

DR. KOVÁCS MAGDOLNA—SAUFERT JÁNOS
Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet

A nagybonyolultságú integrált áramkörök — mikroprocesszorok — műszaki és gazdasági kérdései

ETO 621.3.049.771.14:681.325.65

Napjaink legfontosabb kérdései közé tartozik, hogy milyen ütemben vagyunk képesek az alkotómunka társadalmi méretű hasznosítására és az új technikai lehetőségek adaptációjára.

A legkritikusabb helyzetben az elektronikai és ennek alapvető alkatrész bázisát szolgáltató — bizonyos területeken vele azonosuló — félvezető ipar van. Az elektronikai szakterületeken egy-egy minőségi változást jelentő szint-ugrás, ami az utolsó időben, világviszonylatban kb. 5—6 évenként következett be, gyökeresen változtatta meg az egész iparág struktúráját. Ez az időtartam a gazdasági törvényszerűségnek megfelelően minden valószínűség szerint csökkenni fog. A várható szintugrásokat észlelni, értékelni, az azokat reprezentáló eszközöket, berendezéseket megvásárolni csak több éves késéssel tudjuk és amire a követést célzó fejlesztési munkák megindulnak a különböző döntési szintek határozata alapján, a legjobb esetben is 5 éves lemaradással számolhatunk.

Jellemző a fejlődési ütemre, hogy a fejlett elektronikai iparral rendelkező országokban a statisztikai elemzések szerint a jelenleg gyártott elektronikai alkatrészek, berendezések érték szerinti 80—90 %-a olyan termék, amelynek 10—15 évvel ez előtt még a létezéséről sem tudtunk.

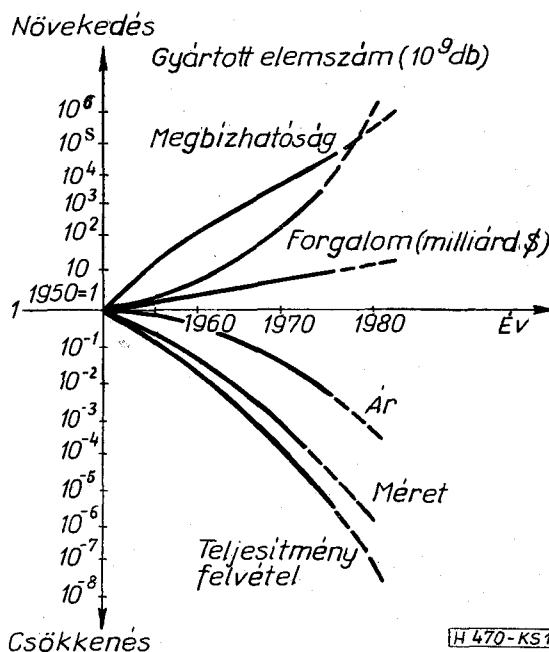
Az elektronikai alkatrész és berendezésgyártás kölcsönhatása a digitális technika területén

Az elektronikai ipar fejlődési lehetőségeit alapvetően meghatározzák az alkatrészek minőségi és mennyiségi paraméterei.

Ismeretes, hogy a nagyszámú alkatrészből felépülő digitális számítógépek elkészítésének és gyakorlati alkalmazhatóságának sok évig határt szabtak az elektronikai alkatrész paraméterek korlátai. Új megoldásokra volt szükség a berendezések megvalósí-

tásához, ami ösztönzően hatott a kutatásra, melynek eredménye, hogy az alkatrészek megbízhatósági, teljesítményfelvételi, méret-, ár-adatai az utóbbi 25 évben 2—6 nagyságrenddel javultak. (1. ábra) Ez a javulás 1965-től nagyrészt a technológiai kutatásfejlesztés hatására megvalósítható egy chip-en belüli alkatrész-szám vagyis az integráltsági fok növelésének következménye.

Ismeretes, hogy a digitális technikai berendezéseket, a számítógépeket alkotó nagyszámú áramkör 10—15 alaptípusból tevődik össze, melyek minden digitális készülékre vonatkozóan azonosak lehetnek.



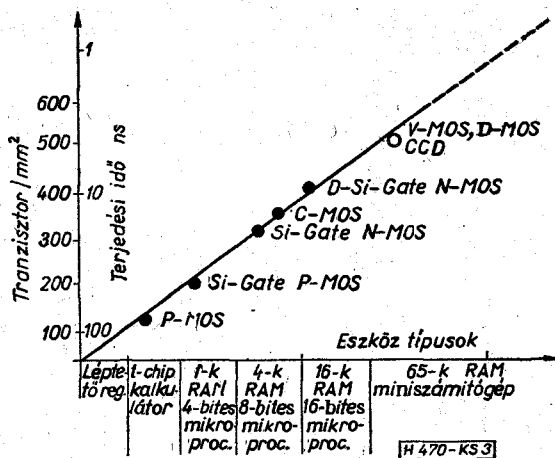
1. ábra. Az aktív elemek jellemzőinek alakulása. A bázisév: 1950. A jellemző aktív alkatrészek 1950-ben az elektroncső, 1960-ban az elektroncső és a diszkrét félvezető, 1970-ben a diszkrét félvezető és az IC-k (SSI, MSI), 1980-ban az IC-k (MSI, LSI, VLSI).

* 1976 V. 28-án a HTE-ben elhangzott előadások anyaga.

Ennek alapján lehetőség nyílt arra, hogy egyedi alkatrészek helyett—első lépésben a kapcsolóüzem követelményeinek megfelelő — áramköröket készre-szerelve hozzanak forgalomba.

A hagyományos egység-áramköröket egyedileg előállított alkatrészekből a berendezésgyártók tervezték, szerelték, tokozták, a helyi adottságoknak, felkészültségeknek, igényeknek megfelelően. A nagy költségek, a sok hibaforrás (forrasztás) további kutatásra ösztönöztek. A mikromodul (MM) bár a gazdasági várakozásnak nem felelt meg, az automatizált szerelhetőség ellenére sem, mégis az első lépést jelentette az egységes — szabvány — áramkörök megalkotása terén azzal, hogy áramkörgyártás átkerült az alkatrészyártókhoz. Ez a folyamat folytatódott az IC technológia megjelenésével, ami a gazdaságos megoldás eszköze lett és ezzel megindult a számítástechnikai tömegméretű fejlődése.

Az integráltsági fok növelésével egyre inkább a szilárd anyagban belüli szerkezet kialakításából, és nem alkatrész összeszerelésből áll a digitális technikai berendezésgyártás elektronikai része, vagyis a szerelés az IC gyártás színvonalára emelkedik (2. ábra). Ugyanakkor az integrált áramkörök, funkcionális egységek belső felépítése, konstrukciója is egyre tökéletesebbé válik, mert nemzetközi versenyt kell minden eszköznek kiállnia a piacok megszerzése érdekében. A technológiai fejlesztések a gyorsasági stb. paraméterek javítása mellett elsősorban az egy chipen belüli alkatrész sűrűség növelésére vagyis az integráltsági fok növelhetőségére irányulnak, mint a MOS (Metal Oxide Semiconductor) (3. ábra, 1. táblázat), mind a bipoláris (Isoplanár, I²L — Integrated Injection Logic) technikában.



3. ábra. A MOS-LSI technológia és az áramkörök fejlődése

1. táblázat

Fontosabb MOS—LSI technológiák 1976-ban

Technológia	Terjedési idő (ns)	Disszipációs terjedési idő pJ/kapu	Sűrűség		Szelet méret mm²
			elem mm²	kapu mm²	
P—MOS	80	450	150	50	7×7
Si-Gate P-MOS	30	145	270	90	6,5×6,5
Si-Gate N-MOS	15	45	285	95	6×6
N-MOS kettős pofoszilícium	10	35	525	175	6×6
Si-Gate C-MOS	10	0,5	220	45	5,5×5,5
V-MOS	5	20	600	225	—
D-MOS					
SOS-C-MOS	2—5	0,1	650	275	5×5

Aramkör és integráltsági fok	Egy aktív eszköz ára	Alkatrész gyártónál	Berendezés gyártónál
Hagyományos áramkör 1 kapuáramkör	0,1 \$		
MM, mikromodul 1 kapu	0,1 \$		
1G SSI=1-10kapu	0,01 \$		
MSI=10-10² kapu	0,01-0,001 \$		
IC LSI=10²-10⁴ kapu	0,002-0,0001 \$		
IC VLSI=10⁴ kapu felett	0,0001 \$ alatt		

Digitális berendezés tervezés — szerelés

H 470-KS 2

2. ábra. Iparszerkezeti változás az elektronikában

A rendszertechnika fejlődése az integráltsági fok növekedése tükrében

A rendszertechnika által legkorábban sürgetett és a legkönnyebben meghatározható célkitűzés volt az olcsó, nagykapacitású és gyors táruk kifejlesztése.

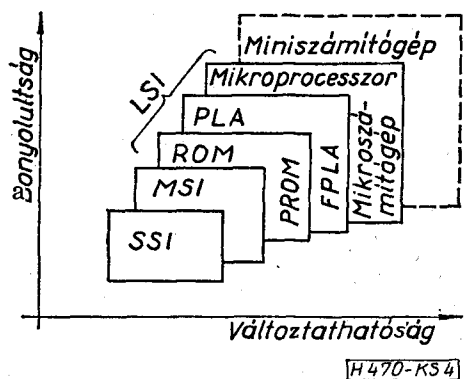
Az IBM 360-as számítógéprendszer megjelenése (1964) igen jelentős irányzat lett a számítógépekben és később a digitális célberendezésekben is a vezérlőegység helyettesítése „tárolt logikával”, azaz mikroprogramozott vezérléssel. Ennek fő oka, hogy a mikroprogramozott számítógépek gyártása kezdett gazdaságossá válni.

A félvezető fix táruk (ROM=Read-Only Memory) gyors fejlődése lehetővé tette, hogy az IBM 360 számítógéprendszert követően egymás után szülessenek a mikroprogramozott számítógépek. A mikroprogramozott vezérlések néhány előnye a hagyománnyal szemben:

- a költség csökken,
- a vezérlőegység struktúrája áttekinthetőbb,
- tulajdonsága könnyen megváltoztatható fix tár cserével,
- gazdaságosabban növelhető a gép teljesítő-képessége a hagyományos megoldásokkal szemben,
- egy mikroprogramozott számítógéppel számos számítógép emulációja elvégezhető.

A digitális rendszertechnika igényének kielégítésére létrejöttek a nagy kapacitású, gyors és olcsó félvezető memóriák. A memória gyártó cégek a MOS-LSI technológiai lehetőségeinek birtokában olyan vezérlőegység kifejlesztését tűzték ki célul, amely a táruk alkalmazási lehetőségét kibővíti, így jött létre 1968-ban a mikroprocesszor.

Vizsgáljuk meg az integrált áramkörök spektrumát a „bonyolultság” és a „változtathatóság” függvényében (4. ábra). Az SSI áramkörök megjelenése felszabadította a tervezőket az áramkörtől való alól, amivel a diszkrét áramkörös logikákkal való tervezés járt. Így a tervezők több gondot fordítottak a logikára. Az MSI áramkörök sok logikai funkciót készen szolgáltatnak, pl. multiplex, demultiplex,



4. ábra. Az integrált áramkörök spektruma

dekóder, számláló stb., így az előbbihez hasonló tervezési ráfordítással több vagy bonyolultabb feladatokat megoldhatunk és az elkészült logika könnyebben változtatható. A változtathatósággal kapcsolatban gondoljunk pl. egy SSI elemekből realizált négy változós kombinációs hálózatra vagy egy 16 bemenetű multiplexre, amely tetszőleges négy változás Boole függvényt realizálhat, és ez utóbbinál mennyivel könnyebb a változtatás.

Az MSI-hez képest forradalmi változást jelentett az LSI áramkörök között a ROM, PROM (Programmable ROM) memóriák mikroprogramtárákként való alkalmazása és a mikroprocesszorok megjelenése. Ezek jelentős strukturális változást idéztek elő a számítógép vezérlőegységében és a digitális célberendezésekben, de nemcsak egy-egy berendezésen belüli strukturális változást eredményeztek, hanem létrehozták a berendezések strukturális közeledését is.

Az integrált áramkör megváltozott szerepe

Az eddigiekből következik, hogy az IC-t nem kezelhetjük úgy, mint egy alkatrészt a sok közül, nemcsak azért, mert az előállításuk sokrányú tudományos munkát és egy gazdaságilag kis- vagy közepesen fejlett ország erejét meghaladó tőkebefektetést igényel, hanem főleg azért — mert a digitális IC gyártás és a számítógép elektronikai részének gyártása rövidesen gyakorlatilag azonosává válik. A számítógép kulcsfontosságú szerepe pedig a tudományos technikai forradalomban közismert. A számítógép mint termelőeszköz, és mint a szellemi munka termelő-

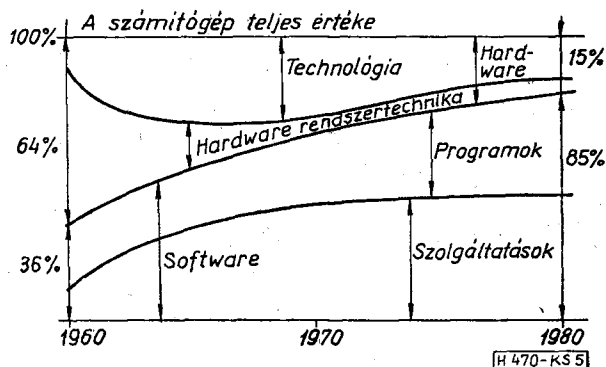
eszköze, egyre gyakoribb minőségi ugrásokra készíti az ipar minden ágát, a gyógyászatot, a mezőgazdaságot stb. — de magát a tudományos kutatást is — beleértve az összes szakterületet.

Az IC jelentőségének korai felismerésére utal a kezdeti USA tőkebefektetések nagysága, ami akkor a stratégiai úrkutatási szempontoknak megfelelően állami támogatással is párosult, és így óriási előnyhöz jutottak, tekintettel a szintugrások gyakoriságára (5–6 év). A befektetések nagyságára utal az a tény is, hogy a gazdasági siker biztosítása az IC gyártásban ma már a nyugat-európai cégeknek csaknem elérhetetlen feladatot jelent és egyre elérhetlenebbé válik.

Hozzájárul ehhez az USA által diktált árak nyomán kialakult iparpolitikai helyzet, amivel a piacon való egyeduralmat igyekeznek megtartani, ami természetesen a számítógép piac feletti egyeduralmat is jelenti.

A software-hardware arány

Jellemző, hogy a hardware arány a számítógép értékében nagymértékben csökkenő, míg a software arány növekvő tendenciát mutat. IBM becslés szerint 1980-ra ez az arány 15–85%-os lesz (5. ábra). A 15% hardware-ből 3% lesz a központi egység értéke, vagyis a perifériák nélküli számítógép, ami főleg az integráltsági fok növekedése folytán bekövetkezett IC és berendezésgyártás önköltség-csökkenésének eredménye.



5. ábra. A software-hardware értékarány változása a számítástechnikában (IBM adatok)

A fejlődési folyamatok törvényszerűségei a digitális technikában. A szintemelző mozgások számítása és ábrázolása

A fejlődési folyamatok vizsgálatához a gazdasági mozgások időbeli és térbeli törvényszerűségeit kell felderíteni. A gazdasági változások gyakorlatában folyamatos és szakaszos mozgási formákat különböztetnek meg. Folyamatos változásnak tekinthető például az egyes technológiák aprólékos állandó jellegű fejlesztése, a rész megoldások tökéletesítése. Szakaszos, ugrásszerű (mutációs jellegű) emelkedést váltanak ki az olyan nagysikerű találmányok, mint a tranzistor, integrált áramkör stb. A folyamatos fejlődésáramlást analitikus függvényekkel lehet ki-

fejezni, az idősorok extrapolálására használt trend vonalak egyenleteivel. Tekintettel a dinamikus fejlődésre, a gazdasági növekedés trendjeit lineáris, exponenciális vagy hatvány-függvényekkel számíthatjuk. Feltételezve, hogy a szintnövekedés lineáris $y=f(t)$ -re az extrapoláció: $y=y_0+bt$ (t =idő, y_0 =bázis szint, b =az éves állandó növekmény). Exponenciális szintemelkedésnél $y=f(t)$ extrapolációja: $y=y_0(1+p)^t$ (p =az éves növekedési ütem). Hatvány függvénnyel közelíthető az extrapoláció, ha az évi növekedési ütem nem állandó, hanem monoton növekvő vagy csökkenő érték-sorozat $y=f(t)$ $y=at^b$ (a =a technológiai tényezőktől függő konstans).

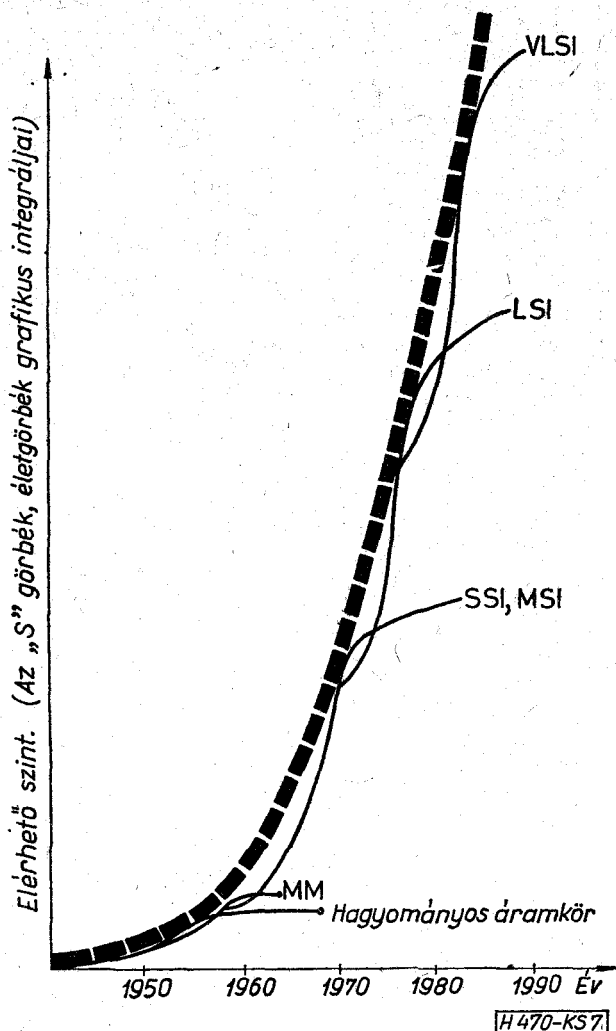
A szakaszos fejlődés-ugrások esetén a fejlődés tendenciáinak vizsgálatára a prognosztika módszertana a burkológörbe extrapolációs eljárást ajánlja, amire akkor van lehetőség, ha az egyes lépcsőket reprezentáló eszközök, eljárások, paraméterei, meghatározó fő tényezői, részfejlődési szakaszai, gyakorlati lehetőségei, megoldásai stb. egységes rendszert alkotnak.

Ha megvizsgáljuk az áramkör-felépítés fejlődésének menetét, azt tapasztaljuk, hogy a folyamatos minőségjavulás mellett egy-egy nagysikerű új eljárás vagy új rendszertechnikai megoldás, mint pld. az IC vagy az IC technika belül az LSI, alapvető változásokat hoz létre az elektronikában. A digitális áramkörök vonatkozásában minőségi változást (szintugrást) jelent a bonyolultsági fok nagyságrendekkel való növelése, ennek megfelelően rajzoltuk fel az életgörbéket (6. ábra)

Az életgörbétől, illetve azok empirikus sűrűség-függvényének grafikus integráljával nyert fejlődés-görbékől az úgynevezett S görbékől szerkesztettük meg az X trendvonalat (7. ábra). Az X trendvonal — a tudományos technikai fejlődés trendje — az egyes minőségi változást jelentő bonyolultsági foknak vagy egyéb még korszerűbb megoldásnak (molekularis elektronika, buborék memória stb.) megfelelő fejlődési görbék burkoló görbéje.

Az X egyre meredekebb lesz, jelezve, hogy az egyes típusok gyártása, illetve piacon maradása egyre rövidebb ideig tart, amivel jelzi a következő szintugrás bekövetkezésének feltételezhető idejét.

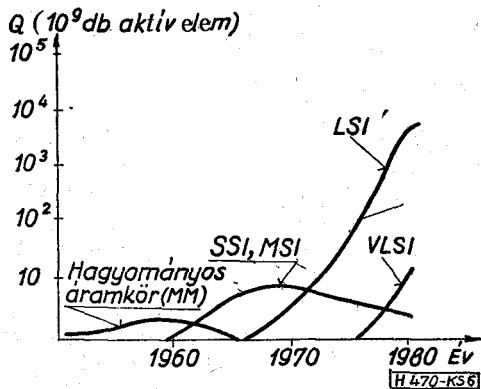
Hazai vonatkozásban tapasztalható lemaradás csökkentésére csak a minőségi változások korai felismerése és követése ad lehetőséget. A fejlődési



7. ábra. A digitális áramkörök fejlődésének burkológörbéje

folyamat objektív, vagyis a szintugrások várható következményeivel számolni kell.

A hazai digitális technikai kutatásfejlesztésnek egyik legfontosabb szerepe, hogy az így szerzett ismeretek alapján meg tudjuk határozni a szintugrást biztosító licenc vagy know-how vásárlásra vonatkozó adatokat, biztosítsuk a fogadási készséget és azt a lehetőséget, hogy a szocialista táboron belül versenyképes partnerek legyünk a későbbiek folyamán.



6. ábra. A digitális áramkörök életgörbéje

Nagybonyolultságú áramkörökből készülő digitális berendezések

Mikroprocesszor rendszerek

A mikro jelző az alkotó elemek kis fizikai méretére utal, amit az LSI technológiának köszönhetünk. A processzor szó azt jelenti, hogy ez egy olyan rendszer központi egysége, amelynek feladata a felhasználói program végrehajtása.

A mikroprocesszor tehát olyan nagyfokú integrálási technológiával készült eszköz, amely a digitális számítógép központi egységének, a CPU-nak (CENTRAL PROCESSING UNIT) feladatait képes elvégezni.

Ahhoz, hogy a gyakorlatban használható rendsze-

rek jöjjenek létre, ki kell a mikroprocesszort egészíteni memóriával be- és kimeneti készülék vezérlő elemekkel, óragenerátorral, állapotdekódolóval stb., a mikroprocesszor típustól függően. Az ilyen módon kialakított rendszereket mikroszámítógépeknek nevezik.

Mindezekből nyilvánvaló, hogy a mikroprocesszorokkal való tervezés nem képzelhető el a klasszikus számítástechnikai módszerekre és eszközökre támaszkodó hardware (HW) software (SW) háttér nélkül.

Ma már közismert, hogy a HW tervezés súlypontját a logikai áramkörök nagymértékű integrációja az eszköztervezés irányában tolja el. A berendezés tervezésének pedig jelentős része a berendezés tulajdonságait előíró program elkészítéséből áll.

A mikroszámítógép az adatfeldolgozás eszköze, és így az három alapegységet tartalmaz: a CPU-t, memóriát és a be-kimeneti vezérlést. Így tehát a mikroprocesszor a mikroszámítógép CPU egysége.

A mikroszámítógép tömbvázlatát a 8. és 9. ábra mutatja. Ugyanez a tömbvázlata egy programozott hardwarenek is.

Mikroszámítógép esetén a ROM (PROM) tárolja a mikroprogramot, programozott hardware rendszerénél pedig a teljes fix programot.

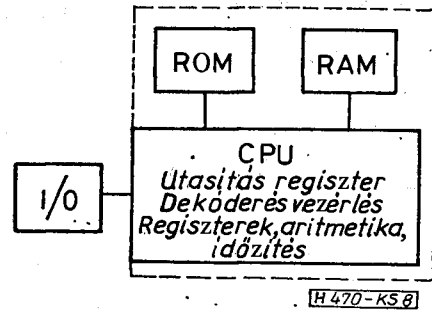
A RAM (RANDOM ACCES MEMORY) mikroszámítógép esetén az utasítások végrehajtása alatt a forrásprogramot (felhasználói program), programozott hardware rendszerénél pedig a változó adatokat tárolja.

A programozott hardware tehát digitális célrendszer számítógép struktúrával, de nagyobb megbízhatósággal, mint a számítógép, mert a programot olyan tár tárolja, amelyik az információt nem veszti el. A táruk méretét a felhasználói igények határozzák meg, amit természetesen a mikroprocesszor címkapacitása korlátozhat.

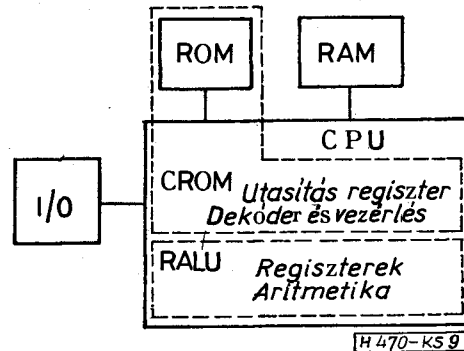
A mikroprocesszor regisztereket (programszámláló, stack pointer, utasítás regisztere, index regiszter, akkumulátor stb.), ALU-t és vezérlést tartalmaz. A mikroprocesszor állhat egy (8. ábra) vagy több tokból (9. ábra). A CROM control ROM-ot, a RALU regiszter ALU-t jelent a 9. ábrában.

A mikroprocesszorokat osztályozhatjuk a szóhosszúság, utasításformátum, utasításkészlet, ciklus idő, címezhető memória kapacitás, a funkcionális egységek típusa, a megszakításrendszer és a sínrendszer alapján.

A mikroprocesszorok sínrendszerben működnek,



8. ábra. Mikroszámítógép tömbvázlata — egy chip-es mikroprocesszor



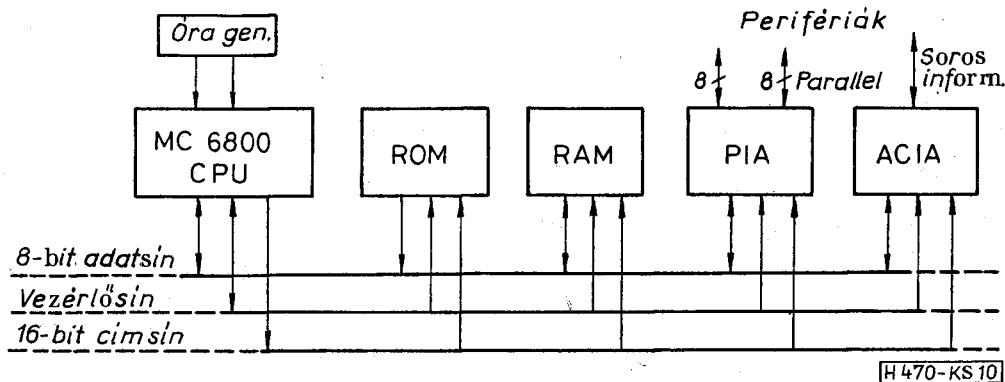
9. ábra. Mikroszámítógép tömbvázlata — két chip-es mikroprocesszor

azaz az információ mozgatása a mikroprocesszor és környezete között sínen történik. A sínrendszer lehet közös és több sín-rendszerű.

Az eddigiek alapján megállapíthatjuk, hogy a mikroprocesszorok a digitális technika mindennapi eszközévé válnak és így nyilván a digitális célberendezések felépítése a számítógépek felépítéséhez lesz hasonló. Ez a célberendezések vonatkozásában rendszertechnikai minőségi változást jelent, mert azokat a feladatokat, vagyis programokat, amit eddig logikai áramkörökkel oldottak meg, egy tárolóban helyezik el és a mikroprocesszorral mint a rendszer központi vezérlőegységével hivatják le és hajtják végre.

A MOTOROLA M 6800 mikroprocesszor rendszer

A 10. ábrán bemutatott N-MOS technológiával készült elemek egy mikroszámítógépet alkotnak.



10. ábra. A MOTOROLA 6800-as rendszer

Az információk mozgatása adat-, cím- és vezérlősínen történik. Az adat- és a címsín TTL kompatibilis. A mikroprocesszor a memória és a perifériák címzését azonos címsínen bonyolítja le.

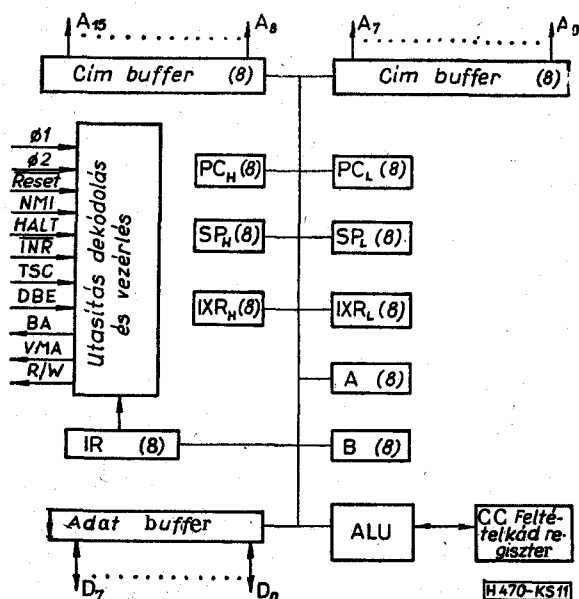
A ROM, RAM egységek szerepe már ismert, ezek nem foglalkozunk.

A PIA (Peripheral Interface Adapter) be/kimeneti vezérlőegység, amely a periféria készülékeket illeszti a 8-bites adatsínen és 4 vezérlővonalon a mikroprocesszorhoz. A PIA készülékek felé menő adatsíneken programozhatók, hogy azok be- vagy kimenetként működjenek, ugyancsak programozható a PIA üzemmódja is.

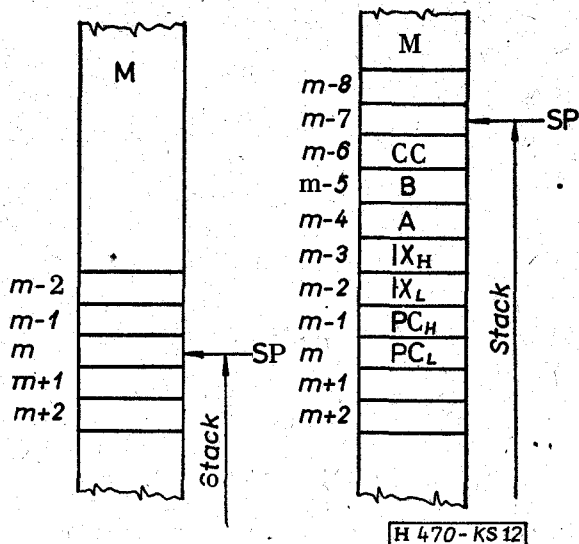
Az ACIA (Asynchronous Communications Interface Adapter) adatokat formál és a soros információs rendszert a mikroprocesszoros sínrendszerhez illeszti. A rendszer indításakor az ACIA funkcióját szintén programozni kell. Az MC 6800 mikroprocesszor az M 6800 mikroszámítógép család központi vezérlő funkcióit és a számítási feladatokat végzi el. A működtetéshez csak +5 V tápfeszültség szükséges, kompatibilis a TTL áramkörökkel (11. ábra).

Fontosabb tulajdonságai:

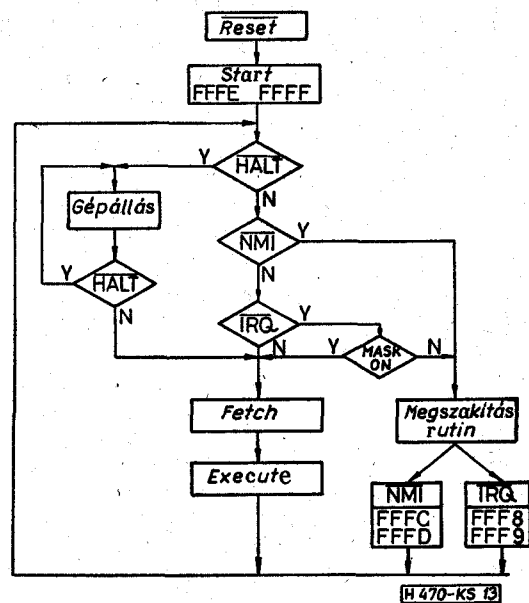
- 16 címvonalon közvetlenül 65 kbyte-ot címez a memóriában, a címvonalak 3 állapotúak,
- a 8 bites adatsíne kétirányú adatátvitelre alkalmas és 3 állapotú, ezáltal lehetővé teszi a közvetlen memória hozzáférést (DMA) a CPU kikerülésével,
- utasításkészlete 72 utasításból áll,
- 7 címzési módja van,
- maszkolható és nem-maszkolható megszakítással rendelkezik,
- 1 MHz órafrekvencia,
- a 16 bites stack pointer (SP) lehetővé teszi a többszintes megszakítás kezelést és a korlátlan szintű szubrutinhívást.



11. ábra. Az MC 6800 mikroprocesszor



12. ábra. A programállapotszó mentése a stackbe



13. ábra. Az MC 6800 CPU folyamatábrája

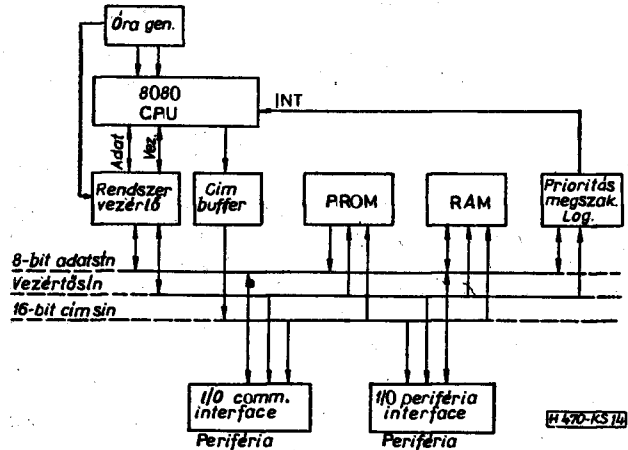
A 12. ábra bemutatja megszakítás esetén a programállapotszó kimentését a stack memóriában, a mentés előtti és utáni helyzet feltüntetésével.

A 13. ábra a CPU folyamatábráját ismerteti. Indításkor a PC programszámláló az FFFE, FFFF hexadecimális címmel töltődik fel és lefolytatja az ezen címen kezdődő indítási szubrutint. Először három bemenővezeték állapotát figyeli a vezérlés, ha ezek egyike sem volt aktív állapotban, akkor a normális utasítás elővételi ciklus és a végrehajtási ciklus (execute) hajtódik végre.

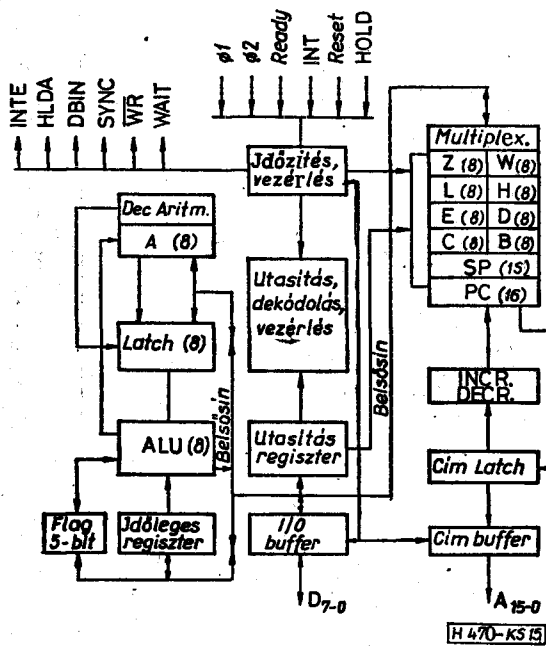
Nem maszkolt megszakítás (NMI) esetén az FFFC, FFFD címről indul a megszakítás rutinja. Megszakításkérés esetén, ha a megszakítás engedélyezett; akkor a megszakítás rutin az FFF8, FFF9 címről indul, egyébként az utasításelővétel és a végrehajtási ciklus következik.

Az Intel 8080 mikroprocesszor rendszer

Az egyes modulok közötti kapcsolat ennél a rendszernél is sínrendszeren keresztül történik (14. ábra). Az Intel cég is többfajta be- kimeneti készülék vezérlőegységet fejlesztett ki és az indításkor programmal kell biztosítani, hogy milyen legyen a kapcsolat (bemenet vagy kimenet, szinkron vagy aszinkron) a periféria készülékekkel. Az információk mozgatása itt is adatcím és vezérlősínen történik, amelyek TTL kompatibilisak.



14. ábra. Az INTEL 8080 rendszer



16. ábra. A 8080-as mikroprocesszor

Az Intel 8080 mikroprocesszor N csatornájú szilícium gate MOS technológiával készül, 78 alaputasítása van és egy utasítás átlagos végrehajtási ideje 2 μs. Blokkvázlatát a 15. ábra ismerteti, 6 db. 8-bites munkaregisztert, akkumulátort, 5-bites állapotjelzőt, ALU-t és vezérlést tartalmaz.

Utasítás csoportjai:

- adatmozgató,

- aritmetikai,
- logikai,
- elágaztató,
- stack, I/O (INPUT/OUTPUT) és gépvezérlő utasítások.

Címzési módjai:

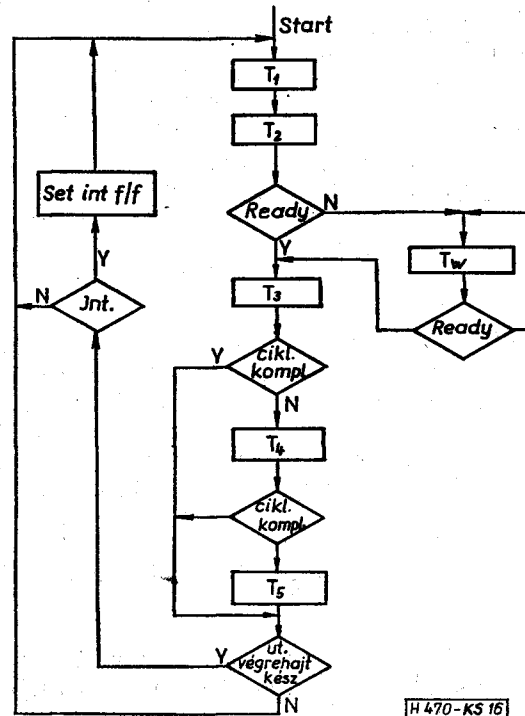
- közvetlen címzés az utasítás 2. és 3. byte-ja az operandus címe,
- regiszter címzés; az utasítás a regiszter-tömb valamelyik regiszterére vagy regiszterpárjára hivatkozik és az tartalmazza az operandust,
- regiszter közvetett címzés; az utasításban megjelölt regiszter párban van az operandus címe,
- sürgős (immediate) címzés; az operandust az utasítás maga adja meg.

Időztítés:

Az Intel 8080 mikroprocesszor leegyszerűsített folyamatábráját a 16. ábra mutatja be. Az utasítások 1, 2, 3 byte-osak lehetnek. Minden utasítás végrehajtásához 1–5 gépi ciklus szükséges (M1...M5). Mindegyik gépi ciklus 3–5 állapotból áll és mindegyik állapot egy óraperiódus ideig tart, kivéve a várakozó, felfüggesztett és a megállított állapotokat, amelyek határozatlan számú órajelet vesznek igénybe.

Mikroszámítógép rendszer

A mikroszámítógép rendszer a legkülönbözőbb feladatokat ellátó mikroszámítógépek, programozott hardware-ek tervezéséhez, programozásához és megvalósításához nyújt hatékony támogatást. Egy ilyen rendszer vázlatosan a következőkből áll.



16. ábra. A 8080 CPU egyszerűsített folyamatábrája

1. Hardware elemkészlet:

- mikroprocesszor,
- tárolók: ROM, PROM, RAM,
- I/O vezérlők,
- tápegység,
- mechanika,
- kezelő és kijelző egységek.

2. Software:

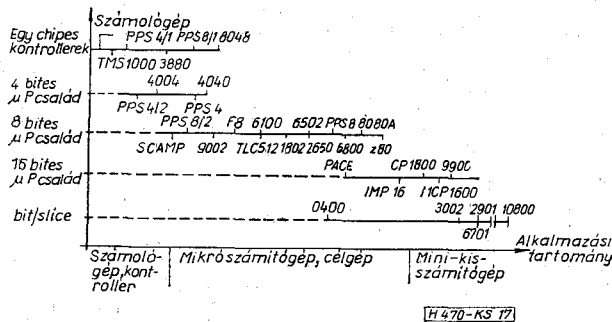
- assembler: self, cross,
- compiler,
- szimulator,
- nyomkövítő.

3. Firmware technológiai eszközök:

- PROM, REPRM beültető,
- REPRM törlő.

A mikroprocesszor családok és az alkalmazási területek ismertetése

Jellemző, hogy mikroprocesszorokat gyártó cégek állítják elő a mikroprocesszorhoz tartozó ROM, RAM típusú táraikat és az egyéb kiegészítő áramköröket is, melyek egy „családot” alkotnak. Ezért a továbbiakban az egyes mikroprocesszor típusok gyártási (tőkés, KGST), felhasználási stb. adatai a kérdéses „mikroprocesszor családra” vonatkoznak. Az ismert mikroprocesszor típusok száma jelenleg több mint 100.



17. ábra. A mikroprocesszorok spektruma

A mikroprocesszorok alkalmazási területét behatárolja a csatlakoztatható tárcapacitás, a sebesség, a szóhosszúság, a feladatvégzés rugalmassága stb. A 17. ábrán a mikroprocesszorok spektrumát mutatjuk be az alkalmazási tartomány függvényében néhány jellemzőbb mikroprocesszor típusal.

A nagybonyolultságú áramkörök alkalmazásának gazdasági értékelése

A berendezések élettartamát nagymértékben le rövidíti a gyors elavulás, ezért a dinamikus fejlődés követelményeit szem előtt tartva a lehető legkorszerűbb alkatrészgarnitúrából kell építkezni.

Az integráltsági fok növelése a berendezésgyártás oldaláról vizsgálva

Vizsgáljuk meg, mit jelent a berendezéskészítők szempontjából, ha kétszer nagyobb integráltsági fokú integrált áramköröket használnak.

Egy átlagos bonyolultságú, 16 kivezetésű hagyományos IC kb. 36 csatlakozási pontot (forrasztás, fémezett átvezetés, csatlakozás) jelent. Ha egy 1000 áramkörös berendezésben bonyolultsági fok növelés következtében az IC-k számát 500-ra csökkentjük, akkor 18000 csatlakozási pont marad el.

A kevesebb külső kötés következtében nagyobb a berendezés megbízhatósága, alacsonyabb a zavar-szint, nagyobb a sebesség.

Az INTEL cég adatai szerint egy IC-nek a berendezésbe való beszerelésével kapcsolatos költség a vételárral együtt 2–6 dollár között mozoghat (2. táblázat). Hazai viszonylatban a VT, SZKI, VEIKI, HIR. KTSZ, TKI, KFKI, TRT számítástechnikai becslései alapján egy IC-nek a berendezésbe szerelési költsége átlagosan 250–1000 Ft között lehet.

2. táblázat

Egy IC berendezésbe szerelésének a költség szerkezete

Megnevezés	Ár (dollár)
IC ár (SSI, MSI)	50
IC bevizsgálás, raktározás	5
IC bevizsgáló berendezés amortizáció	15
NYÁK lap egy IC pozícióhoz	
átlagos	25
különleges	50
többretegű	100
(wire-wrap foglalat) (felett)	200
wire-wrap foglalat	200
Hullámforrasztás	5
Kártyavizsgálás és -javítás	5
Csatlakozók	5
Kiegészítő diszkrét elemek (R, C stb.)	5
Rendszerhuzalozás automata berendezéssel	10
Energiaellátás	10
RACK-ek	10

Ennek alapján a következő egyszerű számítást végezhetjük el: 1000 db SSI, MSI IC-ből felépíthető berendezés elektronikai része szerelésének költsége – ha 1 db IC ára és berendezésbe szerelési költsége átlagosan 300 Ft, akkor a szűkített önköltség = 300 000 Ft. Ha a felhasznált áramkörök, IC-k integráltsági fokát megkétszerezzük és a berendezést 500 db SSI, MSI, LSI IC-ből építjük fel, a magasabb IC árak miatt a költség átlagosan 330 Ft, a berendezésszerelés szűkített önköltsége: 165 000 Ft.

A mikroprocesszor családokkal (mikroprocesszor, ROM, RAM) készülő berendezésekben (MSI, LSI) az átlagos bonyolultság kb. egy nagyságrenddel növekszik a hagyományos (SSI, MSI) megoldásokhoz képest.

Műszaki és gazdasági összehasonlítás a hagyományos logikai IC garnitúrával készült és az azonos feladat ellátására alkalmas mikroprocesszoros készülékek között

A gyártási ciklus lerövidülése és a gyártási költségek csökkenése kézenfekvő, ha összehasonlítjuk a pár elemből — funkcionális egységből — összetevődő mikroprocesszoros berendezés kiegészítését, a hagyományos több száz vagy ezer integrált áramkörből álló logikai áramköri rendszer fejlesztéssel. Ez a sok áramkör tervezési és gyártási, szekrény szerelési stb. munka, idő és költség vonatkozásban is a töredékére csökkent.

USA-ban végzett összehasonlító számítások (Intel- adatok)

Egy logikai kapuáramkört 8–16 bit tároló kapacitású tárrekesz helyettesíthet.

3. táblázat

ROM (PROM) kapacitás (bit):	Helyettesíthető logikai kapuk száma (db)	Helyettesíthető IO szám (db)	Megtakarítás a hagyományos megoldáshoz képest (\$)
2 048	128—256	13—25	19,5—75
4 096	256—512	25—50	37,5—150
8 192	512—1024	50—100	75—300
16 384	1024—2048	100—200	150—600

Egy IC berendezésbe szerelése 2—6 \$. Egy IC tok = 10 kapuáramkör. Pl.: egy 15 kbytes mikroprocesszoros berendezés 50 \$, ugyanaz logikai kapukkal felépítve 150—600 \$.

Összehasonlító számítások hazai adatok alapján

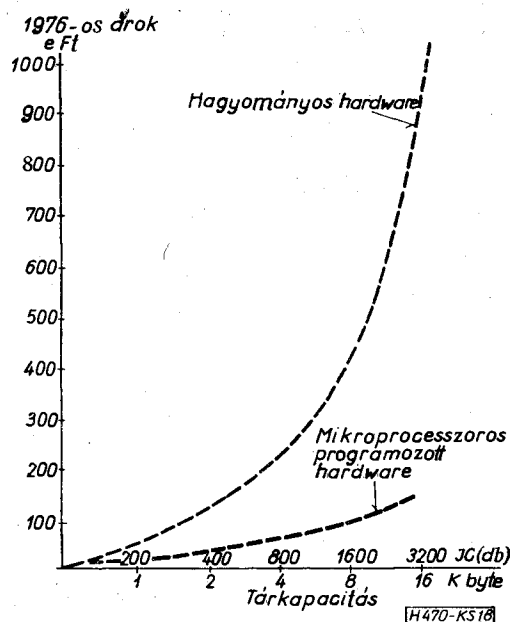
A hazai tapasztalatok szerint a helyettesíthető IC szám nagyobb, mint az USA-ban, mivel átlagosan alacsonyabb integráltsági fokú IC-eket alkalmaztunk.

A mikroprocesszoros berendezés előállítási költségeit az Intel 8080 CPU családhoz tartozó eszközök árai alapján (Intel 8702 REPROM stb.) állapítottuk meg. (Alapul szolgáltak a HIR KTSZ-ben, a VEIKI-ben végzett számítások, az egyéb intézmények adatai és az EMO áradatak).

Az alábbi számításokban egy IC berendezésbe szerelési költsége 280,— Ft.

4. táblázat

Tár kapacitás (Kbyte)	Helyettesíthető IC szám (db)	Hardware előállítási költség (eFt)		Az elmaradó forrasztási, csatlakozási pontok száma a µP-os megoldásnál a hagyományos hardware-hez képest becslés (Intel)
		Hagyományos 1976-ban	Mikroprocesszoros 1976-ban	
1	200	55	25	~ 6800
2	400	110	35	~ 12 000
4	800	220	55	~ 25 000
8	1 600	440	90	~ 50 000
16	3 200	900	150	~ 100 000
32	6 400 elvi	1800	240	~ 210 000
64	12 800 elvi	3700	400	~ 430 000



18. ábra. A hagyományos és a mikroprocesszoros hardware költségének alakulása a készüléknagyság függvényében

Az egyes berendezéseket vizsgálva, az itt megadott adatoktól való eltérés nagymértékű lehet. De mivel a számításokban a gazdasági előnyöknek csak kis részét lehet biztonsággal számszerűsíteni és az IC beszerzési költségeknek megközelítőleg az alsó határát vettük figyelembe, a fenti mikroprocesszoros alkalmazás gazdaságossági előnyét kimutató adatok — a felhasználók véleménye szerint — a legkedvezőbb esetben sem túlzottak.

A nem számszerűsíthető tényezők vizsgálata

Az ismertetett számítások csak az anyagköltség és a gyártási költségváltozásokat tartalmazzák. Hátra van még a nem számszerűsíthető tényezők vizsgálata, melyet az alábbiakban foglalunk össze.

Az elemszám nagyságrendekkel való csökkenése következtében kb. egy nagyságrenddel javul a megbízhatóság. A jobb minőségű készülék utáni kereslet és az eladási ár nő, ugyanakkor csökken az üzembehelyezési, garanciális és a szerviz költség.

A tárolt program előnyei a kiépített hardware-val szemben;

- rugalmas, a berendezés ROM cserével (átprogramozással bizonyos határokon belül más célú berendezéssé alakítható, a változtatás software munka,
- új program esetén a szubrutinok zömét változtatlanul lehet felhasználni,
- megbízhatóbb a feladatvégrehajtás (nem kell a programot beolvasni.)

A tapasztalati adatok azt mutatják, hogy a fejlesztési és gyártási idő 50—60%-kal csökken és ez a software szolgáltatások előrelátható javulásával, valamint az alkalmazástechnikai tapasztalatok növelésével tovább fog csökkenni. Jelenleg a fejlesztési költségek 25—35%-os csökkenésével számolnak, de

A μ P gyártásfelfutása (millió \$)

	1974		1975		1976		1977	
USA	45,9	68%	67,7	100%	133,6	197%	483	713%
Japán	10,5	68%	15,4	100%	56,5	367%		
Ny-Európa	2,3	34%	6,7	100%	16,6	348%		

az előbbiek alapján perspektivikusan sokkal nagyobb arányú csökkenés várható.

A korszerűségi adatokból következik, hogy megnő az alkalmazhatóság időtartama a hagyományos megoldáshoz képest, vagyis később következik be az elavulás.

Jelentős költségmegtakarítást fog eredményezni a kis méretből adódó, infrastrukturális beruházások elmaradása.

A korábban kialakult korszerű berendezésgyártó technológia és konstrukciós megoldások közvetlenül felhasználhatóak a mikroprocesszoros berendezések gyártásához.

A szűk típusválaszték eleve adott, mert a mikroprocesszoros berendezések funkcionális egységei egy-egy funkció vonatkozásában közel azonosak.

Az importhányad eddig kb. 50%-kal csökkent a mikroprocesszoros megoldásnál a funkciójában azonos hagyományos logikai áramkörökkel kivitelezett berendezésekhez képest.

Az LSI áramkörök és a mikroprocesszor gyártás alakulása

Az integrált áramkörök világszerte alakulása jól mutatja azt az alapvető változást, ami jelentőségében az IC-k megjelenésével (1960-as évek első fele) vethető össze. Az adatok azt mutatják, hogy 1975-ben a kis- és közepes bonyolultságú (SSI, MSI) IC fogyasztás visszaesett, ugyanakkor az LSI áramkörök — ROM, PROM, REPRM, RAM stb. — és a mikroprocesszorok gyártása és felhasználása az USA-ban száz százalékkal (Electronics 1975. 1. sz.), Japánban és Európában több száz százalékkal növekedett (5. táblázat).

Jól mutatja ezt a tendenciát az árak alakulása. Az SSI és MSI IC-k ára 30%-al csökkent az utóbbi hónapokban, aminek oka főleg az érdeklődés a kereslet LSI irányban történt eltolódásában keresendő vagyis az elavultabb típusok eladhatóságát akarják ezzel biztosítani.

Az LSI IC árak csökkenése az utóbbi két évben 50–90%-os volt, pl. az Intel 8080 ára (1974-ben) 41 000,— Ft-ról 2970,— Ft-ra csökkent.

Motorola becslés szerint — 1980-ra a teljes digitális áramkörforgalom 50%-át a mikroprocesszor fogja szolgáltatni.

A mikroprocesszor családok hazai alkalmazása

A világszerte trendeket követve a hazai digitális technikai berendezések fejlesztésénél is nagy szerepet kap az LSI áramkörök és a mikroprocesszorok alkalmazása (6. táblázat).

6. táblázat

A μ P-ok hazai alkalmazásának felfutása

1972-ben	5 db
1973-ban	10 db
1974-ben	50 db
1975-ben	1000 db
1976-ban	1–2000 db
1977-ben	10 ⁴ nagyságrend

Jelenleg 30 hazai intézmény kezdte el a mikroprocesszorok alkalmazását, kb. 120 különféle mikroprocesszoros berendezés gyártását tervezik, főleg a célgépek tartományában, de foglalkoznak mikro-, mini- és kis számítógépekben való alkalmazásával is.

PROM beégetővel, ill. REPRM programozási lehetőséggel jelenleg az SZKI, KFKI, VT, HIKI, EMG stb. intézmény rendelkezik.

Tekintettel a rohamos fejlődésre a mikroprocesszor családok választékára vonatkozóan is csak 2–3 év távlatában lehet reálisan megítélni az igényeket. A feladatok megoldásához a hazai felhasználók jelenleg a 7. táblázatban foglalt mikroprocesszor családokat igénylik. A KGST-országokban fejlesztés alatt álló típusokat a 8. táblázat tartalmazza.

I R O D A L O M

- [1] M6800 mikroprocesszor. Applications Manual Motorola Inc. 1975.
- [2] M6800 Microprocessor Programming Manual Motorola Inc. 1975.
- [3] From CPU to software. Intel Corp. 1974.
- [4] PACE The first Single chip 16-bit mikroprocessor. National Semiconductor 1975.
- [5] Intel 8080 Assembly Language Programming Manual 1974.
- [6] The Designers Guide to Programmed Logic Pro-Log Corp. 1973.
- [7] Microprocessors. Electronics Book Serles McGraw-Hill Co 1975.
- [8] Laurence Altman: Advances in designs and new processes Jield Surprising performance; Electronics Apr. 1; 1976. p 74–82.
- [9] R. L. Horton at all: I²L takes bipolar intergration a significant step forward Electronics Febr. 6. 1975. p 83–90.
- [10] Dr. Vajda Ferenc: Mikroprocesszorok mikroenciklopédiája; Mérés és automatika 1975. 6. sz.
- [11] Tarcza Éva—Pálmai László — Mikroprocesszorok alkalmazásának lehetőségei az Ipari automatizálás területén; 1974. VEIKI
- [12] The Mikroprocessor Handbook — TEXAS
- [13] Elektronics 1976. ápr. 15. MICROPROCESSORS

μ P család típuszám gyártó cég	Technológia	Ciklus idő	Szóhossz	Csatlakoztatható tárkapacitás	Hasonló vagy azonos típust fejlesztő KGST-ország	MSZR előzetes javas- lat	Ár	Megjegyzés
6800 MOTOROLA MOSTEK AMERICAN MICROSYSTEM	NMOS	1 μ s	8 bites	64 kbyte	BNK	x	4400	Az egyik legkor- szerűbb típus SV
8080 Intel TEXAS ADVANCED DEV. NIPPON ELECTRIC APPLITED SYSTEM	NMOS	2 μ s	8 bites	64 kbyte	SZU, NDK	x	2970 Ft	
3000 INTEL SIGNETICS	SBIP	100 μ s	2 bites BIT SLICE	512 kbyte	SZU	x		Perspektivikus MP
6701 MON, MEM	BIP	0,9 μ s	BIT SLICE	64 kbyte		x		Az INTEL 3000 család tagjaival összeépíthető MP
SBPO 400 TEXAS	I ² L	100 μ s	4 bites BIT SLICE	64 kbyte	SZU	x	1820 Ft	Perspektivikus CC MP
TMS 9900 TEXAS	NMOS	6 μ s	16 bites	64 kbyte				Perspektivikus SV
IPM 16 NAT. SEM.	PMOS	3 μ s	16 bites	64 kbyte		x		MP, MC
CDP 1802 D CD COSMAC RCA	CMOS	1,25 μ s	8 bites	64 kbyte		x	23,5	Perspektivikus igen nagy zavarér- zéketlenségű
F8 FAIRCHILD	NMOS	2 μ s	8 bites			x		CC
MC 10800 MOTOROLA	ECL	65 μ s	4 bites BIT SLICE	64 kbyte	SZU			KI számítógép CPU, MP, CC
8008 INTEL	PMOS	12,5 μ s	8 bites	64 kbyte	SZU, NDK CSSZSK BNK	x	2100 Ft	Viszonylag elavult típus
4040 INTEL	NMOS	10,6 μ s	4 bites	4 kbyte		x	882 Ft	Egyszerű feladatok- ra
SCAMP. NAT. SEM.	PMOS		8 bites	64 kbyte		x	7,5	Egyszerű feladatok- ra CC, SV
6100 Intersil NATIONAL	CMOS		12 bites	4 kbyte		x		SV, CC
MC 6700 MOTOROLA	NMOS							Egyszerű perspek- tívus

μP család típus- szám gyártó cég	Technológia	Ciklus idő	Szóhossz	Csatlakoztatható tárkapacitás	Hasonló vagy azonos típust fejlesztő KGST-ország	MSZR előzetes javas- lat	Ár	Megjegyzés
CP 1611/21/31	NMOS	0,3 μs	8 bites	64 kbyte				Mikroszámítógép MP
2650 SIGNETICS	NMOS	4,8 μs	8 bites	32 kbyte		x		CC, SV
MK 5065 MOSTEK	PMOS	1 μs	8 bites	32 kbyte		x		

A táblázatban a megjegyzés rovat rövidítéseinek jelentése: SV (single Voltage) egy tápfeszültség szükséges a mikroprocesszor működtetéséhez

CC (clock on chip) a mikroprocesszor tokban benne van az óragerátor is.

MC (multichip) a mikroprocesszor több tokból áll

MP (microprogrammed) mikroprogramozott, ez azt jelenti, hogy a felhasználó saját utasításrendszert készíthet. A miniszámítógépek software kincsét ilyen módon át lehet menteni a mikroprocesszoros rendszerekre.

Megjegyzés: A fenti összeállítás pontossága kb. 80 %-osnak ítéhető, a felhasználási kör, a KGST-országok történő gyártás az ár stb. adat állandó változásban van.

8. táblázat

A KGST-országokban jelenleg a következő tároló IC típusok gyártásba vitele folyik

Típuszám	Gyártó cég	Tárolás	Technológia	Tárkapacitás (bit)	Gyártást vállaló KGST-ország
1101	INTEL	RAM	PMOS	256	SZU, BNK CSSZSZK
1103	INTEL	RAM	PMOS	1024	NDK, CSSZSZK
2107	INTEL	RAM	MOS	4096	SZU, BNK
2102	INTEL	RAM	PMOS	1024	SZU
AMS 700	ADV, DEV.	RAM	PMOS	1024	SZU, BNK
MK 4006	MOSTEK	RAM	PMOS	1024	SZU, BNK
MK 5260	MOSTEK	RAM	PMOS	1024	SZU
SG 605	AMI	RAM	MOS	4096	BNK
IPC 504	N. S.	RAM	PMOS	256 × 4	BNK
505	N. S.	ROM	MOS	512 × 8	BNK
506	N. S.	ROM	MOS	1024 × 6	BNK
TMS 2500	TEXAS	ROM	MOS	2560	CSSZSZK, NDK
S 8223	SIGN.	PROM	BIP	256	SZU, MNK
1302	INTEL	ROM	BIP	256 × 8	NDK
1702	INTEL	REPROM	BIP	256 × 8	SZU
93410	Fairchild	RAM	BIP	256	SZU
93415	Fairchild	RAM	BIP	1024	SZU

Megjegyzés: Az egyes KGST-országok mikroprocesszor családok fejlesztésére tettek bejelentést, ami a 7. táblázatban szerepel.

- [14] Dr. Korán Imre: A fejlődés áramlásának modellezése gazdasági folyamatokban; Marketing, Piackutatás 1973/4. p. p. 321—325.
- [15] Dr. Bucsy László: Termékgörbék az ipari gyakorlatban; Marketing, Piackutatás 1975/2. p. p. 139—149.
- [16] Electronics 1974. 1. sz. p. p. 94—120. Market
- [17] Vaszenkov: A 70-es évek mikroelektronikája; Híradástechnika 1974. 10.
- [18] Dr. Csáky Frigyes: Vizsgálódások a számítástechnika köréből; Automatizálás 1971/10. p. p. 13—16.
- [19] Dr. Pálinkás Jenő: A műszaki fejlesztési döntések előkészítése; Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1973.
- [20] Orbán Miklós: Digitális számítógépek jellegzetes alkalmazási módjai, KGM ISZI Számítástechnikai tanfolyami jegyzet, p. p. 5—31.
- [21] Ribényi András: Digitális integrált áramkörök fejlődésének hatása az elektronikus mérőberendezésekre EMG REVIEW 72. p. p. 3—15.
- [22] Gyomai György: A fejlett tőkés országokra vonatkozó gazdasági előrejelzések megbízhatóságáról; Közgazdasági Szemle, 1974/11. p. p. 1279—1289.
- [23] Dr. Szakosits D. György: Magyarország a tudományos technikai forradalomban; Kossuth Könyvkiadó 1973.
- [24] Leskó—Szigeti—Bagyim—Veér—Kalotay: A gazdasági matematikai modellek felhasználása az ágazati tervezésben és irányításban; KGM ISZSI 1972. p. p. 5—66.
- [25] Majlát Lászlóné: A termelőeszköz piackutatás és a műszaki fejlesztés tervezésének kapcsolata; Közgazdasági Szemle, 1974./ p. p. 656—672.
- [26] Dr. Kovács Magdolna: A nagybonyolultságú integrált áramkörök és a mikroprocesszorok alkalmazásának néhány kérdése; ELEKTROMODUL Tájékoztató 1976. 3. p.p. 14—19.