

Digitális rendszerek

BEVEZETÉS, SZÁMÍTÓGÉPEK GENERÁCIÓI

2020. SZEPTEMBER 12.

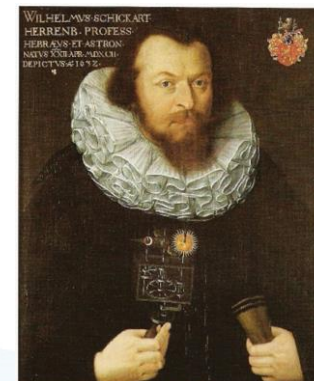
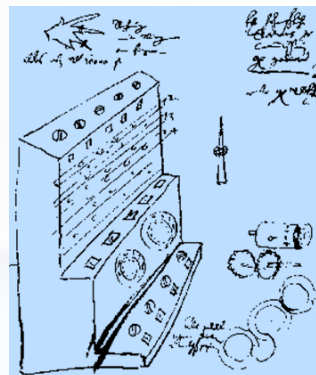
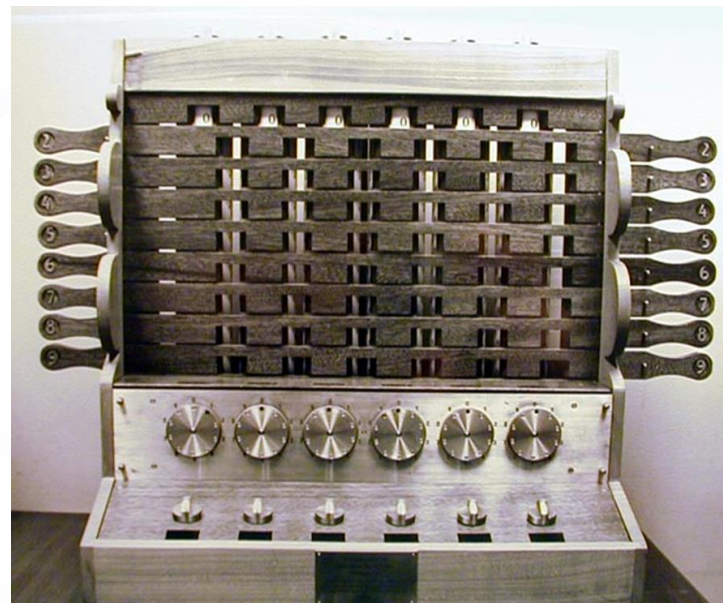
- Miről lesz szó?
- Követelmények
- Gyakorlatok
- Elérhetőségek
 - Email: steve@sze.hu
 - Iroda: D701
 - Fogadóóra: Péntek, 13.30-14.30h

Számítógépek generációi

- 0. generáció
 - Mechanikus számológépek, „számítógépek”
- 1. generáció
 - Elektroncsöves
- 2. generáció
 - Tranzisztor alapú
- 3. generáció
 - Integrált áramkör alapú
- 4. generáció
 - Mikroprocesszor alapú
- 5. generáció

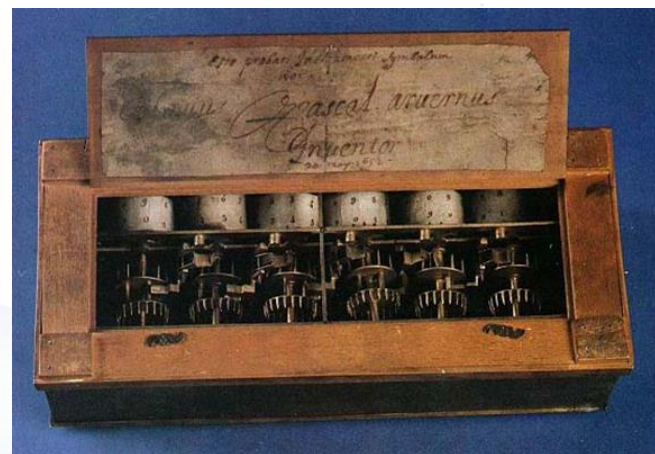
0. generáció (1642-1945) Mechanikus számológépek

- **Wilhelm Schickard**
(1592 - 1635)
 - Tíz- és egyfogú fogaskerekerekek
 - Mind a négy alpműveletet ismerte



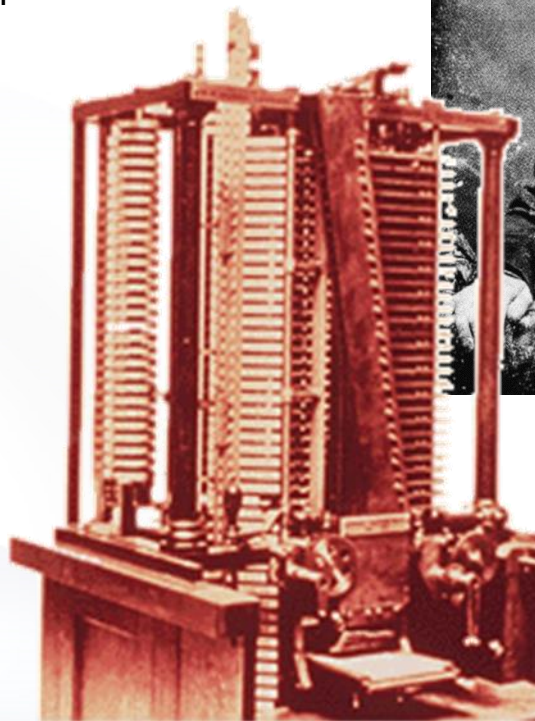
0. generáció (1642-1945) Mechanikus számológépek

- **Blaise Pascal (1623-1662)**
 - 1642: Összegzőgép
 - Csak az összeadást és kivonást ismerte



0. generáció (1642-1945) Mechanikus számológépek

- **Charles Babbage**
(1792-1871)
 - Modern digitális számítógép alapelveinek kidolgozása
 - Elvileg bármilyen matematikai műveletre alkalmas volt
 - Analitikus gép
 - Egyszerű assembly nyelven lehetett programozni

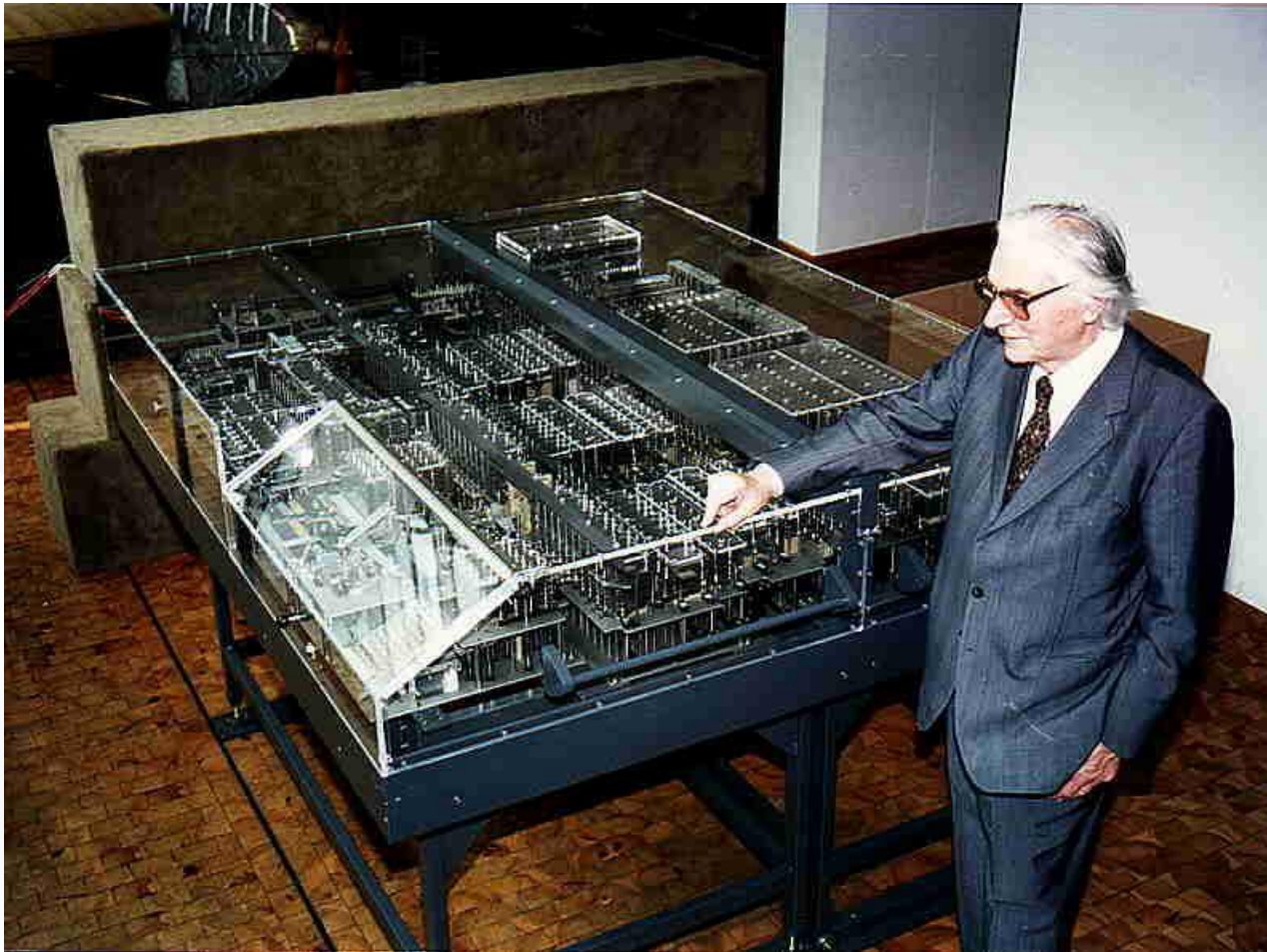


0. generáció (1642-1945) Mechanikus számológépek

- **Konrad Zuse**
 - 1938:
elektromechanikus
számológép, Z1
 - Ezt követte a Z2 és Z3
 - Jelfogók
 - Programvezérlésű
 - Kettes számrendszer
alkalmazása
 - A II. világháború
alatt elpusztul az
összes gépe



0. generáció (1642-1945) Mechanikus számológépek



0. generáció (1642-1945) Mechanikus számológépek

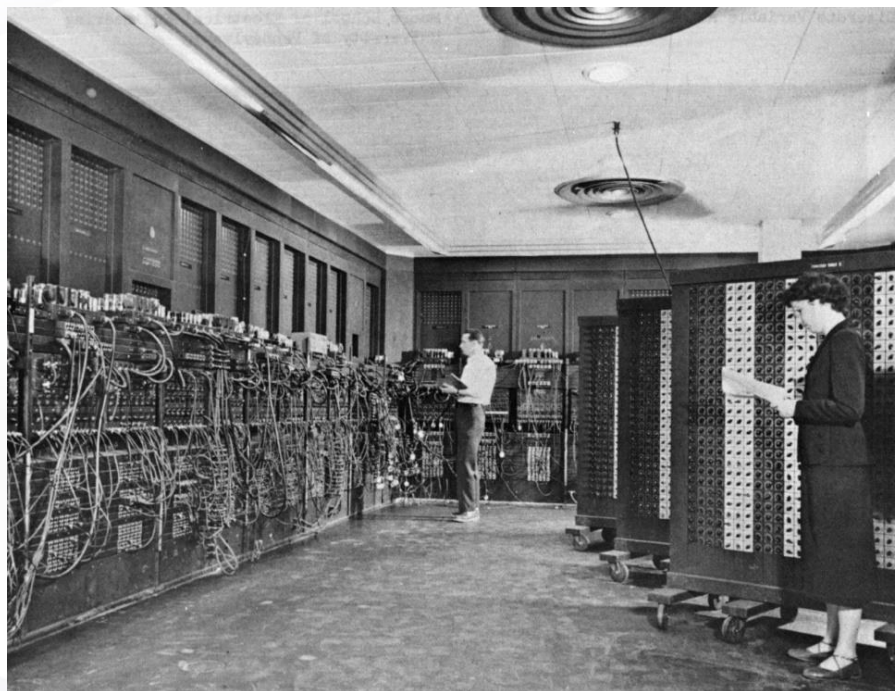
- John Attanasoff
 - Bináris aritmetika, kondenzátorok (memória), memóriafrissítés
 - Kor technológia fejletlensége miatt csak a tervezőasztalon létezett számológépe
- Howard Aiken (1944, Harvard Egyetem)
 - Mark I
 - jelfogókból épült,
 - 23 decimális szó,
 - utasítások végrehajtási ideje 6mp
 - Be- és kimeneti adathordozó lyukszalag
 - Mark II már az elektronika korszakában született meg.

1. generáció (1945-55) Elektroncsöves számítógépek



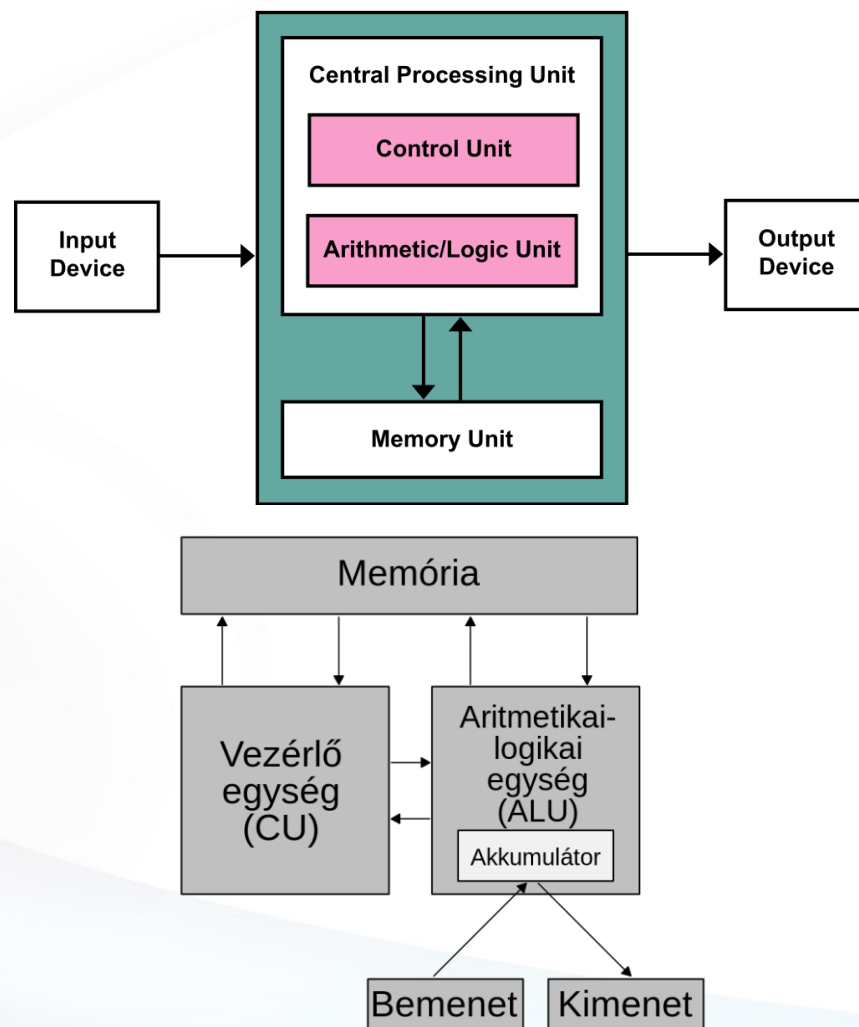
1. generáció (1943-54) Elektroncsöves számítógépek

- 1943 ENIAC
 - 18000 vákumcső,
 - 1500 jelfogó,
 - 30 tonna, 140kW
 - 20, egyenként 10 jegyű decimális számot tudott tárolni regisztereiben
 - 6000 többállású kapcsolóval és átkötő kábelek segítségével programozták
 - 1946-ig nem tudták befejezni a gép építését
- 1946 Neumann-elvek
 - az ENIAC építési tapasztalatai alapján



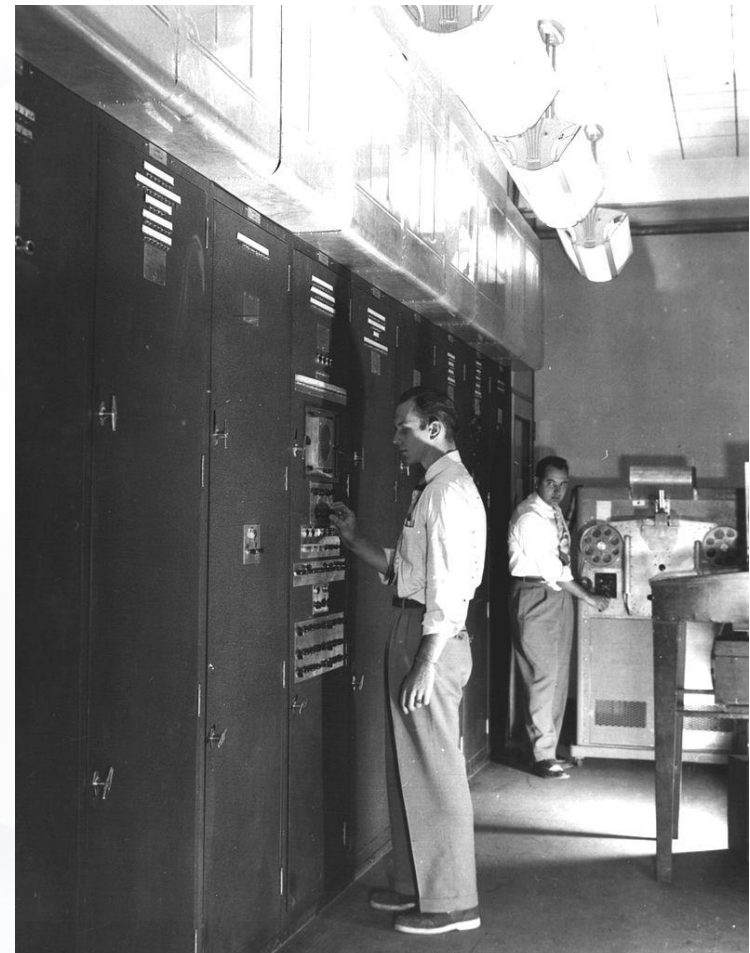
1. generáció (1943-54) Elektroncsöves számítógépek

- 1946 Neumann-elvek
 - Teljesen elektronikus működés
 - Kettes számrendszer használata
 - Belső memória használata
 - Tárolt program elve
 - Soros utasítás-végrehajtás
 - Univerzális felhasználhatóság, (programozhatóság)
 - Szerkezet: öt funkcionális egység



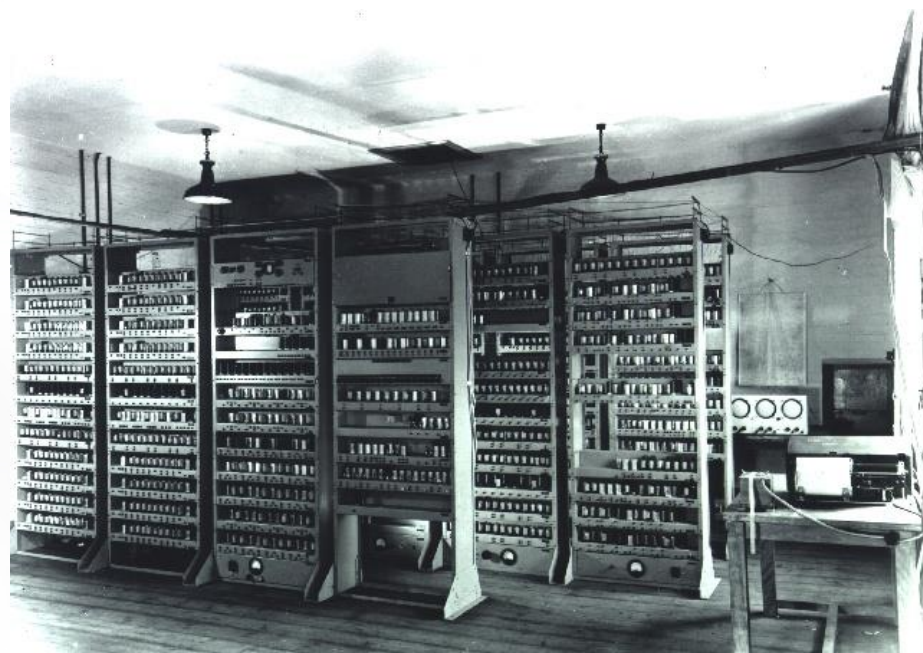
1. generáció (1943-54) Elektroncsöves számítógépek

- 1949 EDVAC
 - az első tisztán elektronikus és belső programvezérlésű gép az ENIAC alapjain



1. generáció (1943-54) Elektroncsöves számítógépek

- EDSAC (az első Neumann elven működő gép)
 - Memória, ALU, vezérlőegység, be- és kimeneti eszközök
 - 4096 db 40 bites szó (memória)
 - szavanként két 20 bites utasítás vagy egy 40 bites előjeles szám
 - 20 bites utasítások
 - 8 bit az utasítás típusát,
 - 12 bit a memóriaszó címét adta meg.
 - 40 bites akkumulátor (belső regiszter)



1. generáció (1943-54) Elektroncsöves számítógépek

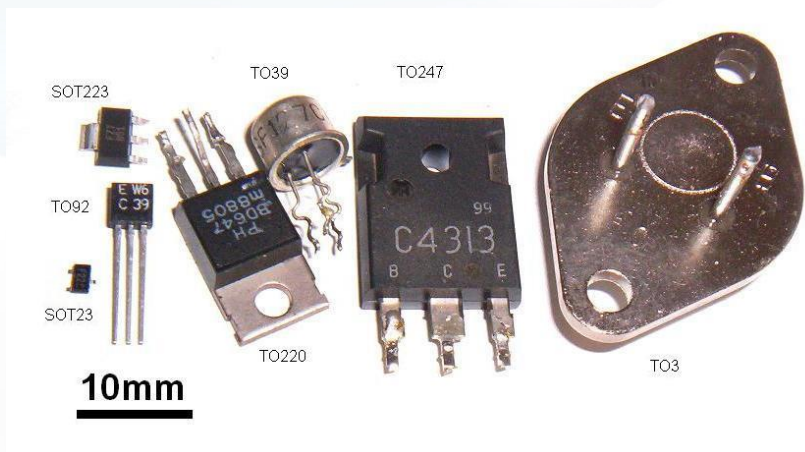
- 1951 UNIVAC
 - az első sorozatban gyártott számítógép



1. generáció (1943-54) Elektroncsöves számítógépek

- IBM 701 (1953)
 - 2048 36 bites szó,
 - szavanként két utasítás
- IBM 704 (1956)
 - 4096 szavas mágnesgyűrűs memória
 - szavanként 36 bites lebegőpontos aritmetika
- IBM 709 (1958)
 - IBM utolsó vákuumcsöves gépe,
 - a 704-es felturbózott változata

2. generáció (1955-65) Tranzisztoros számítógépek



2. generáció (1954-64) Tranzisztoros számítógépek

- Az 1948-ban feltalált tranzisztort csak 1958-ban építik be először
- Megjelennek az első programozási nyelvek
 - az első magasszintű nyelv a FORTRAN volt
- a nagy univerzális számítógépek ideje (1960–65)
 - TX0 (16 bites), TX2 az első tranzisztoros gépek
 - PDP1 (1961, DEC)
 - 4096 18 bites szó,
 - 200000 utasítás/mp
 - 120000 USD
 - 512x512-es megjelenítő

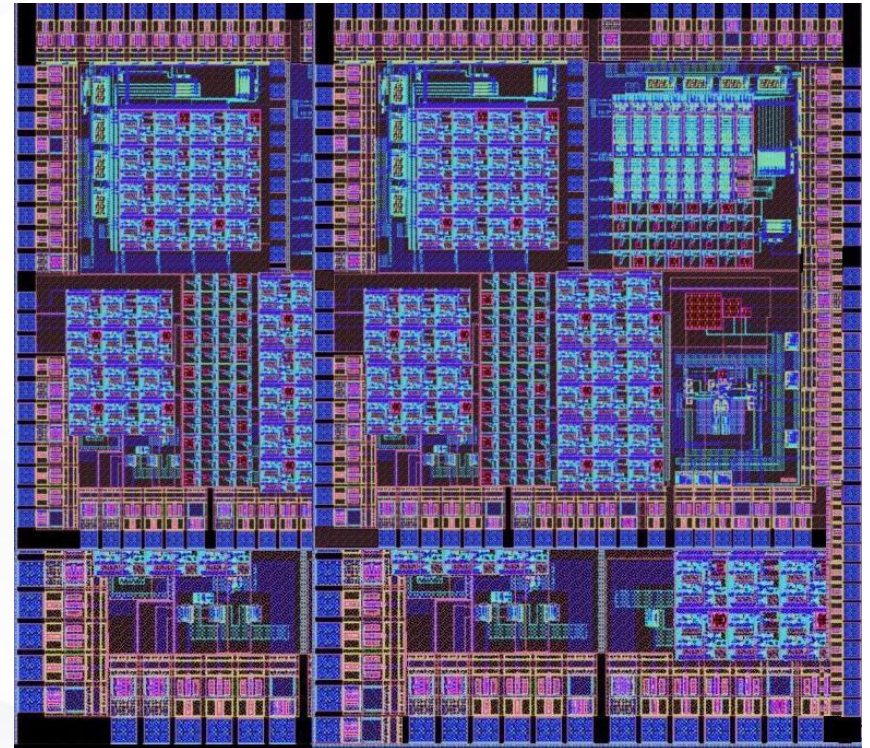
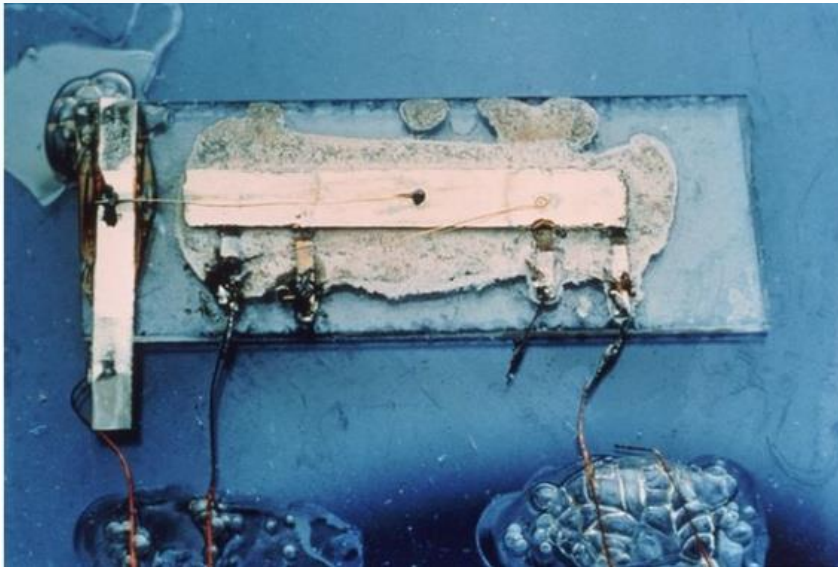


2. generáció (1954-64) Tranzisztoros számítógépek

- a nagy univerzális számítógépek ideje: 1960–66
 - PDP-5
 - Ez a gép volt az első, ami nagyjából elfért egy asztalon
 - PDP-8
 - 12 bites, 16000 USD,
 - IBM 7094
 - CDC 6600 (1964)



3. generáció (1965-80) Integrált áramkörös számítógépek



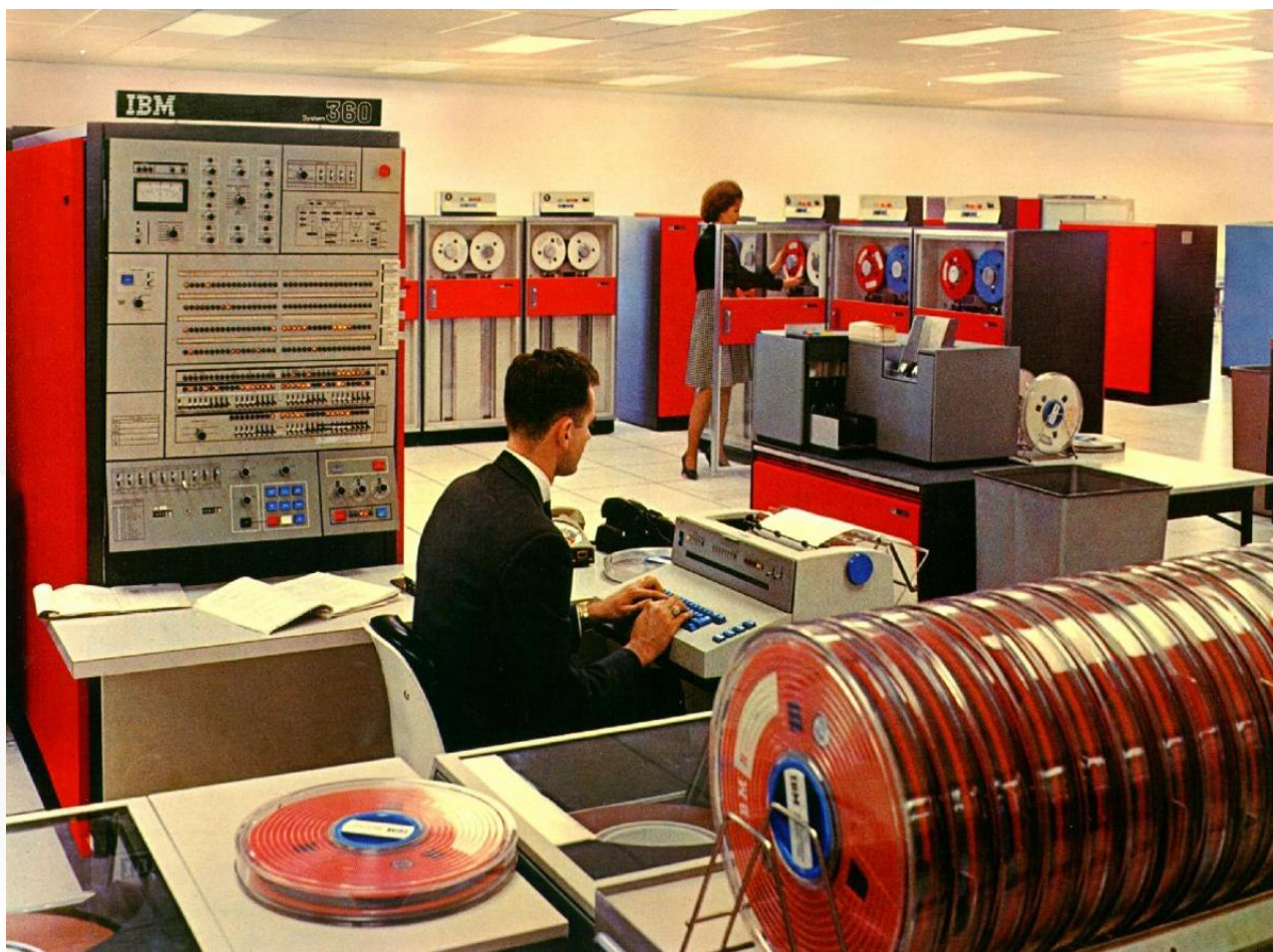
3. generáció (1965-80) Integrált áramkörös számítógépek

- IBM System/360-as, (majd 370-es) család kifejlesztése
 - Családon belüli szoftverkompatibilitás, bevezető modellek (30, 40, 50, 65)
 - Multiprogramozás megjelenése (több program egyidejűleg a memóriában)
 - Az első emulációs képességekkel rendelkező számítógép
 - 24 bites memóriacímzési lehetőség
- DEC PDP-11 az IBM 360-as „kistestvére”
 - Szavas regiszterek és bájtos memória

3. generáció (1965-80) Integrált áramkörös számítógépek



3. generáció (1965-80) Integrált áramkörös számítógépek

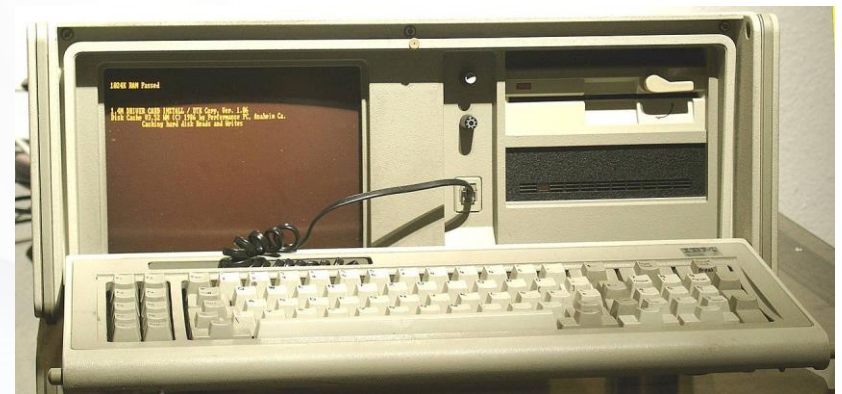


3. generáció (1965-80) Integrált áramkörös számítógépek



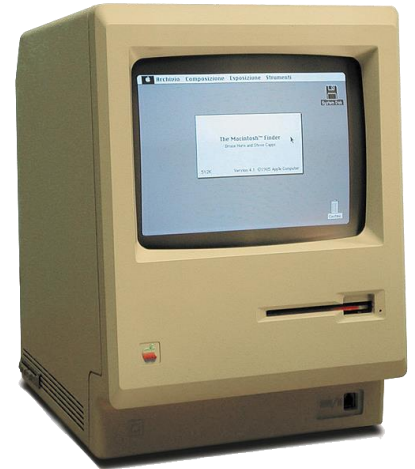
4. generáció (1980-?) VLSI alapú számítógépek

- '80-as évekre kiforr a VLSI technológia
- Megjelennek a személyi számítógépek
 - Pl. Intel 8080-as CPU-val, CP/M operációs rendszerrel)
- IBM Personal Computer
 - Intel 8088 CPU
 - 1981-ban kezdik gyártani
 - Megjelennek az IBM PC klónok.



4. generáció (1980-?) VLSI alapú számítógépek

- Megjelennek a személyi számítógépek
 - A versenytársak közül csak kevesen bírták a versenyt az IBM-el (pl. Apple Macintosh)
 - Apple Macintosh (1984) tartalmazta az első GUI-t, mint személyi számítógép
 - Osborne-1 (11kg!) az első „hordozható” számítógép



4. generáció (1980-?) VLSI alapú számítógépek

- Eldobható számítógépek
 - RFID technológiára alapozott aktív és passzív eszközök
- Mikrovezérlők
 - Másképpen beágyazott számítógépek, mint. Pld
 - Háztartási berendezések
 - Kommunikációs eszközök
 - Számítógép-perifériák
 - Szórakoztató-elektronika
 - Kép- és hangfeldolgozó eszközök
 - Orvosi berendezések (műszerek)
 - Katonai fegyverrendszerek
 - Különböző kereskedelmi automaták, berendezések
 - Játékok(kivéve a játékgépeket)
- Játékgépek
 - Speciálisan játékra fejlesztve különleges hang és grafikai képességekkel
 - Microsoft XBOX 360, Sony Playstation 2, Sony Playstation 3, stb.

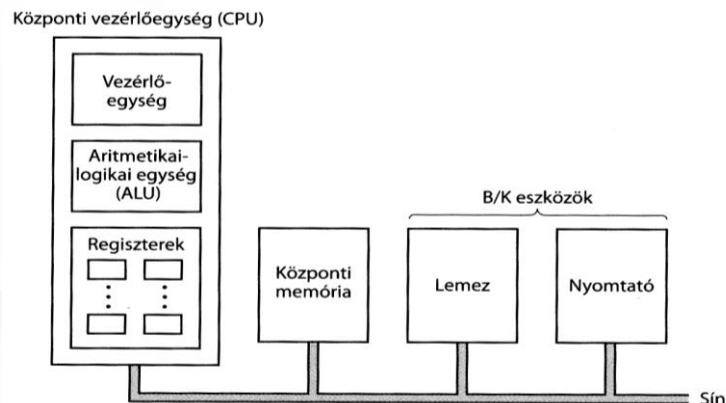
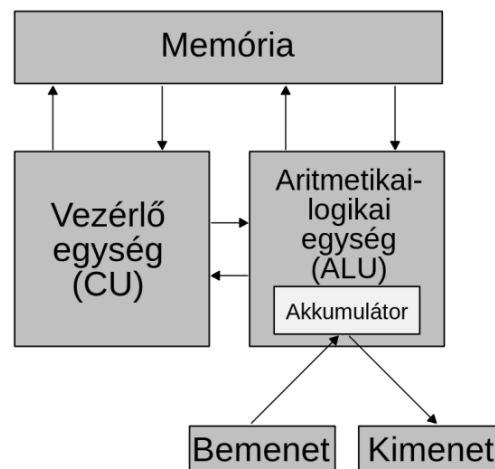
4. generáció (1980-?) VLSI alapú számítógépek

- Személyi számítógépek
 - Asztali (PC, munkaállomás) és hordozható típusok (notebook, PDA, stb.)
- Szerverek (kiszolgálók)
 - Felturbózott PC-k és más architektúrájú szg.-ek, UNIX, Windows, stb. operációs rendszereket futtatva
- Munkaállomás klaszterek
 - Több munkaállomás és PC egy rendszerbe kapcsolva, párhuzamos feldolgozásra alkalmazva
- Nagyszámítógépek (Mainframe-k)
 - CPU, memória, háttértár, adatfeldolgozási sebesség tekintetében nagyságrendekkel felülmúlják a PC-ket és a munkaállomásokat
- Szuperszámítógépek
 - A mainframe-k utáni nagyságrenddel nagyobb kapacitású számítógépek

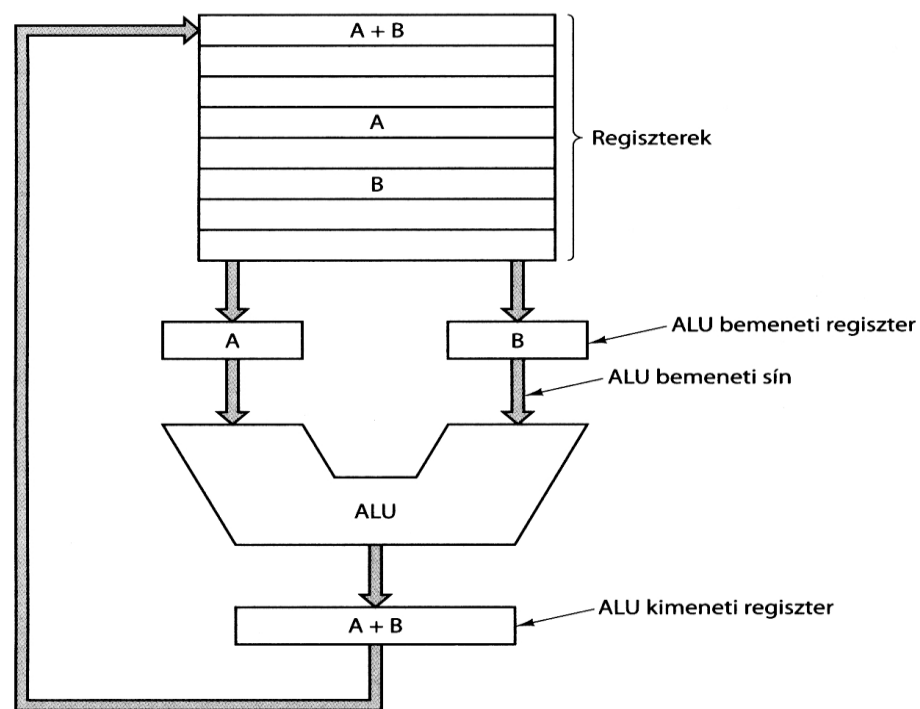
Alapismeretek, fogalmak



- **CPU: Central Processing Unit**
 - központi feldolgozóegység
- **Bus (sín):**
 - a számítógép részegységeit összekötő, címeket, adatokat és vezérlőjeleket továbbító párhuzamos vezetékköteg.
 - Elhelyezkedése szerint lehet belső vagy külső
- **Vezérlőegység:**
 - utasításbeolvasás és dekódolás, a CPU belső részegységeinek a vezérlése.
- **ALU (Aritmetikai és Logikai Egység):**
 - utasítás-végrehajtás
- **Regiszterek:**
 - kisméretű és gyors, CPU-n belüli memória
 - Utasítás vagy programszámláló (PC, Program Counter)
 - Utasításregiszter (IR, Instruction Register)



- **Adatút:**
 - regiszterek, ALU és az ezeket összekötő sínrendszer összessége

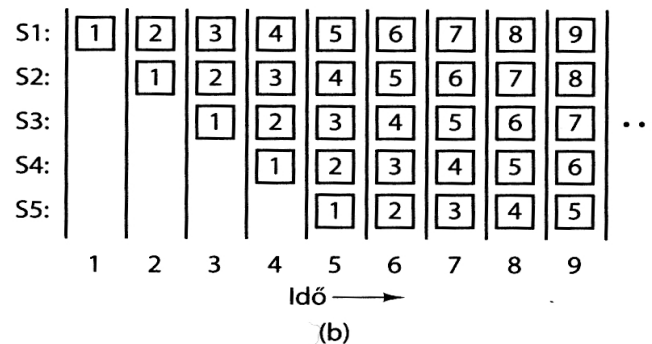
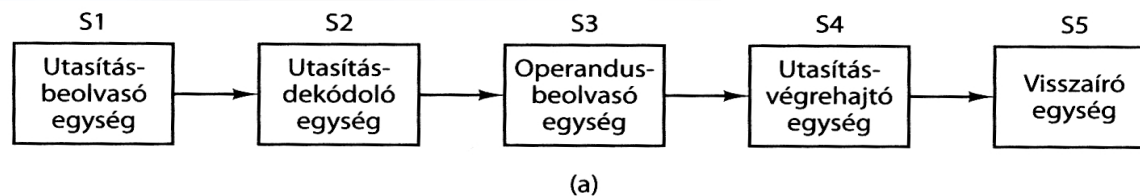


- Utasítás-végrehajtás
 - Minden utasítást „részműveletek” sorozataként hajt végre
 1. Soron következő utasítás beolvasása az IR-be
 2. PC beállítása a következő utasítás címére
 3. Utasításdekódolás
 4. Operandus(ok) címének megállapítása
 5. Ha szükséges, operandus(ok) beolvasása a regiszter(ek)be
 6. Utasítás végrehajtása, majd vissza a ciklus elejére
- Utasítások végrehajtása történhet,
 - Fixen „bedrótozott”, azaz kizárólag hardveres megoldással
 - Programozottan, azaz egy interpreter (értelmező) segítségével, melynek előnyei:
 - Architektúráisan kompatibilis számítógépek készíthetők
 - Hibásan implementált utasítások javíthatók, tervezési hibák áthidalhatók
 - Lehetőség az utasításkészlet utólagos bővítésére
 - Strukturált felépítés
 - A CPU bonyolultsága a hardver oldaláról áthelyeződik az értelmezőre (interpreter), azaz a szoftver oldalára.

- RISC és CISC CPU-k
 - **'80-as évektől kísérletek folynak a Berkeley-n és Stanfordban VLSI áramkörökkel az interpreter nélküli CPU-k kifejlesztésére.**
 - Hamarosan megjelennek az első példányok RISC I, RISC II és MIPS néven
 - Nincsenek kompatibilitási problémák
 - A kulcskérdés egyre inkább az 1 mp. alatt kiadható utasítások száma lett.
 - **CISC** (Complex Instruction Set Computer)
 - Komplex utasításkészletű számítógép (200-300 utasítás)
 - **RISC** (Reduced Instruction Set Computer)
 - Csökkentett utasításkészletű számítógép (kb. 50 utasítás)
 - Visszafelé kompatibilitás hiányzik
 - Nem szorították ki a CISC CPU-s gépeket
 - Intel a 486-ostól kezdődően arany középutas megoldásként vegyíti a két típus előnyeit
 - RISC mag az egyszerű utasításokhoz és CISC mag a bonyolultakhoz (hibrid megoldás)
 - Teljesítménye elmarad a RISC-től, de visszafelé kompatibilis a régi CPU-kkal

- RISC CPU-k tervezési kérdései
 - **Minden utasítást közvetlenül a hardver hajtson végre**
 - Az utasítások nem bonthatók fel mikroutasításokra, nincs interpreter.
 - **Maximalizálni kell az utasítások kiadásának ütemét**
 - Egyik megoldás a sok közül, hogy minél több utasítás végrehajtását kell egy másodperc alatt elindítani, pl. a párhuzamosság alkalmazásával
 - MIPS: Millions of Instructions Per Second; mérőszám, mely nem foglalkozik az utasítások végrehajtási idejével.
 - **Könnyen dekódolható utasítások**
 - Utasítások indítási ütemét befolyásolja a dekódoláshoz szükséges idő
 - Megoldás: pl. szabályos, fix hosszúságú és kevés mezőből álló utasítások
 - **Külön betöltő és tároló utasítások**
 - Csak a STORE és LOAD utasítás használhat az operandusai között külső memóriára hivatkozást, minden más utasítás csak regiszterekkel dolgozhat.
 - **Sok regiszter szükséges**
 - Lehetőség szerint minél több regiszterre van szükség, hogy csökkenteni lehessen a STORE és LOAD utasítások számát

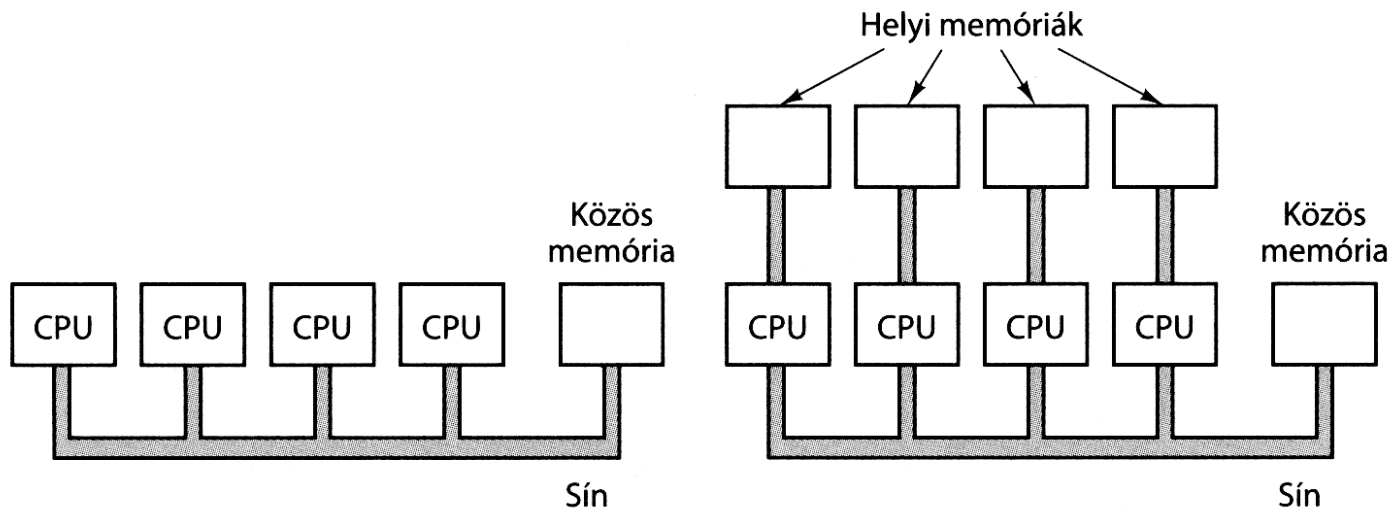
- Utasításszintű párhuzamosság
 - Teljesítménynövelés
 - Órajel növelése vs. párhuzamosság alkalmazása
 - Pipeline (csővezeték)
 - Pipeline sokkal több részre bontja az utasítás-végrehajtást!
 - Szuperskaláris architektúrák



- Processzorszintű párhuzamosság
 - Tömbprocesszor
 - Nagyszámú egyforma felépítésű CPU-ból áll
 - SIMD, Single Instruction-stream Multiple Data stream
 - Vektorprocesszor
 - Adattömbökkel dolgozik, pl vektorokkal kapcsolatos műveletvégzés
 - Vektorregisztereket használ

- **Multiprocesszorok**

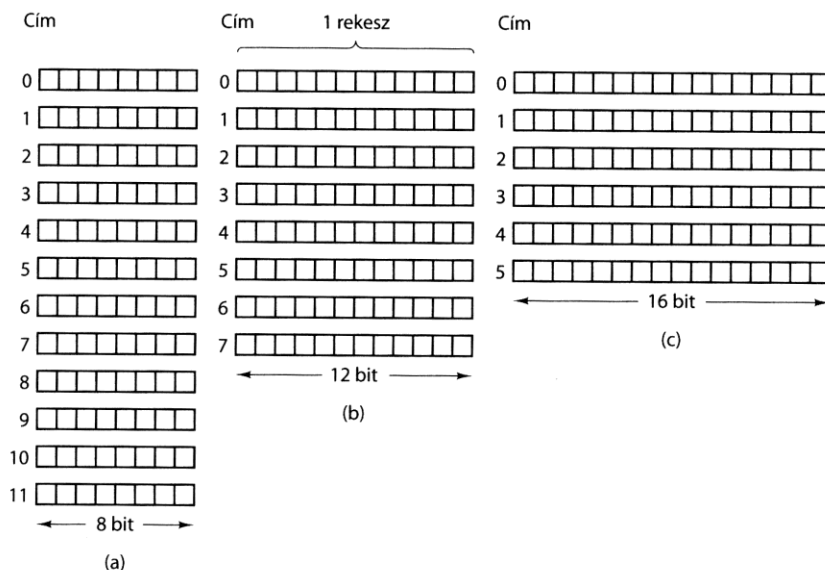
- *Olyan rendszer, melyben egy közös memóriát használó, egynél több CPU található*
 - Szoftveres együttműködésre van szükség a CPU-k között
 - CPU-kat szorosan kapcsoltaknak nevezik



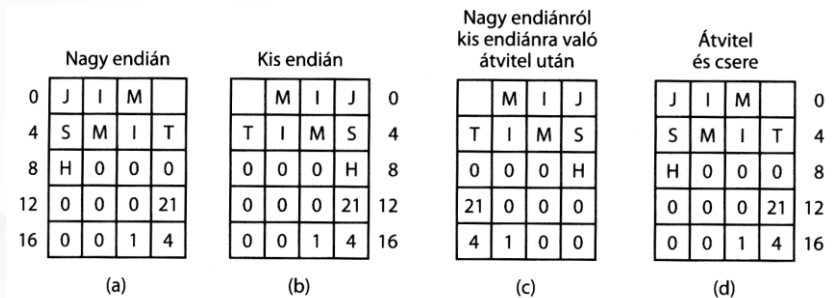
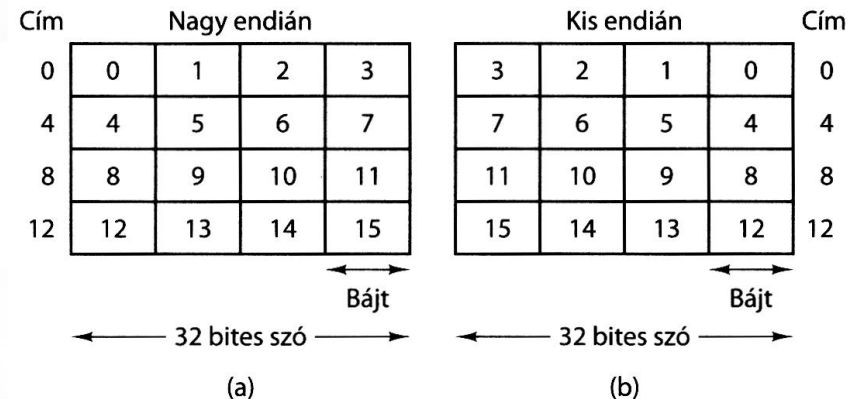
- **Multiszámítógépek**

- Sok számítógépből álló rendszerek
 - Csak saját memóriájuk van, közös nincs
 - Multiszámítógépek CPU-ít lazán kapcsoltaknak is nevezik
 - Gyors üzenetváltások a multiszámítógép CPU-i között
- Multiprocesszorok vs. multiszámítógépek
 - Hibrid rendszerek

- Programok és adatok átmeneti tárolója a programvégrehajtás során
 - **Bit**: a memória alapegysége, tovább nem osztható.
 - A memóriák **rekeszekből** (cellákból) épülnek fel
 - A rekeszekre, a hozzájuk rendelt számmal (rekesz címével) lehet hivatkozni
 - A legkisebb címezhető egység a rekesz



- Bájtsorrend
 - Egy szón belüli sorszámozás iránya
 - Balról-jobbra (SPARC, IBM nagygépek) → **nagy endián (big endian)**
 - Jobbról-balra (Intel CPU-k) → **kis endián (little endian)**
- Konverzió

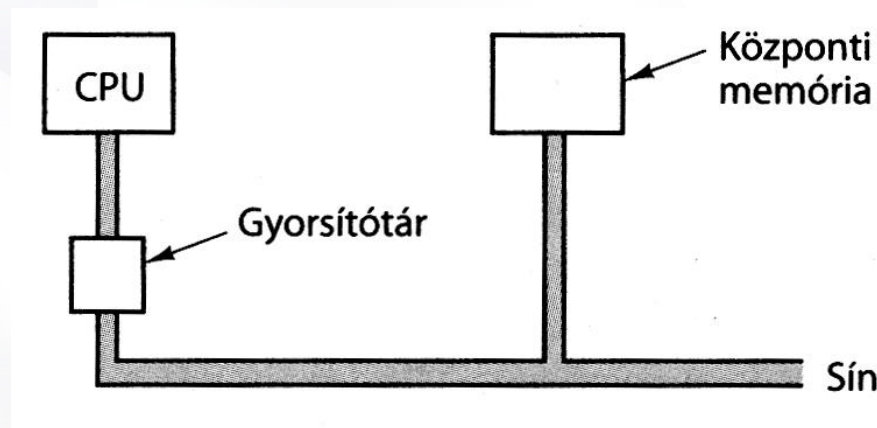


- *Külső körülmények hatására a memória-áramkörök hibázhatnak*
 - Megoldás: hibafelismerő vagy hibajavító kódolás alkalmazása
- *Mi a hiba?*
 - Vegyünk két $n = m + r$ bites kódszót, ahol m , az adatbitek száma és r , az ellenőrző bitek száma.
 - **Hamming távolság:** két kódszó eltérő bitpozícióinak száma
 - Ha a két kódszó távolsága d , akkor d egyszeres hiba szükséges ahhoz, hogy az egyik kódszó átalakulhasson a másikba

- Kódolás

- Hibafelismerő kódolás: **d** egyszeres bithiba felismeréséhez **$d+1$ Hamming távolságú** kódolás kell (pl. paritásbit ahol, a Hamming távolság 2)
- Hibajavító kódolás: **d** egyszeres bithiba javításához **$2d+1$ Hamming távolságú** kódolás kell
- Amennyiben adott az adatbitek száma **m** , úgy az összes egyszeres hiba javításához szükséges **r** ellenőrző bit az **$(m + r + 1) \leq 2^r$** képlet alapján határozható meg (pl.: $m=8, r=4$; $m=16, r=5$; $m=32, r=6$; $m=64, r=7$)

- Az áramkörök integráltsági fokának növelését eltérő célokra használták fel a CPU-k és memóriák fejlesztésénél
 - CPU-knál a csővezeték-rendszert és a szuperskaláris funkciókat fejlesztették
 - Memóriáknál alapvetően a kapacitást növelték



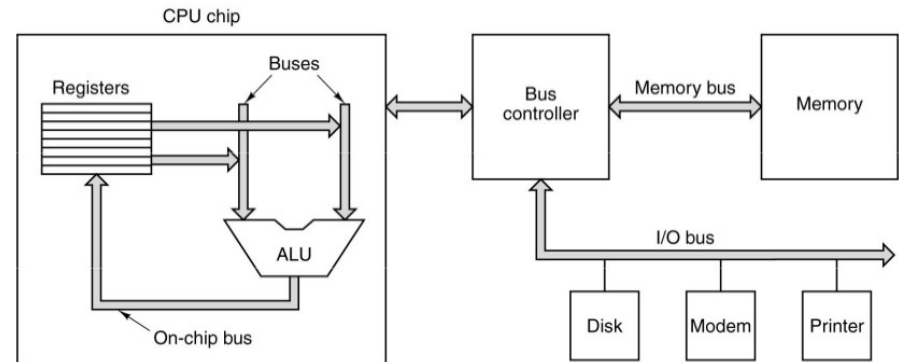
- *A CPU-k és a memóriáramkörök közötti sebességkülönbség továbbra sem szűnt meg*
 - Megoldás: a memóriát a CPU lapkára kell integrálni
 - Technológiai és gazdasági okok korlátozzák ebben az esetben a memória méretét
 - Kicsi, gyors memória vagy nagy, lassú memória
- *Kicsi, gyors memória (cache, gyorsítótár)*
 - A leggyakrabban használt memóriaszavakat a gyorsítótárban tároljuk
 - Találati arány
 - Lokalitási elv
 - Központi memória és a gyorsítótár blokkokra osztott (gyorsítósor)

- *Gyorsítótárak tervezési szempontjai*
 - Gyorsítótár mérete
 - Gyorsítósor mérete
 - Gyorsítótár felépítése
 - Egyesített vs. osztott gyorsítótár (Harvard-architectúra)
 - Gyorsítótárak száma
 - pl. L1, L2, L3 gyorsítótár az Intel és AMD CPU-k lapkáján

- *Memóriahierarchia*
 - **CPU regiszterek**
 - összesen min. 128 byte, t_{ns}
 - **Gyorsítótár**
 - cache, 32kB – $n \cdot 1\text{MB}$, $2-3t_{ns}$
 - **Központi memória**
 - 16MB – $n \cdot 10\text{GB}$, $t \cdot 10\text{ ns}$
 - **Mágneselemez**
 - $n \cdot 10\text{GB}$ – $n \cdot 1\text{TB}$, min. 10 ms
 - **Mágnesszalag**
 - $n \cdot 100\text{GB}$ – $n \cdot 1\text{TB}$, $t \cdot 1\text{ s}$
 - **Optikai lemez**
 - $n \cdot 1\text{GB}$ – $n \cdot 100\text{GB}$, $t \cdot 1\text{ s}$

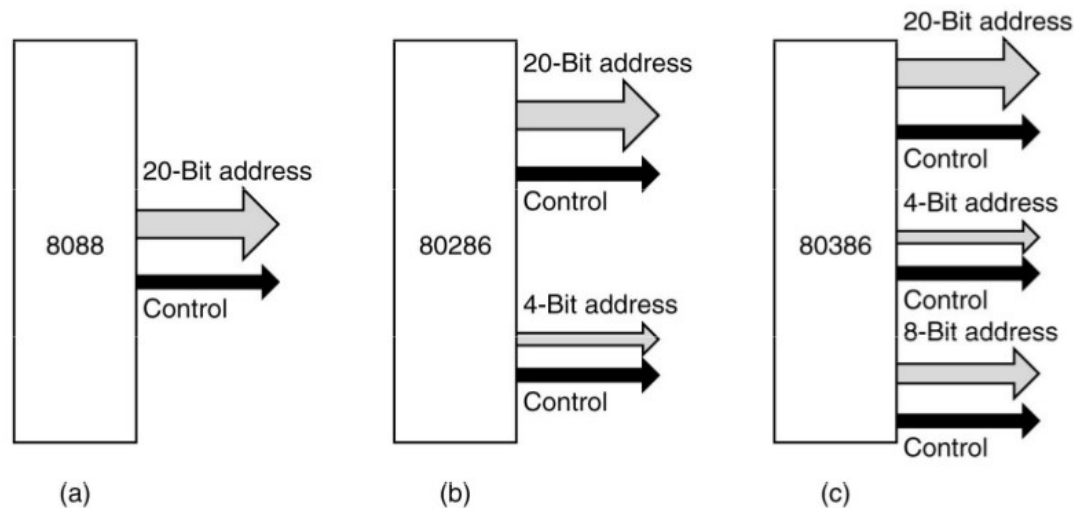


- Rendszersín (system bus)
 - Korai személyi számítógépek I/O kártyákkal való bővítésének biztosítására
 - Néhány, részben ma is használatos sín:
 - Omnibus (PDP-8), Unibus (PDP-11),
 - Multibus (8086), VME sín (fizikai laboratóriumi berendezések),
 - IBM PC sín (PC/XT), ISA sín (PC/AT), EISA sín (80386), Micro Channel (PS/2),
 - Nubus (Macintosh), PCI sín (sok PC), SCSI (sok PC és munkaállomás),
 - Universal Serial Bus (modern PC-k) és FireWire (szórakoztatóelektronika)
 - PCIe v1/v2/v3 (modern PC-k)



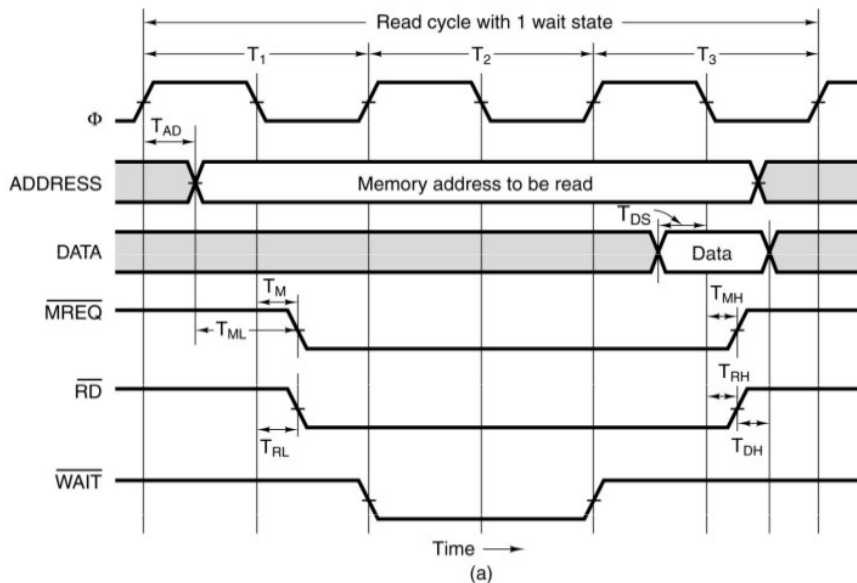
- Sínek működése
 - Rákapcsolódó eszközök, berendezések master és/vagy slave-k lehetnek
 - Kapcsolódás a sínre:
 - bus driver,
 - bus receiver,
 - bus transceiver-en keresztül
 - CPU vezérlőjelek vs. rendszersín vezérlőjelek
 - Sínek tervezésének alapvető kérdései:
 - Sín szélessége
 - Sín időzítése és ütemezése
 - Sínműveletek

- Sín szélessége
 - *Alapvető tervezési szempont*
 - Címbusz: szélesség vs. költség vs. bővíthetőség
 - Adatbusz: szélesség vs. sebesség vs. kompatibilitás



Számítógép buszrendszerek

Sín időzítése - szinkron busz

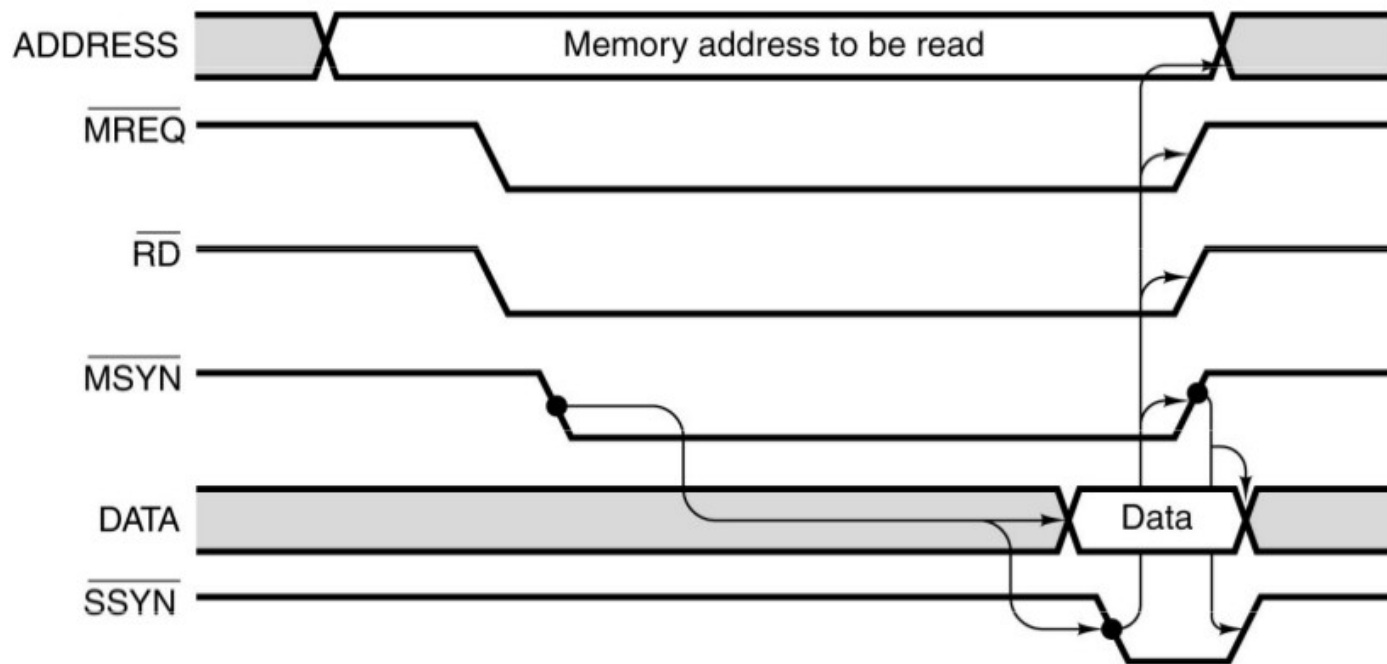


Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
T_{AD}	Address output delay		4	nsec
T_{ML}	Address stable prior to $\overline{MREQ}$	2		nsec
T_M	$\overline{MREQ}$ delay from falling edge of Φ in T_1		3	nsec
T_{RL}	RD delay from falling edge of Φ in T_1		3	nsec
T_{DS}	Data setup time prior to falling edge of Φ	2		nsec
T_{MH}	$\overline{MREQ}$ delay from falling edge of Φ in T_3		3	nsec
T_{RH}	$\overline{RD}$ delay from falling edge of Φ in T_3		3	nsec
T_{DH}	Data hold time from negation of RD	0		nsec

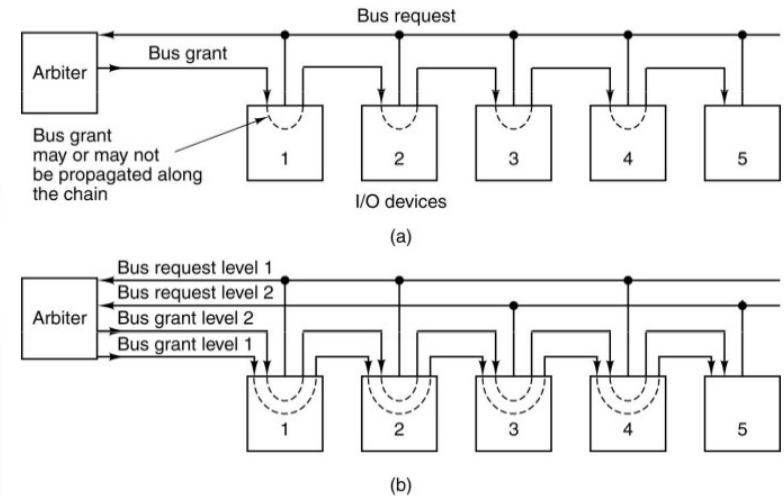
(b)

Számítógép buszrendszerek

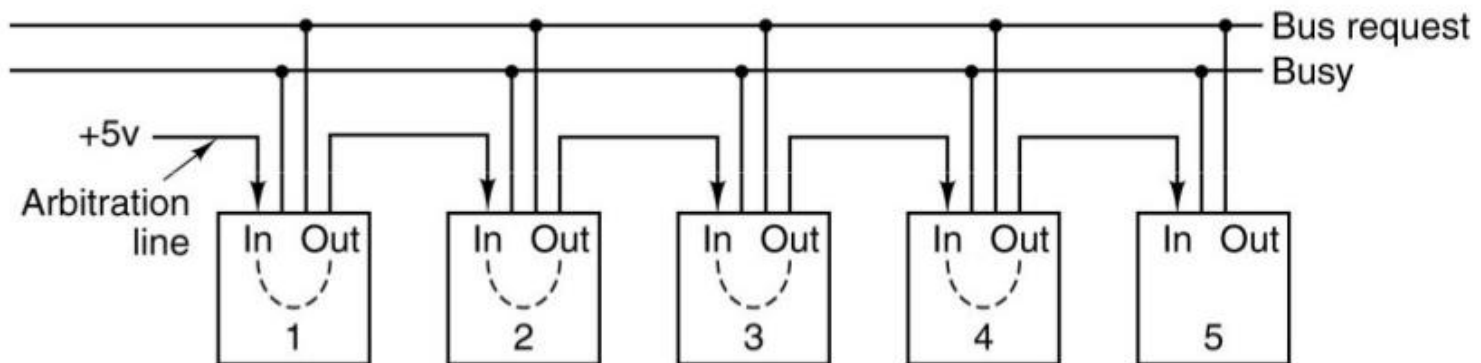
Sín időzítése - aszinkron busz



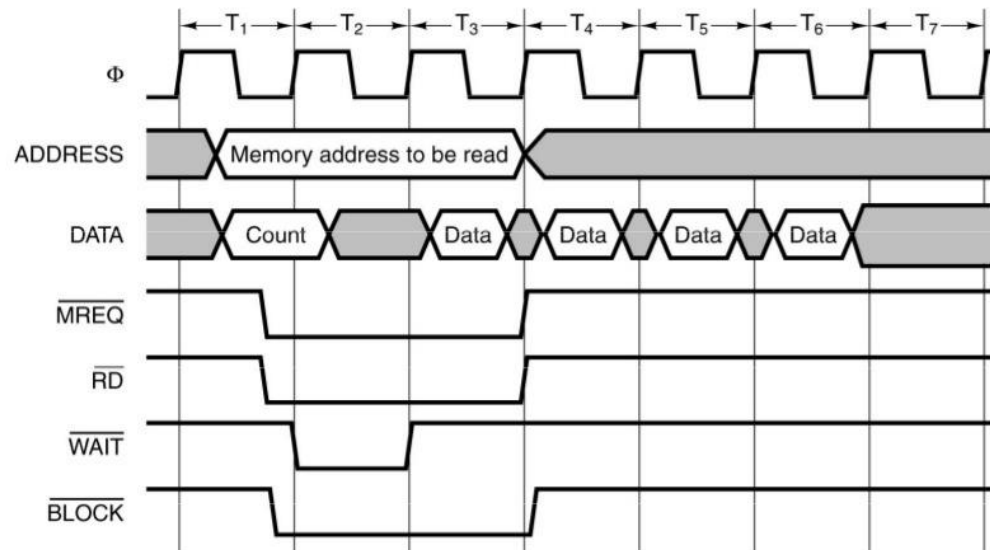
- Sínütemezés
 - Sínmesterek közötti ütemezési mechanizmus
 - Centralizált
 - Sínmesterek láncolt összekötése az ütemezővel
 - Többszintű prioritási rendszer (2, 4, 8, stb. szinttel)
 - Nyugtázó vezeték: sínciklusok jobb kihasználása



- Decentralizált
 - Egyik megoldás: különböző prioritású sínkérés vezetékek a sínmestereknek
 - Másik megoldás: sínütemező nélküli, láncolt, három vezetékes ütemezés

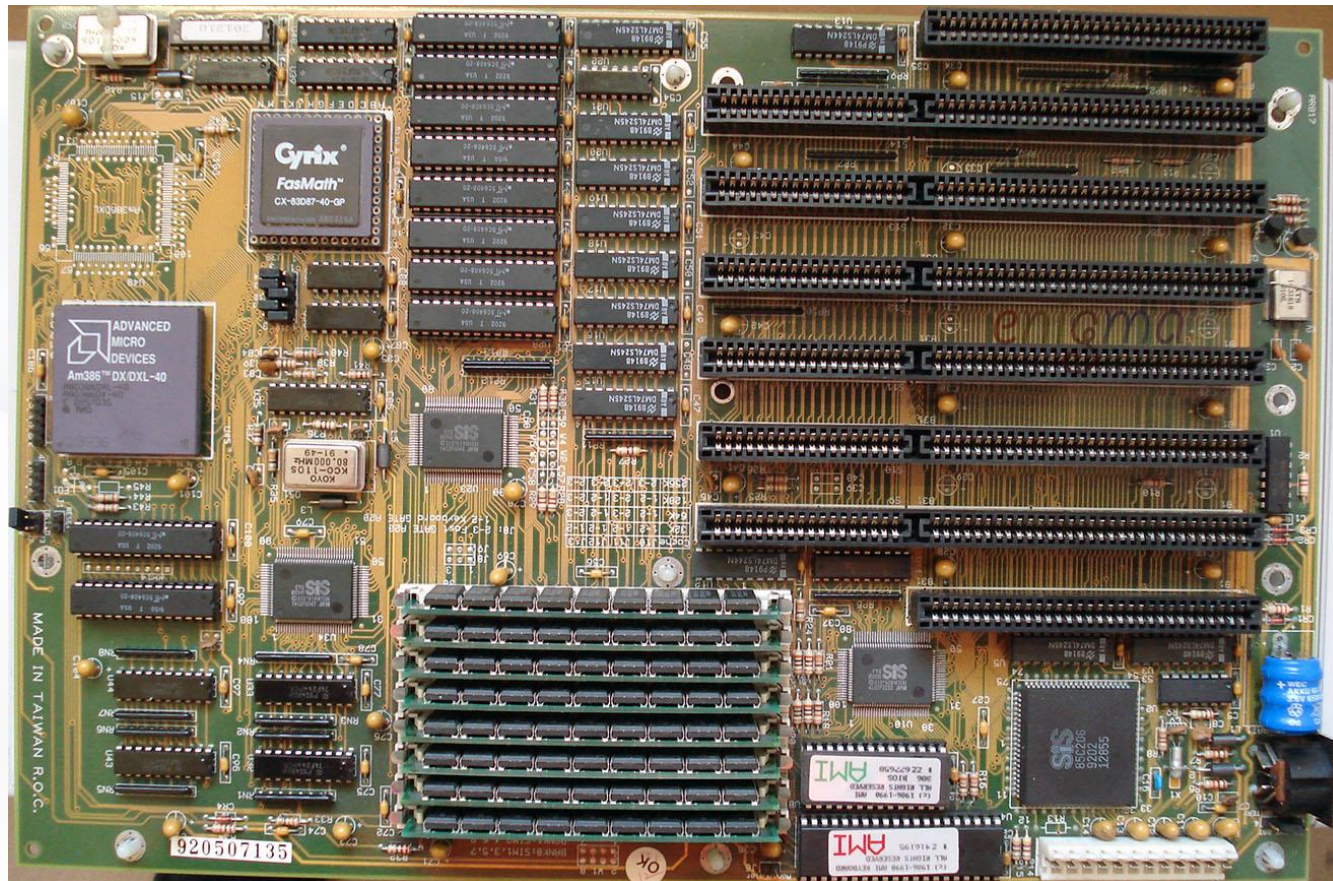


- Sínműveletek
 - Blokkátvitel
 - Több egymás utáni szó blokkosított átvitele egy ciklusban
 - Olvasás-írás-módosítás
 - Többprocesszoros rendszerekben a versenyhelyzet elkerülésére
 - Megszakításkezelés
 - Perifériák megszakításon keresztül jelzik kiszolgálási igényüket a CPU-nak

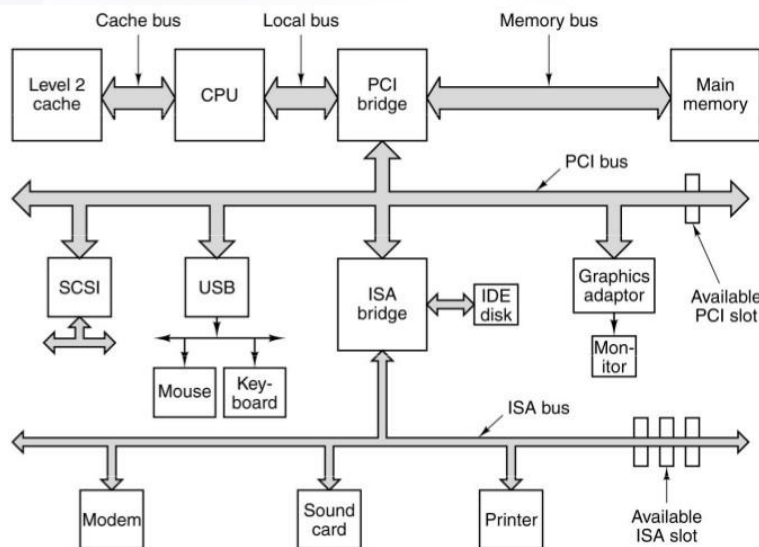


Számítógép buszrendszerek

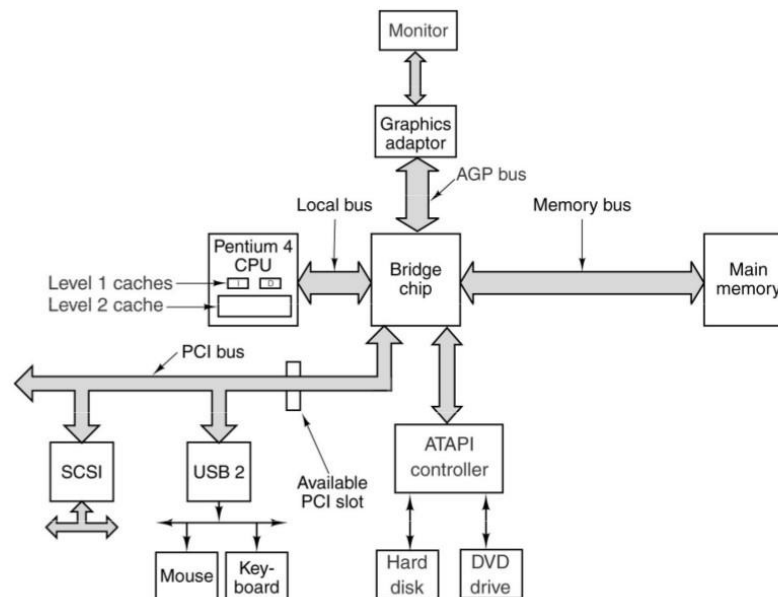
Példa: IBM PC/ISA busz



- Az ISA (16,7 MB/s) és az EISA busz (33,3 MB/s) sebessége szűkössé vált az új alkalmazások számára
 - PCI busz (1990) Peripheral Component Interconnect bus
 - v1.0: 32 bit, 33MHz, 133 MB/s
 - v2.0 (1993), v2.1 (1995)
 - v2.2: 66MHz, 64 bites átvitelre is alkalmas, 528 MB/s



- *ISA sín „kihal”* ('90-es évek vége)
 - AGP (v1.0, 264 MB/s, 1x), majd AGP v3.0 (2,1 GB/s, 8x)
 - Szinkron busz
 - Mester (initiator) - szolga (target) tranzakciók
 - Multiplexált cím- és adatvezetékek (64 vezeték)



Számítógép buszrendszerek

Példa: IBM PC/PCI busz

- PCI busz problémák
 - Szűkös a sín sávszélessége
 - Órajelfrekvencia nem növelhető tovább
 - Sínasszimetria, áthallás és parazita kapacitások megjelenése
 - Fizikai mérete nem kedvező a mobil eszközöknek
- PCI Express
 - Párhuzamos helyett soros átvitel
 - Kétcsatornás soros kapcsolatok
 - I/O eszközök közötti kommunikáció adatcsomagok segítségével
 - Hibajelző kódok használata
 - Akár 50cm távolság a kapcsoló és az I/O eszköz között
 - I/O eszköz lehet egy kapcsoló is
 - I/O eszközök „hot-swap” támogatása
 - PCI Express soros csatlakozók jelentősen kisebbek

