

Jedini jezik kojim "govore" današnji digitalni računari je mašinski jezik. Većina signala iz prakse, kao na primer amplituda, nivo, napon, jačina struje, temperatura, pritisak, težina, vremenski period itd, nisu u formatu koji računar može da prihvati.

Zato sistem za akviziciju podataka mora da konvertuje takve signale u oblik koji je razumljiv računaru.

Sistem za akviziciju podataka koji ima modernu koncepciju sastoji se od: multipleksera analogno-digitalnog konvertora, digitalno-analognog pretvarača (D/A), kola za uzorkovanje (*Sample/Hold*), pojačavača, brojača/ tajmera (vremenskih kola), i drugih specijalnih kola.

Jedna od najvažnijih karakteristika sistema za akviziciju podataka za personalne računare je da su sva ta specijalna kola integrisana u jedan kompatibilan sistem.

Ako se tome doda odgovarajući softver, dobijamo sistem za čije korišćenje nije potrebno detaljno poznavanje sistema ili programa.

Pri izboru takvog sistema, potrebno je upoznati se sa osnovnim problemima iz ove oblasti.

Osnovna funkcija analognog ulaznog sistema je da analogni signal pretvori u odgovarajući digitalni format.

“Analogno-digitalni konvertor” (A/D) je elektronsko kolo, koje originalnu analognu informaciju transformiše u podatak koji računar može da razume (digitalni, binarni kod).

Kao što je rečeno pored A/D konvertora, potrebni su i pojačavači, kola za uzorkovanje i odabiranje (S/H), multiplekseri i kola za uobličavanje signala.

Analogno-digitalni konvertori

Danas postoji nekoliko tipova A/D konvertora. Među njima najpoznatiji su A/D konvertori sa "sukcesivnom aproksimacijom", "integrirajući" i "paralelni" (*flash*) konvertori.

Najbrži i najskuplji među njima su paralelni A/D konvertori.

Zbog svoje kompleksnosti ovi konvertori su ograničeni na primene čija rezolucija nije veća od 8 bita u komercijalnim varijantama.

Većina primena sistema za akviziciju podataka zahteva rezoluciju od 12 bita ali je sve veći broj primena koje zahtevaju rezolucije od 14, pa i 16 bita.

Nije teško zaključiti da su konvertori veće rezolucije ne samo skuplji, već i proporcionalno sporiji.

Zbog toga, pre izbora rezolucije A/D konvertora i sistema, potrebno je napraviti detaljnu analizu zahteva sistema.

Neki senzori (davači) imaju veoma širok dinamički opseg.

Dinamički opseg je razlika između najvećeg i najmanjeg (tek prepoznatljivog) nivoa signala.

Pri tome, ne treba mešati pojmove "dinamički opseg" i "tačnost" senzora. Na primer, senzor čija je tačnost 0.5%, može da ima dinamički opseg od 80 dB.

Za to je potreban sistem sa rezolucijom od najmanje 14 bita.

Kao što je već rečeno, da bi se postigao što veći dinamički opseg, neke primene zahtevaju rezoluciju od 16 bita.

Interesantno je napomenuti da primena čiji je opseg 16-bita, ne mora da koristi 16-bitni A/D konvertor.

Povećana osetljivost se može postići upotrebom pojačavača sa programabilnim pojačanjem tzv. PGA.

Pojačanjem signala 10 ili 100 puta, može se efektivno povećati rezolucija za 3 ili 6 bita.

Tako primenom 12-bitnog A/D konvertora i instrumentacionog pojačavača sa pojačanjem od 10, odnosno 100 puta, može se dobiti efektivni dinamički opseg od 15, odnosno 18 bita

Standardni 12-bitni sistem ima rezoluciju od 1:4096, ili približno 0,025% od vrednosti punog opsega (tzv. "pune skale").

16-bitni sistem ima rezoluciju od 1:65536, ili približno 0,0015% od ove vrednosti.

Prema tome, rezolucija ne samo da određuje dinamički opseg, već i ograničava ukupnu tačnost sistema.

S druge strane, povećanjem samo rezolucije, neće se povećati tačnost sistema pako ostali elementi, kao pojačavači, kola za uzorkovanje i dr. ne mogu da održe tu tačnost.

Ako je promena ulaznog signala manja od minimalne rezolucije sistema, tada će taj 'događaj' ostati neprimećen.

Na primer, ako A/D konvertor ima rezoluciju od 12 bita, a pri tome se ne koriste predpojačavači, onda će promena signala manja od 2.44 mV (a pri opsegu od 10 V) ostati neprimećena od strane sistema za akviziciju.

Za brzine akvizicije veće od 100 K uzoraka/sekundi, najpopularnija je konverzija sa sukcesivnom aproksimacijom (SAR).

Pri tome se postižu brzine i preko 300 K uzoraka/sec.

Princip konverzije sa sukcesivnom aproksimacijom se sastoji u poređenju "pretpostavljenih" binarnih vrednosti i stvarnih amplituda signala, sve dok se ne postigne jednakost tih vrednosti, odn. da uneta greška ("*residue*") bude manja od rezolucije sistema.

Za ovaj način konverzije, potrebno je da ulazni signal ostane stalan za vreme cele konverzije.

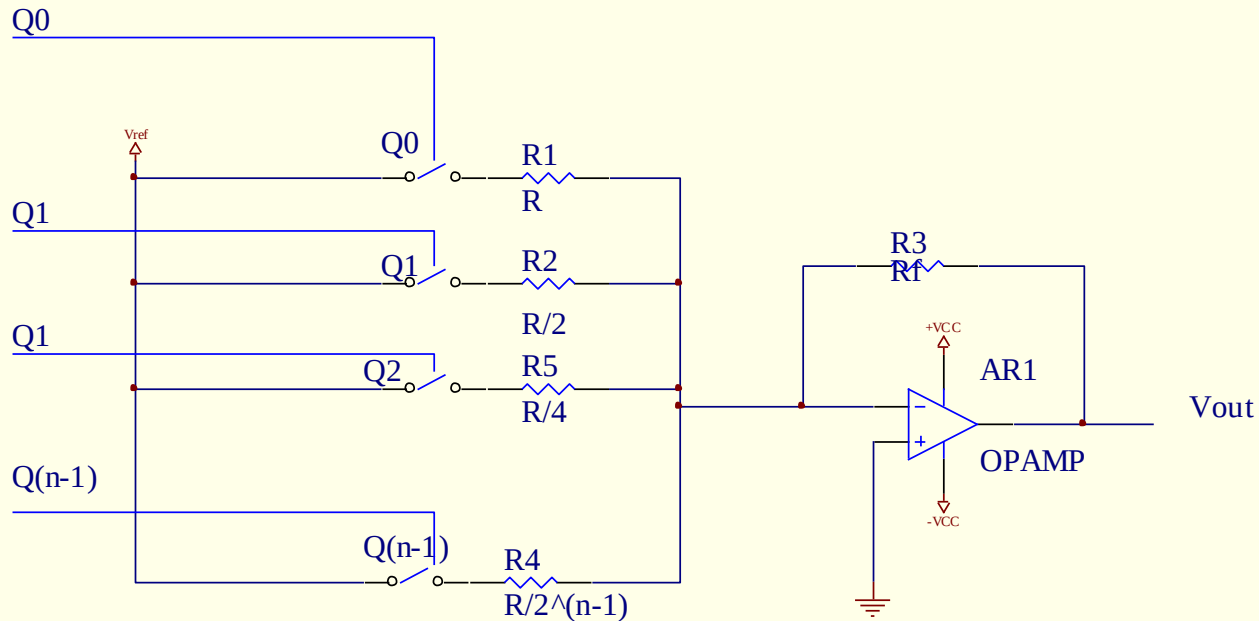
U protivnom, može doći do velikih grešaka.

Zato se u ovu svrhu koriste kola za uzimanje i zadržavanje uzoraka ("*Sample/Hold*", odn. S/H kola).

Digitalno-analogni konvertori

- DA težinski (bazirani na binarnim težinama)
- R-2R lestvica
- PWM modulacija

DA bazirani na binarnim težinama



$$I_0 = \frac{V_0}{R_0}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_{n-1} = \frac{V_{n-1}}{R_{n-1}}$$

$$I_f = \frac{V_{out}}{R_f}$$

$$I_0 + I_1 + \dots + I_{n-1} = -I_f$$

$$\frac{V_0}{R_0} + \frac{V_1}{R_1} + \dots + \frac{V_{n-1}}{R_{n-1}} = -\frac{V_{out}}{R_f}$$

$$V_0 = V_1 = \dots = V_{n-1} = V_{ref}$$

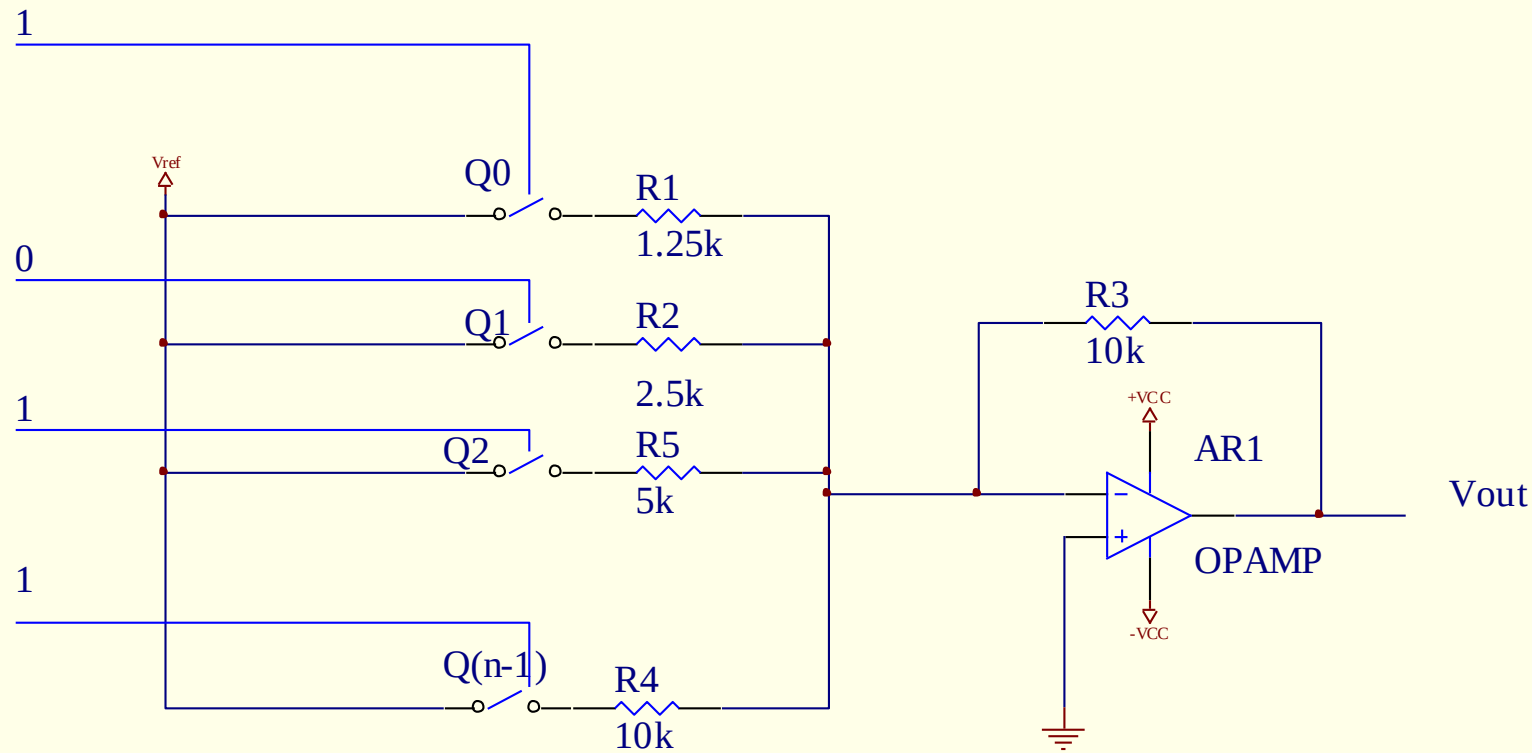
$$R_0 = \frac{R}{2^{n-1}}; R_{n-1} = R$$

$$\frac{V_{ref}}{R} (2^0 + 2^1 + \dots + 2^{n-1}) = -\frac{V_{out}}{R_f}$$

$$\frac{V_{ref}}{R} (Q_0 2^0 + Q_1 2^1 + \dots + Q_{n-1} 2^{n-1}) = -\frac{V_{out}}{R_f}$$

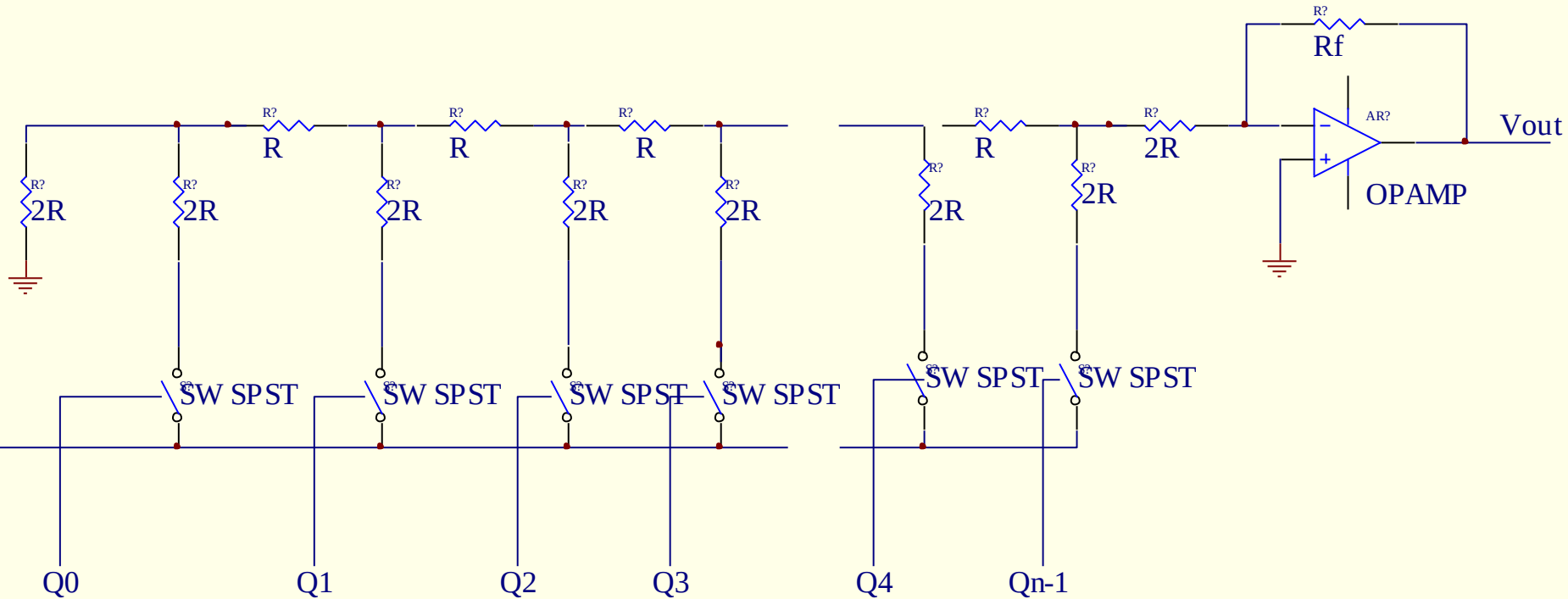
$$-R_f \frac{V_{ref}}{R} (Q_0 2^0 + Q_1 2^1 + \dots + Q_{n-1} 2^{n-1}) = V_{out}$$

Rad ovog DAC se zasniva na radu sumirajućih operacionih pojačavača. Svaki od ulaznih otpornika ima dva puta veću vrednost od prethodnog. Ulazni naponi se porede u odnosu na vrednost svakog od ulaza. Ovi DAC zahtevaju veliku preciznost otpornika R.



$$\begin{aligned}
 & -R_f \frac{V_{ref}}{R} (Q_0 2^0 + Q_1 2^1 + \dots + Q_{n-1} 2^{n-1}) = \\
 & -10k \frac{V_{ref}}{10k} (1 \bullet 2^0 + 1 \bullet 2^1 + 0 \bullet 2^2 + 1 \bullet 2^3) = \\
 & -11 \bullet V_{ref}
 \end{aligned}$$

R-2R lestvica



$$-R_f \frac{V_{ref}}{6R} \frac{1}{2^{n-1}} (Q_0 2^0 + Q_1 2^1 + \dots + Q_{n-1} 2^{n-1}) = V_{out}$$

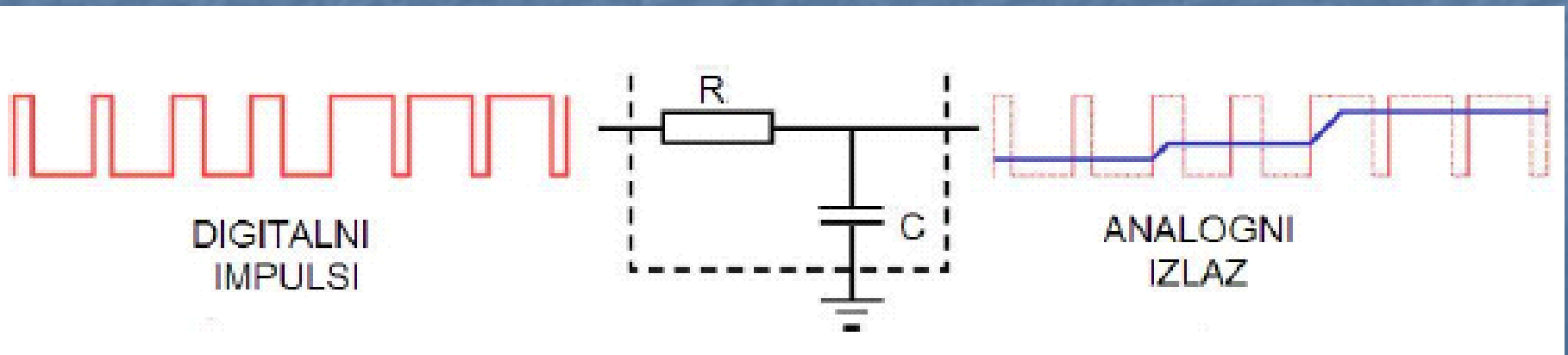
PWM modulacija

Osnovne komponente:

Digitalna linija, RC pasivni filter

Digitalna linija se koristi za generisanje povorke impulsa stalne učestanosti.

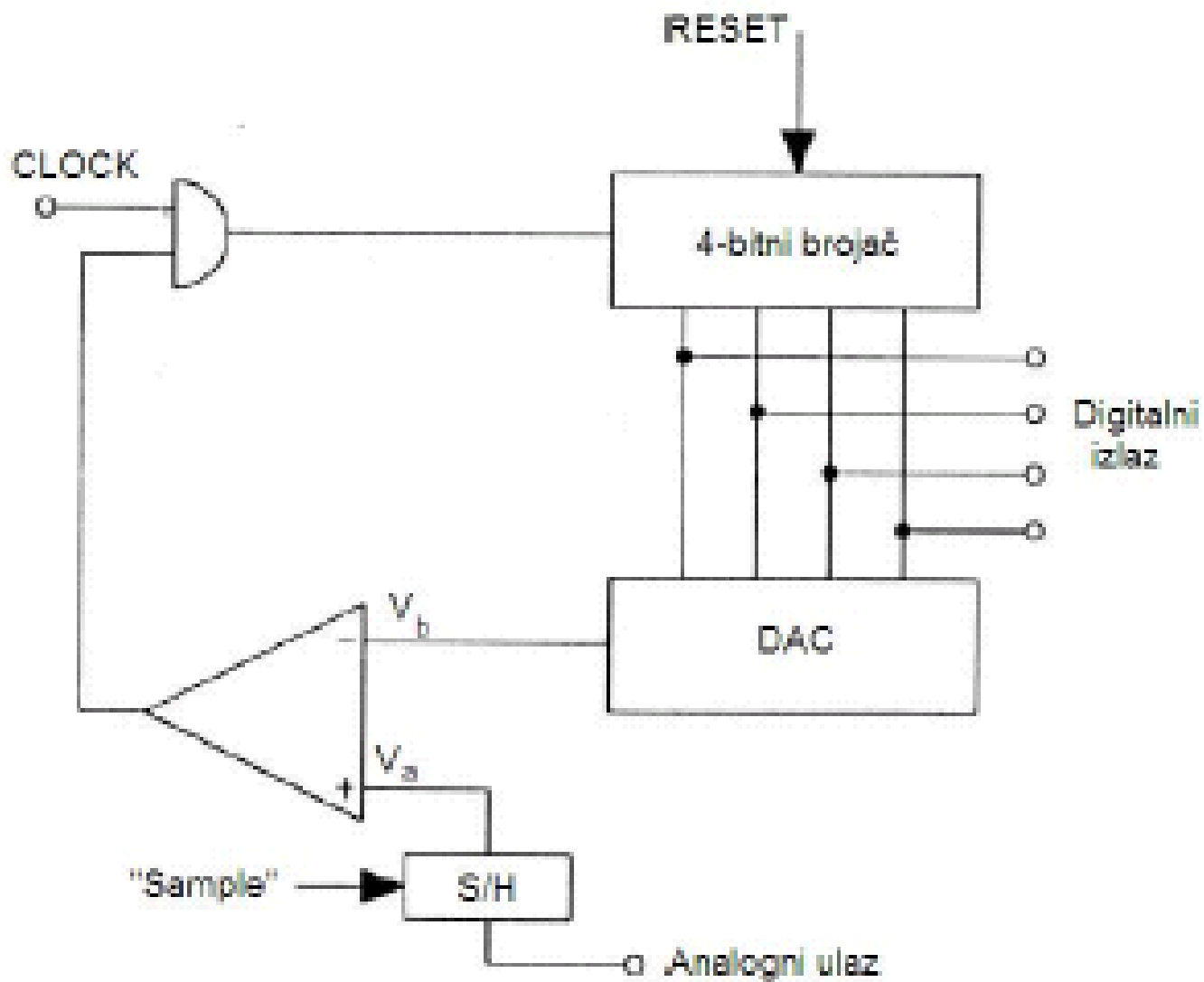
Širina impulsa (*duty cycle*) je proporcionalna željenom analognom izlazu. Povorka impulsa se propušta kroz low-pass filter, koji generiše napon koji je proporcionalan srednjem vremenu u stanju HIGH.



Analogno-digitalni konvertori

- Jednonagibni
- Sukcesivne aproksimacije
- Dvojni nagib
- Paralelni ili flash

Jednonagibni AD

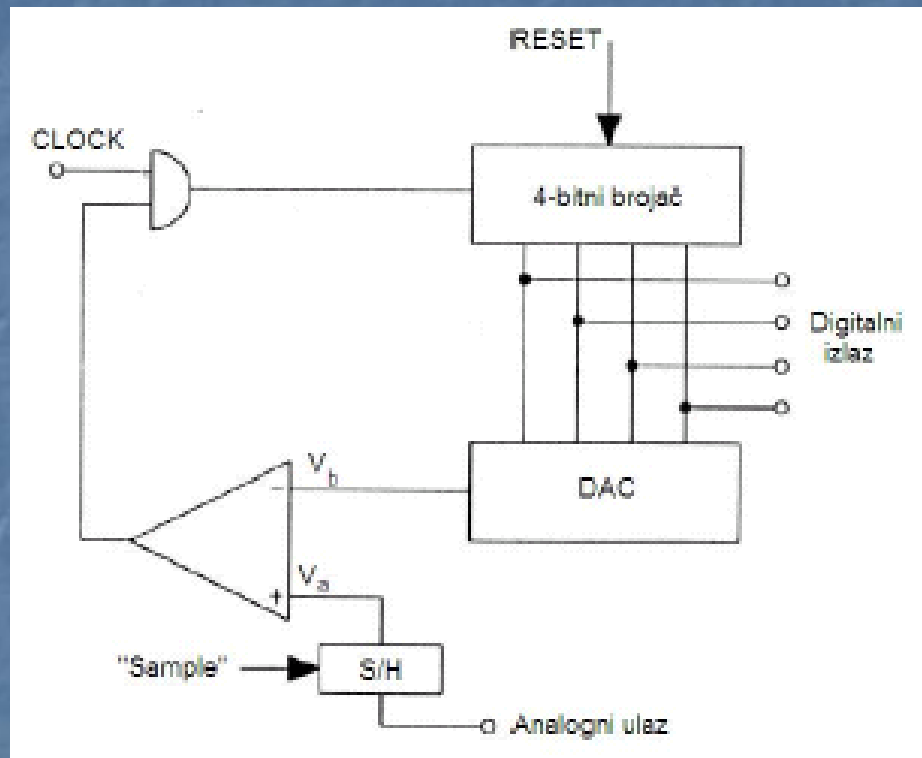


Jednonagibni AD

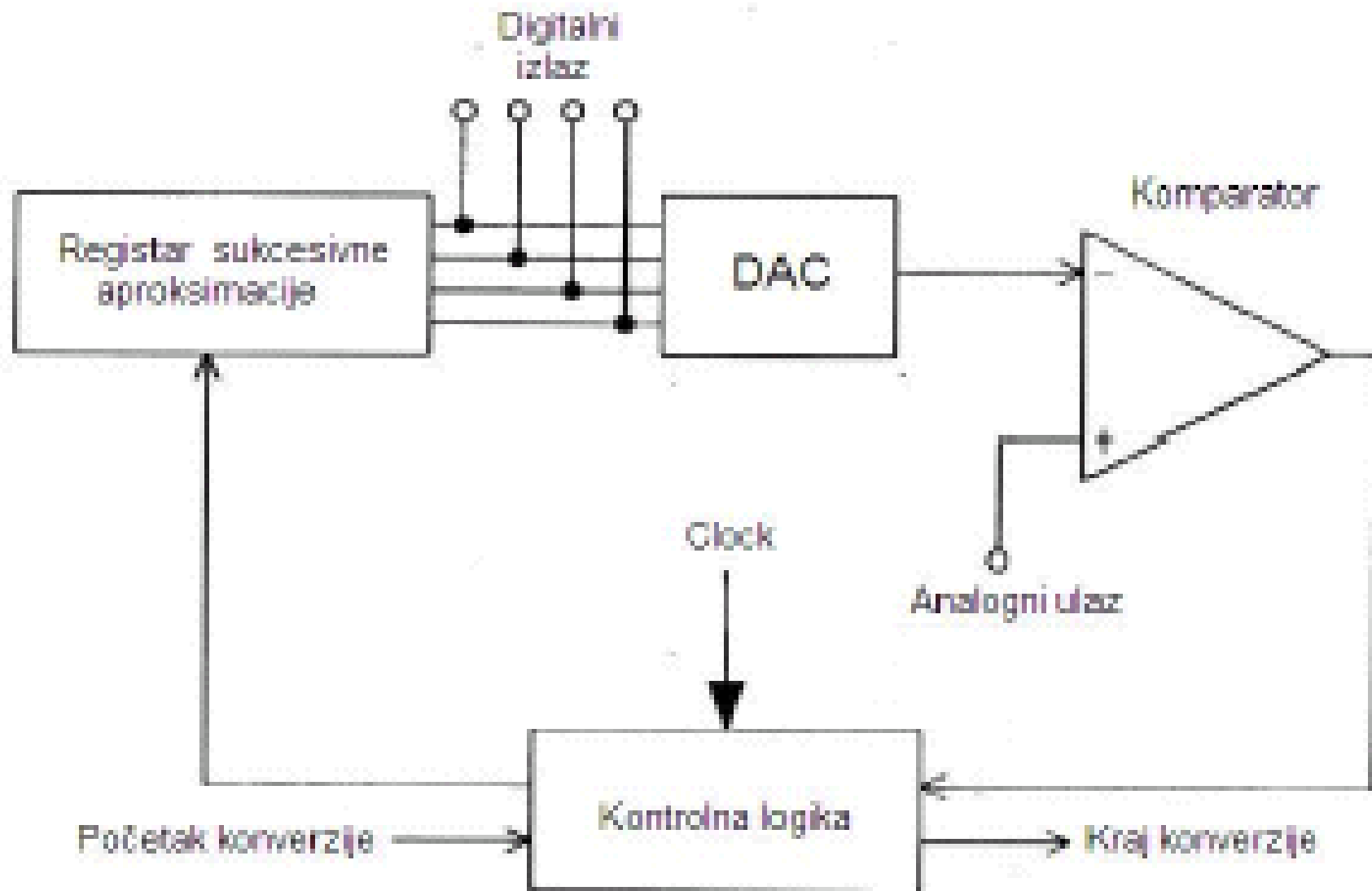
- Brojač se resetuje
- Analogni napon se odabira
- Dok je $V_A > V_B$ brojač radi
- Kada $V_A = V_B$ brojač staje i binarni kod se šalje na izlaz

Ovo je relativno spor način konverzije.

Procedura ima 2^N koraka, gde je N rezolucija konverzije.



AD konvertori sa sukcesivnim aproksimacijama



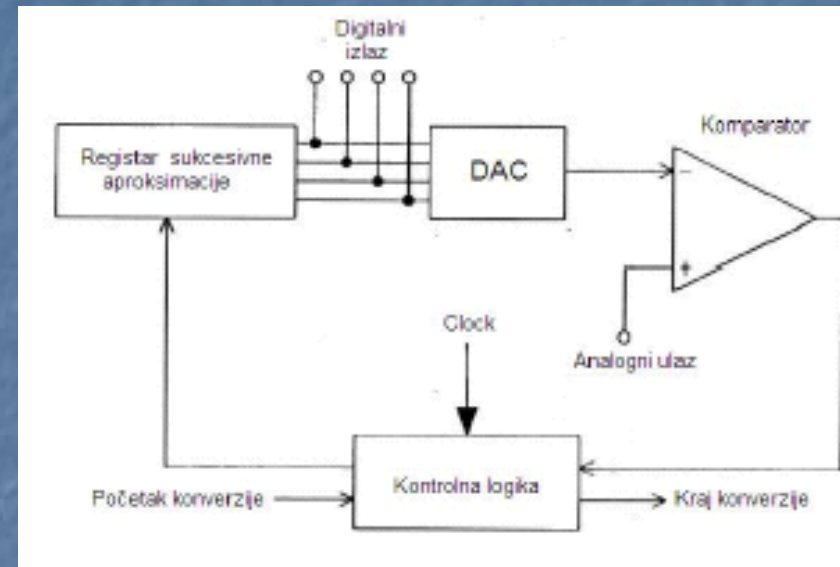
AD konvertori sa sukcesivnim aproksimacijama

Registar obezbeđuje izlaz koji je na sredini opsega (1000 – 0)

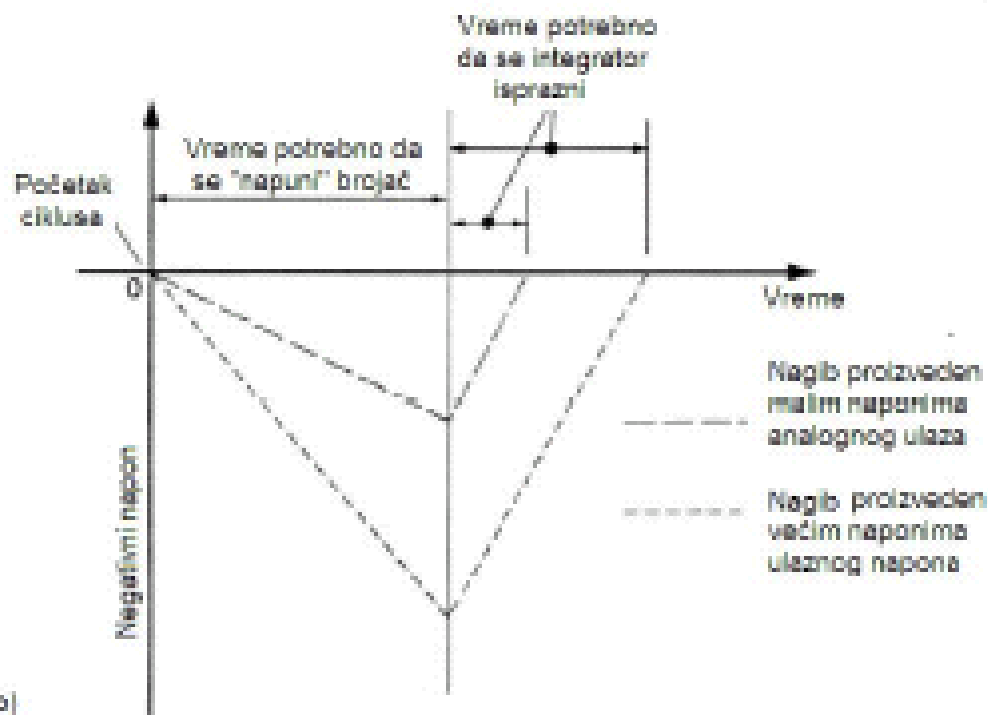
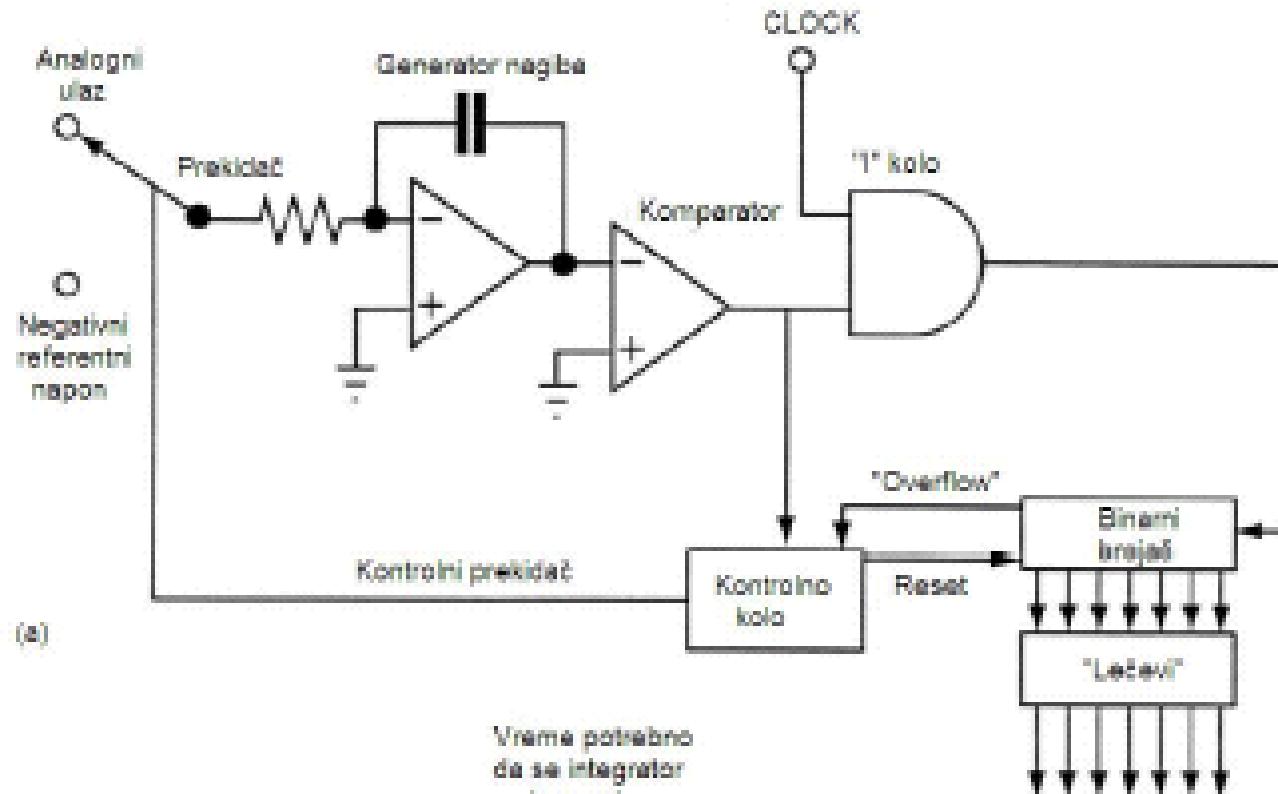
Ako je analogni ulaz veći, tada je MSB =1, ako je manji tada je MSB=0.

Registar ponavlja proceduru od MSB do LSB

Ovo je relativno brz postupak (μ s).
Procedura ima N koraka, gde je N rezolucija konverzije



AD konvertori sa dvojnim nagibom



AD konvertori sa dvojnim nagibom

Brojač se resetuje i prekidač uključuje vezu sa ulazom:

- 1) integator generiše negativni nagib kod koga je nagib proporcionalan analognom ulazu,
- 2) komparator odlazi u stanje HIGH, omogućujući da impulsi iz "clocka" odu u brojač

Kada se brojač prepuni (overflow), on se resetuje na nula, i kontrolni prekidač se prebacuje na negativni referentni napon:

- 1) integrator počinje da generiše pozitivan nagib, i kada napon koji raste stigne na nula komparator prelazi u stanje "LOW" i zaustavlja se brojač. Vrednost na brojaču predstavlja analogni ulaz.

Integracija ulaznog napona (Vin)

Tokom ovog koraka, brojač se ne koristi direktno za dobijanje vrednosti, već samo kontroliše fiksni vremenski period (T_{measure}).

Integrator akumulira ulazni napon tokom T_{measure} , stvarajući napon proporcionalan V_{in} .

Povratak na nulu sa referentnim naponom (Vref)

Kada se ulaz prebaci na V_{ref} (poznat i stabilan napon), integrator počinje da "prazni" prethodno nakupljeni napon.

Brojač sada meri vreme (T_{ref}) koje je potrebno da integratorov izlazni napon dostigne tačno **nulu**.

Vreme T_{ref} (koje je broj impulsnih koraka brojača) proporcionalno je ulaznom naponu (V_{in}) prema formuli:

$$V_{\text{in}} = V_{\text{ref}} \cdot T_{\text{ref}} / T_{\text{measure}}$$

Brojač prebrojava određen broj impulsa iz taktnog signala tokom T_{ref}

$N_{\text{digital}} = k \cdot T_{\text{ref}}$ gde je k faktor skaliranja zavisen od taktnog signala i V_{ref} .

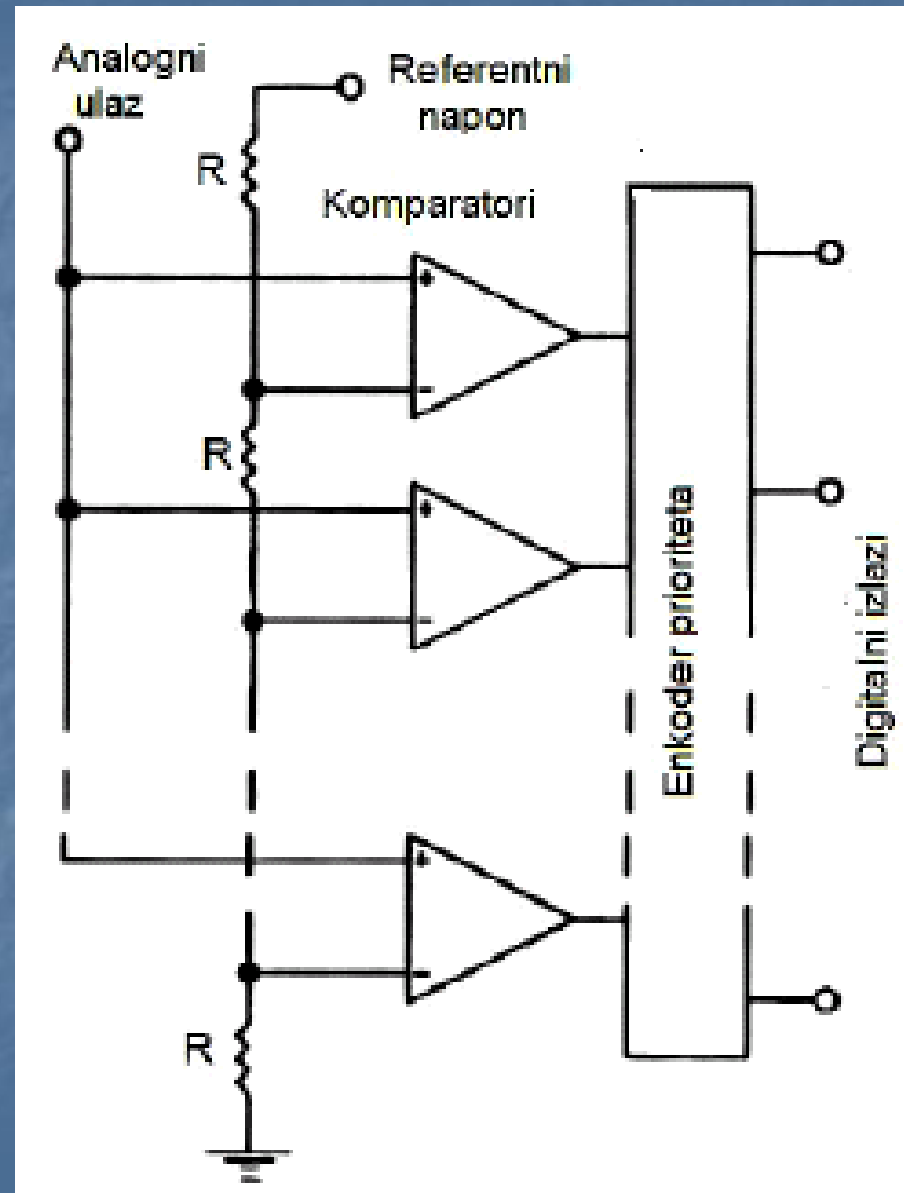
Paralelni, flash konvertori

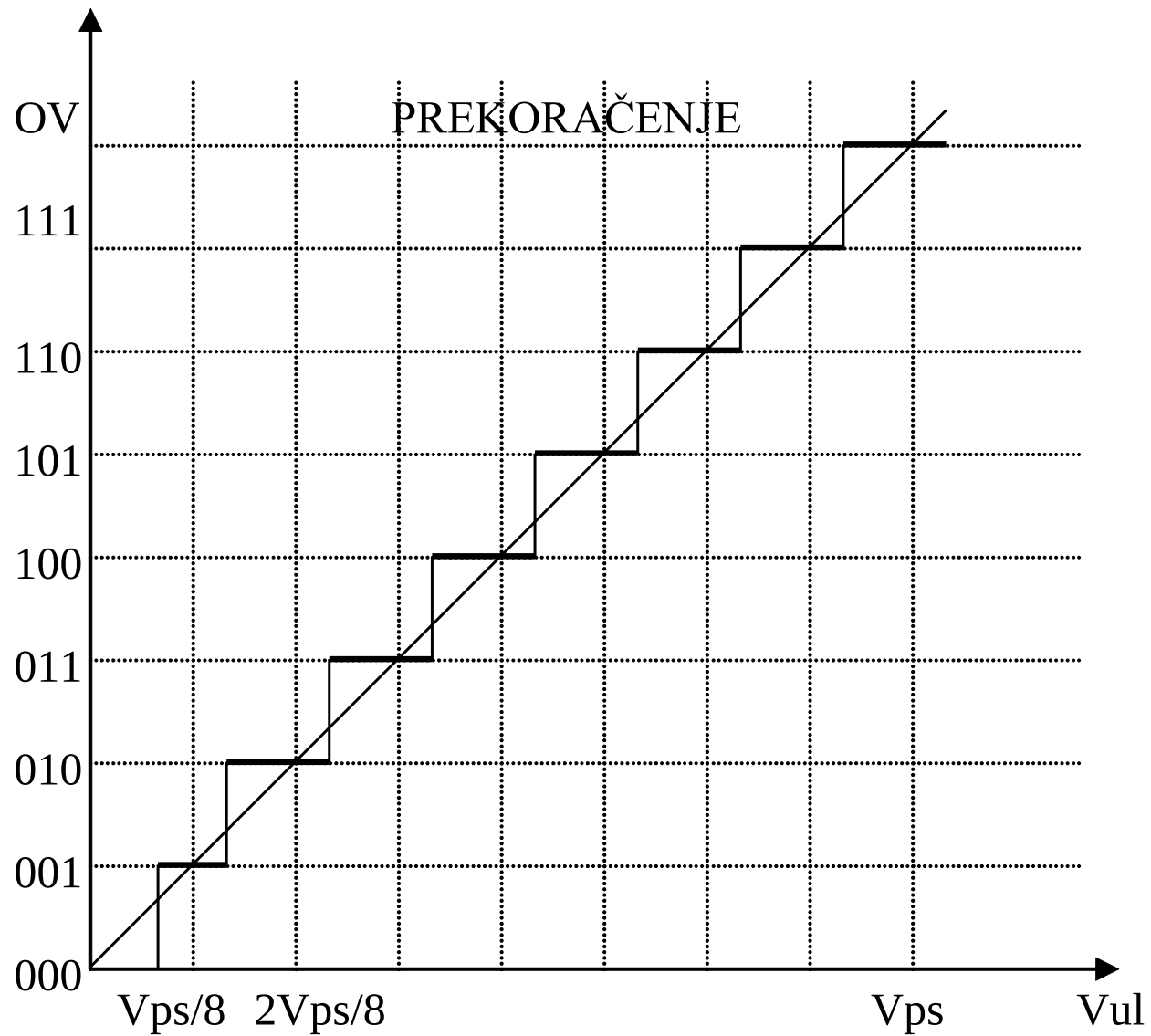
Analogni napon dolazi na ulaz komparatora
Enkoder prioriteta prevodi komparatorski izlaz u binarni oblik

Npr. 3-bit ADC 0001111 → 100

0111111 → 110

Vrlo brza konverzija. Skup: $2^N - 1$ komparatora



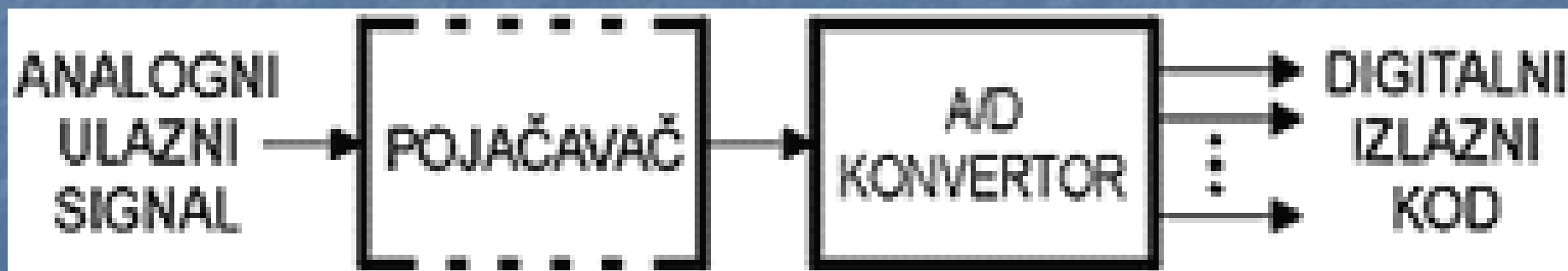


Pojačavači

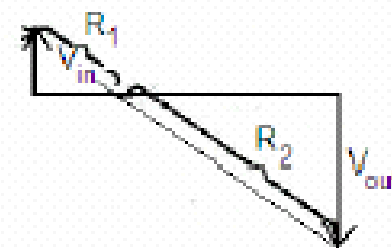
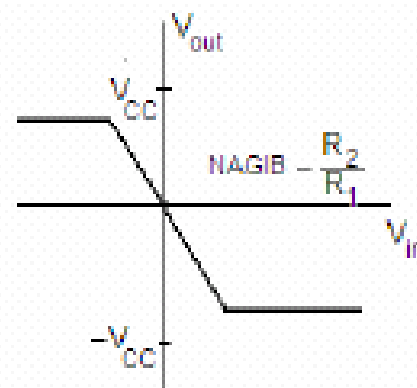
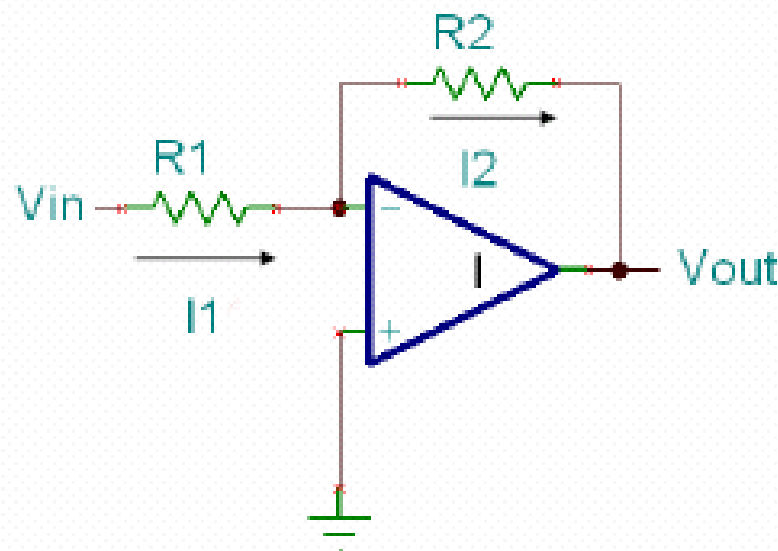
- Amplitude analognih ulaznih signala mogu da variraju u širokom opsegu.
- Za pravilan rad A/D konvertora, potrebno je da signal na ulazu bude dovoljno veliki.
- Da bi se signal pojačao na potrebni nivo, neki proizvođači koriste takozvane PGA pojačavače (*Programmable Gain Amplifier*).
- To su vrlo kvalitetni instrumentacioni pojačavači sa softverski programabilnim pojačanjem.
- Njihova osnovna mana je visoka cena a druga mana im je da PGA ima relativno sporo smirivanje signala (tzv. "*settling*" parametar), koje može da smanji brzinu A/D modula.
- Vreme smirivanja PGA pojačavača se sabira sa svim drugim kašnjenjima na A/D modulu.

Pojačavači

- Na slici je prikazan jednostavni analogni ulazni stepen.
- Kao što se na slici vidi, pojačavač može da prihvati samo jedan ulazni kanal.
- Ovakva primena A/D sistema (pojačavač i konvertor) bi bila krajnje skupa i neracionalna.
- Zato se koriste sistemi koji mogu istovremeno da mere više ulaznih kanala



Pojačavačko kolo za invertovanje

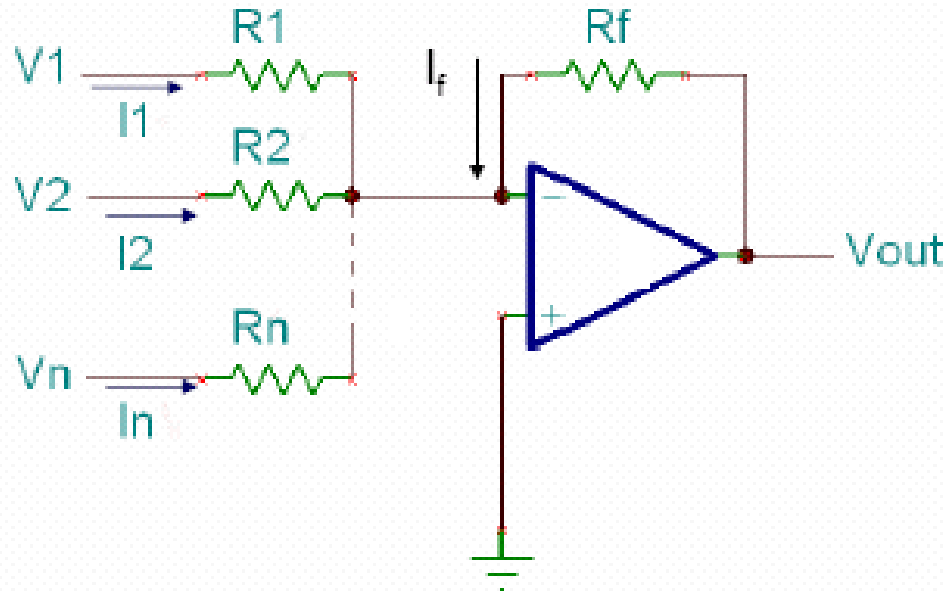


$$I_1 = I_2 = (V_{in} - V_-)/R_1 = -(V_{out} - V_-)/R_2$$

$$V_- = V_+ = 0$$

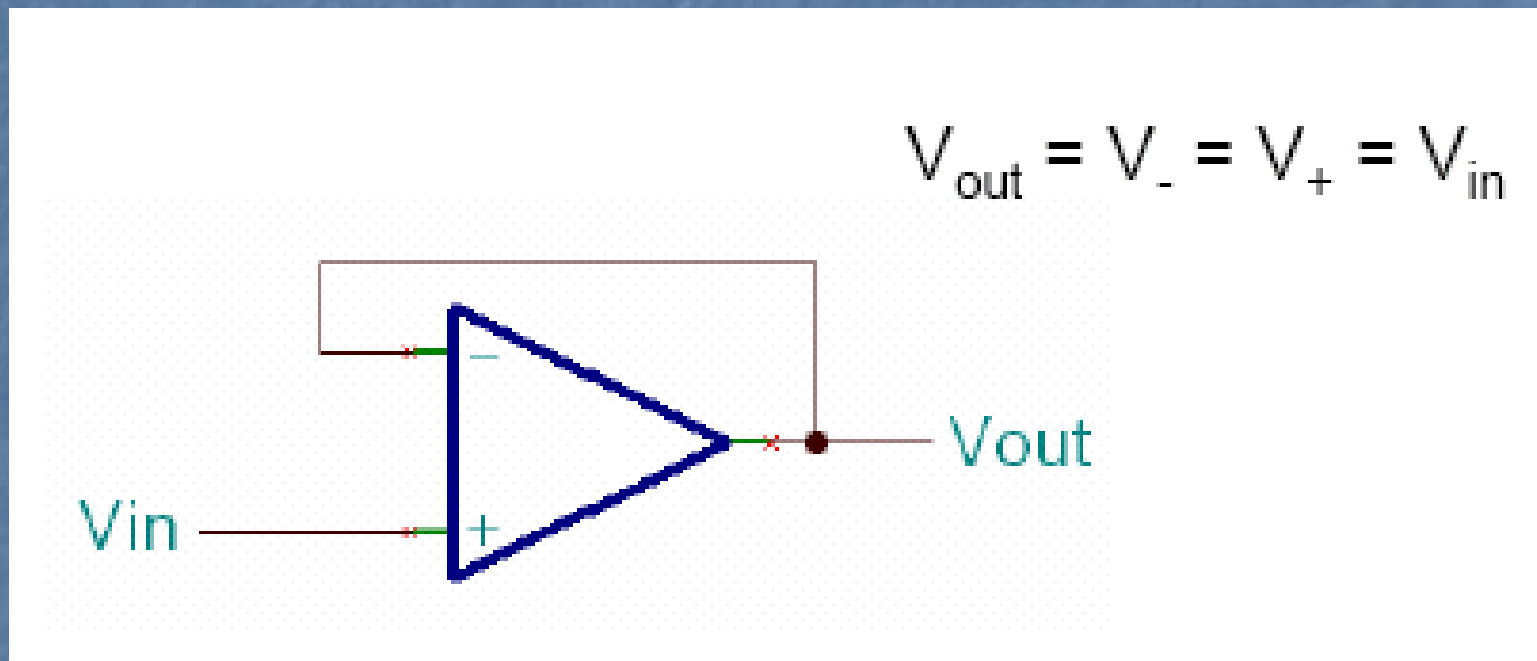
$$V_{out} = (-R_2/R_1)V_{in}$$

Sabirač



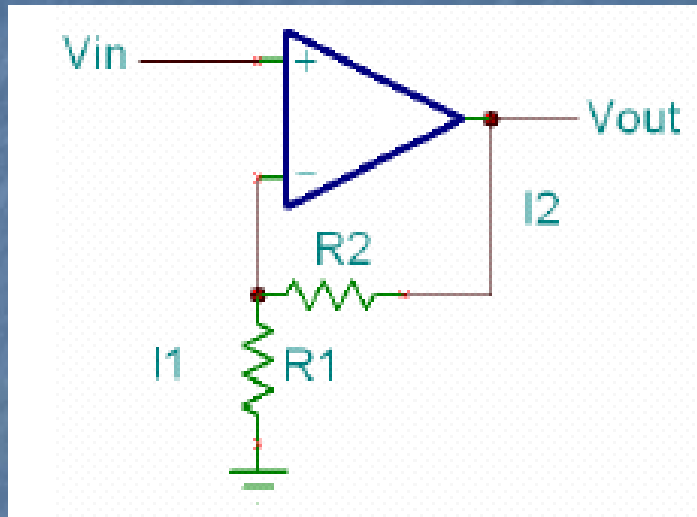
$$V_{OUT} = -R_f (V_1/R_1 + V_2/R_2 + \dots + V_n/R_n)$$

Buffer ili kolo za praćenje



Osnovna primena ovog kola je odvajanje pojačavačkog stepena od prethodnih elemenata

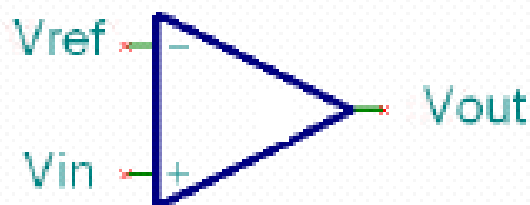
Voltage follower



$$I_1 = V_- / R_1, \quad I_1 = I_2 = (V_{out} - V_-) / R_2, \quad V_{in} = V_-$$

$$V_{out} = (1 + R_2 / R_1) V_{in}$$

Komparator

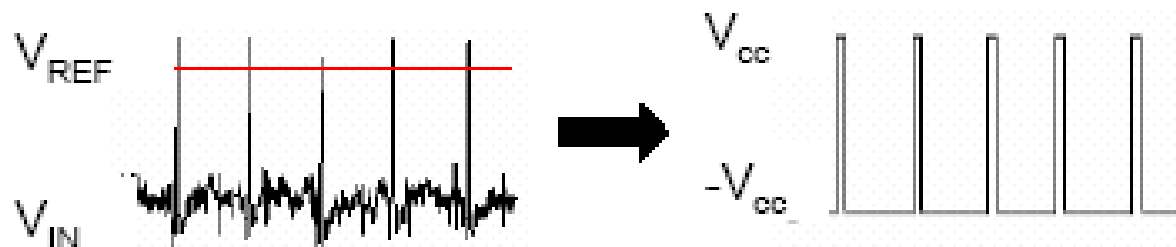
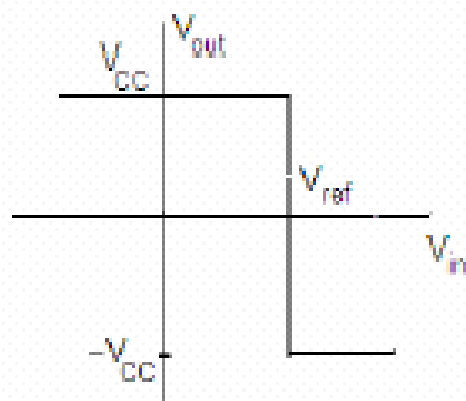


A (pojačanje je veliko)

$$V_{out} = A(V_{in} - V_{ref})$$

Ako je $V_{in} > V_{ref}$, teorijski bi izlazni napon trebalo da bude $V_{out} = +\infty$, ali s obzirom da pojačavač ne može na svom izlazu da ima veći napon od napona napajanja dobijamo da je izlazni napon blizak naponu napajanja $V_{out} = V_{cc}$

Ako je $V_{in} < V_{ref}$, $V_{out} = -V_{cc}$



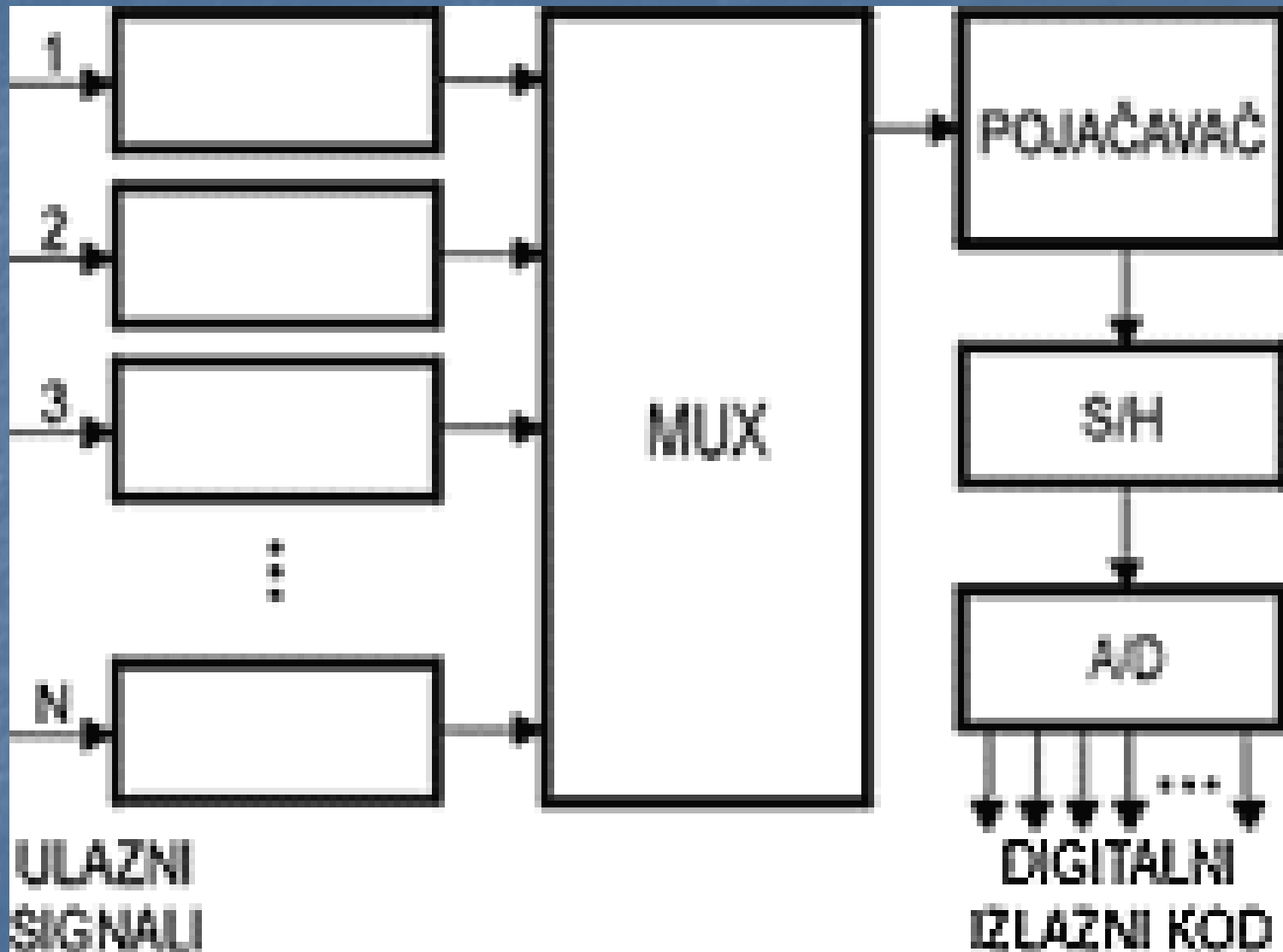
Multiplekseri i Sample Hold

- **Multiplekser je jedna specijalna vrsta integrisanog kola - analognog prekidača, koje omogućava priključenje više ulaznih kanala na jedan A/D konvertor.**
- **Preklapanje od kanala do kanala multiplekser vrši uz pomoć programa.**
- **Ova tehnika značajno smanjuje cenu.**
- **Pošto više kanala deli jedan pojačavač i jedan A/D konvertor, brzina akvizicije podataka se znatno smanjuje.**
- **Praktično, brzina pojačavača i A/D konvertora se deli sa priključenim brojem kanala.**

Multiplekseri i Sample Hold

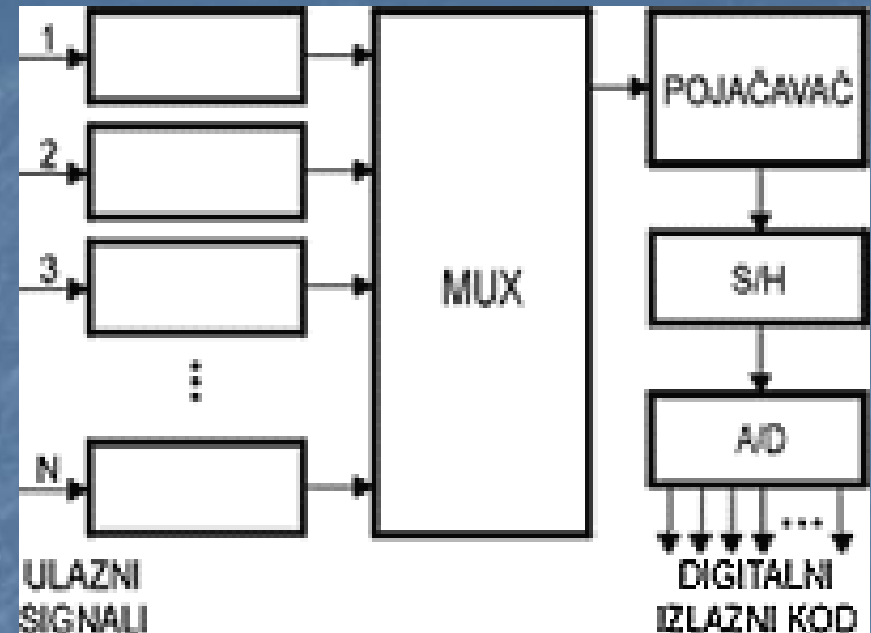
- **Analogni ulazni signal je vremenski promenljiva veličina, tj. veličina čija se amplituda stalno menja.**
- **A/D konvertori sa sukcesivnom aproksimacijom pretpostavljaju da je ulazna veličina u toku konverzije konstantna.**
- **Funkcija (S/H) kola je da pre početka konverzije zadrži trenutnu vrednost signala, dok se A/D konverzija ne završi**

Vremensko multipleksiranje



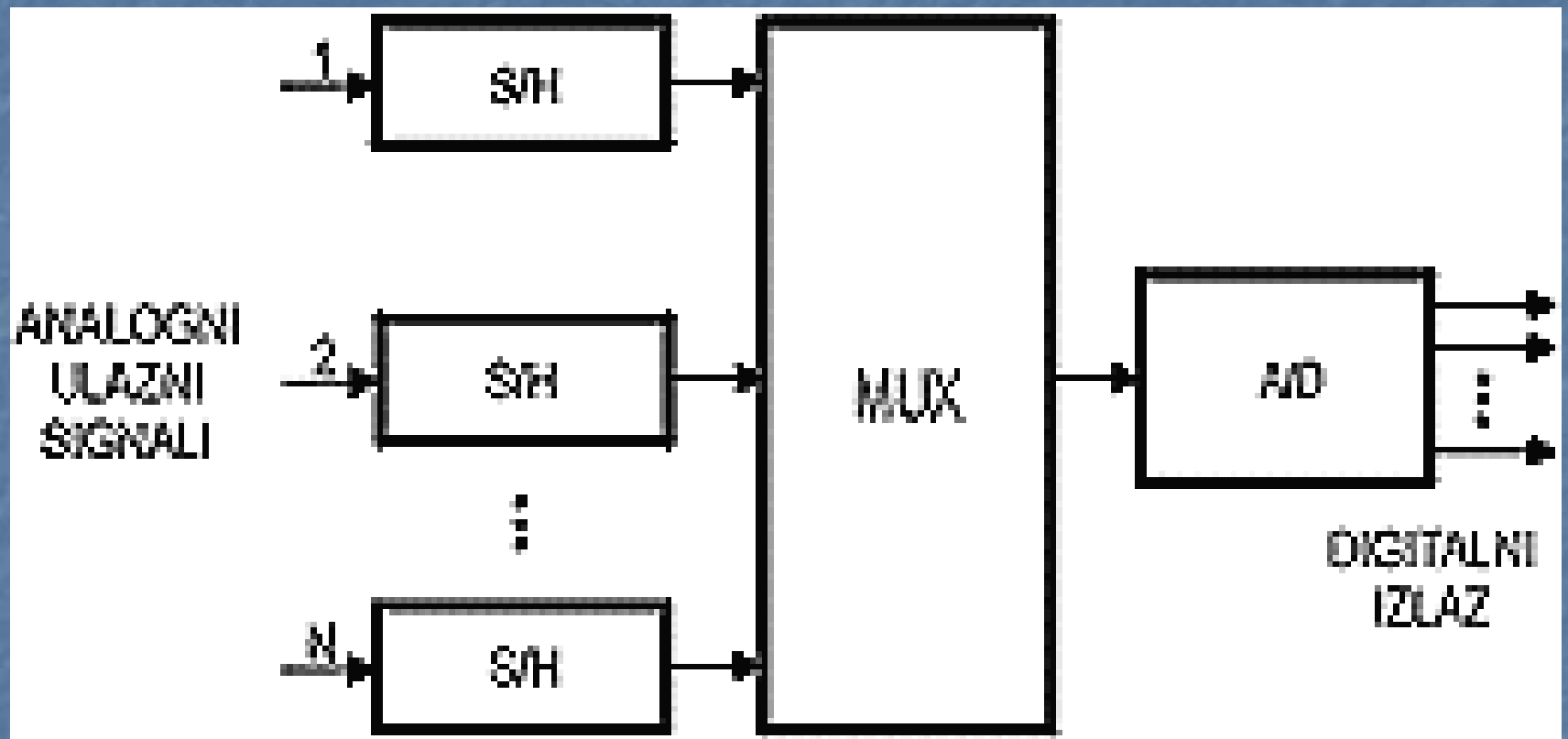
Vremensko multipleksiranje

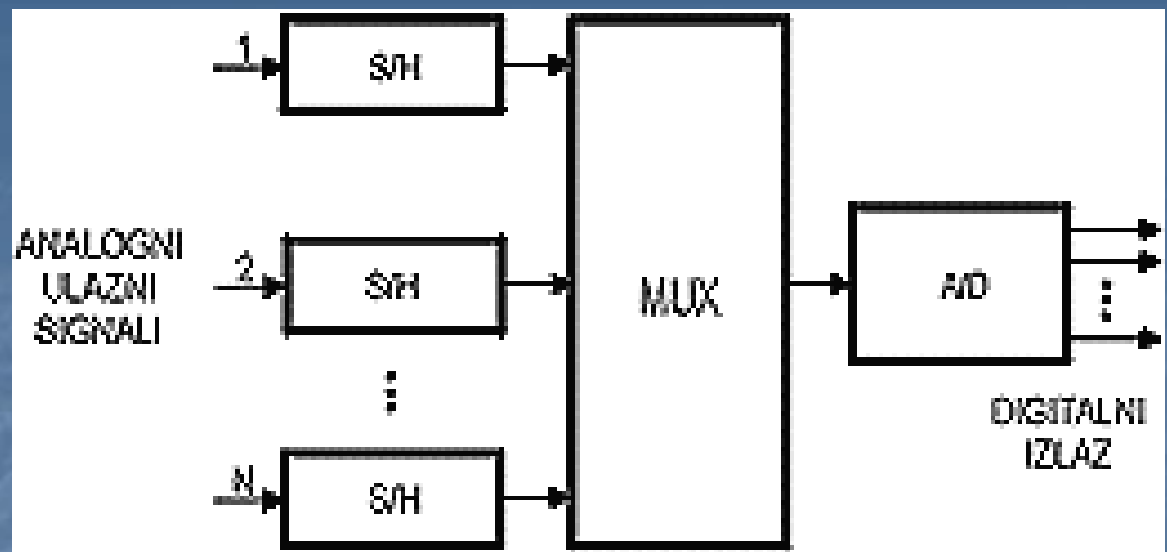
- Sistem prikazan na slici, koristi posle multipleksera jedan pojačavač, S/H kolo i A/D konvertor.
- Korisnik bira željenu brzinu uzorkovanja, koja odgovara datoj primeni.
- Ako svaki kanal treba da se čita "R" puta u sekundi, onda multiplekser mora da bira "n" puta brže, gde je "n" broj kanala.
- Prema tome S/H kolo i A/D konvertor moraju biti dovoljno brzi da izvrše konverziju za manje od $1/(R \times n)$ sekundi (u ovom primeru je očigledno da se svi kanali/ulazi mere na isti način;
- formula izgleda nešto drugačije, ukoliko propusni opsezi i/ili brzina čitanja pojedinih kanala nisu identični).



- Prilikom tumačenja specifikacije brzina pojedinih komponenata sistema, moramo tačno znati šta one znače.
- "Vreme konverzije" definiše samo brzinu A/D konvertora, a to je samo jedan deo vremena koji je potreban za kompletno merenje.
- Da bismo dobili pravu brzinu sistema, moramo znati "maksimalnu brzinu uzorkovanja po jednom kanalu", ili propusnu moć i uslove za koje je taj podatak specificiran (na primer, propusna moć zavisi i od pojačanja pojačavača).
-

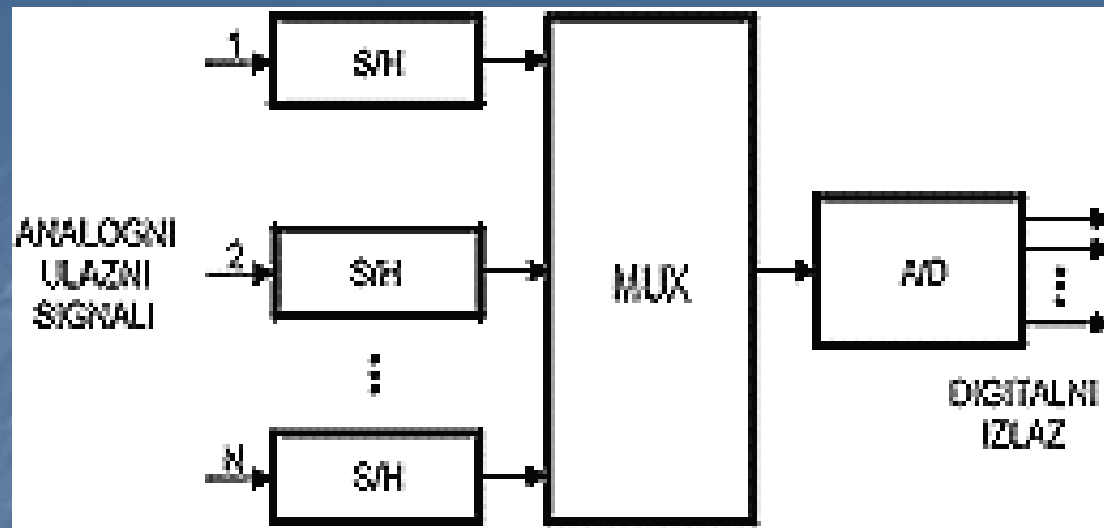
- Bilo bi idealno da se svi ulazni kanali čitaju istovremeno, svakih $1/R$ sekundi.
- Međutim, zbog vremenskog multipleksiranja dolazi do vremenskog pomeranja (tzv. "*Skew*") između čitanja pojedinih kanala.
- Ako je kombinacija MUX, S/H i A/D dovoljno brza, može se smatrati da se svi kanali čitaju istovremeno.
- Neke aplikacije, kao na primer merenje trenutne snage ($U \times I$), ili relativnog položaja mehaničkih komponenata su veoma osetljive na vremensko pomeranje (*Skew*).
- Čak i sa najbržim A/D konvertorima, neke aplikacije ne mogu da tolerišu vremensko kašnjenje pri čitanju.
- U ovakvim, kritičnim aplikacijama, primenom simultanog kola za uzorkovanje ("*Simultaneous Sample/Hold*", u daljem tekstu SSH) vremensko kašnjenje čitanja se smanjuje za 100 do 1000 puta.





- Arhitektura SSH je idealna u primenama gde su faza i vremenski odnos različitih kanala od velikog značaja.
- Na primer, ako sistem sa slike sekvencijalno učitava četiri analogna ulaza sa propusnom moći od 100 K uzoraka u sekundi, tada će vreme između konverzija biti 10 μ s.
- Za digitalizaciju sva četiri ulazna kanala biće potrebno oko 40 μ s.
- Pri frekvenciji ulaznog signala od 10 kHz, fazna razlika između prvog i četvrtog kanala biće:

$$40 \text{ ms} / 100 \text{ ms} \times 360 = 144 \text{ stepeni.}$$



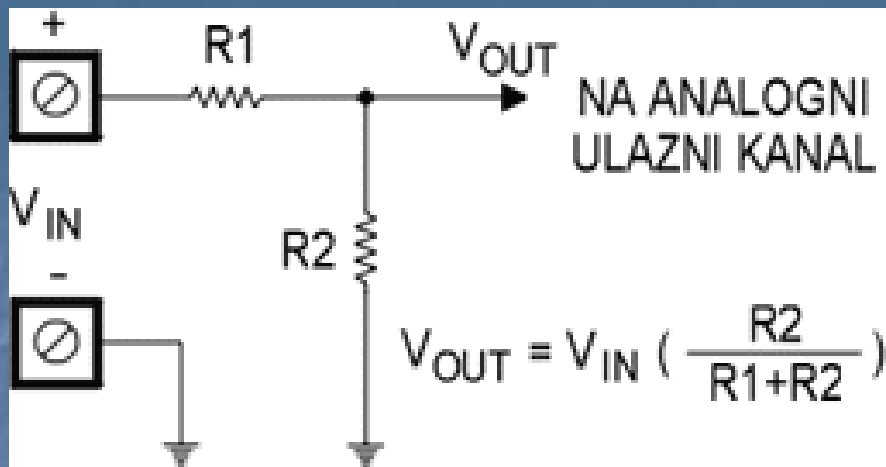
- SSH konfiguracija sa slike će sva četiri kanala pročitati unutar vremenskog intervala od nekoliko nanosekundi, što pri frekvenciji ulaznog signala od 10 KHz iznosi oko 0,01 stepeni faznog pomaka.
- Pored dobrih strana u vezi sa faznim i vremenskim kašnjenjem, SSH metoda je pogodna i za aplikacije gde je potrebno izračunati korelaciju funkcija:
- obrade govora, testiranje materijala i strukturno dinamičko testiranje, merenje trofazne snage, analiza geofizičkih sistema, automatsko testiranje proizvodnih linija itd.

Kondicioniranje (uobličavanje) signala

- I pored toga što su primenjene visokokvalitetne komponente, često je potrebno da se ulazni signali predhodno uobliče.
- Aktivna obrada podrazumeva pojačanje i galvansku izolaciju signala, dok pasivna obrada napona podrazumeva zaštitu od strujnog pražnjenja, strujno-naponsku konverziju i pasivno filtriranje.
- Maksimalni napon koji se na ulaz A/D konvertora može dovesti zavisi od hardvera.
- Uz pomoć otporničkih delitelja napona, ulazni napon višeg nivoa se može dovesti na ovaj ili nizi opseg.
- Ako se na ulaz multipleksera i drugih komponenata u kolu dovede veći napon od maksimalno dozvoljenog po specifikaciji proizvođača, može doći do trajnog oštećenja.

Kondicioniranje (uobličavanje) signala

- Ako je maksimalni ulazni napon koji se može dovesti na ulaz A/D modula ± 5 V i ako kada je sistem za akviziciju isključen, odnosno bez napajanja el. energijom, maksimalni ulazni napon koji se sme priključiti na ulaz multipleksera je ± 3 V na primer i ovo treba obavezno proveriti u specifikaciji.
- Zaštita ulaznih komponenata od eventualnih grešaka i električnih pražnjenja, može se postići upotrebom zaštitnih elemenata u kojima za oblikovanje signala, kao što su Zener diode i varistori.
- Ove komponente korisnik sam instalira na priključne panele ukoliko za to postoji potreba.
- Vrste i vrednosti komponenata koje će biti instalirane zavise od date primene.



- Da bi se postigao što veći odnos signal-šum ponekad je potrebno da male signale iz opsega od 1 mV do 100 mV pojačamo na potreban nivo.
- Najbolji rezultati se postižu ukoliko se priključni panel sa pojačavačem instalira u neposrednoj blizini izvora signala.
- Pored pojačanja ulaznih signala, priključni paneli aktivnog tipa vrše galvansku izolaciju, filtriranje, kompenzaciju temperature "hladnog" kraja termopara, itd.
- Komponente sa ovim karakteristikama očigledno imaju visoke mogućnosti, ali im se primena ograničava samo na mesta gde je to neophodno (zbog visoke cene).

- U industrijskim aplikacijama, najviše korišćeni priključni paneli imaju konvertore napona u struju.
- Mali signali dobijeni sa senzora se prvo pojačavaju, a zatim se dobijena naponska vrednost konvertuje u struju.
- Ima nekoliko standarda, ali najčešće primenjivani standard je opseg od 4 do 20 mA, ili ređe od 0 do 25 mA.
- Nekada se koristi i opseg 0 do ± 10 mA.
- Strujni signali se ovako mogu preneti kroz tipičan fabrički šumni ambijent na daljinu do 1200 m i više, bez većeg gubitka tačnosti.
- Za razliku od naponskih signala, strujni signali ne slabe duž linije prenosa. Pad napona na otpornosti provodnika u strujnoj petlji se automatski kompenzuje, jer strujni izvor održava stalnu struju, što kompenzuje pad napona.
- Strujni signali se pomoću otpornika lako konvertuju u naponske signale, tako da se strujni opseg od 4-20 mA, konvertuje u naponski opseg od 1-5 V, odnosno od 2-10 V.

- Filtriranje je metoda obrade signala koja se često koristi.
- Ono služi za izdvajanje željenog od neželjenog signala.
- U grupu neželjenih signala spadaju: šum, frekventne smetnje iz mreže, interferencije iz radio i TV stanica, frekvencije signala iznad $1/2$ frekvencije uzorkovanja, itd.
- Upotreba niskopropusnog filtra uklanja signale neželjenih frekvencija (smetnje).
- Pri tome, može doći do pojave preklapanja signala u frekventnom domenu (pojava poznata kao tzv. "*Aliasing*"), odnosno fenomena koji nastaje dovođenjem na ulaz A/D konvertora frekvencija iznad $1/2$ frekvencije uzorkovanja.
- Zbog toga se generišu neželjene frekvencije, koje ulaze u opseg željenog signala i koje se ne mogu odstraniti.
- One mogu dovesti do ozbiljnih grešaka u interpretaciji ulaznih signala.

Nesimetrični i diferencijalni signali i ulazi

- Analogni signali mogu da se obrađuju kao nesimetrični ili kao diferencijalni.
- Nesimetrični signali (izvorno: *Single Ended* - *SE*) koriste zajedničku povratnu liniju ili masu.
- Samo tzv. "vrući" (pozitivni) krajevi signala se preko multipleksera vezuju na ulaze pojačavača.
- "Hladni" (negativni) krajevi signala se vraćaju u pojačavač preko zajedničke mase sistema.
- To znači da izvor signala i ulaz pojačavača imaju zajedničku referentnu tačku, odnosno masu.
- Dok je razlika potencijala mala, ovaj način povezivanja radi bez teškoća. Problemi nastaju kada ova razlika postane veća od maksimalno dozvoljene greške sistema, preslikane na ulaz.
- Naime, razlika u potencijalima masa uzrokuje proticanje struja (strujna petlja mase), koje mogu dovesti do grešaka u interpretaciji merenja. Najveća prednost nesimetričnih ulaza je niska cena koštanja po kanalu.
- Za jedan kanal je potreban samo jedan ulaz multipleksera.

Nesimetrični i diferencijalni signali i ulazi



Diferencijalni (*Diff*) princip omogućava priključenje pozitivnog (+) i negativnog (-) kraja pojačavača na oba kraja izvora signala.

- Na taj način, svaki napon koji se indukuje u provodnicima, na ulazu diferencijalnog pojačavača se pojavljuje kao zajednički, tzv. "*Common-mode*" signal, koji pojačavač uspešno potiskuje.
- Diferencijalno povezivanje smanjuje uticaj smetnji usled petlji mase (engl. "*ground loops*").
- Diferencijalni ulaz zauzima dva prekidačka kontakta multipleksera.
- Zato, na nesimetrični sistem sa 16 nesimetričnih kanala može da se priključimo 8 diferencijalnih kanala.
- Pored toga, dok je za nesimetrične sisteme dovoljan jednostavan operacioni pojačavač, diferencijalni sistemi zahtevaju simetrične pojačavače instrumentacionog tipa.
- Zbog toga se može reći da je diferencijalni ulazni kanal više od dva puta skuplji od nesimetričnog ulaznog kanala.

Nesimetrični i diferencijalni signali i ulazi

- Pritom mu je otpornost na smetnje višestruko veća nego kod nesimetričnog ulaznog kanala.
- U nekim aplikacijama može se primeniti i takozvani "pseudo diferencijalni" način priključenja.
- U stvari, to je nesimetričan spoj, kod koga je jedan od ulaza vezan na zajedničku povratnu liniju ulaznih signala.
- Ovaj kanal, u stvari, meri indukovani napon u petlji kola mase, koji se može korigovati softverski.
- Ovaj način se primenjuje u sistemima gde svi ulazni signali imaju isti potencijal mase.

Potiskivanje zajedničkog CMV ("sinfaznog") napona

Sposobnost diferencijalnog pojačavača da potisne neželjene zajedničke CMV (*Common Mode Voltage*) napone u odnosu na željeni korisni signal, naziva se potiskivanjem tog napona (engl. *CMRR* - *Common Mode Rejection Ratio*), u dB, prema formuli :

$$\text{CMRR} = 20 \times \log (G_{\text{cm}}/G_{\text{diff}}) [\text{dB}]$$

gde je

- G_{cm} : pojačanje zajedničkog napona
- G_{diff} : diferencijalno pojačanje

Prema definiciji, pojačanje zajedničkog napona, G_{cm} , se definiše kao promena u izlaznom naponu, za zadatu promenu ulaznog zajedničkog CMV naponu:

$$G_{\text{cm}} = dV_{\text{out}}/dV_{\text{cm}}$$

Zamenom u gornjoj jednačini, dobijamo:

$$dV_{\text{out}}(\text{zbog } dV_{\text{cm}}) = dV_{\text{cm}} \times G_{\text{diff}} \times 10^{-\text{CMRR}/20}$$

Očigledno je da se potiskivanje neželjenih signala CM RR povećava sa rastom pojačanja pri zatvorenoj petlji.

Porast izlaznog napona dV_{out} je direktno proporcionalan diferencijalnom pojačanju G_{diff} , što je važno uočiti, jer se sistem za prikupljanje i obradu podataka ne sastoji samo od običnog pojačavača.

Naime, u kompletnom sistemu za prikupljanje i obradu podataka, signal (a samim tim i "podatak") iz ulaznog pojačavača, zajedno sa svim neželjenim naponima usled konačne CM RR greške u potiskivanju, vodi se do analogno/digitalnog konvertora, koji ne može da napravi razliku u ukupnom signalu između pravog i signala greške.

Bitan parametar je odnos između veličine greške i osetljivosti A/D konvertora (inherentno 1 LSB - najmanje značajan bit): Ako je signal greške veći od 1 LSB, A/D konvertor će, naravno, reagovati.

Zbog toga se često greška usled zajedničkog CM V napona izražava u LSB vrednostima i praktično je svedena na A/D konvertor.

Ova vrednost se dobija deljenjem napona greške usled zajedničkog napona (dV_{out}) sa osetljivošću A/D pretvarača (1 LSB za zadati opseg merenja). Obzirom da je osetljivost definisana kao količnik napona za punu skalu merenja (FSR) i rezolucije pretvarača (broj koraka), očigledno je da se greška, izražena u LSB vrednostima, može izraziti kao:

$$\text{greška (u LSB)} = \{ dV_{cm} \times G_{diff} \times 10^{-CMRR/20} \} / (FSR / \text{Rezolucija})$$

Sledeća tabela prikazuje odnos između greške nastale delovanjem zajedničkog CMV napona, izraženih u dB i LSB vrednostima, za jedan hipotetički ulazni sistem. Pretpostavimo da imamo 12-bitni A/D konvertor sa opsegom merenja od 10 V (0÷10 V ili ±5 V) na čiji ulaz je priključen zajednički CMV napon od 10 V. Delenjem greške, izražene u LSB vrednostima, sa ukupnim zajedničkim CMV naponom, dobija se veoma koristan faktor dobrote celog sistema za prikupljanje i obradu podataka, a ne samo ulaznog pojačavača.

Pojačanje	CMRR	Apsolutna greška	Greška cm/V _{cm}
1	80 dB	0,4 LSB	0,04 LSB/Volt
10	90 dB	1,3 LSB	0,13 LSB/Volt
100	100 dB	4,1 LSB	0,41 LSB/Volt
1000	110 dB	13 LSB	1,30 LSB/Volt

Treba uočiti da poboljšanje u potiskivanju zajedničkih CMV napona, tj. veći CMRR odnos (pri konstantnom pojačanju), direktno utiče, u povoljnom smislu, na performanse sistema. Relativno malo povećanje CMRR faktora, a koje je rezultat većeg pojačanja, smanjuje ukupnu tačnost celog sistema

Analogni izlaz

- Analogni izlazi se koriste pri testiranju, procesnom upravljanju i mnogim aplikacijama industrijske automatizacije, kao što su generisanje pobude pri testiranju sistema, upravljanje ventilima, motorima i grejačima u upravljačkim sistemima sa zatvorenom povratnom spregom, i sl.
- Standardne vrednosti izlaznih napona se kreću u opsezima od: $\pm 5\text{ V}$, $0 \div 10\text{ V}$, $\pm 10\text{ V}$, a izlazna struja je u opsegu od 4 do 20 mA.
- Strujni režim prenosa signala je mnogo kvalitetniji i manje zavisian od smetnji.
- Velika opterećenja, kao što su pozicioneri, ventili, svetiljke, motori itd., zahtevaju velike struje, pa se zato koriste pojačavači snage ili struje.
- Većina sistema za akviziciju podataka i upravljanje u standardnoj konfiguraciji nema izlazne pogonske stepene za velike snage, pa se oni posebno naručuju.

Digitalni ulazi i izlazi

- Skoro svi sistemi za akviziciju podataka prihvataju i generišu signale standardnog TTL nivoa (0 i 5 V).
- Postoje i primene (npr.: solenoidi, motori, kontaktori itd.) koje rade sa višim naponima.
- Za ove uslove, potrebne su dodatne hardverske komponente.
- Veza akvizicionog sistema sa spoljnim svetom se vrši preko priključnih panela koji na sebi imaju prostor za prilagođenje, terminaciju i uobličavanje ulaznih i izlaznih signala.
- Prostor za terminaciju služi za fizičko povezivanje spoljnih kablova, kondicioniranje signala i indicaciju statusa kanala (uz pomoć LED dioda), za instaliranje otpornika za atenuaciju napona, filtriranje, montažu električnih zaštitnih komponenta iza galvansku izolaciju signala.
- Uz pomoć ovakvih komponenta, na primer, lako je moguće nadgledanje i upravljanje jednosmernih ili naizmeničnih visokih napona (ili napona mreže) itd.

Impulsni i frekventni ulazi i izlazi



U praksi postoje primene koje, pored ostalog, zahtevaju brojanje, vremensko usklađivanje događaja (tajming) i merenje frekvencije.

- Postoje i primene koje zahtevaju da se uređaji uključuju i isključuju u tačno određenim trenucima, ili za određen vremenski period.
- Ove funkcije se ostvaruju pomoću kola koja nazivamo COUNTER/TIMER (C/T), a naš prevod je “brojačko/vremensko kolo”.
- Sistemski C/T su optimizovani za primene koje daju impulse, mere frekvenciju i generišu vremensku bazu.

Impulsni i frekventni ulazi i izlazi



Brojači se karakterišu maksimalnim brojem koji mogu da akumuliraju i maksimalnom frekvencijom ulaznog signala.

- Brojačko tajmerski moduli, kao i brojačke sekcije koje su integrisane na akvizicionim modulima mogu da koriste 16 bitne brojače, koji akumuliraju impulse čija je osnovna frekvencija na primer do 8 MHz.
- Brojači u sistemu su međusobno nezavisni i mogu se upotrebiti za brojanje događaja, za merenje frekvencije i perioda signala, ili da rade kao delitelji frekvencije.
- Generatori impulsa (generatori vremenske baze) mogu da se programiraju u širokom opsegu frekvencija i odnosa trajanja impulsa i pauze (koeficijent ispune, tzv. “*Duty Cycle*”).
- Generisanje impulsa može da se koristi za prikupljanje uzoraka u tačno određenim vremenskim razmacima, odnosno, mogu da upravljaju A/D konvertorima u vremenskom domenu.

- Digitalni brojači u sistemima za akviziciju podataka prihvataju signale TTL nivoa i koriste se za brojanje ulaznih impulsa.
- Brojanje može početi od neke inicijalne vrednosti, a brojač se može konfigurisati npr. tako, da kada računar pročita vrednost brojača, da se ovaj automatski resetuje na ovu inicijalnu vrednost.
- Interno brojač, ustvari, broji unazad svaki impuls na ulazu.
- Softver može pročitati vrednost iz brojača da interpretira kao zbir ili razliku od neke zadate početne vrednosti.
- Kada 16-bitni brojač dostigne broj od 65536 ili inicijalnu vrednost, tada brojač generiše signal prekoračenja (*overflow*).
- Ovaj signal može da se upotrebi za aktiviranje nekog spoljnog događaja. Sledeći impuls koji dođe na ulaz brojača, smanjuje njegovo stanje za jedan.
- Tako, ako se prekoračenje detektuje i u softveru uzme u obzir, ukupan broj impulsa se može izračunati softverski.

- **Merenje frekvencije pomoću brojača može da se obavi na više načina, što zavisi od date primene.**
- **Ako je signal čiju frekvenciju merimo TTL nivoa, tada taj signal možemo direktno da priključimo na ulaz brojača.**
- **Signali čije su amplitude veće od 5 V mogu pomoću delitelja napona, Zener dioda ili opto-izolatora da se svedu na TTL nivo.**
- **Kada se signali koji se dovode na ulaz brojača predhodno uobliče, treba proveriti da li se time možda gubi na brzini.**

- Postoje dva načina za merenje vrlo niskih i/ili visokih frekvencija: Prema prvom načinu, broje se impulsi iz poznatog izvora za vreme trajanja nepoznatog impulsa (ovo je praktično merenje periode ulaznog signala).
- Time se postiže visoka rezolucija kod merenja niskih frekvencija, a vreme merenja se skraćuje. Ova metoda je naročito pogodna za frekvencije ispod 10 Hz.
- Prema drugoj metodi, za fiksno vreme (tzv. "etalon vremena") meri se broj ciklusa nepoznatog signala.
- Prednost ove metode je da omogućava merenje frekvencija iznad 8 MHz, do praktičnih limita elektronskog kola brojača.
- Softverski se može primeniti algoritam za automatsko biranje opsega, koji će optimizovati rezoluciju u širokom opsegu frekvencija.