

Mikroelektromechanikai rendszerek

Integrált áramkörök és mikrovezérlők



Oktató: Kajdocsi László
Iroda: Informatika Tanszék, A602
Email: kajdocsi.laszlo@sze.hu

Oktató: Tüű-Szabó Boldizsár
Iroda: Informatika Tanszék, B606/A
Email: tuu.szabo.boldizsar@sze.hu



Mi az integrált áramkör?

- Az integrált áramkör (röviden IC, az angol Integrated Circuit rövidítéséből) félvezető lapkán (esetleg lapkákon) kialakított nagyon kisméretű áramkör.
- Tipikus alkatrésze az integrált tranzisztor.
- A modern (mind analóg, mind digitális) integrált áramkörök döntő többsége növekményes MOS tranzisztorokból épül fel.

Előzmények

- 1947: tranzisztor feltalálása (Walter Brattain, John Bardeen, William Shockley)
- A tranzisztorok kisebbek voltak, mint az elektroncsövek → használatuk általánossá vált
- De egyes elektronikai berendezések még kisebb tranzisztorokat igényeltek
- A méretkorlátot az jelentette, hogy a szilícium morzsán (chip) létrehozott tranzisztort hozzávezetésekkel kellett ellátni

Története

- Jack S. Kilby Texas Instruments, 1958. július
Ötlet: ne csak a tranzisztort, hanem az áramkör többi részét is szilíciumból kellene létrehozni
Eddig kapacitást és ellenállást senki nem készített félvezetőből
- 1958. szeptember 12: elkészült az első működő modell
Ez a világ első integrált áramköre, germániumot használt az áramkör megépítéséhez
- 1959. február 6: a Texas Instruments benyújtotta a szabadalmat
Ekkori neve: „szilárd áramkör” (solid circuit) volt
- 2000-ben Kilby fizikai Nobel-díjat kapott

Története

- Robert Noyce Fairchild Semiconductor, 1959. január (Kalifornia)
Noyce az egyes alkatrészek összekötésére sokkal jobb megoldást talált → feltalálta az ún. planáris technológiát
Lényegében Kilby-től függetlenül feltalálta az integrált áramkört (IC-t), s az ő módszerével gyártják azóta is az IC-eket
Szilíciumot használt
- 1959. tavasz: Fairchild létrehozta az „egységes áramkört” (unitary circuit)
- 1961. április 25: az amerikai szabadalmi hivatal megadta az első szabadalmat Noyce-nak

Integrált áramkör előnyei

Előnyei a hagyományos áramkörökkel szemben:

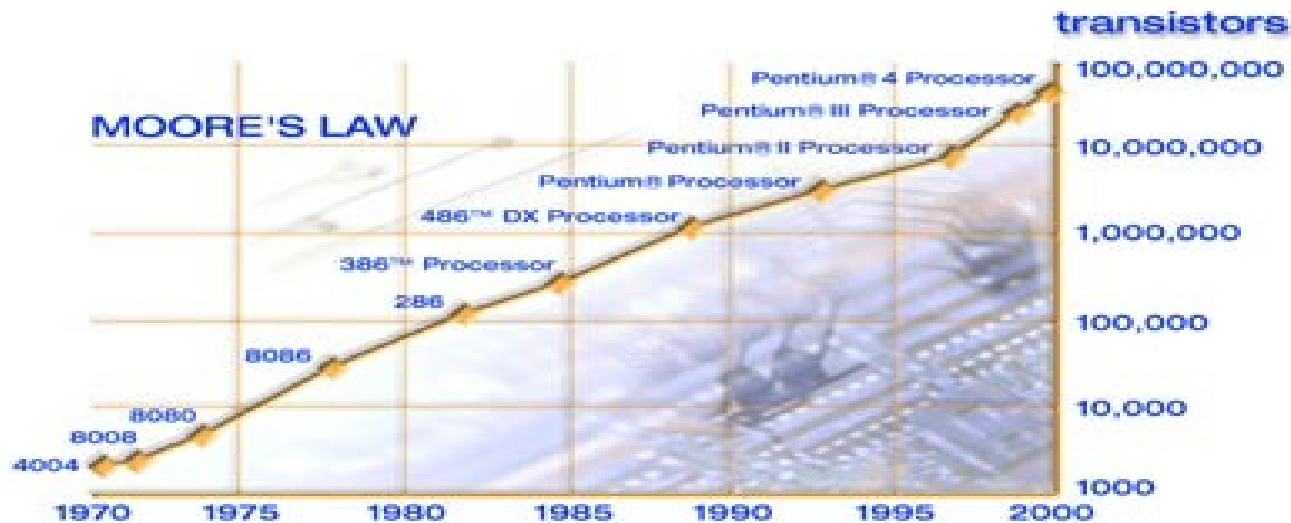
- **Nagyobb megbízhatóság**
- **Kompakt kivitel, nagy funkciósűrűség kis helyen**
- **Nagyobb sebesség**
- **Kisebbs fogyasztás**
- **Gazdaságosabb tömeggyártás**

IC-k bonyolultságának változása

- 1960: SSI: < 100 elem
- 1966: MSI: $n \times 100$ elem
- 1969: LSI: $n \times 1.000$ elem
- 1975: VLSI: $n \times 10.000$ elem
- Ma: ULSI: $n \times 1.000.000$ elem

Moore törvénye (1965)

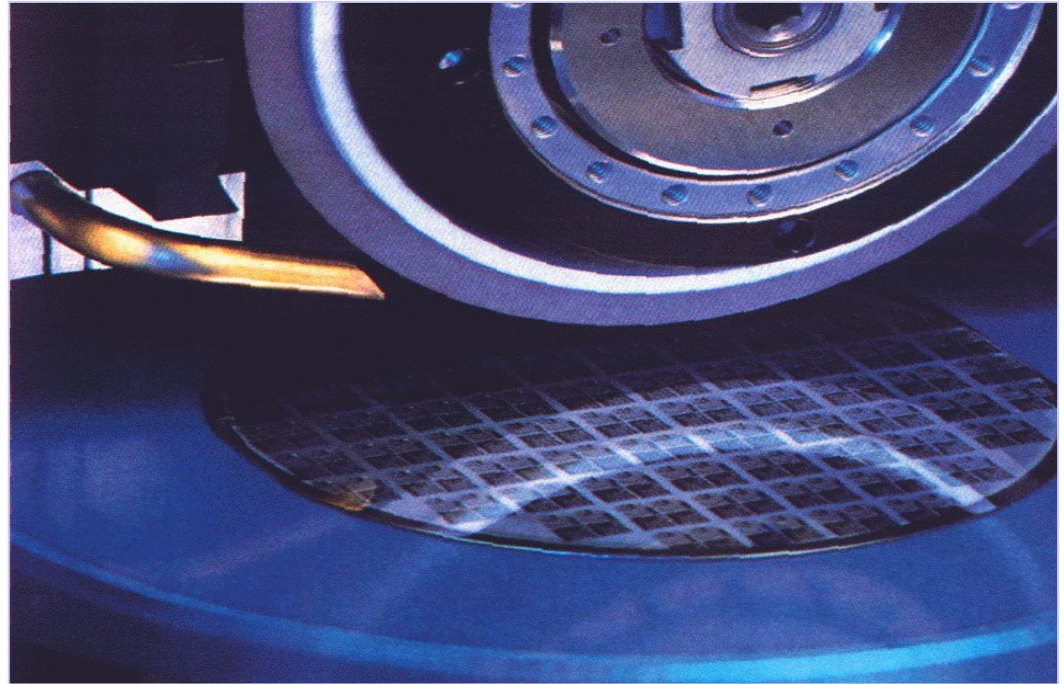
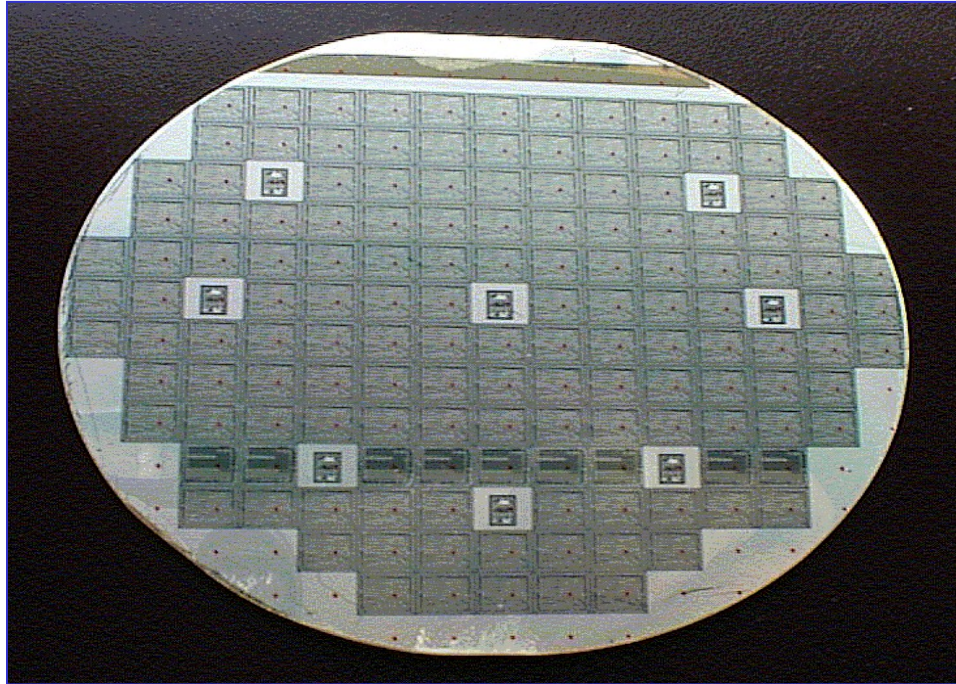
- Az integrált áramkörök összetettsége – a legalacsonyabb árú ilyen komponenst figyelembe véve – körülbelül 18 hónaponként megduplázódik.



Az IC-k gyártása

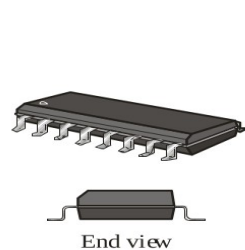
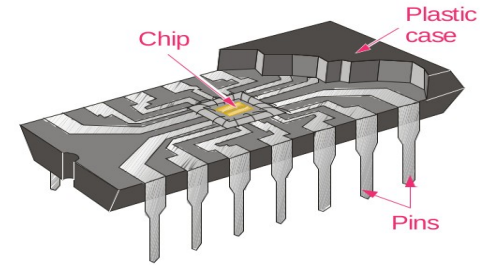
- **Planár technológia:** A planár szó arra utal, hogy az integrált áramkörök gyártása síkbeli elrendezésben történik, azaz rétegekben
- A gyártás „síkja” a félvezető szelet (wafer) felülete
- Kiindulási alap: a rudakban készülő szilícium egy kristály
- Ezekből szeletelik a 2-12” (zoll \approx inch \approx hüvelyk, jele: ") átmérőjű szeleteket
- Ezek vastagsága kb. negyed milliméter
- Egy szeleten több ezer IC (chip = die) készül egyszerre

A planár technológia

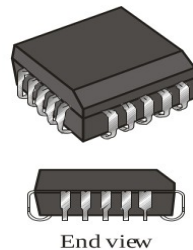


IC-k tokozása

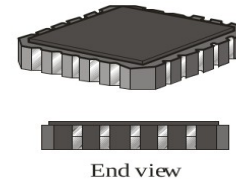
- Furatszerelt
 - SIP (Single in-line package)
 - DIP (Dual in-line package)
- Felületszerelt (SMD)



SOIC



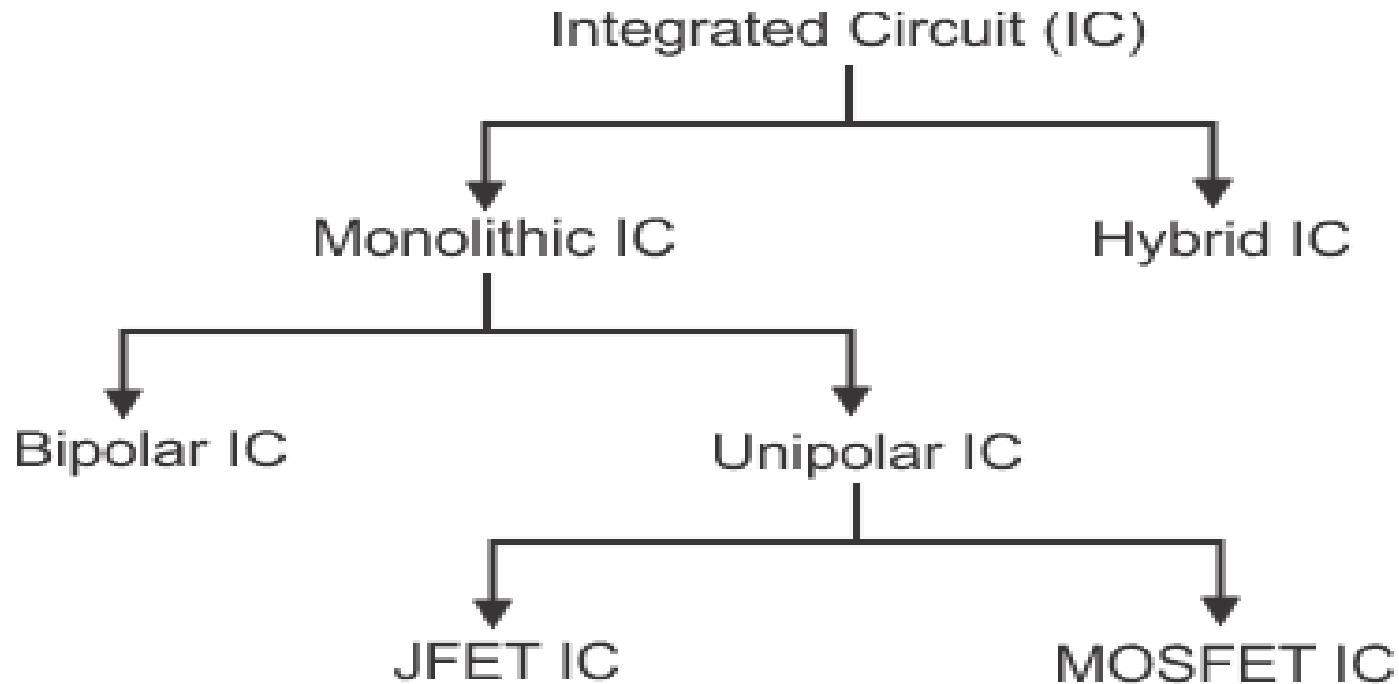
PLCC



LCCC

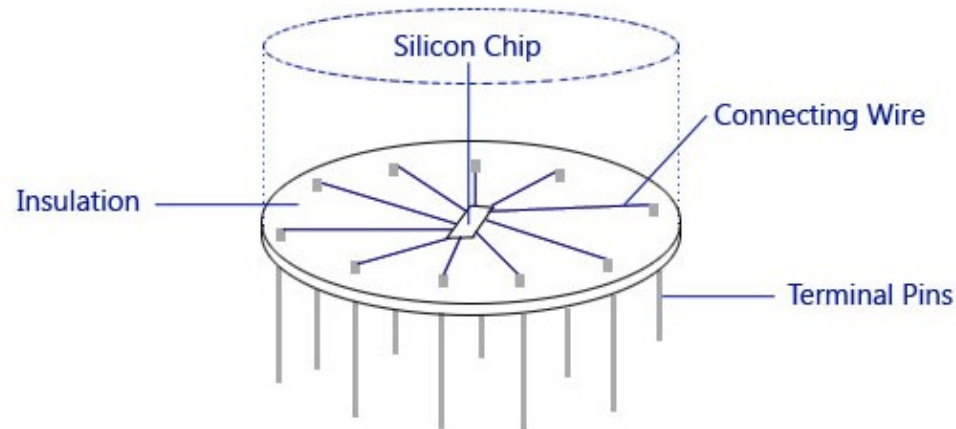
Integrált áramkörök csoportosítása

Gyártástechnológia szerint:



Monolitikus áramkörök

- Az áramkör valamennyi aktív és passzív elemét (tranzisztorok és diódák, illetve ellenállások és kis értékű kondenzátorok), valamint a hozzájuk tartozó összekötéseket egyetlen félvezető-egykristály lemezkén alakítják ki.



Monolitikus áramkörök megvalósításai

- **MOS technológia:**

- Nem használnak "hagyományos" ellenállást vagy kondenzátort. Ellenállás helyett passzív kétpólusnak kapcsolt MOS tranzisztor: a gate-et összekötik a source-szal.
- Kondenzátor: MOS kondenzátor vagy p-n dióda.
- Induktivitás: nincs. Ha nagyon szükséges, külső tekercset használnak.

- **Bipoláris technológia:**

- Elemválaszték: ellenállás, kondenzátor, dióda, bipoláris tranzisztor.
- Induktivitás a mikrohullámú IC-k kivételével gyakorlatilag megvalósíthatatlan, használatukat kapcsolástechnikai megoldásokkal célszerű elkerülni.
- A bipoláris IC-k előállítási technológiája a legfontosabb aktív elem, az npn tranzisztor megvalósítására van optimalizálva. Az összes többi alkatrészt az npn tranzisztorhoz szükséges technológiai lépésekkel valósítják meg.

Hibrid áramkörök

- Ezt a kialakítást szokás szigetelő alapú integrált áramkörnek is nevezni.
- A hibrid integrált áramkörökben szigetelő alapanyagon állítják elő a vezetőpályákat és az ellenállásokat.
- A hordozó megfelelő mechanikai, elektromos és hőtechnikai tulajdonságú anyag, pl. zománcozott kerámia, bór-szilikát üveg, zafír vagy Al_2O_3 alapú kerámia.
- Csipméret tipikusan 5 cm^2
- A szigetelő lapra készítik el a passzív és az aktív elemeket.
- Az aktív elemek lehetnek monolitikus integrált áramkörök is.

Hibrid áramkörök megvalósításai

- **Vékonyréteg áramkörök:**

- Az áramkörök néhány száz nm vastagságú rétegekből épülnek fel.
- Hordozó : üveg
- A fémrétegeket vákuumpárológatással vagy porlasztással viszik fel.
- Gyakran kétréteges fémezés a tapadás javítása végett.

- **Vastagréteg áramkörök**

- Hordozó: kerámia (Al_2O_3 , AlN , BeO)
- 10 - 50 μm vastagságú réteg
- Cermet vagy polimer alapú pasztát szitanyomtatással visznek fel, majd hőkezelik.

Mikrovezérlők

- A mikrokontroller (uC) lényegében egy egy tokba integrált mikroszámítógép.
- Pontos definíciója nincs, különböző bonyolultságú típusok vannak.
- Korai, egyszerű típusok pl. uP kiegészítve belső memóriával vagy egyszerű portokkal.
- Mai típusok megfeleltethetőek egy nem is túl régi komplett számítógépnek...

Mikrovezérlő vs. számítógép

- Kisebb számítási teljesítmény
- Kisebb fogyasztás
- Szélesebb feszültségtartomány
- Kisebb (beépített) memória
- Nem feltétlenül csatlakoztatható gyors párhuzamos külső memória
- Speciális perifériák vannak beépítve
- „Tápot kap és már megy is”
- Feladatspecifikus műveletek megvalósítása

Mikrovezérlők jellemző elemei

- **Processzormag**
- **Programmemória (EEPROM/Flash)**
- **Szabadon hozzáférhető memória (RAM); adatmemória (EEPROM)**
- **Órajel generátor**
- **Digitális ki-bemenetek, soros portok, analóg bemenet, PWM kimenet**
- **Időzítők, számlálók, eseményfigyelők, megszakítási lehetőségekkel**
- **Megbízhatósági funkciók (brown-out reset, watchdog timer stb)**

Mikrovezérlők felhasználási területei

- **Egyszerűbb beágyazott rendszerek (különböző gépek beépített vezérlőegysége), pl.:**
 - jármű, modelljármű
 - ipari berendezések
 - műholdak
 - mérőműszerek
 - háztartási eszközök
 - szórakoztató eszközök
- **PC-n belül is van (perifériák vezérlőegységei)**

8 bites mikrovezérlők

- A 8 bites típusok jellemzően <20MHz órajelűek, programmemóriájuk a néhány ezer sortól a néhány tízezer sorig terjed, a RAM a néhány száz byte-tól a néhány száz kB-ig terjed.
- A processzor paraméterek szempontjából összehasonlíthatóak egy 80-as évekbeli PC-vel (de utóbbiak memóriája és háttértára általában nagyobb volt). Assemblyben is könnyen lehet programozni.

32 bites mikrovezérlők

- A 32bites vezérlők akár 100MHz órajelűek is lehetnek, akár több MB programmemóriával és RAM-mal.
- Akár egy 90-es évekbeli PC processzor teljesítményét elérik. Ilyenekre fejleszteni már majdnem olyan, mint PC-re... Célszerűen C-ben lehet programozni..

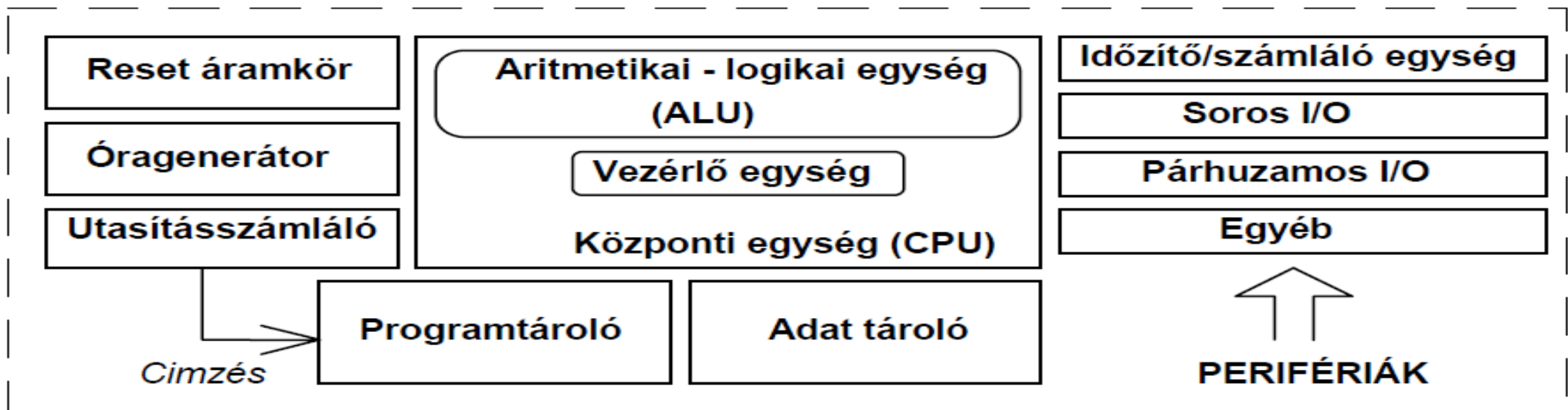
Mikrovezérlők felépítése

- A kisebb teljesítményű mikrovezérlők jellemzően Harvard architektúrájúak, azaz fizikailag külön memória van a programnak (utasítások) és az egyebeknek (RAM).
- A programmemória nem feltétlenül 8bites felépítésű; a RAM általában 8bites cellákból áll
- A RAM mellett tartalmazhat Data EEPROM-ot is a program által igényelt adatok tartós tárolása céljából.

Mikrovezérlők jellemző előnyei

- Kis feszültségigény (5V)
- Sok ki/bemeneti port (típusonként eltérő)
- Gyors műveletvégzés
- Kis méret
- Hosszú élettartam
- Nagy megbízhatóság

Mikrovezérlők belső felépítése



Mikrovezérlők programmemóriája

- A központi egység a végrehajtandó adatokat a program memóriából olvassa ki. Ez a tár különféle igények miatt különböző típusú:
 - ROM
 - PROM
 - EPROM
 - EEPROM
 - Flash

Programmemória típusok

- **ROM:** ennek a tartalmát a gyártás során írják bele a memóriába. Ez – mivel nagy darabszám esetén a legolcsóbb memóriamegoldás – akkor előnyös, ha nagy mennyiségben akarjuk az adott felprogramozott PIC vezérlőt felhasználni. Természetesen ilyenkor a gyártóhoz kell juttatni a ROM-ba írandó teljes tartalmat és ezt írják be a gyártástechnológia adott fázisában a ROM-ba.
- **PROM / OTP:** Programmable ROM, One-Time Programmable; a felhasználó által egyszer programozható, így nem kell a gyártóhoz beküldeni, és utólag nem módosítható (ez akkor előnyös, ha nagyon el akarjuk kerülni, hogy a felhasználó belenyúljon a programba).

Programmemória típusok

- **EPROM:** Erasable Programmable ROM; ez a memóriatípus olyan, hogy a felhasználó képes ennek tartalmát beírni, majd új tartalom beírása előtt ultraibolya fénnel [pl. kvarclámpa] törölni. A kvarc ablakot törlés után le kell ragasztani, mert a napfény hatására idővel törlődik. Ma már nem használatos, meghaladta az EEPROM és a Flash, de pl. régi párhuzamos buszú memóriáknál találkozhatunk vele.
- **EEPROM:** Electronically Erasable Programmable ROM; hasonló az EPROM memóriához, de itt a törlés a „kinapozás” helyett elektromos jelekkel történik, így a programfejlesztéshez az ilyen típusú memória még előnyösebb. Ennek újabb változata a FLASH.

A Microchip PIC mikrovezérlői

- A Microchip az egyik legnagyobb mikrovezérlő gyártó cég
- A Microchip mikrovezérlő családjának „márkanéve” a PIC
- Létezik 8, 16, 32 bites változat, mindegyikből több család és több tucat típus.
- Az egyes családokat számok jelölik
- A 8 bites családok:
 - alsó kategória: PIC10, PIC12
 - középső kategória: PIC14, PIC16
 - felső kategória: PIC18

PIC mikrovezérlők RAM-ja

- A PIC-nél nincsenek külön processzor regiszterek és RAM, a kettő ugyanaz.
- Két típus:
 - A GPR-ek (General Purpose Registers) a hagyományos értelemben vett RAM, a szabadon írható-olvasható cellák. Itt tárolhatjuk a változóinkat.
 - Az SFR-ek (Special Function Registers) egyrészt a mikrokontroller különböző beállításait tartalmazó regiszterek, másrészt a beépített perifériák beállításait és ki-bemenő adatait kezelhetjük rajtuk keresztül. (Ez lényegében a memory-mapped IO fogalom megvalósítása.) Az SFR-ek többnyire írhatóak és olvashatóak, de vannak kivételek.

PLC mikrovezérlők tápellátása

- A 8 bites PIC-ek jellemzően 5V vagy 3,3V tápfeszültségű kivitelben készülnek. A 16b és 32b verziók jellemzően 3,3voltosak.
- Az 5V-os verziók gyakran kb. 2,5V-5,5V tartományban működőképesek. A 3,3voltosak jellemzően nem szeretik a nagyobb feszültséget!

PIC mikrovezérlők órajele

- **System clock (f_s):** az alap órajel
- **Instruction clock $f_{instr} = f_s/4$,** az utasítás-végrehajtási ciklus
- Majdnem minden utasítás egy ilyen ciklus alatt hajtódik végre (ezért is egy szó hosszúak), kivéve a vezérlésátadások, amelyek két ciklus alatt (a pipeline törlése miatt)
- Pl. ha $f_s=4\text{MHz}$, akkor $T_{instr}=1\mu\text{s}$ az utasítás-végrehajtási idő

PLC mikrovezérlők programozása

- Van egy hardver (a programozó), ami a PC-ről jövő jelet (USB vagy RS232) átalakítja és betáplálja a mikrokontrollerbe. A programozási mód beállításához a V_{pp} lábra kell kötni egy bizonyos feszültséget (a normál tápfeszültségnél nagyobb).
- A programozás egy szinkron soros adatátvitel: ICSPDAT lábon az adat, ICSPCLK lábon az órajel megy.

PLC mikrovezérlők programozása

- **bootloader használata:**

- Ez egy kis program, amit először hagyományos módon feltöltünk. Utána a mikrokontrollerhez a saját soros portján (UART vagy USB) csatlakozva a bootloader segítségével közvetlen a PC-ről töltjük át a programot. A bootloader ilyen szempontból a PC operációs rendszeréhez hasonlít (ő indul el először és ő indítja el a felhasználói programot).
- (Ez csak akkor megvalósítható, ha a uC rendelkezik ilyen porttal ill. elég nagy programmemóriával, hiszen a bootloader is helyet foglal el.)

Atmel 8 bites mikrovezérlők

- Az Atmel eredetileg különálló cég volt, majd felvásárolta a Microchip
- Load-store architektúra (külön regiszterkészlet és külön RAM, adatokat be kell másolni RAM-ból a regiszterekbe, ott lehet dolgozni velük)
- Jellemzően nagyobb RAM, mint PIC-ben
- Egyébként hasonló tudású mint a PIC



Köszönöm a figyelmet!