű memóriák fejlődését mutatja a következő, 4. ábra. Jelenleg a mintegy 16 K-s dinamikus RAM-ok tartják a vezető helyet, ame-



3. ábra

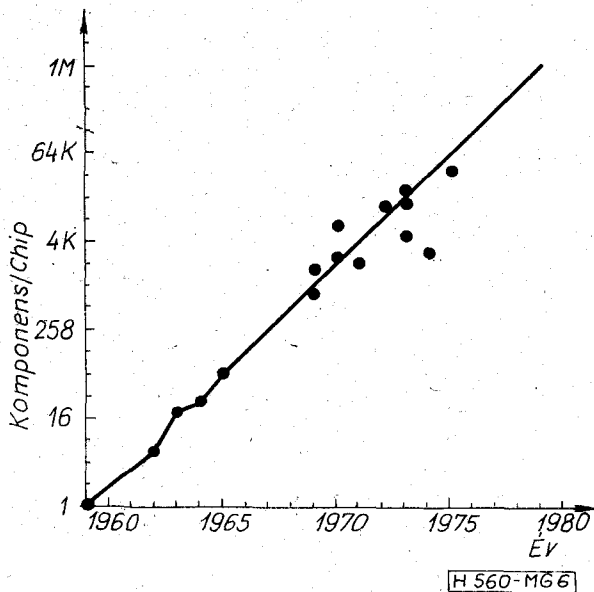


4. ábra



5. ábra

lyeknek síkbeli információtárolási sűrűsége több, mint 2000 bit/mm<sup>2</sup>. Már 1985 körül várható lesz kb. 1 Mbit-es memóriák megjelenése, természetesen nagyobb felületű chipen. A fejlődést mutatja, hogy a chip teljes felületének kihasználtsága (az ábrán ennek



6. ábra

mutatója az „r” tényező) 40%-ról közel 70%-ra növekszik, miközben az egységnyi felületen tárolható információ mennyisége egy nagyságrendet változhat.

Az 5. ábra a mikroprocesszorok jelenleg ismert három „generációjának” kapuelem-sűrűségét mutatja. Várható, hogy már a 80-as évek közepe táján elhelyezhető lesz egyetlen hatvan mm<sup>2</sup>-es felületű chipen 50 000 kapufunkciót ellátó áramkör.

Az általános technikai érdeklődés középpontjában sokszor nem az egyetlen chipen levő funkciók száma, hanem a számszerűség tekintetében még látványosabb összes áramköri elemek száma áll. A 6. ábra az elmúlt 15 év e szempontból való változását, valóban meghökkentő iramú növekedését mutatja. Egyes vélemények szerint még 1980 előtt elérhető lesz egy chipen 100 000 egység és a 80-as évek elején eléri az egymillió nagyságrendet. Továbbhaladva az időben, elhangzanak olyan vélemények is, mely szerint az ezredforduló környékén az egyetlen alkatrészre jutó tranzisztorfunkciók száma elérheti a 10<sup>11</sup>-es nagyságrendet. Ez a szám azért érdekes, mert ebbe a nagyságrendbe esik az emberi agy lehetséges kapcsolási funkcióinak száma is.

A következő táblázatban a fejlődés eddig bemutatott legjellemzőbb tényezőjének számszerű értékét tüntettük fel.

1. táblázat

	1966	1977	1982	
Működési frekvencia	5	50	100	MHz
Komponens/lélv. elem	50	50 000	1 000 000	
Véletlen hozzáférésű memória inf. sűrűsége	16	16 000	128 000	bit
Kapuáramkörök sűrűsége	4	2 000	40 000	
Ár/1000 komponens	50	1	0,2	Rubel

Talán még érzékletesebben mutatja e gigantikus ütemű fejlődést következő, 7. ábránk. Látható, hogy egy 16 Kbit-es tárolóhoz, amely ma egyetlen tokban kapható, csupán néhány évvel ezelőtt még 16 IC-t kellett felhasználnunk. Az elektronikus alkatrészeket felhasználó készülékiparban ezért az anyaghányad egyre nagyobb. Ismertek ma olyan berendezések, melyek költségeiben az anyaghányad 85% vagy még ennél is nagyobb.

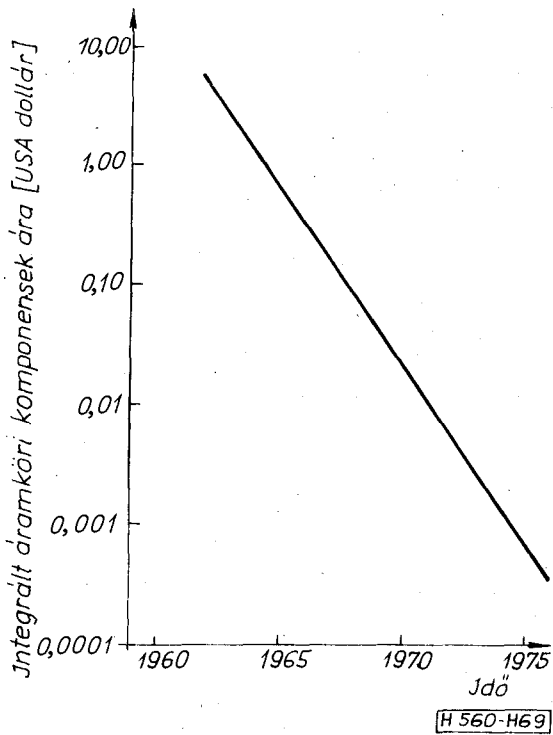
A mikroelektronika térhódítása a közfogyasztási cikkek területén mindennapos tapasztalatunk. A közfogyasztású elektronikus készülékek tipikus példái a kis kézi számológépek, a kalkulátorok. Csak 10 eszterendeje 89 tokot tartalmazott egy III. generációs kalkulátor. Igaz, ára is borsos volt, hisz az aktív elemek költsége 170 USA dollár körül mozgott. A ma korszerű kis kalkulátorok, melyek megkönnyítik napi munkánkat, egyetlen, kb. 2 \$ értékű integrált áramkört tartalmaznak (lásd a 8. ábrát).



7. ábra



8. ábra



9. ábra

Eljutottunk a költségek, az ár kérdéséig. Nyilvánvaló, hogy a technológia és termék szakadatlan fejlődése a piac e jelentős tényezőjének változását is maga után vonta. Egyetlen tranzisztor-rendszer a 60-as évek közepén kereken 1 DM-be került; ma egy félvezető chipen levő tranzisztor-struktúra ára kevesebb 0,001 DM-nél. Ez az árcsökkenési arány 1000-szeres!

Következő ábránk (9. ábra) is e hatalmas csökkenést mutatja. Az egyenes meredekségére jellemző, hogy az egyetlen áramköri komponensre jutó árak átlag 3 évenként csökkennek egy nagyságrendet!

#### Mikrokomputerek fejlődési iránya

Azt gondoljuk, nem túlzás az a megállapítás, hogy a mikroprocesszor alapvető és — úgy tűnik — visszafordíthatatlan változást okozott az elektronikában. Megjelenése sokkal drámaibb jelentőségű, mint az ebben az iparágban megszokott kiszorítási és helyettesítési piaci periódusoké.

A mikroprocesszor tulajdonképpen a számítógéppiacon a 60-as évek végén problémaként felmerülő igen nagy mértékű „egyedi konstrukció” kérdésének megoldásaként jelentkezett.

Az egyedi konstrukció gazdaságtalannak bizonyult (kis volumenű gyártás), így a mikroprocesszor megjelenése (bizonyos szempontból) piaci kényszer volt.

A mikroelektronika e vezető termékeinek fejlődése szempontjából a memóriák, a központi vezérlőegységek, a be/kimeneti egységek, valamint a software várható változásának megítélése a legfontosabb. A továbbiakban az itt felsorolt tényezőket vegyük sorra.

#### Memóriák

Az előzőekben már említettük, hogy a mikrokomputer tulajdonképpen program- és munkatárakkal, valamint be/kimeneti egységekkel kiegészített mikroprocesszor. Érthető tehát, hogy a mikrokomputerek fejlődése terén a legfontosabb szerepet a táruk fejlődése játszotta.

A logikai rend és ismétlés kedvéért idézzük fel a mikrokomputerek működésében nélkülözhetetlen alapvető tárolótípusokat:

— *Programtár.* Ezek többsége olyan, csak olvasó tár (ROM), melynek programozása vagy maszkkal történik az előállítónál, vagy programozó készülékkel a felhasználónál. Ismeretesek ultraibolya besugárzással törölhető és újra betölthető táruk is. Az előállítás technológiáját illetően a CMOS az uralkodó. A nagy elemsűrűségű és nagy teljesítményű n-csatornás PROM kifejlesztése volt e területen a legjelentősebb.

— *Munkatár.* Ezek szöszervezésű és író/olvasó (RAM) kivitelezésű táruk. Nagyon lényeges, hogy a munkatár hozzáférési ideje rövid legyen, mert lényegében ez határozza meg az egész rendszer működési sebességét. Jelenleg a statikus CMOS technológia e területen is uralkodó.

— *Parancskódolás.* Régebben kizárólag ROM-okat használtak ebben a funkcióban, ma az ún. programozható logikai egységek (PLA) alkalmazása terjedt el, mely lehetővé teszi a parancskészlet bővítését. E területen különösen ígéretes a térprogramozású logikai egységek (FPLA) megjelenése.

Egészen a közelmúlt évekig a komputereket többnyire ferrit memóriákkal látták el, bár a félvezető táruk előnyei (rövidebb hozzáférési idő, alacsonyabb árak) általánosan ismeretesek voltak. Egyébként a tárolási funkció volt az, amelyet elsők között lehetett integrált áramkörökkel megvalósítani, és az elmúlt 6 évben a félvezető táruk gyakorlatilag ki is szorították a mágneses tárolókat a mikrokomputerek területén. Várható, hogy a táruk területén a technológia fejlődését a hetvenes években elsősorban piaci igények határozzák meg.

#### Központi vezérlőegység (CPU)

Hasonlóan a tárolókhöz, a technológia fejlődése határozta meg az integrált központi vezérlőegységek születésnapját is. De a komputereket gyártók szükségletei határozták meg azt a technológiai fejlődést, mely a kis- és közepes integráltságú elemek létrejöttéhez vezetett.

Úgy gondoljuk, hogy e területen az LSI és VLSI technológiák bevezetése és gyakorlati alkalmazása rendkívül mély, és általánosan meghatározó változást fog jelenteni.

#### Be/kimeneti egységek

A mikrokomputerek be/kimeneti egységeinek kell a legsokoldalúbb funkciót ellátni egy kényelmesen használható rendszer esetén. Azt kell mondanunk,

hogy az egyébként rendkívüli iramú fejlődés mellett éppen ezen a területen a legnagyobb a viszonylagos elmaradottság.

A jelenleg kétségkívül és érezhetően fennálló I/O probléma megoldására az iparban új elképzelések születtek a be/kimeneti egységek tervezésénél, melyek a hardware konfigurációs problémáit és az időbeni követelményeket elsősorban software oldalról kívánják megoldani. Egyazon áramkörön belül különböző variációk helyezhetők el ezen az úton, pl. párhuzamos interface egységek, specifikus periféria-ellenőrök stb.

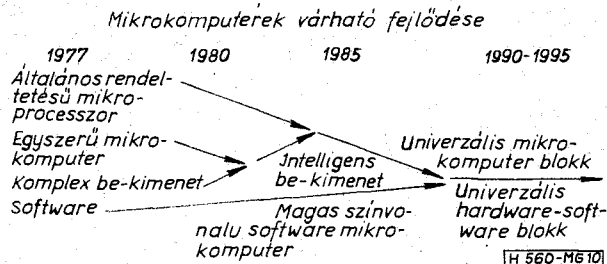
## Software

Mind a mai napig a software kérdését a mikrokomputer fejlesztésben csupán másodlagos kérdésnek tekintették, így a software közel sem élvezett olyan forradalmi változást, mint a hardware. Ennek aztán az lett a következménye, hogy a software-tervezés (mint technológia) termelékenysége jelentősen elmaradt, és miközben a számítógép műszaki egységét nagymértékben automatizált, termelékeny módszerekkel állítják elő, az ehhez a felhasználhatóság szempontjából szorosan kapcsolódó software egyedi, szinte művészi tevékenység. Ezek után érthető az a visszás helyzet, hogy egy számítógép üzemeltetési költségeinek közel a fele esik a software-re, míg a mikrokomputereknél ez gyakran a 90%-ot (!) is eléri. Pedig nem lehet kétséges, hogy egy működőképes rendszer legfontosabb tulajdonsága a software kialakítása, hiszen ez az ember és a gép közötti egyetlen közeg, és működésének komfortjától nagymértékben függ a komputer alkalmazhatósága. A mikroprocesszor és mikrokomputer ugyan olcsóbbá teszi, meggyorsítja a készülékfejlesztést, jó és egyre jobb általánosan használható software nélkül, önmagában azonban nem hatékony. A megfelelő software-en kívül természetesen elengedhetetlenül szükségesek a hibakereső és programfejlesztő eszközök is.

Mindezek megvalósítása érdekében a software-munka fő fejlesztési iránya ma a magasszintű nyelv kifejlesztése. A számítógépipar végre ezen a területen is kezd eredményeket felmutatni (gondoljunk csak itt a kifinomultabb tárcsa bázisú programfejlesztő állomásra vagy az ún. szóprocesszorok kifejlesztésére irányuló törekvésekre és kezdeti eredményekre). Reálisnak látszik az a célkitűzés, hogy emberi (de legalábbis emberközeli) nyelven lehessen beszélni a számítógéppel.

A mikrokomputer működéséhez feltétlenül szükséges, fentiekben vázolt, részegységek fejlődésének alapján most már felvázolhatjuk a mikrokomputer általános fejlődésének várható irányát, melyet a 10. ábrán tüntettünk fel.

E fejlődés lényeges vonása, hogy a rendszerek működésében szükséges különböző funkciók összeolvadnak, másképpen szólva tovább növekszik az integráltság, most már a különböző funkciók szintjén is.



10. ábra

A fejlődés alapfeltétele — amint ezt már kifejtettük — a magas színvonalú software mikroprocesszorok megjelenése, mely az évtized végére várható.

A mikroprocesszortól és az egyszerű minikalkulátortól az univerzális felhasználású hardware—software egységekig vezető úton jelentős fejlődés várható. Ami a tárakat illeti, valószínű, hogy már a következő évben megkezdődik a jelenleg 4 K-s táruk leváltása 16 K-s tárukra, majd 1985 körül (egyések szerint ez már 1980 körül bekövetkezhet) megjelennek a 64 K-s memóriák. Ezzel egyidőben a központi vezérlőegységek szinte tökéletessé válnak és a be/kimeneti egységek rendkívül flexibilisek és a gyakorlatban rendkívül széles körben alkalmazhatók lesznek. Mindezek megkövetelik egy közvetlenül alkalmazható, magasszintű nyelv kifejlesztését, miközben a mini- és megakomputerekben használt LSI chipek soha nem látott bonyolultsági fokot érnek el.

Ez a fejlődés olyan univerzális mikroelektronikai építőkövek megjelenéséhez vezet, mely csak az integrált áramkör megjelenéséhez hasonlítható. De a fejlődés nem áll meg ezen a szinten. Megkezdődik a hardware és software integrálása egyetlen áramköri elem, melynek nagysága  $1,5 \times 1,5 \times 0,6$  cm<sup>3</sup>-nél valószínűleg nem lesz nagyobb. Ezek a mikrokomputer már rendkívül magas szintű, közvetlen párbeszéd megvalósítását teszik lehetővé ember és gép között. Az ilyen intelligens programnyelv természetesen nagymértékben csökkenti a programozási időket is, és alkalmassá teszi őket az élet legkülönbözőbb területein való használatára. Végül az ezredfordulón már olyan univerzális elektronikus építőelemek megjelenése várható, amelyek a kényelmes és sokoldalú használathoz szükséges software és hardware egységeket egyaránt tartalmazza.

Megpróbáltuk áttekinteni a mikroelektronika várható fejlődését a következő években. Hangsúlyozni szeretnénk, hogy nem ennek az iparágak és termékeinek fényes jövőjét kívántuk elfogultan megjósolni, hanem — elsősorban a moszkvai Elektronikai Világkongresszuson (WELC, 1977) e témakörben elhangzott előadások és vélemények alapján — valamilyen mértékadó, reális prognózist szeretnénk volna nyújtani. A mértéktartó előretételek hasznosságába vetett hitünket nem változtathatja meg, ha ennek az iparágak forradalmi fejlődése az alkalmazások olyan területeire is kiterjed, melyekről ma még elképzeléseink sincsenek.