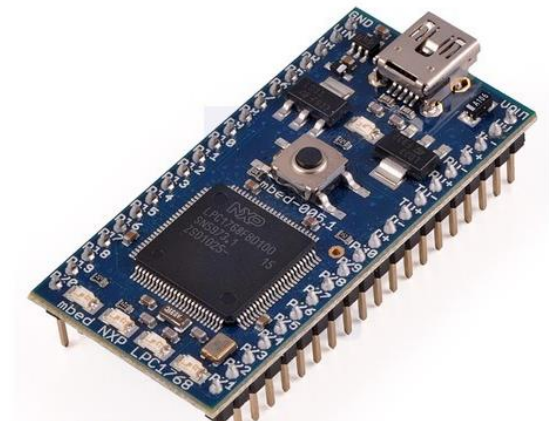


Ekološko snovanje elektronskih naprav

ENOTA 8: Mikrokrmilniški sistemi

Uvod v mikrokrmilniške sisteme

- Današnji proizvodnjo mikrokrmilnikov lahko štejemo v bilijonih kosov na leto, kjer imamo veliko množico različnih proizvajalec. Današnje elektronske sisteme si težko predstavljamo brez mikrokrmilnika in njihova uporaba nenehno narašča. Naštejmo nekaj osnovnih naprav, katere uporabljajo mikrokrmilniške sisteme:
 - ❖ Gospodinjski aparati (mikrovalovne pečice, pralni stroji, kavin avtomat itd..).
 - ❖ Telekomunikacije (telefoni, pametni telefoni, modemi, usmerjevalniki itd..).
 - ❖ Zabavna elektronika (televizije, predvajalniki glasbe in videa, igralne konzole itd..)
 - ❖ Industrija (vodenje in nadzor naprav in proizvodnih procesov).
 - ❖ Avtomobilska industrija (elektronski nadzor vozila ter pogona).
 - ❖ Vesoljska tehnologija.

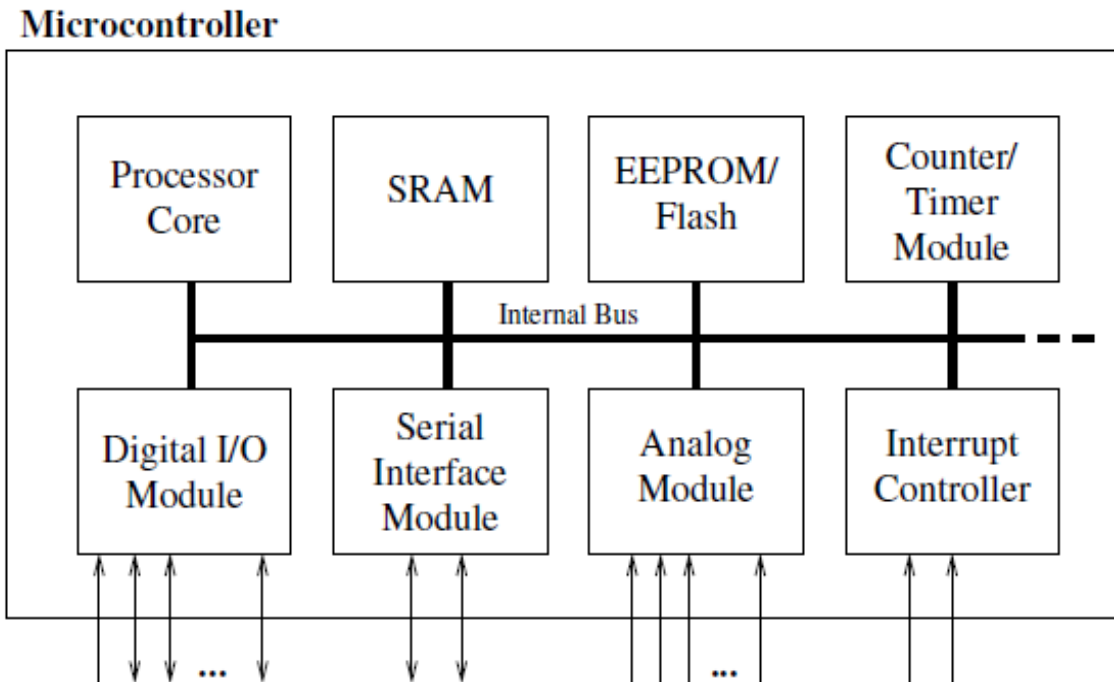


Prednosti mikrokrmilniških sistemov

- Mikrokrmilniški sistemi so doživeli velik razcvet in so odličen nadomestek analognim sistemov in vezjem. Z vključevanjem mikrokrmilniškega sistema v dizajn naprave lahko bistveno zmanjšamo velikost naprave, povečamo učinkovitost, zanesljivost ter lažjo nadgradnjo.
- Iz ekološkega vidika je naprava na osnovi mikrokrmilniškega sistema bistveno varčnejša, poraba material je znatno nižja in reciklaža je preprostejša.
- Moderni mikrokrmilniki ob osnovnih perifernih enotah (RAM, FLASH, I/O,) vsebujejo ločene enote, s katerimi lahko omogočimo znižano porabo energije v času, ko sistema ne potrebujemo ali je neaktiven (Standby mode, Weakup mode itd..).
- Z mikrokrmilniškimi sistemi lahko nadomestimo analogna ali digitalna vezja, ki fizično večja ter podvržena večji občutljivosti zunanjih dejavnikov.

Struktura mikrokontrolnika

- Razvoj mikrokontrolniški sistemov je strmo. Trenutno so najpogosteje v uporabi 16-32 biti sistemi s hitrostjo ure od 10MHz-300MHz. Notranja zgradba krmilnikov je v osnovi enaka.

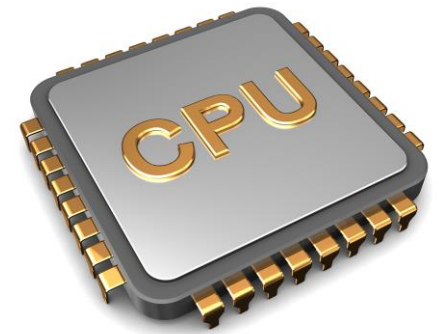
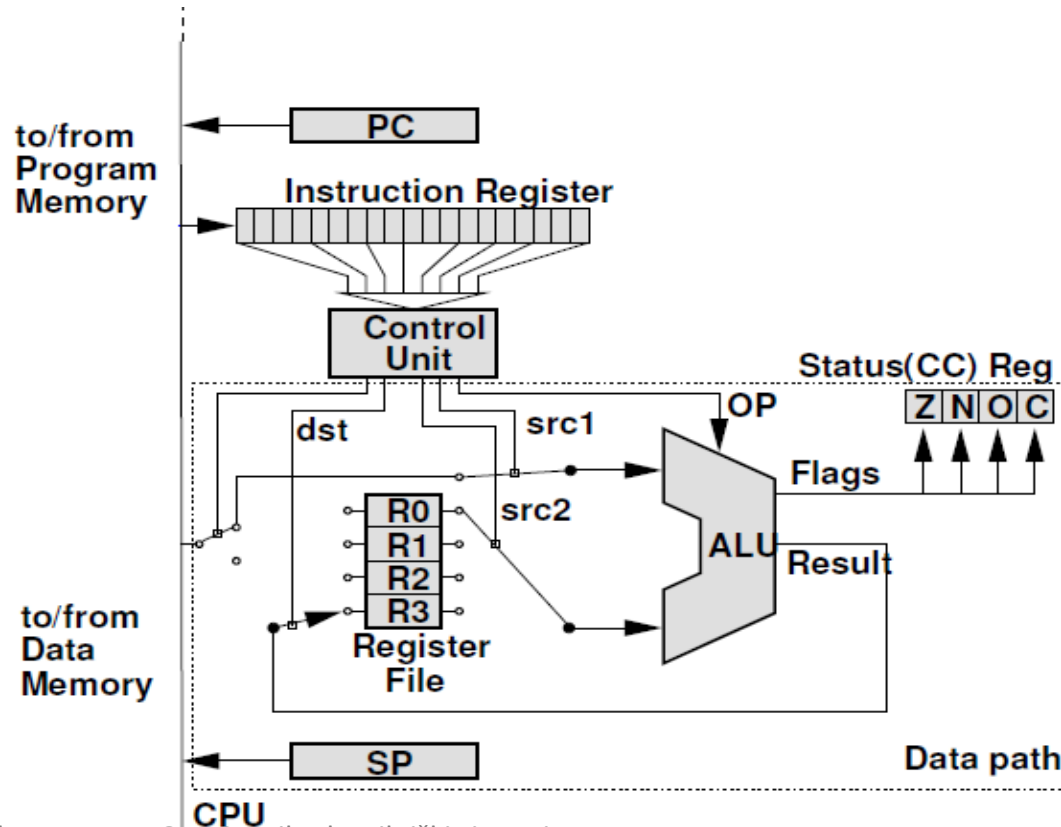


Struktura mikrokrmilnika

- Tipični moduli, ki so skupin vsem mikrokrmilnikom:
 - ❖ **Procesor CPU:** Procesor ali CPU (Central processing unit).
 - ❖ **Pomnilnik:** Pomnilnik mikrokrmilnika je razdeljen na programski in podatkovni del.
 - ❖ **Prekinitveni kontroler:** Prekinitvev so ključne za učinkovito izvajanja programa v realnem času.
 - ❖ **Števci in časovniki:** Večina krmilnikov ima vsaj dva števca, ki sta sposobna meriti čas, meriti čas interval dogodkov ali šteti dogodke.
 - ❖ **Digitalni vhodi/izhodi:** Pogosto jih srečamo pod oznako GPIO (General purpose Input and Output).
 - ❖ **Analogni vhod/izhodi:** ADC (analog to digital) in DAC (Digital to analog controller)
 - ❖ **Komunikacijski vmesniki:** USART, I2C, SPI.

Jedro procesorja

- Jedro procesorja ali CPU je glavni del mikrokrmilnika.



Jedro procesorja

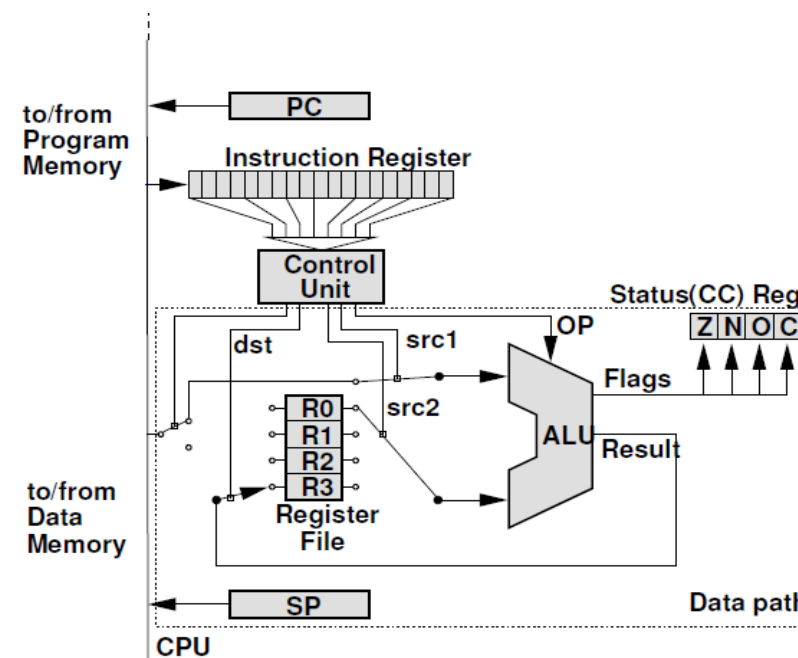
- Jedro CPU-ja je sestavljeno iz podatkovne poti (Data path), katera izvršuje inštrukcije iz kontrolne enote. Kontrolna enota krmili podatkovno pot.
- Jedro CPU-ja aritmetično logična enota- ALU, ki je sposobna opravljati le osnovne računske operacije, kot so; seštevanje, odštevanje ter bitni komplement.
- Naloga kontrolna enota (Control Unit) je, da izvršuje inštrukcije in določa katera instrukcija se bo vršila v danem trenutku. Kontrolna enota prav tako shranjuje indeks inštrukcij v programski števec-PC (Program Counter) ter vsebino inštrukcije v inštrukcijski register- IR (Instruction Register).
- Inštrukcija določa katera vrednost iz registra bo poslana v ALU in kam bo shranjena.

Jedro procesorja

- Glede na strukturo kontrolnih enot tako ločimo dve arhitekturi.
 - ❖ **RISC:** RISC (Reduced Instruction Set Computer) arhitektura je preprostejša, katera za izvedbo vzame le nekaj urinih ciklov. Prednost RISC sistemov je, da uporabljajo točno določeno dolžino kode za naslavljanje in inštrukcije. Kot rezultat je hitro izvajanje inštrukcij ampak te se relativno male.
 - ❖ **CISC:** CISC (Complex Instruction Set Computer) struktura, ki jo upravlja kompleksna mikrokodna inštrukcija. Takšna inštrukcija za izvedbo potrebuje več urinih ciklov. Inštrukcija ima variabilno dolžino in omogoča mnoge učinkovite inštrukcije napram RISC strukturi.

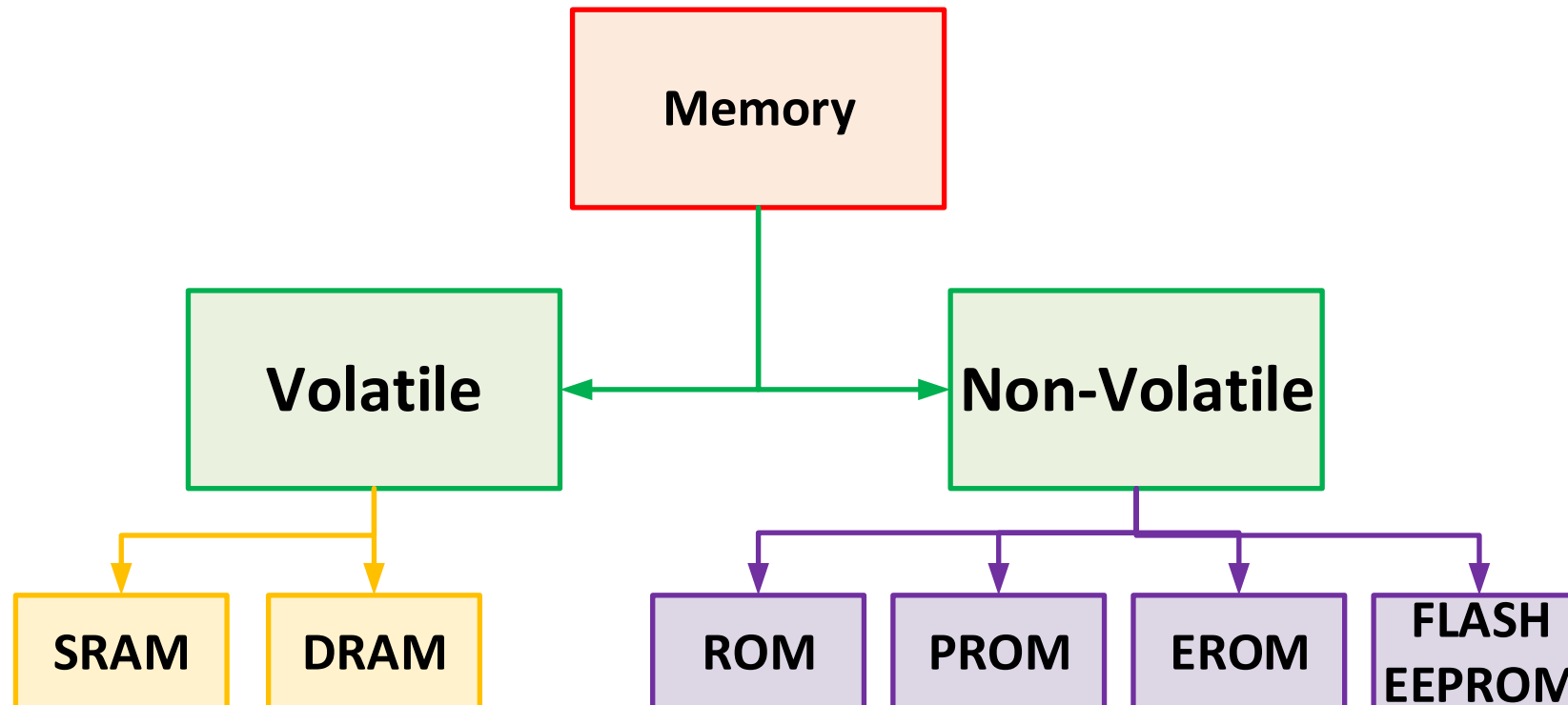
Jedro procesorja

- Na sliki, je inštrukcijski in podatkovni pomnilnik prikazan, kot dva ločena subjekta. To ni vedno stalnica, ampak si inštrukcijski in podatkovni pomnilnik lahko delita isti pomnilnik. Glede na tip pomnilnika ali je ločen ali skupen, ločimo dve vrsti arhitekture procesorja.
- ❖ **Von Neumann-va arhitektura:** Pri tej arhitekturi je inštrukcijski in podatkovni pomnilniki skupen. Prav tako je skupno vodilo, s katerim dostopamo do pomnilnika.
- ❖ **Harvard-ska arhitektura:** Pri tej arhitekturi sta pomnilnika ločena, kjer je ločeno tudi vodilo. Pri tej arhitekturi ni možen konflikt med podatkom in inštrukcijo, kar posledično izboljša učinkovitost procesorja.



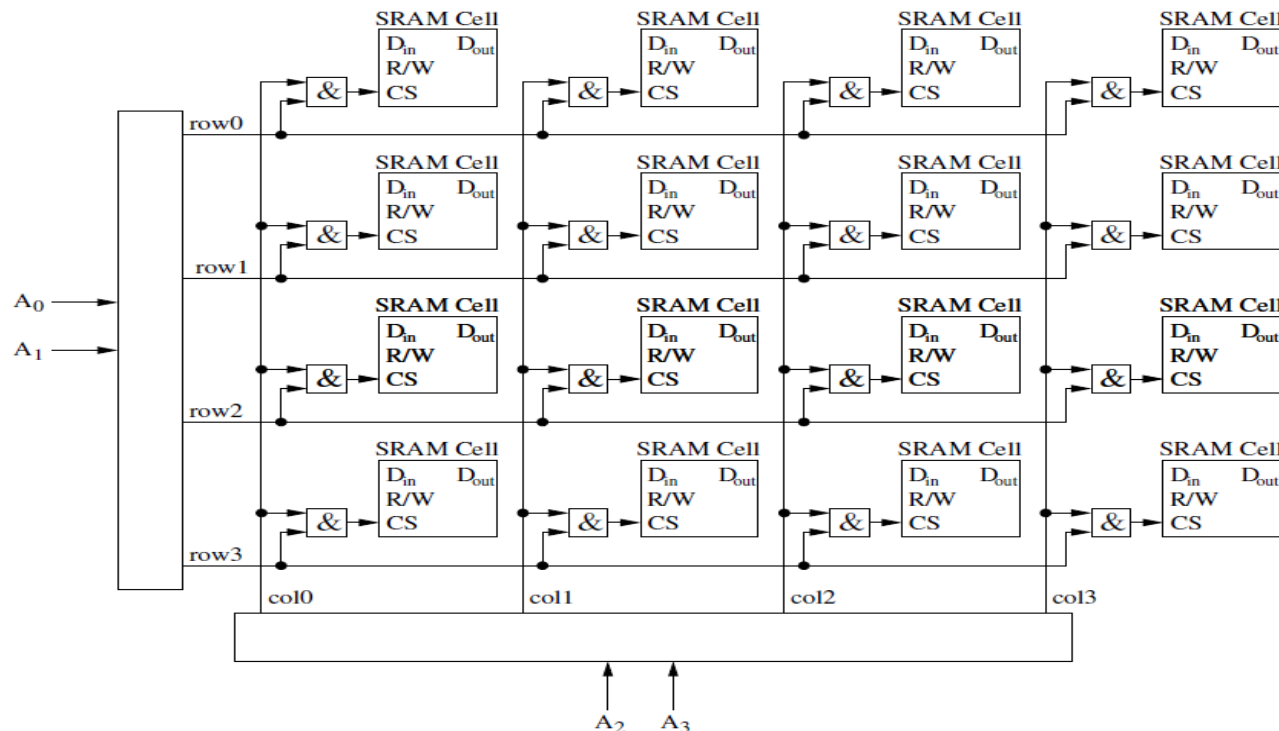
Pomnilnik

- Razvrstitev pomnilnikov:



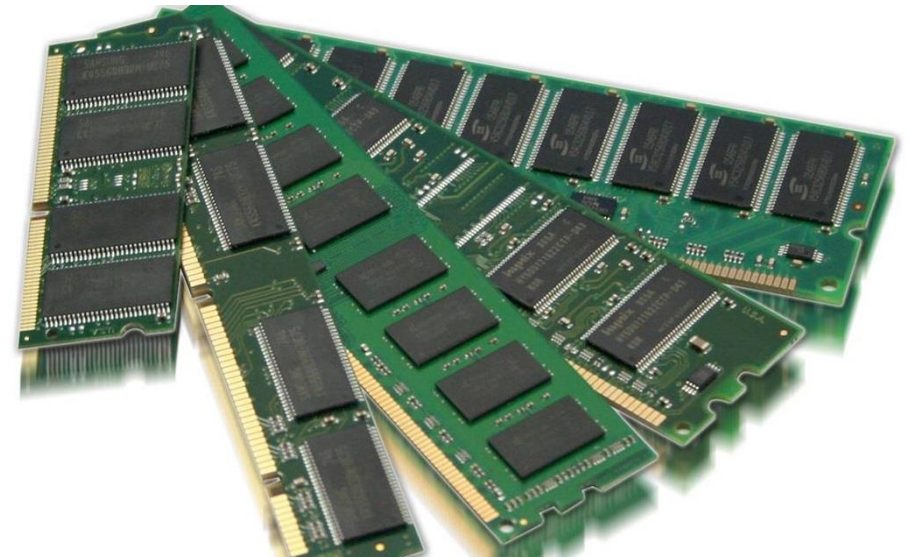
Pomnilnik-Volatile

- **Statični RAM-SRAM:** Beseda RAM izhaja iz termina (Random Access Memory), kar pomeni, da lahko naključno dostopamo do ISRAM pomnilnik za shranjevanj podatkov uporablja D-flipflop celice. D-flipflop je v osnovi sestavljen iz vsaj šestih tranzistorjev. Okacij pomnilnika. Vsaka lokacija je dostopna s pomnilniško adresno.



Pomnilnik-Volatile

- **Dinamični RAM –DRAM:** Glede na SRAM, dinamični RAM dosega bistveno višje kapacitete. Sedaj vemo, da SRAM za shranjevanje 1 bita potrebuje vsaj šest tranzistorjev. Za višjo kapaciteto SRAM-a potrebujemo več celic, ki znatno povečajo fizično velikost čipa in ceno. DRAM shranjuje podatke v shranjevalniku električnega naboja (kondenzator). Takšen način znatno zmanjša število elementov za shranjevanje enega bita (D-flipflop) in tako povečamo kapaciteto pomnilnika pri bistveno manjši velikosti čipa.



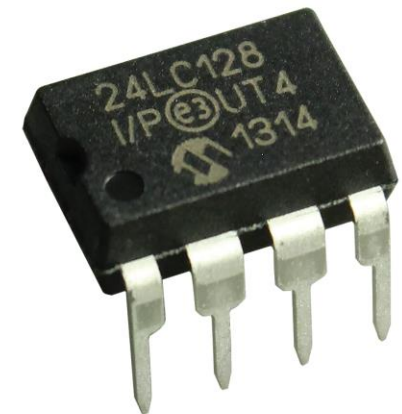
Pomnilnik- (Non-Volatile – trajni pomnilniki)

- **ROM:** Kratic ROM pomeni ('Read Only Memory ') bralni pomnilnik. Bralni pomnilnik pomeni, da ne moremo shranjevati nobenih podatkov. Ponavadi se v ROM pomnilnik shranijo podatki iz strani proizvajalca in so ključni za delovanje naprave. V ROM-u je shranjen BIOS za osebne računalnike ali vrednosti registrov za nastavitve mikrokrmilnika.
- **PROM:** Pomnilnik ROM se uporablja le pri masovnih proizvodnja naprav, drugače je njegova proizvodnja za malo količino ali pilotske projekte predraga. Alternativa ROM-u je PROM (Programmable Read Only Memory). PROM je možno programirati le enkrat, saj vsebuje varovalko, ki prepreči večkratno pisanje v PROM. PROM poznamo tudi pod kratico OTP (One Time Programmable memory). PROM ni primeren za razvoj, kjer se vsebina pomnilnika ter programa spreminja.



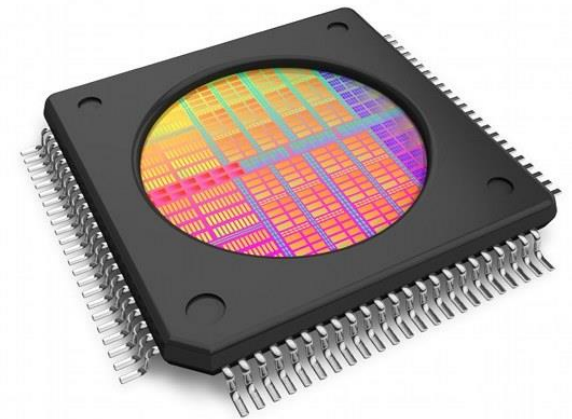
Pomnilnik- (Non-Volatile – trajni pomnilniki)

- **EPROM:** EPROM je kratica za (Erasable Programmable Read Only Memory). EPROM je v bistvu bralni pomnilnik, ki ga lahko večkrat preprogramiramo. Programiranje EPROM zahteva poseben postopek, zato ga ponavadi ne moremo izbrisati iz strani mikrokontrolerja. Vrednosti EPROMA je shranjena v FET ('Field effect transistors').
- **EEPROM:** EEPROM pomeni (Electrically Erasable and Programmable ROM) elektronsko programljiv pomnilnik. V osnovi EEPROM deluje na enak način, kot EPROM le, da pri brisanju pomnilnika ne potrebujemo posebnih zunanjih visokih napetostih in UV svetlobe. Visoka napetost za vzbujanje FET je vgrajena znotraj čipa in se imenuje črpalka naboja ali 'Charge pump'. Ponavadi ima EEPROM enko, kot EPROM življenjski cikel, ki je pogosto omejen na 100 000 ciklov brisanja.



Pomnilnik- (Non-Volatile – trajni pomnilniki)

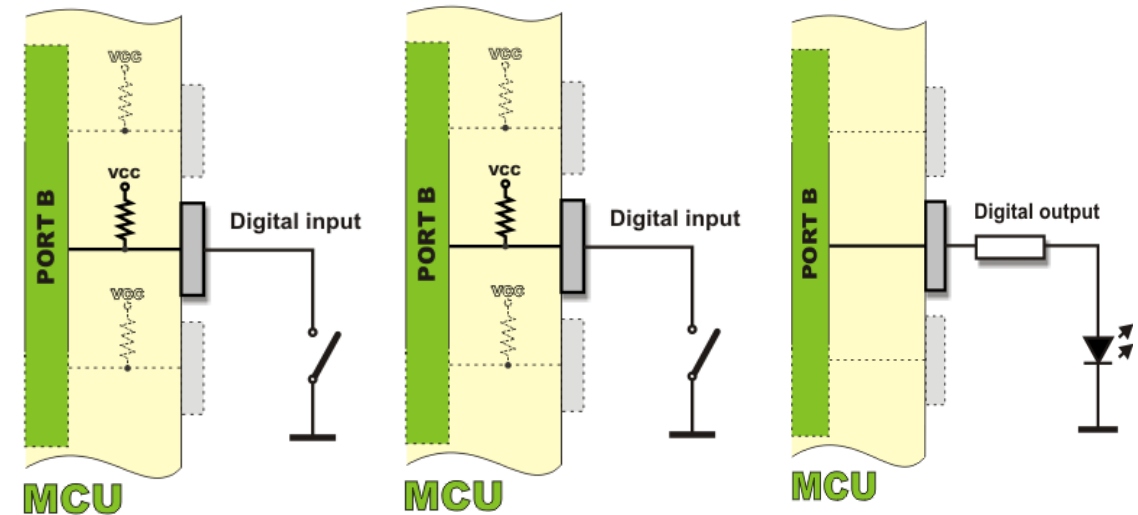
- **FLASH:** FLASH je okrnjena verzija EERPOM pomnilnika in deluje na enak način kot EEPROM. Razlika med FLASH pomnilnikom in EEPROM-om je ta, da ne moremo brisati posamezne celice posebej, ampak samo celi pomnilnik ali določeni sektor. Razlog za vpeljavo FLASH pomnilnika je visoka cena EEPROM pomnilnika. Prav tako kot EEPROM ima tudi FLASH omejeno število vpisov.
- **NVRAM:** NVRAM je kombinacija stalnega in nestalnega pomnilnika ('Non-Volatile RAM'). Takšen pomnilnik ima enak princip delovanja kot SRAM le, da ima dodano napajalno baterijo. Prav tako obstaja različica pomnilnika, kjer sta združena EEPROM in SRAM pomnilnik v istem čipu.



Periferne enote – Digitalni vhodi/izhodi

■ Digitalni vhodi in izhodi

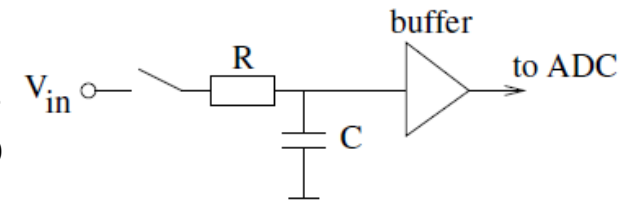
- ❖ Digitalni vhodi in izhodi – I/O se uporabljajo za krmiljenje in nadzor zunanjih naprav in so poglavitna enota znotraj mikrokrmilnika.
- ❖ Digitalni vhodi in izhodi so pogosto grupirani v porte. Vsak port lahko vsebuje 8, 16 ali 32 I/O pinov.
- ❖ Lahko so definirani, kot vhodi ali izhodi.



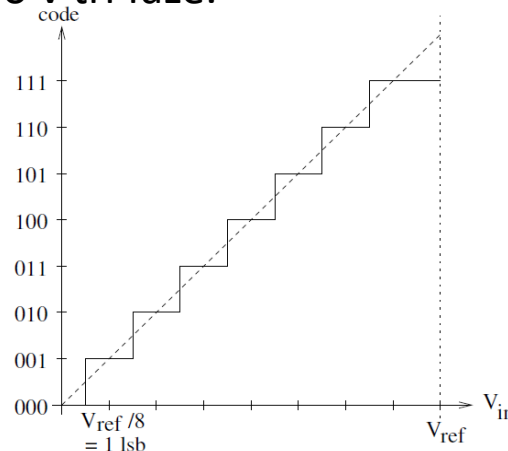
Periferne enote – Analogni vhodi

■ Analogni vhodi

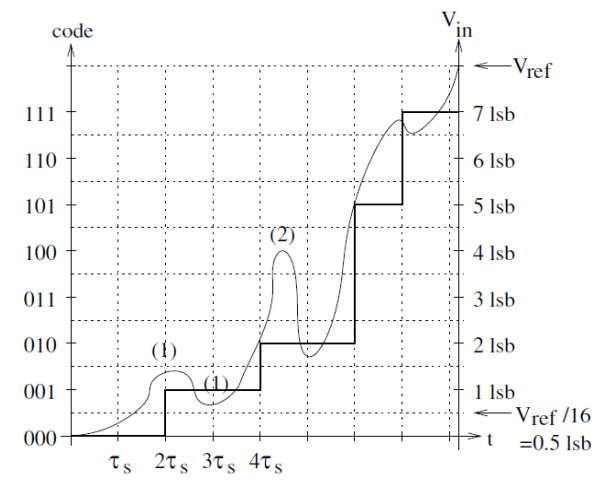
- ❖ Glede na digitalne vhode in izhode je z analognimi vhodih/izhodih možno brati ali procesirati različne napetostne nivoje.
- ❖ Branje analognih vrednostih je povezano s ADC periferno enoto v krmilniku. Osnovni podatki ADC pretvornika so resolucija, hitrosti pretvorbe in tip pretvorbe.
- ❖ Zajemanje ADC signala lahko razdelimo v tri faze.



- Držalnik signala ('sample & hold'),
- Kvantizacija
- Kodiranje



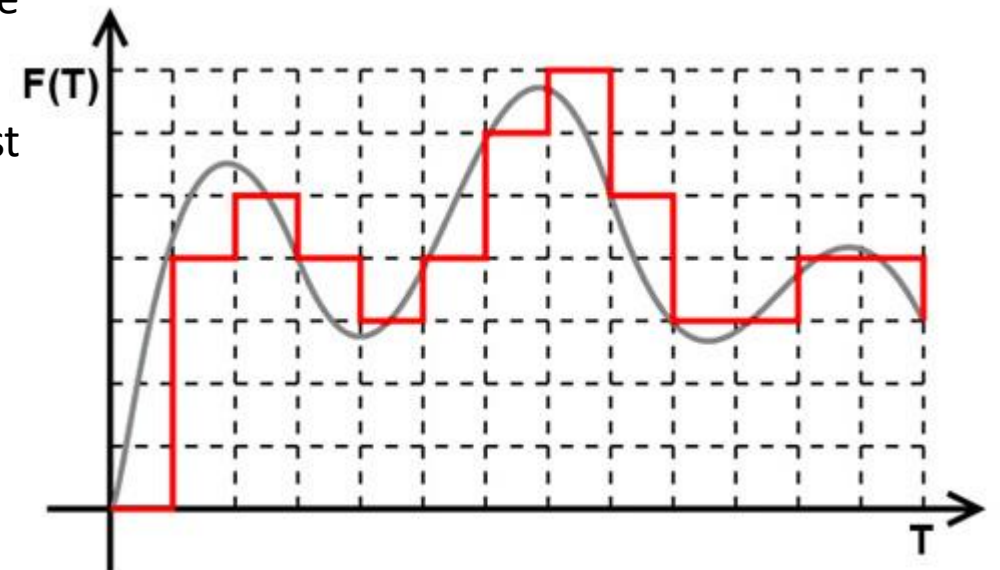
(a)



(b)

Periferne enote – Analogni izhodi

- **Analogni izhodi:**
- Funkcija digitalno-analognega pretvornika DAC je, da pretvori binarni vrednost v analogni signal. DAC se največkrat uporablja za procesiranje poljubnih izhodnih signalov iz krmilnika. DAC ima podobne karakteristike, kot ADC.
- Resolucija DAC-je je določena s resolucijo (številom bitov) ter hitrost vzorcev na sekundno ('sps- samples per second').



Periferne enote- Prekinitvene rutine

- Programi, ki se izvajajo na mikrokrmilniških sistemih moraj reagirati na določene dogodke. Dogodki se med seboj razlikujejo po dolžini trajanja ali so ponovljivi in kompleksnosti itd..
- Prekinitvena rutina pomeni, da krmilnik prekine izvajanje glavnega programa in se posveti prekinitveni funkciji.
- Nekaj najpomembnejših prekinittev:
 - ❖ **Časovna prekinitev:** Časovna prekinitev je vezana na uro časovnika in se izvaja skladno s števcem časovnika. Časovna prekinitev se izvrši ob točno določenem času. Prekinitev je lahko periodična ali nadzorovana preko statusnega registra prekinitve.
 - ❖ **Zunanja prekinitev:** Zunanja prekinitev je prekinitev, ki se sproži takrat, ko se na vhodu spremeni napetostni potencial. Zunanja prekinitev bere samo logično '0' ali '1'.
 - ❖ **Prekinitev ob prejemanju in pošiljanju podatkov:** Prekinitev ob sprejemanju podatkov služi za sinhronizacijo s pošiljateljem. To pomeni, da rutina zazna, kdaj so podatki na vodilu.
 - ❖ **Prekinitev ADC/DAC-ja:** Prekinitev ADC/DAC je čas, ki je potreben, da ADC/DAC prebere ali porcesira analogno vrednost. Prekinitev služi, da krmilnik počaka ADC/SAC pretvorbo in nato nadaljuje s drugimi opravili.
 - ❖ **Prekinitev stanje pripravljenosti ('Sleep mode'):** Prekinitev stanje pripravljenosti je uporabna v primeru, ko krmilnik ne izvaja operacij konstanto.



Periferne enote- Števci in časovniki

- Časovniki se uporabljajo za različna opravila kot so; zakasnitve, merjenje časa, merjenje frekvence. Najpreprostejša uporaba časovnika je uporaba samo števca. Časovniki lahko generirajo različne dogodke, prekinitve ali procesirajo moduliran PWM signal.
- Glavni parametri časovnika so:
 - **Ura:** Ura časovnika je določena s hitrostjo perifernega vodila za dan števec. Hitrost perifernega vodila je določena v sistemskih nastavitvah krmilnika.
 - **Skalirni faktor ('Prescaler'):** Skalirni faktor določa, deljenje ure časovnika. S skalirnim faktorjem določimo inkrement časovnika ter čas trajanja štetja v primeru, da štejemo do konca podatkovnega registra števca.
 - **Perioda:** Perioda časovnika določa časovno okno štetja. Pomeni, da je največja dolžina periode enaka dolžini podatkovnega registra števca.



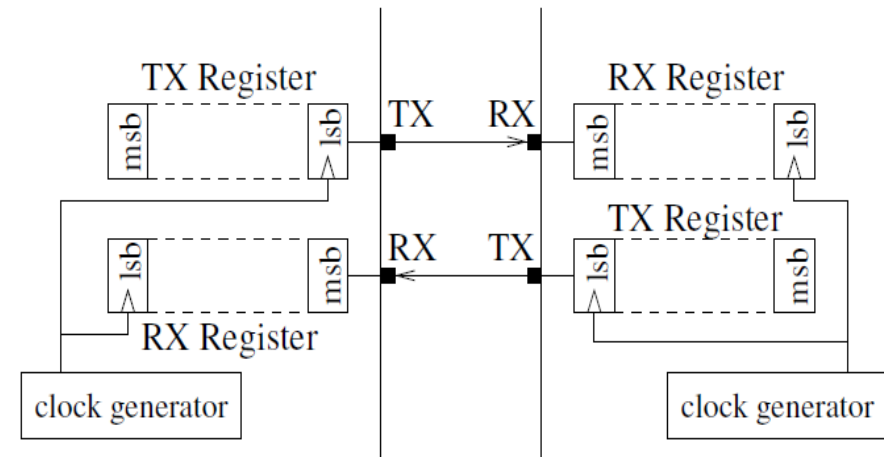
Periferne enote-komunikacijski vmesniki

- Komunikacijski vmesniki mikrokrmilniku omogočajo komunikacijo z drugimi zunanji napravami, kot so drugi krmilniki, PC-ji, senzorji itd..
- Komunikacijske vmesnike ločimo glede na različne karakteristike, kot so: paralelni ali serijski vmesnik, sinhronska ali asinhronska komunikacija, točka do točke ali mrežni način, polnodupleksni ('Half-duplex') ali poldupleksni način ('Full-duplex'), žični brez žični.
- Pri komunikacijskih vmesnikih se pogost srečamo s terminom gospodar-suženj ('Master-Slave'). Takšen način je pogosto uporabljen pri serijskem načinu. Naprav gospodar določa, kdaj lahko suženj dostopa do vodila in kaj lahko počne na vodilu (prejema ali pošilja).



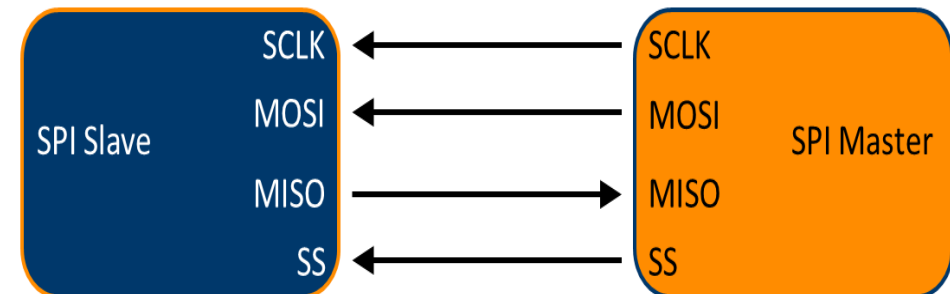
Periferne enote-komunikacijski vmesniki

- **USART:** Je serijska povezava (USART- 'Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter'), ki za komunikacijo uporablja le dve liniji. Ena linija je za pošiljanje Tx (Tx-transmitt), druga za prejetanje Rx (Rx-'receive'). Razlika med USART-om in UART-om je le v tem, da USART potrebuje ločeno linijo za uro.
- Nastavljivi parametri USART serijskega vmesnika so:
 - **Število podatkovnih bitov**
 - **Paritetni bit**
 - **Stop bit**
 - **Hitrost prenosa**



Periferne enote-komunikacijski vmesniki

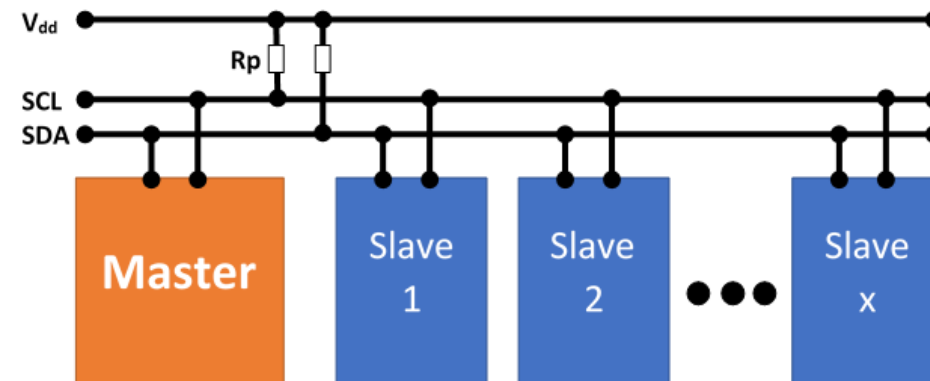
- **SPI:** SPI je serijska povezava (SPI-'Serial Peripheral Interface'), ki je namenjena za komunikacijo med bližnjimi napravami. Komunikacija zagotavlja polnodupleksni način med gospodarjem in sužnjem. Gospodar določa hitrost prenosa. Vmesnik podpira 3,2,1 žični način.
- SPI komunikacija v štiri žičnem načinu:
- **MOSI:** ('Master Out Slave In') Povezava za pošiljanje podatkov gospodarja k sužnju.
- **MISO:** ('Master In Slave Out') Povezava za prejemanje podatkov gospodarja od sužnja.
- **SCK:** ('System clock') Generirana ura-hitrost komunikacije.
- **SS ali CS:** ('Slave select' ali 'Chip select') Naslavljanje naprave iz strani gospodarja.



Periferne enote-komunikacijski vmesniki

- **IC (I²C):** Je serijska komunikacija, ki omogoča poldupleksni način. Prav tako uporablja princip gospodar-suženj. Enako kot SPI je tudi IIC namenjena za komunikacijo med bližnjimi napravami. Vodilo omogoča 10 ali 7 bitni način prenosa podatka. Naprava na IIC vodilu ima 7bitno adresno. Na začetki komunikacije gospodar naslavlja napravo s adresno potem se začne prejemanje in oddajanje podatkov.

- I2C komunikacija:
- **SCL:** Takt povezave-ura.
- **SDA:** Podatkovna linija.



Napotki za nizko energetska rabo krmilnika ter ekološki vidiki

- Vsak krmilnik je možno konfigurirati tako, da je poraba čim manjša.
- Prvi pristop ekološkega snovanja zahteva izbiro krmilnika, glede na njegove karakteristike ter velikost čipa. Velikost čipa je direktno povezana z uporabljenim materialom čipa, kot so plastika ohišja, kovinski pini ter silicij.
- Velikost mikrokrmilnika (število pinov)
- Programske nastavitve:
 - **Ura krmilnika**
 - **Napajalna napetost**
 - **Izklapljanje neuporabljenih modulov**
 - **Optimalni dizajn kode**
 - **Način pripravljenosti**

