

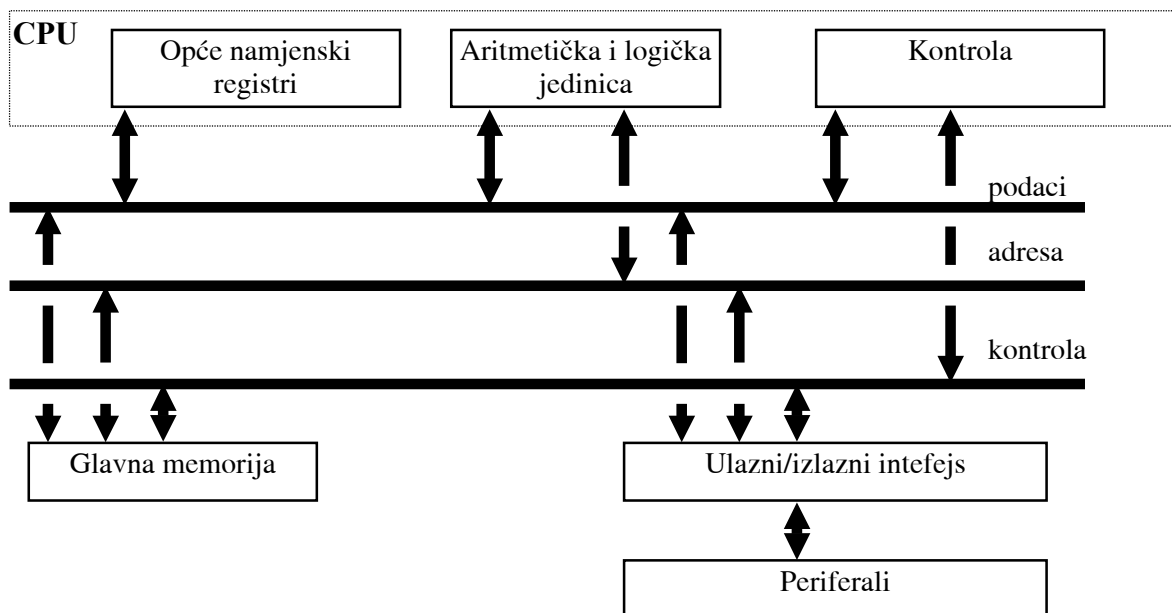
## 3

# Hardver za sisteme realnog vremena

## 3.1


## Opće-namjenski digitalni računar

Pojednostavljen blok dijagram opće-namjenskog digitalnog računara prikazan je na Slici 3.1.



Slika 3.1: Dijagram opće-namjenskog digitalnog računara

**3.1.1****Struktura sabirnice**

U fizičkom smislu sabirnica predstavlja kolekciju provodnika koji prenose električne signale. To mogu biti trake na pločicama ili žice u ribon kablju. Komponente mogu biti utaknute ili zalemljene u sabirnicu. Fizička forma sabirnice dstavlja mehaničke karakteristike sabirnice. U cilju dizajniranja uređaja (interfejsa) koji bi se vezao na datu sabirnicu nužno je poznavati električne karakteristike sabirnice:

- **nivo signala,**
- **opterećenje (t.j., linija može podržati jedno standardno TTL opterećenje), i**
- **tip izlaza ( otvoren kolektor, tri-stanja, it.d.).**

Takode nužno je poznavati kakvi su signali prisutni na samoj sabirnici, tj., funkcionalne karakteristike. Sabirnica se može podijeliti na tri funkcionalne grupe:

- **adresne linije,**
- **linije podataka i**
- **kontrolne / statusne linije.**

Ovim grupama odgovaraju pitanja: GDJE, ŠTA i KADA.

Adresne linije obezbjeđuju informaciju o tome gdje treba da se pošalje podatak, linije podataka pokazuju kakva je to informacija i kontrolne / statusne linije indiciraju kada ta informacija treba da bude poslata.

**3.1.2****Centralna procesna jedinica**

Aritmetička procesna jedinica (ALU) zajedno sa opće-namjenskim registrima i kontrolnom jedinicom (CU) sačinjava centralnu procesnu jedinicu (CPU). ALU sadrži krugove potrebne da se izvrše aritmetičke i logičke operacije (sabiranje, oduzimanje i poređenje dva broja). Može se nalaziti i posebna hardverska jedinica koja podržava množenje i djeljenje brojeva s fiksnom ili pomičnom tačkom. Opće-namjenski registri se koriste za spašavanje privremenih podataka za vrijeme procesiranja. Većina računara danas ima CPU-ove s puno registara (od 256 pa na više) i zato se za mnoge operacije među-rezultati ne moraju slati u glavnu memoriju što doprinosi bržem procesiranju.

CU kontinualno nadgleda operacije unutar CPU-a: prihvata programske instrukcije iz glavne memorije, dekodira ih i postavlja nužne putanje i vremenske cikluse za izvršenje instrukcija. Glavne osobine CPU-a koje određuju snagu procesiranja i utiču na izbor računara su:

- **dužina riječi,**
- **instrukcioni set,**
- **metode adresiranja,**
- **broj registara,**
- **brzina prenosa informacije i**
- **struktura prekida.**

Dužina riječi je važna jer osigurava adekvatnu preciznost pri računanju i dozvoljava pristup velikoj oblasti glavnog medija za spašavanje podataka unutar jedne instrukcije riječi. To se može riješiti umnožavanjem kraćih riječi, ali se tada povećava vrijeme operacija. Iznos glavnog medija za spašavanje, a da je direktno pristupačan takode zavisi i od broja adresnih linija obezbijeđenih na ulazno/izlaznom interfejsu. Indikacija inherentne preciznosti raspoložive za datu dužinu riječi prikazana je u Tabeli 3.1.

Tabela 3.1:

Dužina riječi	Opseg cjelobrojne vrijednosti	Memorijska veličina
8	- 128 do + 127	256
16	- 32768 do + 32767	64K
32	- 4 294 967 296 do + 4 294 967 295	8 M

Formula za cjelobrojni opseg =  $-2^n$  do  $2^n - 1$ , n je broj bita u riječi

Osnovni instrukcioni set je takode važan u određivanju cjelokupne performanse. Poželjne su osobine:

- **fleksibilni adresni modovi za direktno i trenutno adresiranje,**
- **relativni adresni modovi,**
- **adresna modifikacija pri upotrebi indeksnih registara,**
- **instrukcije za prenos blokova varijabilne dužine između memorijskih jedinica ili lokacija unutar memorije i**
- **pojedinačne komande za izvršavanje višestrukih operacija.**

Ove osobine redukuju zahtjeve koji se postavljaju na memoriju i poboljšavaju cjelokupnu brzinu operacije redukujući broj pristupa glavnoj memoriji potrebnih za izvršenje operacija. Posljedica opširnog i moćnog instrukcionog seta je, međutim, da efikasno programiranje u asemblerskom jeziku postaje teže. Zato je poželjno da se programira sistem koristeći jezik visokog nivoa koji ima prevodioc dizajniran za optimalnu upotrebu specijalnih osobina instrukcionog seta.

Druga važna oblast koja se mora pažljivo razmatrati prilikom odabiranja računara za upravljanje procesom je prenos informacija : unutar CPU-a , između CPU-a i memorije i između CPUa i ulazno/izlaznih uređaja. Brzina na kojoj se takvi transferi dešavaju, mogućnost da se izvršavaju operacije paralelno s procesiranjem podataka i mogućnost da se komunicira s velikim brojem uređaja je posebno važno (kritično) za aplikaciju procesnog upravljanja.

Takode je vitalan zahtjev **fleksibilna i efikasna višenivojska struktura prekida.**

**3.1.3****Memorijske jedinice**

**Memorijske jedinice** koje se koriste u računarskim sistemima upravljanja dijele se u dvije glavne kategorije: memorija s brzim pristupom i pomoćna memorija. **Memorija s brzim pristupom** je dio sistema koji sadrži podatke, programe i rezultate koji se trenutno obrađuju. Na ranim računarskim sistemima, zbog visoke cijene memorije brzog pristupa, takva memorija je bila ograničena do 32K, odnosno 64K riječi. Danas, pojeftinjenjem poluprovodničke memorije mogu se obezbijediti mnogo veće količine memorije brzog pristupa. **Glavno ograničenje sadašnjih računara je uglavnom adresni limit procesora.** Kao dodatak RAM-u imamo ROM, PROM (ili EPROM, EEPROM) memoriju namjenjenu za kritični kod unaprijed definisanih funkcija.

**Upotreba ROM-a je olakšala problem zaštite memorije od gubitka programa** zbog neispravnosti napajanja ili zbog grešaka koje se mogu desiti u softveru. **Alternativa upotrebi ROM-a zahtijeva tehnike memorijskog mapiranja koje "ulove" instrukcije koje pokušaju da se upišu (memorišu) u zaštićenu oblast.** Ova tehnika se obično koristi na većim sistemima koji posjeduju sistem memorijskog menadžmenta u cilju mapiranja programskih adresa na fizički adresni prostor. Jedno proširenje sistema dozvoljava posebnim dijelovima fizičke memorije da budu setovani samo za iščitavanje, ili čak da budu otključani kada je u pitanju pristup upisa kod upotrebe instrukcija s privilegijom.

Jedinice za memorijski menadžment su se često dodavale računarskim sistemima koji koriste CPU dizajniran u vremenu kada je brza memorija bila skupa. Ovi CPU-ovi imaju ograničen broj adresnih linija, a time ograničen adresni prostor. Jedan primjer takvih računara je serija PDP-11. Ova serija je bila ograničena na max. memoriju od 28K riječi, ali sada se to može proširiti na mnogo veću količinu memorije kroz dodatak memorijske menadžment jedinice. Jedinica radi na principu mapiranja različitih oblasti fizičke memorije na stvarnom adresnom prostoru procesora. Direktno adresabilna memorija je i dalje ograničena na 28K.

Pomoćne memorije su tipično diskovi i magnetske trake. Ovi uređaji obezbjeđuju ogroman prostor za programe ili podatke koji se ne koriste često. Njihova cijena je dosta niža od cijene memorija brzog pristupa. Međutim ove memorije zahtijevaju mnogo duže vrijeme pristupa i potrebu za hardverskim i softverskim prilagođenjem u cilju njihovog povezivanja sa CPU-om. **Pomoćni memorijski uređaji rade asinhrono u odnosu na CPU** i treba razmisliti kada se odlučuje o odgovarajućim tehnikama prenosa podataka između CPU-a, brze memorije i pomoćnih uređaja.

**U sistemima realnog vremena nije poželjno da CPU učestvuje u prenosu. U tom slučaju pored sporosti ove tehnike prenosa, CPU ne može ni računanja da izvršava.**

**Pristup koji se često koristi je direktni memorijski pristup (DMA). U ovom slučaju imamo namjenski kontroler za pomoćnu memoriju u cilju preuzimanja kontrole adresnih sabirnica i sabirnica podataka u računar.**

**3.1.4****Ulazi i izlazi**

Ulazno/izlazni intefejs (IO) je jedna od najkompleksnijih oblasti računarskog sistema. Komplikacija se pojavljuje zbog raznovrsnih uređaja koji treba da se povežu i različitih brzina prenosa podataka. Printer može operirati na 300 bauda, dok disk može zahtijevati brzinu od 500 Kbauda. Uređaji mogu zahtijevati paralelni ili serijski prenos podataka.

Opće-namjenski računar podrazumijeva operatorski interfejs (monitor, tastatura, printer, miš, skener, ploter, kamera, CD-drive, ZIP-drive, multimedija itd.).

**3.2****Procesni digitalni računar**

Ne može se bilo koji digitalni računar primijeniti za upravljanje u realnom vremenu ili druge operacije realnog vremena. Oni nisu svi podjednako jednostavno adaptibilni za takav posao. Računar za upravljanje procesom (procesni računar) treba da komunicira i s postrojenjem i s osobljem. Ova komunikacija mora biti efikasna, a procesor mora biti sposoban za pravovremeno izvršavanje u cilju obezbjeđenja upravljačkih akcija u realnom vremenu.

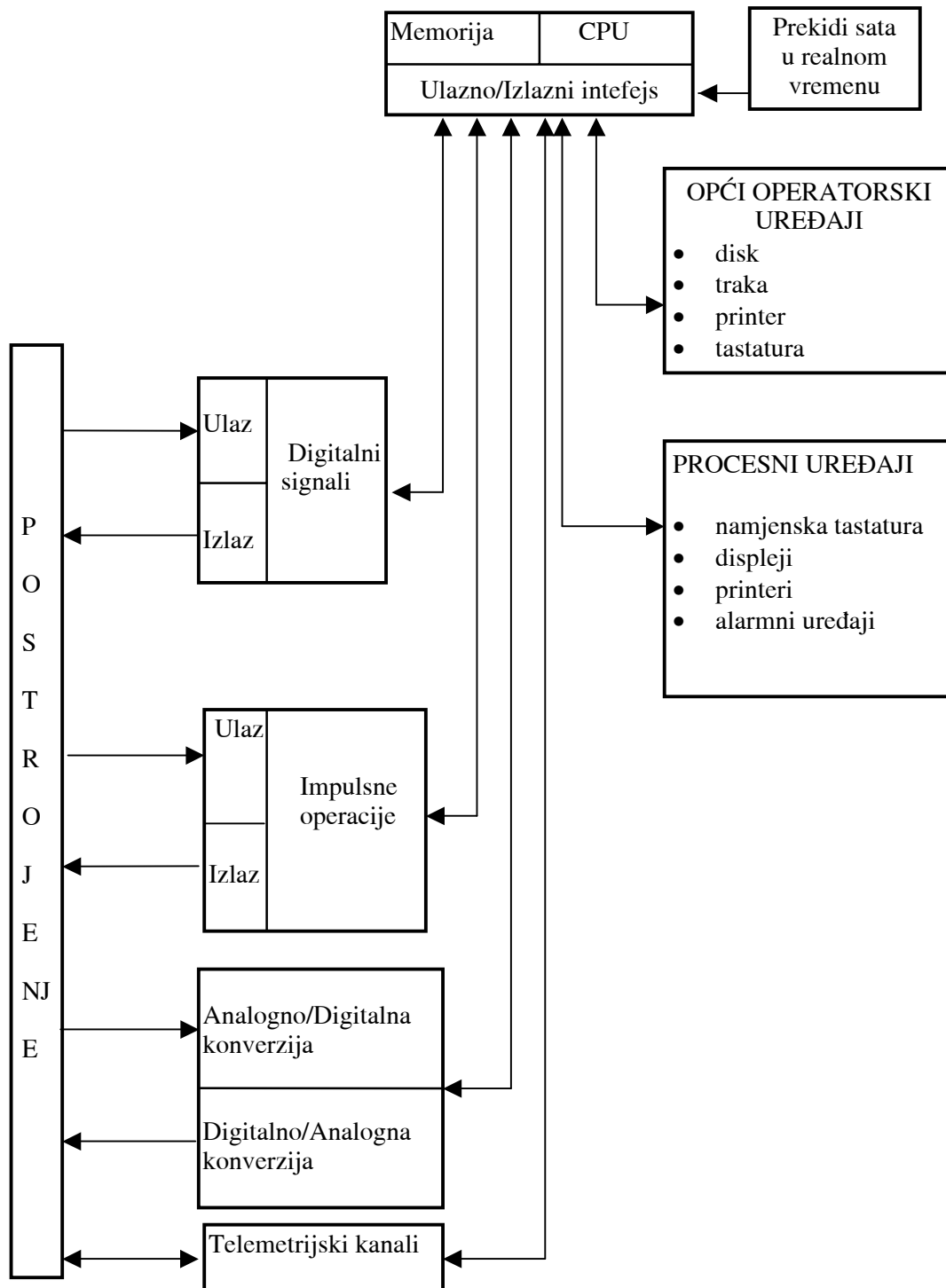
Jedna od karakteristika računara koji se koriste u sistemima upravljanja jeste da su modularni. Ova osobina obezbjeđuje lakše dodavanje posebnih specijalnih ulaznih i izlaznih modula baznoj jedinici. Mogućnosti osnovne jedinice u terminima snage procesiranja, memorijskog kapaciteta, ulazno/izlaznog frekventnog opsega i strukture prekida određuju cjelokupnu performansu sistema.

U procesnom računarau od podjedneke važnosti su ulazno/izlazni kanali preko kojih se vrši povezivanje procesne instrumentacije na računar kao i displeji i ulazni uređaji prema operatoru. Obično, instrumenti su vezani preko interfejsa; tipičan interfejs prikazan je na Slici 3.2. Takođe je važno da se omogući komuniciranje s drugim računarima jer mnogi moderni sistemi upravljanja uključuju više međusobno povezanih računara.

Instrumenti i aktuatori vezani na proces ili postrojenje mogu imati različitu formu. Oni se mogu koristiti za:

- mjerenje temperature (termoparovi, otporni termometri, termistori itd.),
- mjerenje protoka kada se koriste impulsne turbine,
- otvaranje ventila ili
- da kontrolišu tiristorske grijače.

U svim ovim operacijama postoji zahtjev za pretvaranjem digitalne veličine u fizičku veličinu, ili da se pretvara fizikalna veličina u digitalnu formu ( bit-forma u obliku računarske riječi). Nije ekonomično da se dizajniraju različiti interfejsi za svaki specifični tip instrumenta ili aktuatora i zato se traže zajedničke osobine između njih.



Slika 3.2: Dijagram procesnog digitalnog računara

**3.2.1****Procesni signali**

Većina procesnih uređaja za prilagođavanje signala se može svrstati u jednu od sljedećih kategorija:

- **Digitalne veličine:** One mogu biti binarne ( ventil je otvoren ili zatvoren, prekidač je otvoren ili zatvoren, relej može biti otvoren ili zatvoren) ili generalizovane digitalne veličine ( izlaz iz digitalnog voltmetra u BCD ili nekom drugom formatu).
- **Analogne veličine:** Termoparovi, mjerači pritiska itd., daju izlaze koji se mjere u milivoltima. Oni se mogu pojačati koristeći operaciona pojačala da se dobiju naponi u opsegu od -10 do +10 V. Konvencionalni industrijski instrumenti često imaju industrijski izlaz u opsegu od 4 do 20 mA ( strujni prenos daje mnogo bolji imunitet na šum nego prenos nisko-naponskih signala). Karakteristika ovih signala je da su kontinualne varijable i zato trebaju da budu i semplirane i kvantizirane.
- **Impulsi:** Jedan broj instrumenata, posebno uređaji za mjerenje protoka daju izlaz u formi impulsne povorke; slično povećana upotreba step-motora kao aktuatora zahtijeva impulsne izlaze. Mnogi tradicionalni kontroleri koriste impulsne izlaze, t.j., ventili koji kontrolišu protok se često pokreću prekidanjem istosmjernih ili izmjeničnih motora sa signalima ON ili OFF, dužina impulsa biva mjera željene promjene u otvaranju ventila.
- **Telemetrija:** Povećana upotreba daljinskih stanica je povećala upotrebu telemetrije. Podaci se mogu prenositi zemaljskom linijom, radio putem ili preko javne telefonske mreže. Karakteristično, kod slanja u serijskoj formi signal je obično enkodiran u standardnim ASCII karakterima. Za male količine podataka prenos je obično asinhron. Telemetrijski kanali se takode mogu koristiti na jednom postrojenju sa hijerarhijom računarskih sistema umjesto povezivanja računara nekom formom mreže.

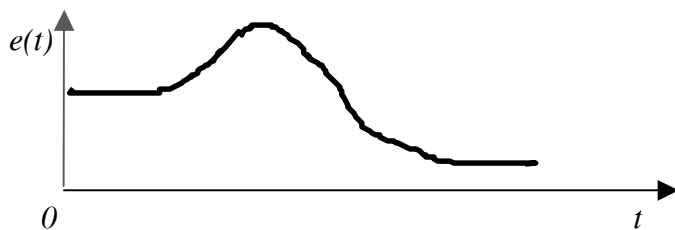
Mogućnost da se klasificiraju zahtjevi interfejsa u gornje kategorije znači da se jedan ograničen broj interfejsa može obezbijediti za procesne računare. Normalan aranžman je da se obezbijedi raznovrsnost kartica prilagođenja koje se mogu dodati u sistem da bi se načinila odgovarajuća konfiguracija za proces koji treba da se kontroliše, t.j. proces s velikim brojem temperaturnih mjerenja može imati nekoliko analognih ulaznih kartica.

**3.2.2****Tipovi signala**

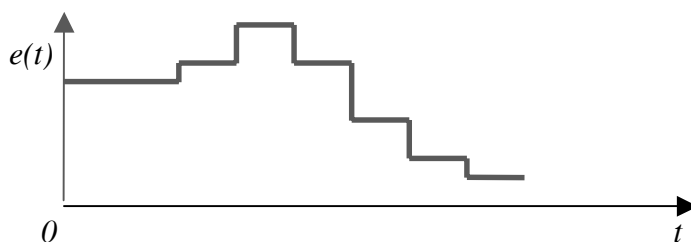
**Kontinualni signal** odlikuje se time što je jednoznačno definiran na kontinualnom vremenskom području.

- Amplituda može imati kontinualno područje vrijednosti pa je riječ o analognom signalu. (Slika 3.3 a ).
- Ukoliko amplituda ima određeni broj vrijednosti tada je riječ o signalu kvantiziranom po amplitudi (Slika 3.3 b).





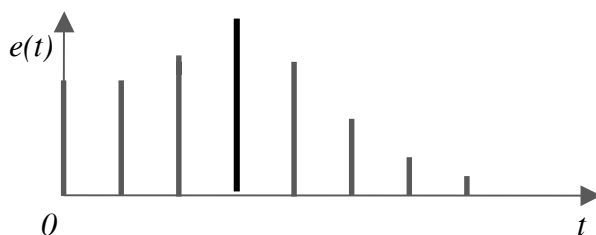
Slika 3.3 a: Vremenski kontinualan analogni signal



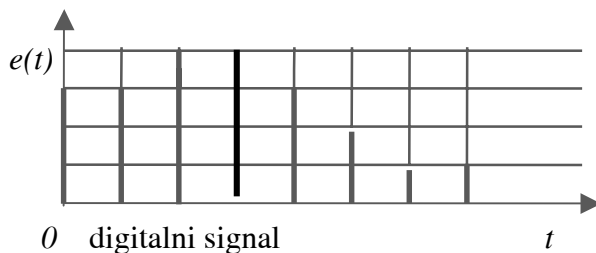
Slika 3.3 b: Vremenski kontinualan kvantiziran signal

**Diskretni signal** je definisan samo u diskretnim trenucima vremena.

- Vremenski diskretni signal kod koga amplituda može primati vrijednosti iz kontinualnog područja, označava se kao signal sa vrijednostima u diskretnim trenucima. Još se ovaj signal označava kao amplitudno moduliran impulsni slijed (Sliku 3.3 c).
- Digitalni signal je vremenski diskretni signal sa kvantiziranom amplitudom. Takav signal se u pravilu prezentira preko niza brojnih vrijednosti, npr., binarnih brojeva. Slika 3.3 d prikazuje digitalni signal. Kako se vidi ovaj signal je kvantiziran po amplitudi i vremenu.



Slika 3.3 c: Vremenski diskretni signal

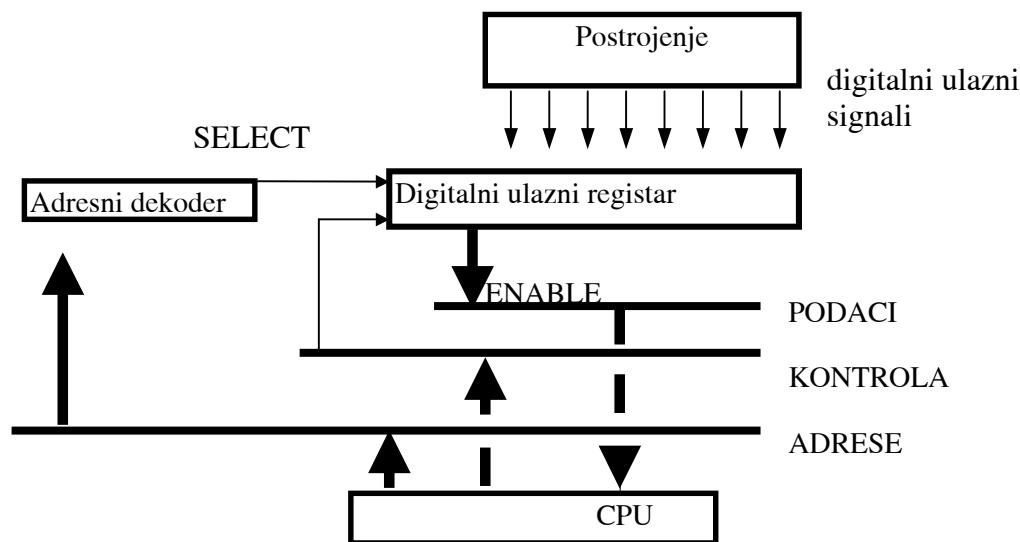


Slika 3.3 d: Digitalni signal

**3.2.3****Digitalni ulazi**

Jednostavan digitalni ulazni interfejs prikazan je na Slici 3.4. Pretpostavlja se da su izlazi iz postrojenja logički signali koji se pojavljuju na linijama vezanim za digitalni ulazni registar. Uobičajeno je da se prenese jedna riječ u jednom trenutku na računar tako da će digitalni ulazni registar imati isti broj ulaznih linija kao što je broj bita u računarskoj riječi. Logički nivoi na ulaznim linijama su tipično 0 i +5V; ako kontakti na postrojenju imaju različite logičke nivoe tada je potrebna konverzija tih signala.

Da bi pročitao linije vezane na digitalni ulazni registar, računar treba da izbací adresu na adresnu sabirnicu preko adresnog dekodera koji će odabrati digitalni ulazni registar. Kao dodatak SELECT signalu potreban je i jedan ENABLE signal, a što se može obezbijediti sa READ signalom iz kontrolne sabirnice. Odziv na SELECT i ENABLE signale je izbacivanje podataka na sabirnicu podataka preko izlaza digitalnog registra.

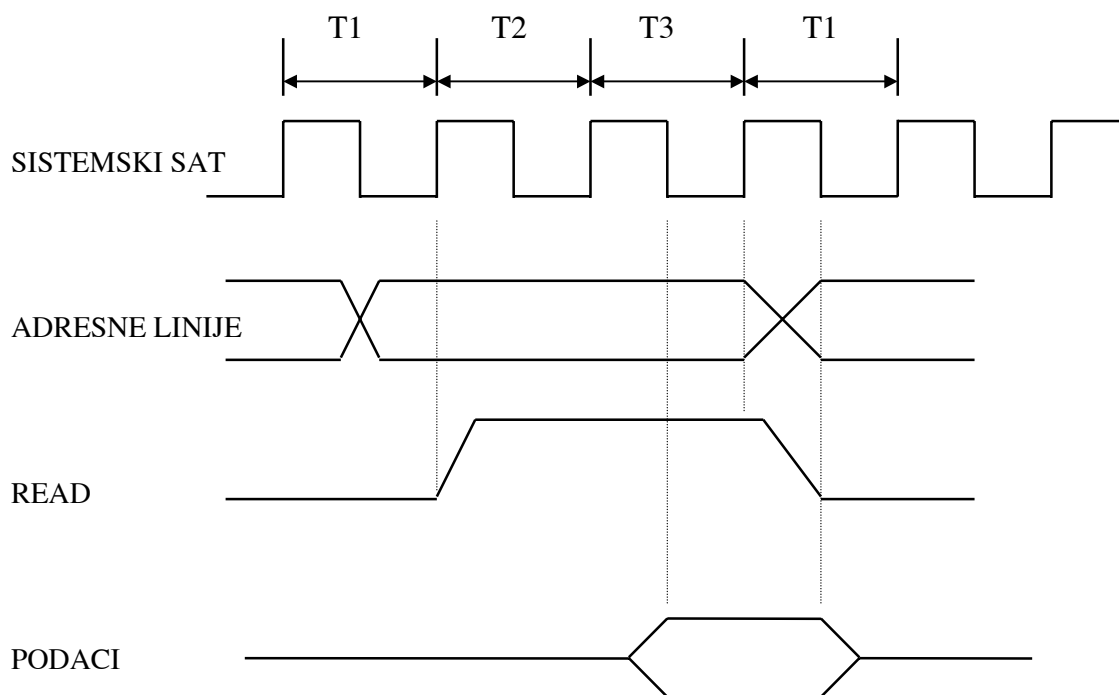


**Slika 3.4:** Ulazni digitalni interfejs

CPU diktira vremenski raspored prenosa informacija. Tipičan primjer je prikazan na Slici 3.5. Za ovaj sistem se pretpostavlja da transfer zahtijeva tri ciklusa sistemskog sata označenih s T1, T2 i T3. Adresne linije počinju da se mijenjaju na početku ciklusa T1 i njima se garantuje da su validne na startu ciklusa T2; takode na startu ciklusa T2, linija READ postaje aktivna. Za korektnu operaciju čitanja, digitalni ulazni registar treba da obezbijedi stabilne podatke na negativnu dolazeću ivicu sata za vrijeme T3 ciklusa i podaci moraju ostati na sabirnici podataka sve do negativne dolazeće ivice sljedećeg ciklusa sata.

Treba napomenuti da stvarno vrijeme potrebno za prenos podataka sa sabirnice podataka u CPU može biti mnogo kraće od vremena za koje su podaci validni. Zahtjev da se zadrže validnim od negativne ivice ciklusa T3 do negativne ivice sljedećeg ciklusa je zbog najgoreg slučaja koji se može pojaviti usljed varijacija u performansama različitih komponenta.

Sistem prikazan na Slici 3.4 može obezbijediti informaciju samo na zahtjev iz računara. On ne može indicirati računaru da informacija čeka. Postoje mnoge okolnosti u kojima je korisno da se omogući indikacija računaru da se promijenio status jedne od ulaznih linija. Da bi se to postiglo nužno je imati neku formu statusne linije koju računar može testirati ili koja se može upotrijebiti kao prekid.



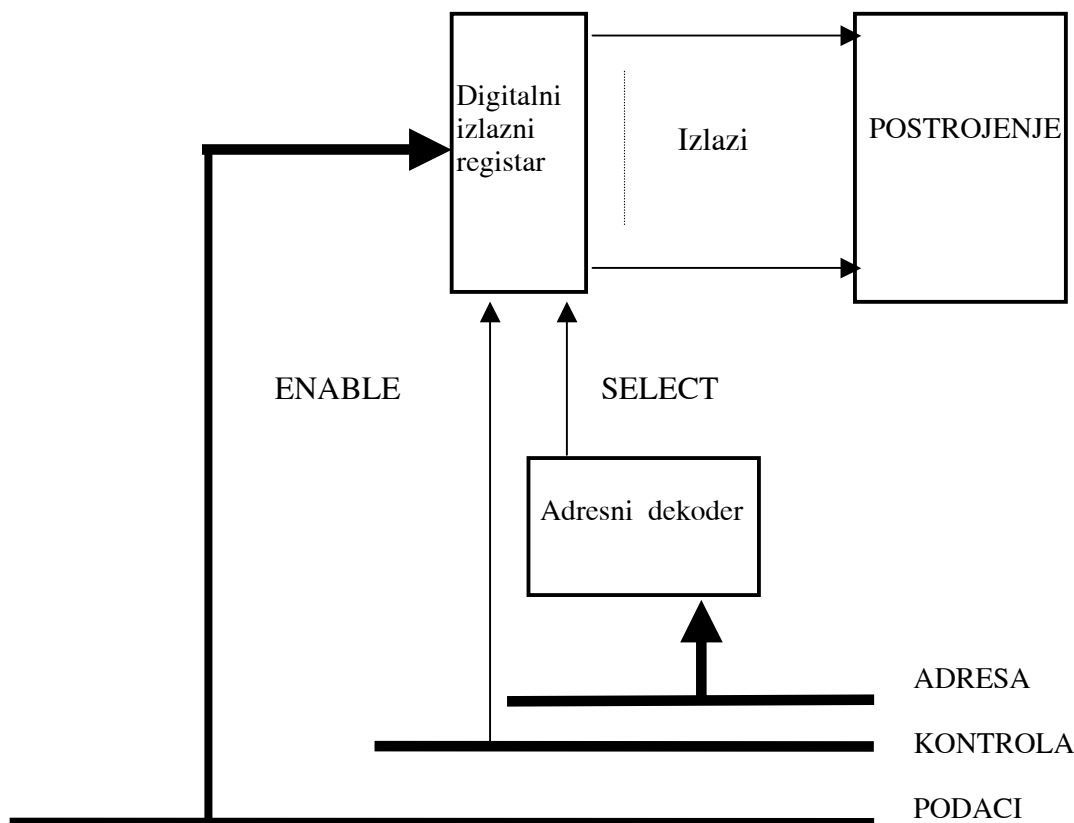
**Slika 3.5:** Pojednostavljen vremenski dijagram za operaciju READ

### 3.2.4 Digitalni izlazi

Jednostavan digitalni izlazni interfejs prikazan je na Slici 3.6. Digitalni izlaz ima jednostavnu formu izlaza. Sve što se traži je jedan registar koji može držati podatke koje izbaci računar. Da bi se izbjeglo mijenjanje podataka u registru za vrijeme mijenjanja podataka na sabirnici, izlazni registar se mora odazvati samo onda kada je adresiran. Signal ENABLE se koristi da indicira uređaju da su podaci na sabirnici stabilni i da se mogu čitati. Registar mora prihvatiti podatke u vrlo kratkom vremenu (tipično manje od jedne mikrosekunde).

Izlaz iz registra je skup logičkih nivoa, tipično 0 i +5V; ako ovi nivoi nisu adekvatni da operiraju aktuatorima nužno je pretvaranje signala. Pretvaranje se često postiže koristeći signale niskog nivoa za pokretanje releja koji nose signale višeg nivoa, a čime se istovremeno postiže i električna izolacija između postrojenja i računarskog sistema.

Opisani digitalni ulazni i izlazni interfejs se takođe može koristiti za prihvatanje BCD podataka s instrumenata, jer su to u suštini paralelni digitalni ulazni i izlazni uređaji. 16 bitni digitalni ulazni uređaj bi mogao da prenese 4 BCD cifre u računar.



Slika 3.6: Izlazni digitalni interfejs

### 3.2.5

#### Impulsni ulazi/izlazi

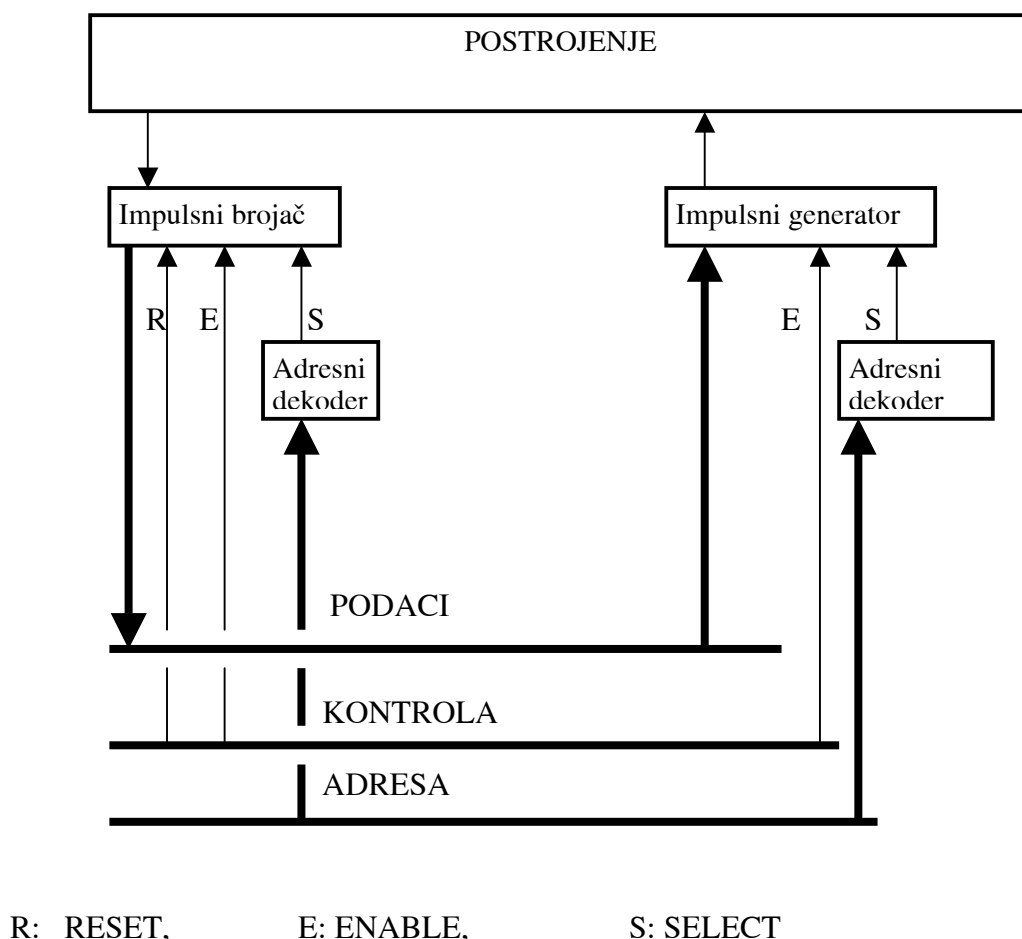
Najjednostavniji impulsni interfejs jeste jedan brojač vezan na liniju koja dolazi iz postrojenja; programska kontrola resetuje brojač i nakon fiksne vremenske veličine računar čita sadržaj računara. Tipični aranžman za ulazno/izlazni interfejs prikazan je na Slici 3.7. Prenos sadržaja iz brojača u računar je sličan onome opisanom za digitalni ulazni interfejs. Mjerenje vremenske veličine za koju se računanje izvodi, izvršava se ili od strane logičkog kruga u brojaču ili od strane samog računara. **Ako računar diktira vremenski raspored, tada signal ENABLE mora zabraniti dalje računanje impulsa.** Ako sistem računanja nije preopterećen, vanjski interfejs se može umanjiti povezujući impulsni ulaz na prekid i računanje izvoditi pod programskom kontrolom.

**Impulsni generatori mogu slati seriju impulsa fiksno trajanja ili jedan impuls varijabilne dužine.** Za prvi način slanja CPU se može koristiti da uključi ili isključi impulsni generator, ili da napuni registar s brojem impulsa koje treba prenijeti.

Impulsni izlaz se šalje i u proces i istovremeno se koristi da dekrementira registarski sadržaj. Kada registar dostigne nulu impulsni izlaz se isključuje. Sistem ovog tipa bi se mogao koristiti za pokretanje step-motora. Kada se radi o drugom načinu slanja CPU bi se mogao koristiti da digne ili spusti logičku liniju i tako pošalje jedan impuls varijabilne dužine u postrojenje ili bi se mogao upotrijebiti da napuni registar sa jednim brojem koji specificira traženu dužinu impulsa, a interfejs-logika bi se upotrijebila da generiše impuls. Sistem s varijabilnom dužinom impulsa se tipično koristi da operira procesnim ventilima.

Upotreba CPU-a za direktno uključenje, odnosno isključenje impulsne povorke je uobičajena samo u malim sistemima s nekoliko ulaznih i izlaznih linija ili gdje se ne traži velika brzina impulsa.

Za velike sisteme ili za velike brzine impulsa, normalno je da se podesi interfejs logika za generisanje stvarne impulsne povorke ili da se kontroliše trajanje impulsa.



**Slika 3.7:** Impulsni ulazno/izlazni interfejs

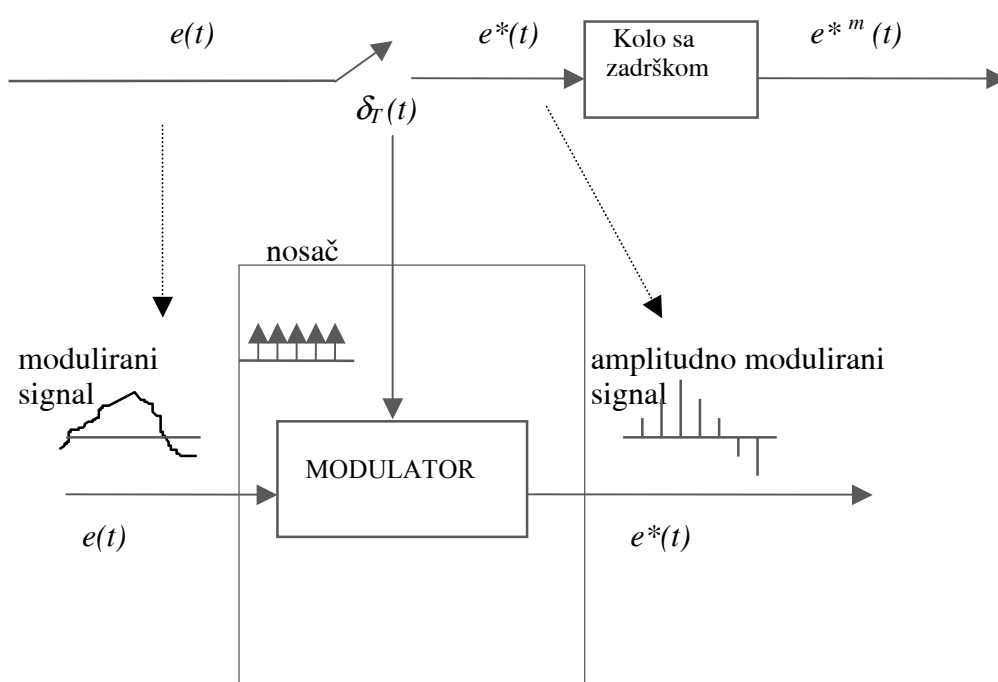
**3.2.6****Analogni ulazni sistem**

Procesni računari se odlikuju po nekim funkcionalnim jedinicama (elektronskim strukturama) koje nisu karakteristične za analogne sisteme upravljanja. Posebno se koriste elementi kao što su kolo sa zadržkom, analogno-digitalni (AD) pretvarač i digitalno-analogni (DA) pretvarač.

**Kolo za diskretizaciju i zadržku**

Na Slici 3.8 data je principijelna shema kola za diskretizaciju i zadržku signala. Prekidač u digitalnom sistemu (čije tipkanje matematički predstavlja niz jediničnih impulsa) ima funkciju da od analognog signala napravi jedan niz amplitudno moduliranih signala. Iza prekidača slijedi kolo sa zadržkom koje pamti vrijednost diskretnog impulsa na jednom specificiranom vremenskom intervalu. Prekidač i kolo sa zadržkom su važni za pravilno funkcioniranje AD pretvarača jer omogućavaju tačnu prezentaciju ulaznog signala u trenutku diskretizacije. Ova dva elementa se u literaturi označavaju kao SH (sample and hold) kolo. S matematskog aspekta, operacije prekidanja i zadržke se tretiraju kao razdvojene operacije.

U praksi je trajanje trenutka prekida zanemarivo malo u poređenju s periodom između dva prekida. U takvim slučajevima se govori o idealnim prekidaču. Idealni prekidač dozvoljava matematski jednostavan opis slijeda operacija prekida i zadržke.

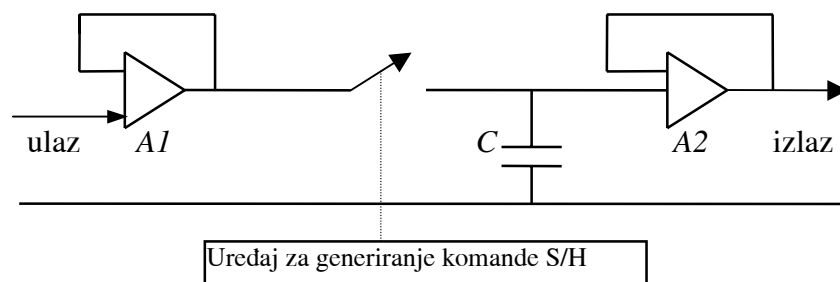


**Slika 3.8:** Prekidač kao modulator

Slika 3.9 prikazuje pojednostavljen dijagram za SH kolo. To je analogni krug (jednostavan naponski memorijski uređaj) u kome se postiže ulazni napon, a zatim

memorira na kvalitetnom kondenzatoru s karakteristikama niskog curenja i niskom dielektričnom apsorpcijom.

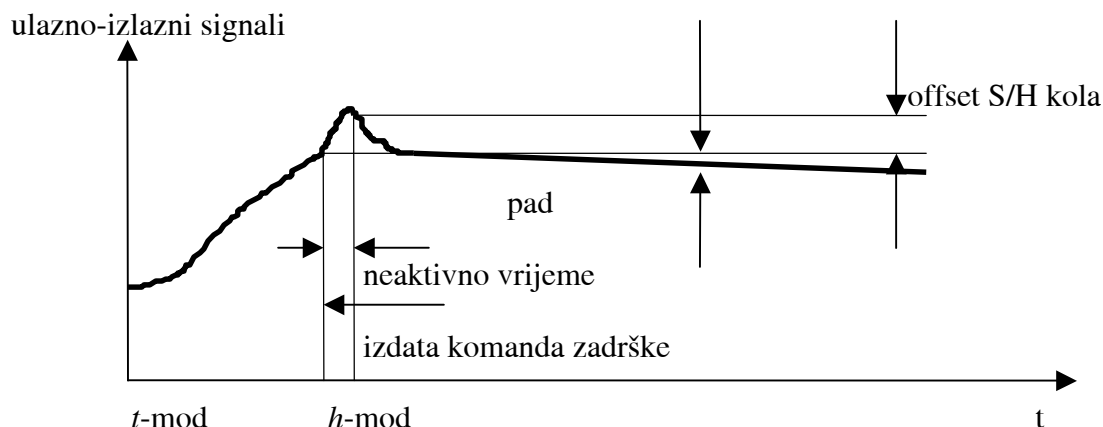
Elektronski prekidač je vezan na kondenzator. Operacioni pojačavač 1 je ulazni baferski pojačavač s velikom ulaznom impedancom. Operacioni pojačavač 2 je izlazni pojačavač.



**Slika 3.9:** Shema SH kola

## Modovi rada

Postoje dva moda rada: **mod praćenja** (tracking- $t$ ) i **mod zadržke** (hold- $h$ ). Kada je prekidač zatvoren (t.j. kada je ulazni signal spojen) tada je operativni mod  $t$ . Naboj na kondenzatoru u krugu prati ulazni napon. Kada je prekidač otvoren (ulazni signal je odspojen) operativni mod je  $h$ , a napon kondenzatora se drži konstantnim za određeni period vremena. Na Slici 3.10 su prikazana ova dva moda rada S/H kola. **S praktičnog aspekta prebacivanje sa  $t$  moda na  $h$  mod nije trenutno.** Ako je izdata komanda zadržke kada je krug u  $t$  modu, tada će on ostati u  $t$  modu još jedno kratko vrijeme prije nego što dođe do reakcije na komandu zadržke. Vremenski interval za vrijeme koga se dešava prebacivanje (t.j., vrijeme kada je mjerena amplituda nepouzdana) zove se **neaktivno vrijeme**. Izlazni napon za vrijeme  $h$ -moda može neznatno opasti. Ovaj pad se može redukovati koristeći izlazni pojačavač s velikom ulaznom impedancom i veoma niskom strujom polarizacije.

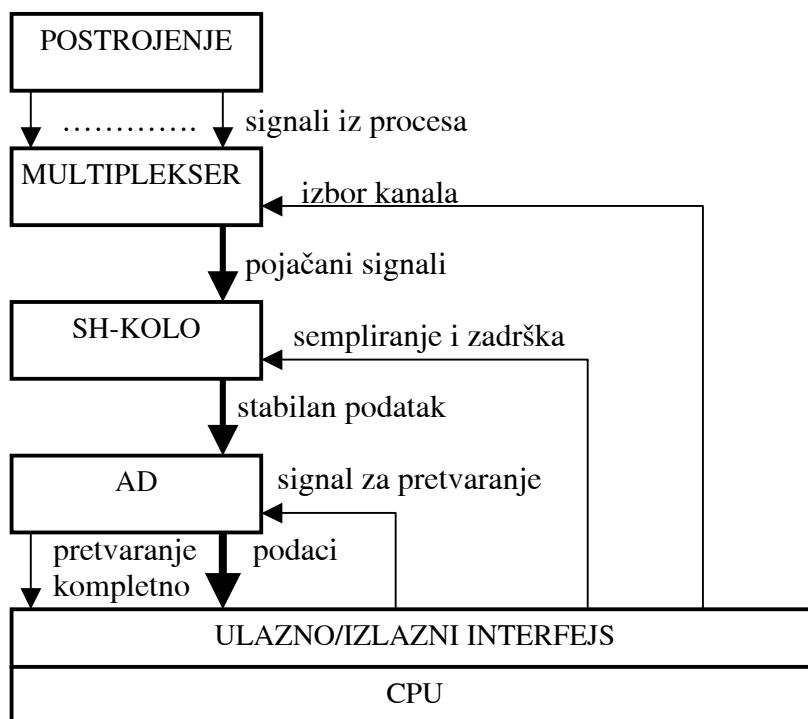


**Slika 3.10:** Modovi rada SH kola

Pretvaranje analognih mjerenja u digitalna mjerenja uključuje operacije sempliranja i kvantizacije. Kako je prikazano na Slici 3.11 mnogi AD pretvarači uključuju kolo za sempliranje i zadržku na ulazu u uređaj. Vrijeme uzimanja uzorka ove jedinice je mnogo kraće od vremena sempliranja koje zahtijeva proces. Ova jedinica se koristi da spriječi promjenu u veličini koja se mjeri za vrijeme njenog pretvaranja u diskretnu veličinu.

Normalan metod rada analognog ulaznog interfejsa sastoji se u tome da računar izdaje jedan START ili SAMPLE signal (tipično jedan kratak impuls od jedne mikrosekunde), a kao odziv na to SH-kolo se prebacuje u mod SAMPLE za jedan kratak period. Nakon toga počinje kvantizacioni period. Kvantizacija se može izvršavati od nekoliko mikrosekundi do nekoliko milisekundi. Po kompletiranju pretvaranja AD pretvarač aktivira READY (logička jedinica) ili COMPLETE (logička jedinica) liniju koja se ili proziva od strane računara ili se koristi za generisanje prekida.

Odvojeni pretvarači za svaki analogni ulaz se ne koristi jer bi to bio skup pristup. Umjesto toga koristi se jedan multiplexer koji prebacuje ulaze sa nekoliko linija na jedan AD pretvarač, kao što je rikazano na Slici 3.11. Za signale visokog nivoa (0-10 V) multiplexer je obično kompaktan uređaj (baziran na tranzistorskim prekidačima). Za signale niskog nivoa (milivolti) koji dolaze sa termoparova ili davača pritiska, koriste se živini releji kao prekidačke jedinice. Za ove signale obično se koristi i programabilno pojačalo između multiplexera i SH kola. Sa sistemom na bazi multiplexera, sekvenca operacija je mnogo kompleksnija nego s jedno-kanalskim uređajem, a to se odražava na program u računaru koji treba da izvrši izbor odgovarajućeg ulaznog kanala.



**Slika 3.11:** Analogni ulazni sistem



## AD pretvarač

Definicija analogno-digitalnog pretvaranja podrazumijeva diskretizaciju analognog signala i pretvaranje u binarni broj. AD pretvarač transformira analogni signal u digitalni kao numerički kodiranu riječ ograničene dužine, a koja se sastoji iz jedinica i nula. S praktičnog stanovišta AD pretvarač sadrži operacije: **diskretizacija i zadržka, kvantizacija i kodiranje**. AD pretvarač sa svakim takt impulsom u trenutku  $kT$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) preda jednu binarnu riječ digitalnom regulatoru.

U primjeni su najčešći sljedeći tipovi AD pretvaranja:

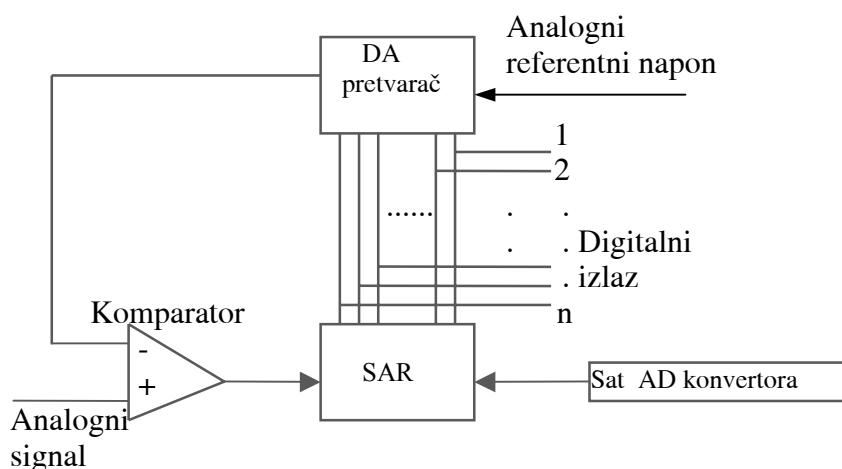
- **tip sukcesivne aproksimacije**
- **tip brojača**
- **integrirajući tip**
- **paralelni tip**

Svaki od ovih tipova ima svoje prednosti i slabosti. Glavni faktori izbora su **brzina pretvaranja, tačnost i cijena**.

AD pretvarač na bazi sukcesivne aproksimacije je najčešće korišteni tip. Slika 3.12 prikazuje strukturu ovog AD pretvarača.

### Princip rada

Sukcesivni aproksimacioni registar (SAR) prvo uključuje najznačajniji bit (polovina maksimuma) i poredi ga s analognim ulazom. Komparator odlučuje da li da ostavi bit uključen ili da ga isključi. Ako je analogni ulaz veći najznačajniji bit ostaje uključen (logička jedinica). Pri sljedećem ciklusu uključuje se drugi najveći bit i tada se poredi analogni ulazni napon s tri-četvrtine maksimuma. Nakon kompletiranja  $n$  poređenja, digitalni izlaz SAR-a indicira sve one bitove koji su zadržali logičku jedinicu i proizvodi željeni digitalni kod. Tako ovaj tip AD konvertora postavlja jedan bit za svaki ciklus, i tako zahtijeva samo  $n$  ciklusa da generiše  $n$  bita, gdje  $n$  predstavlja rezoluciju pretvarača u bitima. **Broj bita  $n$ , koji određuje dužinu riječi definiše preciznost pretvaranja.** Vrijeme potrebno za pretvaranje je aproksimativno 2  $\mu$ sec ili manje kod 12-bitnog pretvaranja. Spomenuti ciklus se ne odnosi na ciklus sistemskog sata.



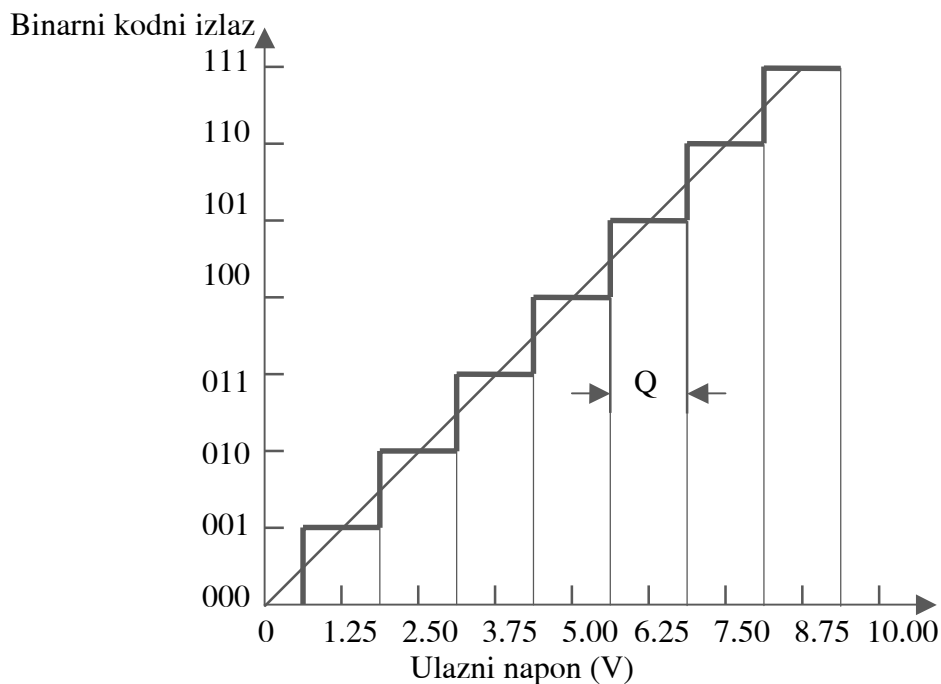
Slika 3.12: Shema sukcesivnog AD pretvarača

Stvarni AD pretvarači se razlikuju od idealnih jer uvijek proizvode neku grešku kao n.pr., **greška razdešenosti (offset)**, **greška linearnosti**, **greška pojačanja** i **greška kvantizacije**.



**Slika 3.13:** Tipovi grešaka AD konvertora

Standardni brojni sistem koji se koristi za procesiranje digitalnih signala je binarni brojni sistem. U ovom sistemu kodna grupa sadrži  $n$  impulsa od kojih svaki indicira *on* (1) ili *off* (0). U slučaju kvantizacije,  $n$  on-off impulsa može predstaviti  $2^n$  amplitudnih nivoa ili izlaznih stanja. Slika 3.14 prikazuje odnos između analognog ulaza i digitalnog izlaza za jedan unipolarni 3-bitni A/D pretvarač ili kvantizer. Napomenimo da takav 3-bitni pretvarač ima  $2^3 = 8$  izlaznih stanja.



**Slika 3.14:** Ulazno-izlazna karakteristika unipolarnog 3-bitnog A/D pretvarača

Kvantizacioni nivo  $Q$  je opseg između dvije susjedne tačke odluke.

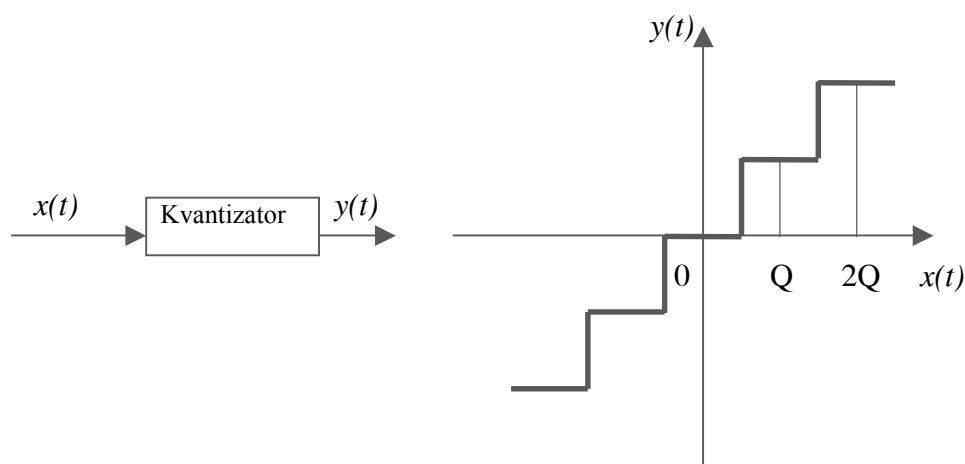
$$Q = \frac{\text{FSR}}{2^n} \quad (3.1)$$

FSR= Full Scale Range (Puni opseg)

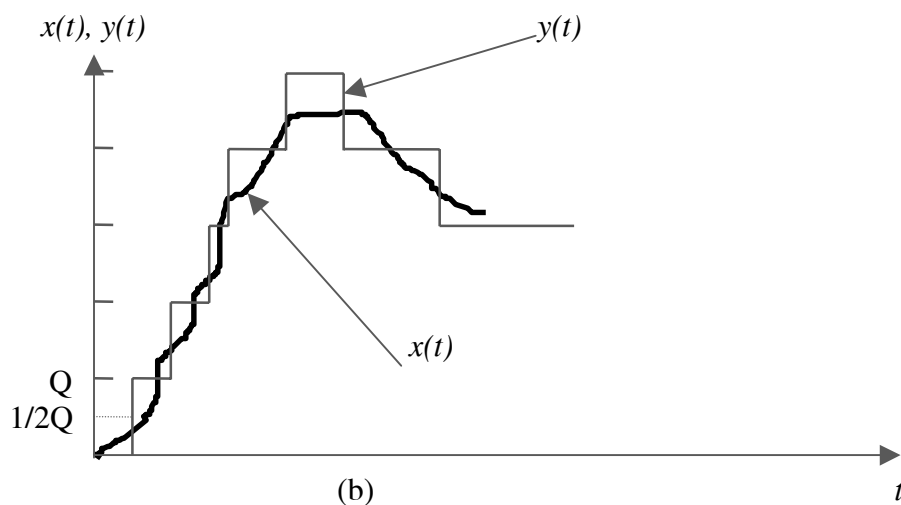
Kako je broj bita u digitalnoj riječi konačan AD konverzija rezultira u konačnoj rezoluciji. To jest, digitalni izlaz može podrazumijevati samo konačan broj nivoa, i zato jedan analogni broj mora biti zaokružen na najbliži digitalni nivo. Zato bilo koje AD pretvaranje uključuje kvantizacionu grešku. Veličina kvantizacione greške iznosi:

$$0 \leq |e(t)| \leq \frac{1}{2} Q \quad (3.2)$$

Ova greška zavisi od finoće kvantizacionog nivoa i može se načiniti poželjno malom smanjujući kvantizacioni nivo ( t.j., povećavajući broj bita  $n$  ). U praksi postoji maksimum za broj bita  $n$  i zato postoji uvijek neka greška kvantizacije.



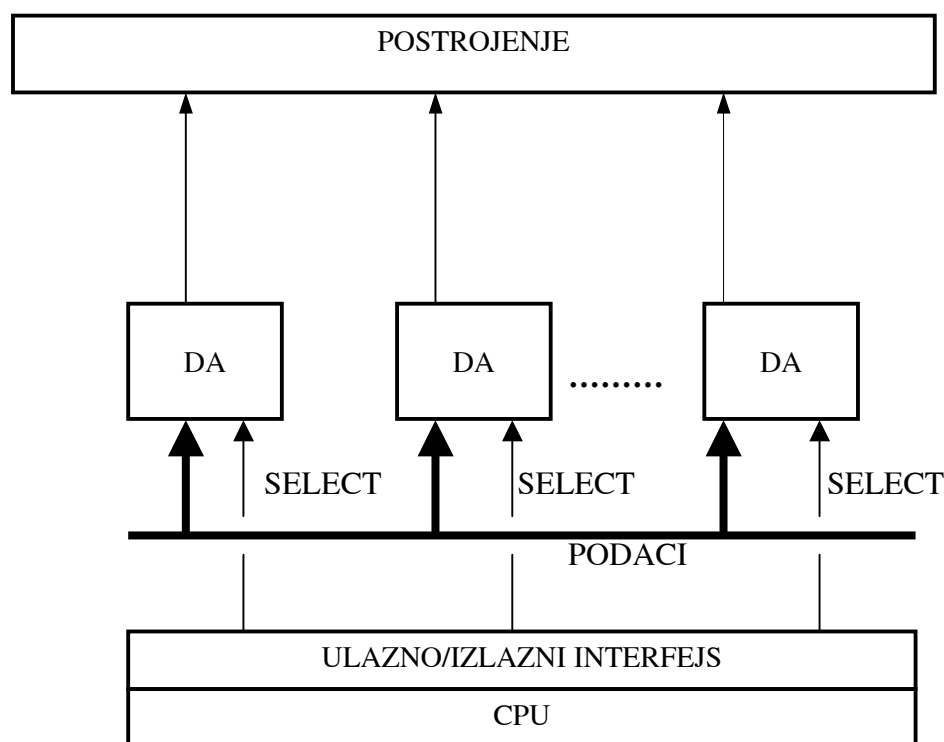
Slika 3.15 a: Blok dijagram kvantizatora i njegova ulazno-izlazna karakteristika



Slika 3.15 b: Analogni ulaz  $x(t)$  i diskretni izlaz  $y(t)$ .

**3.2.7****Analogni izlazni sistem**

Funkcija DA pretvarača je jednostavnija (a samim tim i jeftinija) od AD pretvarača i zato je normalno obezbijediti jedan pretvarač za svaki izlaz. Tipična shema je prikazana na Slici 3.16. Svaki DA pretvarač se veže na sabirnicu podataka, a odgovarajući kanal se odabira izbacujući adresu kanala na adresnu sabirnicu. DA pretvarač djeluje kao ćelija sa zaključavanjem i čuva prethodno poslatu vrijednost sve dok se ne pošalje sljedeća vrijednost. Vrijeme pretvaranja je u ovisnosti od tehnologije. Analogni izlaz je tipično u opsegu od  $-5V$  do  $+5V$ ,  $-10V$  do  $+10V$  ili strujni izlaz od 0 do 20mA ili od 4 do 20 mA.

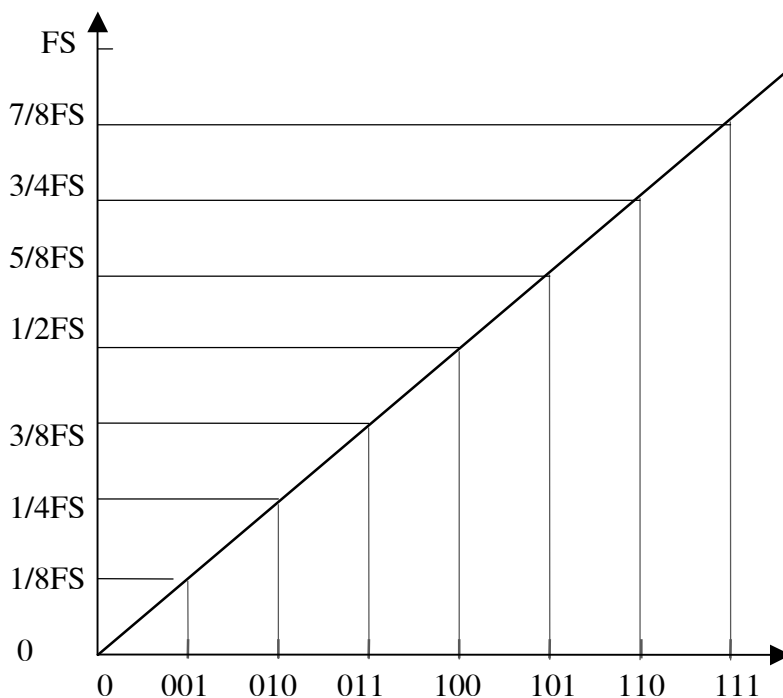


**Slika 3.16:** Analogni izlazni sistem

**DA pretvarač**

DA pretvarač transformira ulaznu binarnu riječ u analogni električni signal na svom izlazu. Za puni opseg digitalnog ulaza postoji  $2^n$  različitih analognih vrijednosti uključujući i nulu (Slika 3.17). Tako za DA konverziju postoji odnos jedan prema jedan između digitalnog ulaza i analognog izlaza.

Posmatrajmo sada Sliku 3.18. Ulazni otpori operacionog pojačala imaju težinske vrijednosti u binarnom obliku. Kada logički krug prima binarnu "1", elektronski prekidač spaja otpor na referentni napon. Kada logički krug prima binarnu "0", prekidač veže otpornik na masu. DA pretvarači koji se koriste u praksi rade tako što se istovremeno dovedu svi bitovi (binarni broj) na digitalni ulaz. Tako se generiše analogni izlazni napon koji odgovara binarnoj riječi (Slika 3.17).

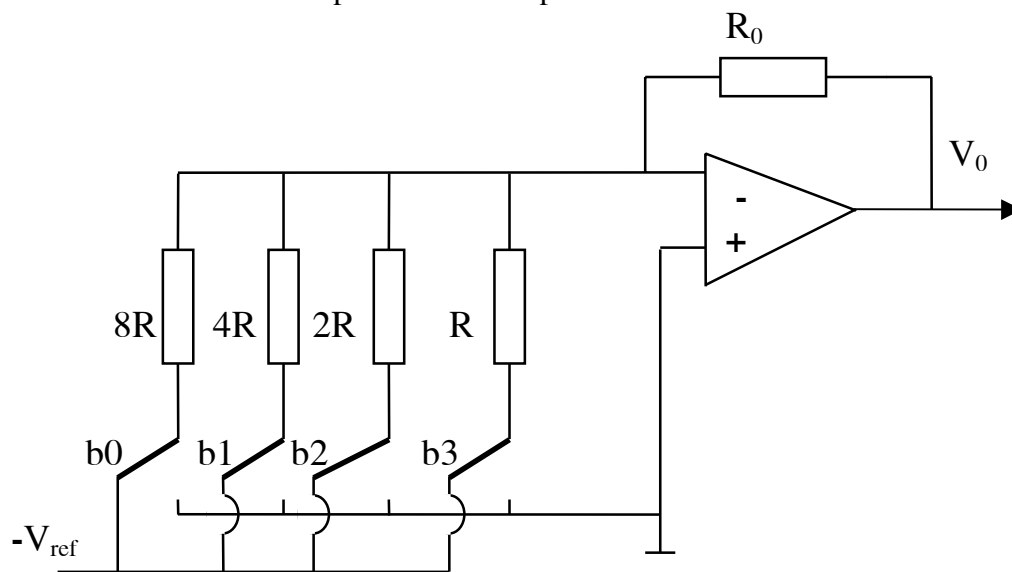


**Slika 3.17:** Veza između digitalnog ulaza i analogne pripadajuće vrijednosti

Za pretvarač prikazan na slici 3.18, ako je binarni broj “b3 b2 b1 b0”, od kojih svaki b-koeficijent može imati vrijednost "0" ili "1" tada je izlaz

$$V_0 = \frac{R_0}{R} \left( b_3 + \frac{b_2}{2} + \frac{b_1}{4} + \frac{b_0}{8} \right) V_{ref} \quad (3.3)$$

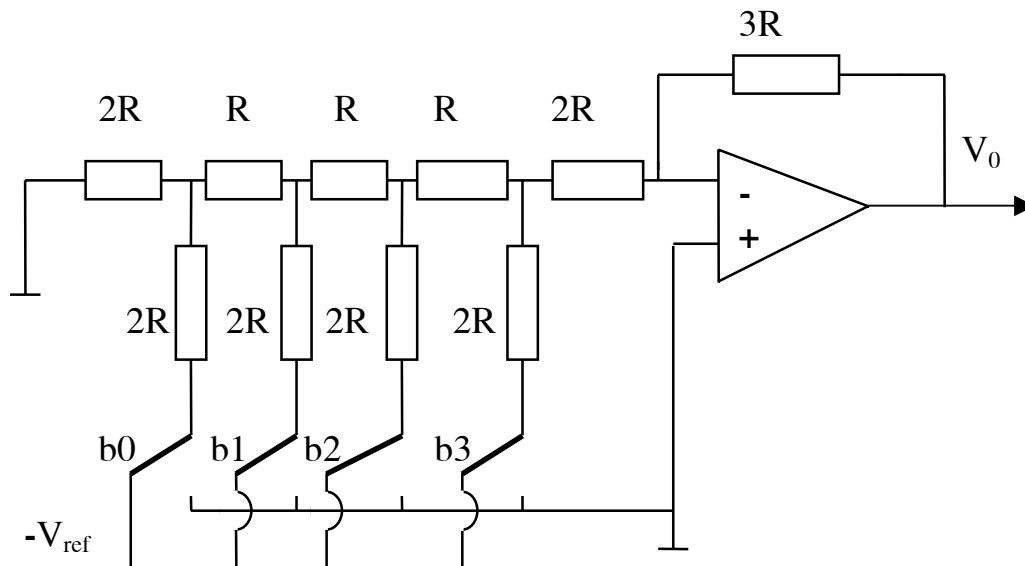
Treba primijetiti da s dužinom riječi, odnosno s porastom broja bitova opseg vrijednosti otpornika postaje sve veći, a što za posljedicu ima smanjenje tačnosti AD pretvaranja. Slika 3.19 prikazuje shematski dijagram 4-bitnog DA pretvarača koji koristi R-2R mrežu. Svi otpornici (izuzev povratnog otpornika koji je 3R) su R ili 2R. To znači da se može postići visok stepen tačnosti.



**Slika 3.18:** Shematski dijagram DA pretvarača na principu težinskih otpornika

Za pretvarač prikazan na slici 2.13, ako je binarni broj “b3 b2 b1 b0” od kojih svaki b-koeficijent može imati vrijednost "0" ili "1" tada je izlaz

$$V_0 = \frac{1}{2} \left( b_3 + \frac{b_2}{2} + \frac{b_1}{4} + \frac{b_0}{8} \right) V_{ref} \quad (3.4)$$



**Slika 3.19:** Shematski dijagram D/A pretvarača na principu R-2R mreže

### 3.2.8

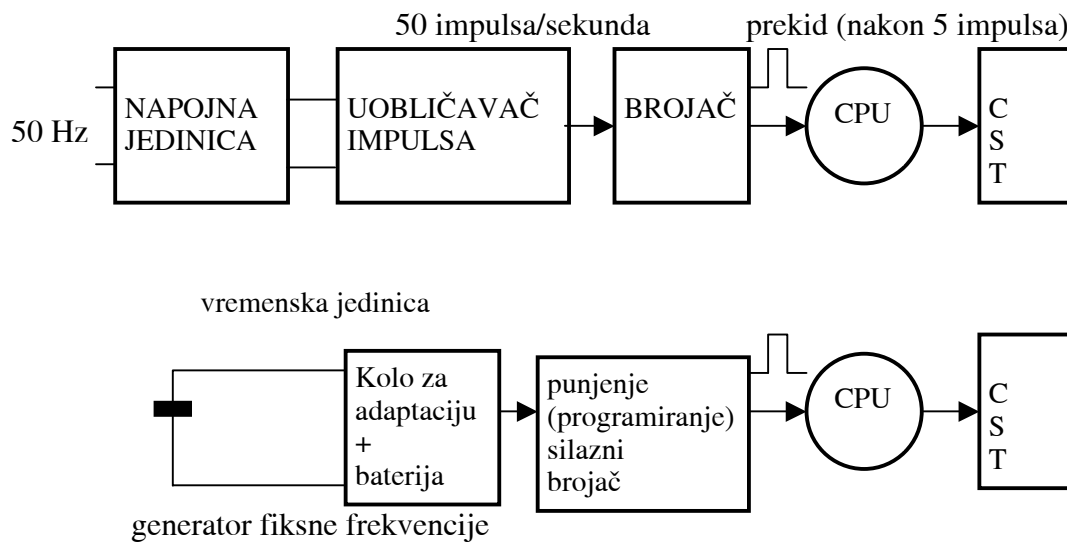
#### Sat realnog vremena

Sat realnog vremena je vitalni uređaj za računarske sisteme upravljanja. U mnogim sistemima to je jedan impulsni generator s precizno kontrolisanom frekvencijom.

Veoma česta forma sata bazira se na naizmjeničnoj mrežnoj napojnoj jedinici koja se koristi da generiše impulsnu frekvenciju od 50 ili 60 promjena u sekundi. Koristeći neznatno složenije krugove mogu se generisati i veće frekvencije, n.pr., 100 ili 120 impulsa u sekundi. Impulsi se koriste da generišu prekide, a softver računa prekide i tako prati vrijeme. **Ako se zahtijeva veća preciznost u mjerenju vremena tad se koristi hardverska vremenska jedinica tajmer.** Impulsni generator fiksne frekvencije (obično na bazi kristala) se koristi da stepuje silazni brojač. Kada postigne nulu on generiše jedan prekid i ponovo puni iznos za računanje. Prekid aktivira softver za sat realnog vremena. Interval u kome vremenska jedinica generira jedan prekid, a time i preciznost sata se kontrolira punjenjem vrijednosti (za računanje) u hardversku vremensku jedinicu.

Izbor osnovnog intervala sata, t.j., preciznost sata, treba da bude kompromis između tražene preciznosti tajminga i opterećenja CPU-a. Ako je odabrana jako visoka preciznost (mala vrijednost intervala) tada će CPU potrošiti veliki dio svog vremena zbog opsluživanja sata i neće biti sposoban da izvrši neki drugi posao.

Sat realnog vremena baziran na upotrebi vremenske jedinice i softvera se zaustavlja s padom napajanja, a na restartu je potrebno unijeti tekuću vrijednost realnog vremena. Današnje izvedbe sata realnog vremena raspolažu s baterijskom rezervom. Realno vrijeme se može pročitati s kartice, a kartica se može programirati da generiše prekid na specifikiranoj frekvenciji. Taj prekid prihvata CPU za ažuriranje brojača sistemskog ticka (CST)



**Slika 3.20:** Izvedbe sata realnog vremena

**3.3****Modul Multi-LAB/2a**

Multi-LAB/2a je PC-kartica namjenjena za zadatke akvizicije i upravljanja. Modul se može jednostavno adaptirati novim zadacima.

Na hardverskom nivou, modul je kompletan i neovisan 80x86 računar na PC-glavnoj ploči.

Posjeduje slobodu u programiranju i nije fundamentalno ograničen na bilo koji specifičan zadatak. Kako može da radi i neovisno od PC-a, imamo mogućnost istinskog paralelnog procesiranja dva CPU-a. Prirodno je da ovo rezultira velikim brzinama procesiranja bez potrebe za intervencijom od strane PC-a. Na samom modulu se nalazi i multitasking operativni sistema realnog vremena (RTOS), što znatno olakšava programiranje.

Performansa samog PC-a se može uvećati instaliranjem jednog ili više ovakvih modula; na ovaj način PC postaje istinski multiprocesorski sistem.

Bez modifikacija, modul se može instalirati u praktično sve računare koji su kompatibilni sa standardima: IBM-PC, -XT, -AT, AT-386, AT-486, and Pentium. Kako se termin kompatibilnost veoma generalno definira od nekih proizvođača postaje nužno načiniti razliku između hardverske i softverske kompatibilnosti.

S aspekta softverske kompatibilnosti, nema zahtjeva na PC. Modul radi pod svim trenutno raspoloživim operativnim sistemima ( sve verzije MS-DOS, OS/2, Windows, Windows NT, XENIX, QNX, UNIX, i njihovim varijantama) bez ograničenja.

S aspekta hardverske kompatibilnosti, jedina dva zahtjeva su: fizičke dimenzije modula i kompatibilnost sa sabirnicom (ISA ili EISA sabirnica). Oba ova zahtjeva su zadovoljena IBM standardom primjenjenim na PC, PC-AT, 386, 486 i Pentium sisteme. Modul može raditi u 8-bitnom i 16-bitnom ISA-slotu bez modifikacija.

Multi-LAB/2a modul posjeduje sljedeće ulaze, izlaze i interfejse:

- **2 tajmera ( 1 x 12-bit i 1 x 16-bit); oba su sposobna da proizvode prekide. 16-bit tajmer se može upotrijebiti kao brojač širine impulsa, za mjerenja frekvencije i perioda i u funkciji interfejsa za inkrementalni enkoder,**
- **7-bitni tajmer analognog ulaza za automatsku kontrolu vremena uspostavljanja signala,**
- **8-bitni tajmer koji generiše brzinu serijskog RS-232 interfejsa,**
- **2 eksterna ulaza za prekide, aktivna ivica programabilna,**
- **16 analognih ulaza,**
- **2 analogna izlaza,**
- **16 digitalnih ulaza,**
- **8 digitalnih izlaza**
- **Na modulu LED; eksterni TTL signal je obezbijeden,**
- **Montiranje i pokretanje, bez kratkospojnika.**



Modul je takođe opremljen sa RAM-om(128 K). Nakon resetovanja modul se puni sa RTOS-om. Korisnik može napuniti i svoje programe u RAM modula koji će se izvršavati u njegovom multitasking okruženju.

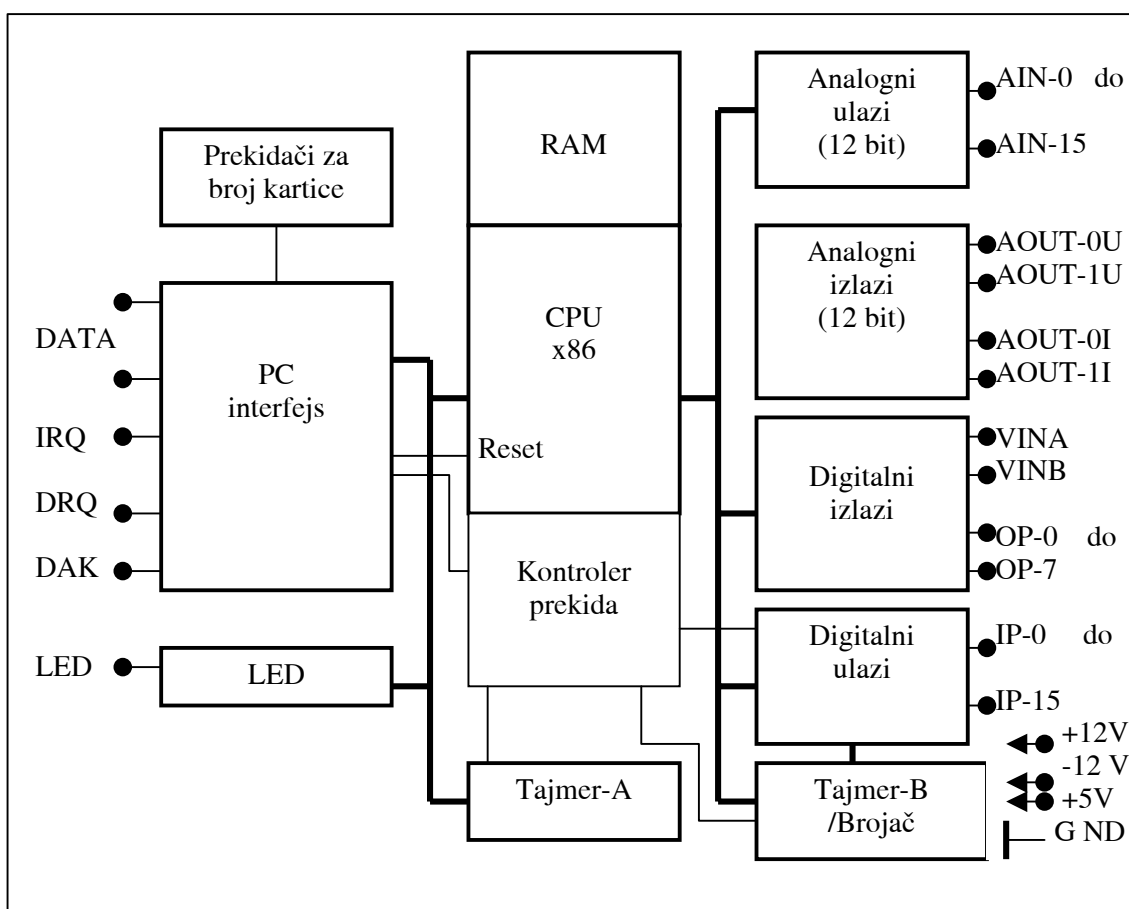
Primjeri u C-izvornom kodu su uključeni u modul s ciljem demonstriranja načina adresiranja modula na PC-u. U istu svrhu uključene su i PC-biblioteke programa.

Na raspolaganju je i paralelni interfejs namjenjen za komunikaciju sa PC-om. Može se koristiti za razmjenu podataka i programa. Interfejs uvijek ima 16-bitnu širinu, a modul može da radi i u PC 8-bitnom slotu bez modifikacija.

Na raspolaganju je i veliki broj programskih paketa za softversku podršku modulu. Oni dozvoljavaju kontrolu (peko menija) parametara akvizicije i upravljanja, grafičke prezentacije, izlaza (mjerenih podataka) na plotere i printere i složeniju procjenu podataka (uključujući i statistiku).

Korisnik može kreirati programe realnog vremena, a koji će se izvršavati na ovom modulu koristeći PC programske jezike Borland C++ (16-bit) i Borland PASCAL.

Na Slici 3.21 dat je dijagram funkcionalnih blokova modula Multi-LAB/2a. Tehničke karakteristike modula kao i programiranje funkcionalnih blokova se nalaze u SORCUS-ovoj literaturi MultiLAB/2 [SORCUS97].



**Slika 3.21:** Blokovska struktura modula MULTI-LAB/2a