

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

Boštjan Švigelj
Aleš Praznik

**Analogno-digitalna pretvorba in vrste
analogno-digitalnih pretvornikov**

Seminarska naloga pri predmetu Merilni pretvorniki

Ljubljana, 2011

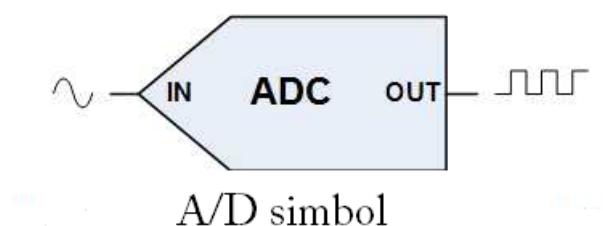
Kazalo

Uvod.....	3
Teorija o A/D pretvornikih.....	4
Diskretizacija.....	7
Diskretizacija po času ali vzorčenje	7
Diskretizacija po amplitudi ali kvantizacija.....	8
Diskretizacija po času in amplitudi.....	8
Eleminacija harmonikov.....	9
Pogreški.....	10
Vrste A/D pretvornikov.....	12
Flash A/D pretvornik.....	12
Sukcesivno aproksimativni.....	13
A/D konvertor z rampno tehniko.....	14
Sigma-Delta A/D pretvornik.....	14
Integracijski A/D pretvornik.....	15
Wilkinsonov A/D pretvornik.....	15
Literatura.....	17

Uvod

Naloga Analogno-digitalnih pretvornikov ali A/D pretvornikov je pretvarjanje analognega signala v binarna števila, pri tem se analogni signal v celoti ne pretvori v digitalni signal, ampak se temu signalu izvede odvzem vzorcev v določenih časovnih zaporedjih, odvzeti in shranjeni vzorci pa so zapisani v digitalni obliki. A/D pretvornike večinoma najdemo v laboratorijih, kjer se opravljajo meritve in razni merilni procesi pri tem nam lajšajo in poenostavijo delo. Danes ima skoraj vsako gospodinjstvo v domači uporabi A/D pretvornik pri uporabi TV sprejemnikov.

Ker obstajajo različne izvedbe, se velikokrat sklone kompromis med ceno in karakteristikami, ki jih pretvornik zagotavlja.



Teorija A/D pretvornikov

Analogno-digitalna pretvorba je postopek, s katerim analogno veličino (električno napetost) pretvorimo v ustrezno digitalno vrednost, številko.

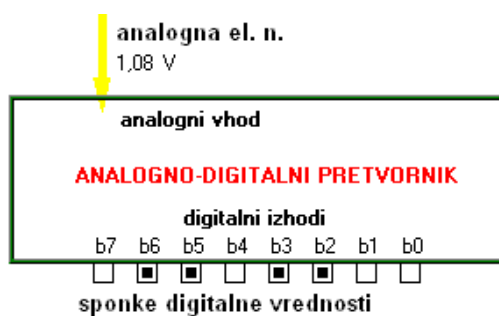
A/D pretvorbe so izvedene po treh postopkih : 1. Diskretizacija, 2. Kvantizacija in 3. Kodiranje

A / D pretvorniki so električna vezja, ki imajo naslednje značilnosti.

1. Vhod na A / D pretvornika je napetost.
2. A / D pretvorniki, je lahko zasnovan za napetosti od 0 do 10V, od -5 do +5 V, vendar so skoraj vedno z napetostjo. V vsakem primeru je vhod analogni signal, napetost v večini primerov.
3. Izhod A / D pretvornika je binarni signal, in da je binarni signal kodiran analogni vhodni napetosti. Torej, proizvodnja je neke vrste digitalna številka.

Za analogno-digitalno pretvorbo potrebujemo posebna elektronska (integrirana) vezja, analogno-digitalne (AD) pretvornike.

AD pretvornik ima en analogni vhod in več izhodnih digitalnih sponk. Stanje na izhodnih sponkah je odvisno od vhodne analogne napetosti.



Analogna napetost je napetost, ki znotraj določenih meja lahko zavzame vsako vrednost. Digitalna vrednost je pravzaprav število, ki ustreza izmerjeni napetosti, podano je v binarni obliki kot zaporedje enic in ničel.

Pravzaprav so tudi enice in ničle predstavljene z visokim in nizkim stanjem električne napetosti, vendar je oblika, ki jo procesor lahko neposredno sprejme.

A/D pretvorniki imajo večinoma 3 postopke pretvarjanja signalov.

1. Analogni vhodni podatek se najprej vzorči. Interval vzorčenja ali čas tipanja je za mehatronske sisteme z lastnimi frekvencami med 10 in 100Hz nekje med 10 in 1 ms. Takšni časi vzorčenja niso problem za srednje in hitre A/D pretvornike, pri katerih je čas konverzije manj kot 1 ms. A/D pretvorniki pa dosegajo tudi do 500 krat hitrejša konverzija. Pomemben podatek A/D pretvornika je tudi število kanalov, ki pove koliko analognih vhodov A/D pretvornik lahko pretvori s pomočjo vgrajenega multiplekserja v času vzorčenja.
2. Dobljen podatek se nato shrani.
3. Shranjena vrednost pa se na koncu pretvori v binarno vrednost. Digitalni izhod, lahko uporabljajo različne sheme za kodiranje. Navadno so binarne, lahko pa je tudi koda Gray ali dvojiški komplement, ki ga dobimo ko eniškemu komplementu prištejemo ena. Kvantizacija vzorčnega analognega signala pomeni, da ima polno referenčno območje Vr končno število amplitudnih nivojev, ki po velikosti ustrezajo številu bitov izhodne besede. Število izhodov se določi po sledeči formuli
$$\text{Output} = 2^n \times \text{AIN} / \text{VREF}$$
 Kjer je n število bitov, AIN Analogna vhodna napetost ter VREF referenčna napetost. Tako ima npr. n=10 bitni D/A pretvornik ob VREF=10V vrednost nivoja $\Delta V = V_r \times 2^{-n} = 10 \times 2^{-10} = 10/1024 \approx 10 \text{ mV}$, kar pomeni 0,1% natančnost.

Za primer lahko vzamemo A/D pretvornik, ki na primer z ločljivostjo 8 bitov lahko kodirajo analogni vhod na eno od 256 različnih ravni, od $2^8 = 256$.

Vrednosti lahko predstavljajo obsegu od 0 do 255 ali od -128 do 127 odvisno od aplikacije. Večina A/D pretvornikov so linearnega tipa obstajajo pa tudi taki, ki zaradi nelinearnosti prihaja do napak, te napake pa se odpravi s kalibracijo ali testiranjem.

Analogni signal je nenehno v času in ga je treba spremeniti, da je to tok digitalne vrednosti. Zato je potrebno določiti stopnje, po kateri so nove digitalne vrednosti, vzete iz analognega signala. Stopnja nove vrednosti se imenuje frekvenca in pogostost vzorčenja iz pretvornika

Uporaba A/D glede na št. Bit-ov

Št. Bit-ov	Kombinacija	Uporaba
2	4	Brez značaja
4	16	Enostavne naprave
8	256	Običajno poskusno merjenje
16	65 536	Glasba in precizna merjenja
32	4 294 967 296	Zelo precizna merjenja

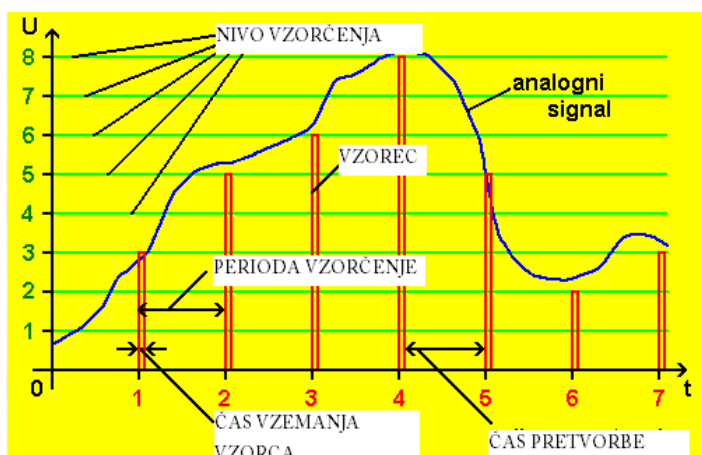
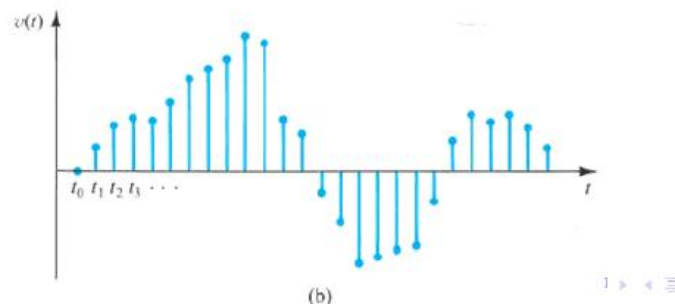
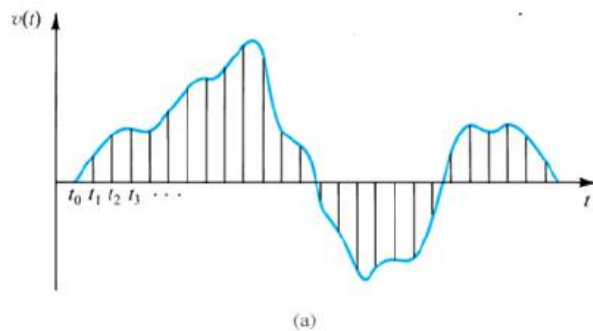
Diskretizacija

Vzorčenje je zelo pomembno, saj je pogoj za uspešno diskretizacijo.

Frekvenčno vzorčenje f_s mora biti najmanj dvakrat večje od maksimalne frekvence analognega signala $f_{a \text{ (max)}}$, ki se imenuje tudi Nyquist-ova frekvenca.

1. Diskretizacija po času ali vzorčenje

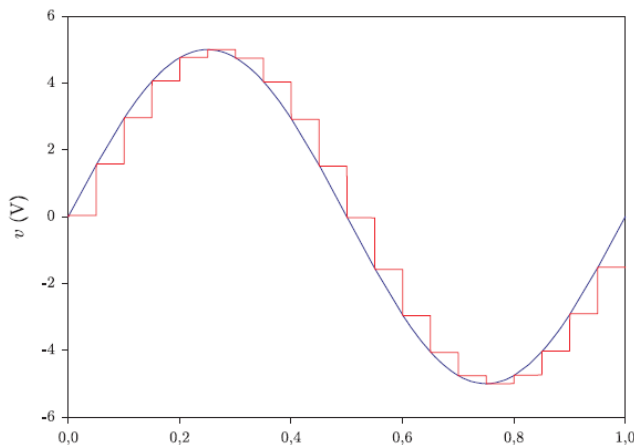
Analogni signal se nadomesti z nizom diskretnih vrednosti vzorcev v trenutku vzorčenja, vzorec, je vzet s konstantnim časom. Proces vzorčenje je podoben impulzni modulaciji.



2. Diskretizacija po amplitudi ali kvantizacija

Analogni signal se nadomesti z zaokroženimi vrednostmi, ki nastajajo v poljubnih časovnih razmakih.

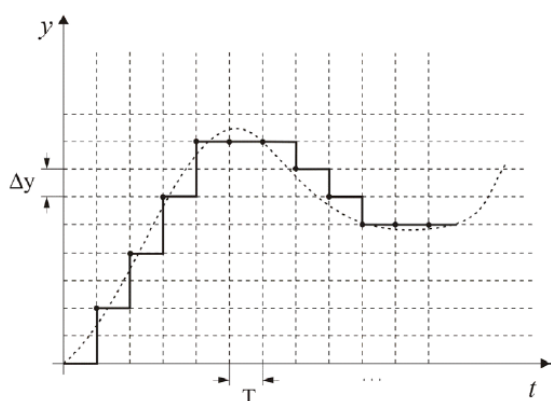
Kvantizacija se lahko izvaja s pomočjo relejnega elementa, v enostavnih izvedbah imajo od 2 do 3 stopnje.



3. Diskretizacija po času in amplitudi (vzorčenje in kvantizacija)

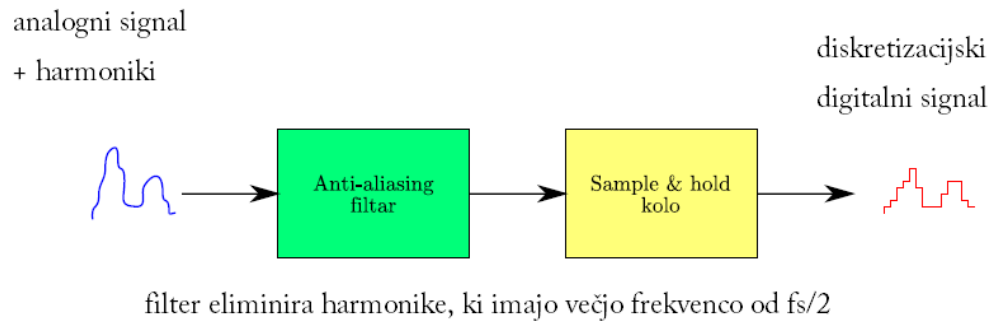
Analogni signal se zamenja z nizom diskretnih vrednosti v trenutku vzorčenja, katere seštevek prejme samo določeno vrednost. Kvantizacija in vzorčenje se doseže samo amplitudno/kodnim modulatorjem kot je A/D pretvornik.

Proces kvantizacije tvori sistem nelinearno, ker se vpliv kvantizacije lahko zanemari pa ta sistem lahko vzamemo kot impulzni sistem.



4. Eliminacija harmonikov

Razne napake in šume odpravimo z filtrom.



Pogreški

Poznamo več vrst pogreškov. Najbolj pogosti so kvantizacijski pogrešek, pogrešek linearnosti, ničelno odstopanje, pogrešek strmine, in drugi pogreški ki so vezani na tip pretvornika.

Kvantizacijski pogrešek

To je pogrešek, ki nastane pri kvantizaciji vhodnega signala. V literaturi se pogosto podaja kar z ekvivalentno vrednostjo najmanj uteženega bita digitalne izhodne vrednosti.

Pogrešek linearnosti

Prenosna funkcija je običajno nelinearna v območju $\pm \frac{1}{2}\text{LSB}$. Če je nelinearnost večja je prisoten pogrešek manjšajoče kode.

Ničelni pogrešek

Pri ničelni vhodni vrednosti napetosti mora biti izhodna napetost enaka nič, ker ni govorimo o ti ničelnem pogrešku. Ta pogrešek je potrebno z začetno nastavitvijo odpraviti.

Pogrešek strmine

Prenosna karakteristika pretvornika poteka od začetne vrednosti nič do maksimalne vrednosti U_M . Če je končna vrednost manjša ali pride karakteristika v nasičenje, govorimo o pogrešku strmine ali pogrešku ojačanja.

So še tako imenovane odprte napake, ki pa so posledica ure trepetanja in je pokazala, ko digitaliziramo čas kot različico signala. Te napake se merijo v enoti imenovano LSB, kar je kratica za najmanj pomemben bit. V primeru osem-bitnega AD pretvornika je napaka enega LSB-ja $1/256$ celotnega obsega signala, ali približno 0,4%.

Največ pretvornikov je ločljivosti med 6 in 24 bitov in proizvedejo manj kot je megavzorec v sekundi. Odstopanja ustvarjena zaradi pasivnih komponent v vezju, so zelo nezaželena ko je potrebna natančnost. Vendar v vsakdanji rabi navadno ne potrebujemo takšne kvalitete. Za avdio aplikacije in uravnavanje sobne temperature je odstopanje navadno manj kot $1\mu\text{V}$, kar omeji ločljivost pri standardnih 2V signalih na 20-21 bitov je sicer še vedno zadovoljivo. Vendar so

v digitalnih kamerah, fotoaparatih in digitalnih spominskih karticah potrebne večje kakovosti, da pretvorijo hiter analogni signal v digitalnega istočasno. Komercialni A/D pretvorniki imajo navadno ± 0.5 do ± 1.5 LSB napake v izhodnem signalu. Komercialni pretvorniki imajo navadno več vhodov, ki napajajo isto pretvorno enoto preko multiplekserja, ki je elektronsko vezje z več podatkovnimi vhodi, enim ali nekaj izhodi in krmilnimi signali ki usmerjajo kateri signal gre v pretvorbo.

Vrste A/D pretvornikov

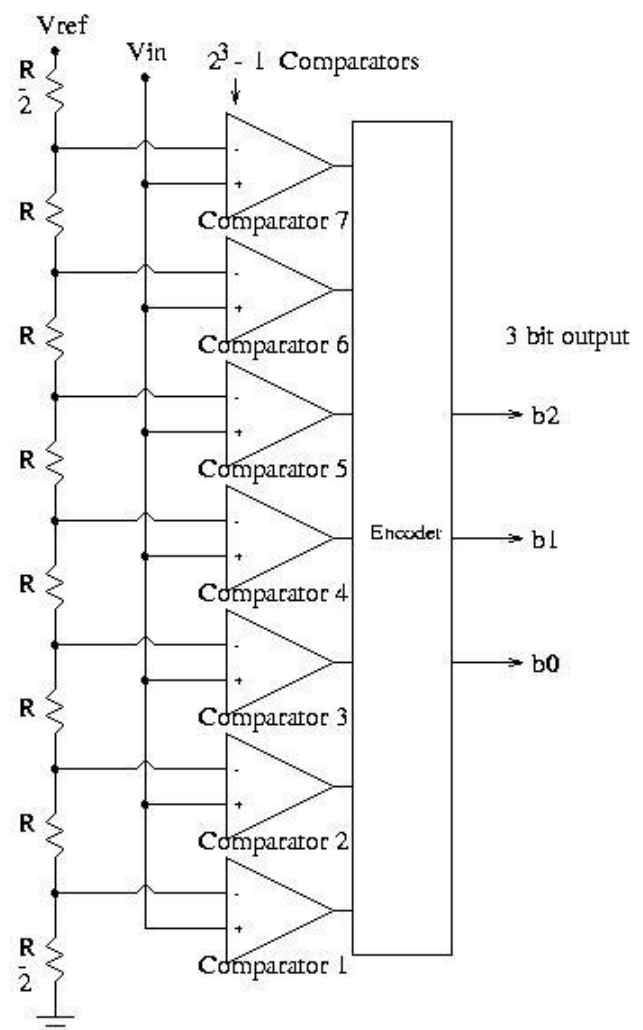
Obstaja mnogo vrste pretvornikov, ki se med seboj razlikujejo po hitrosti vzorčenja, št. kanalov in št. bitov in itd. V nadaljevanju bom naštel najpomembnejše pretvornike, nebodo pa v celoti zaradi obsega, ki je trenutno v uporabi.

- flash pretvornik
- deltasigma pretvornik
- multistep subranging
- dual slope integrating (integracijski z dvema rampama)
- sukcesivno aproksimativni
- single slope integrating (integracijski z eno rampo)
- napetostno frekvenčni
- R-2R sukcesivni
- RC
- PWM
- izboljšani PWM

Opis najpomembnejših pretvornikov.

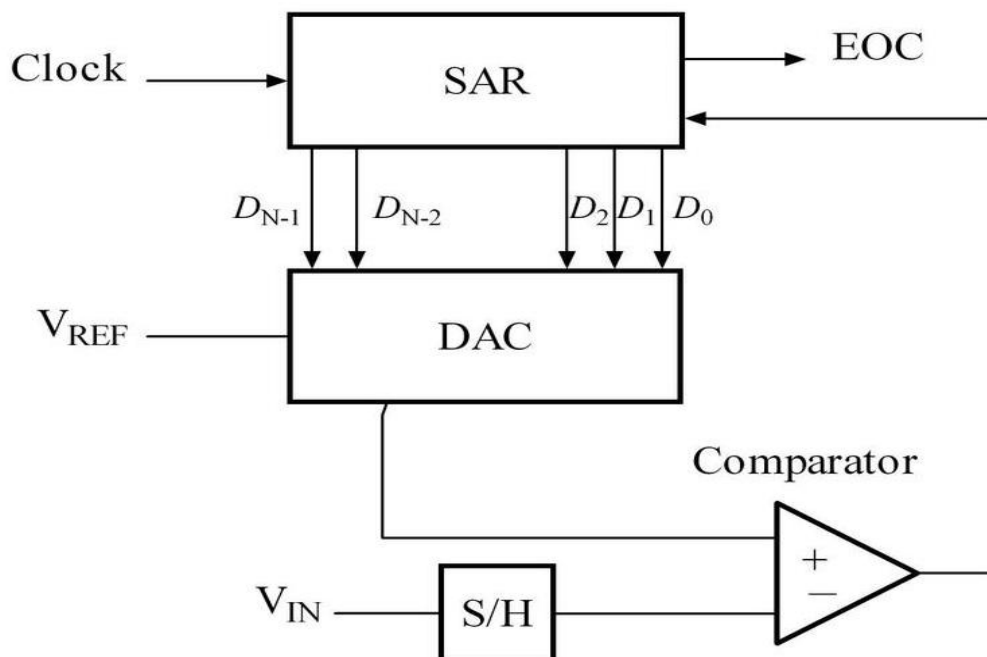
1. Flash ADC (Neposredna pretvorba vzporednega A/D pretvornika)

Flash pretvorba je najhitrejša vrsta A/D pretvornika na voljo. Na sliki je 3 bitni flash A/D pretvornik z resolucijo 1 volt (po Tocci). Mreža uporov in komparatorjev sestavljajo vzporedni vhodni signal (primerjajo različne vhodne napetosti) dajejo vhodne podatke kombinacijskemu logičnemu vezju ki pretvarja signal za vsako območje napetosti posebej. Tako ima pretvorni čas le malo zamude zaradi širjenja signala preko prek omrežja A/D pretvorniki te vrste imajo veliko matično velikost (velik čip), velik vnos kapacitivnosti, visoke izgube moči, in so nagnjeni k nastanku kratkotrajnih napak pri izhodih. Pogosto se uporabljajo za video, širokopasovne komunikacije ali druge sisteme, ki potrebujejo hitre signale v optičnem shranjevanju.



2. Sukcesivno aproksimativni (A/D pretvornik z zaporednim približevanjem)

Te vrste A/D pretvornikov se zelo veliko uporabljajo tudi zaradi nizkih cen. Potrebuje veliko časa za samo pretvorbo signala. Ta pretvornik temelji na pridobivanju podatkov lahko tudi za več let. Takšni A/D pretvorniki imajo dobro resolucijo in precej širok obseg. So bolj zapleteni, kot nekatere druge vrste pretvornikov. A/D pretvornik z zaporednim približevanjem je pretvornik s povratno vezavo, kjer je v vejo povratne zveze vključen D/A pretvornik. Zaporedno približevanje deluje tako, da nenehno primerja vhodne napetosti z izhodom notranjega digitalno analognega pretvornika dokler ni najboljši približek dosežen. Princip delovanja ADC z zaporednim približevanjem je zasnovan na približevanju željeni vrednosti po metodi binarnega drevesa. V prvem poskusu se postavi bit najvišje utežne vrednosti in prek D/A pretvornika primerja z vhodno analognο vrednostjo. Če je vhodna analognā vrednost večja, se ta bit ohrani zapisan v registru, drugače pa se izbriše. V drugem koraku se postavi bit, ki je na drugem najvišjem mestu in ponovno primerja z vhodno analognο napetostjo. Če je ta nižja, se ohrani v registru, drugače se zbriše. Enako se ponovi tudi v tretjem koraku. S sestavljanjem posameznih bitov, npr. v tribitni zapis, lahko dobimo analogni vrednosti ekvivalentni digitalni zapis. Da bi A/D pretvornik lahko deloval po algoritmu z zaporednim približevanjem, mora biti opremljen z ustrezno logiko.

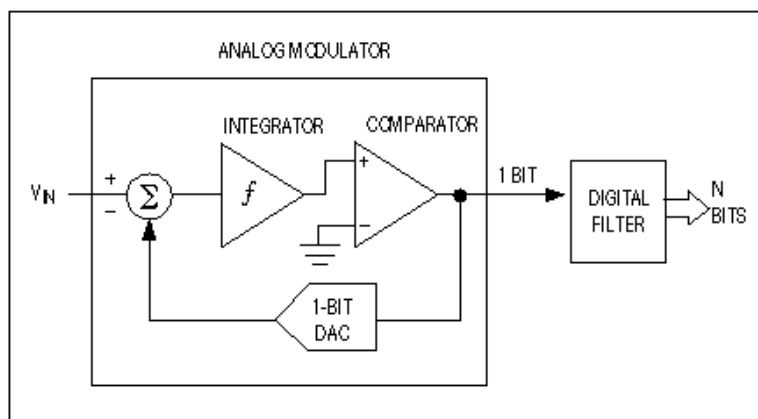


3. A/D konverter z rampno tehniko

Osnova tega konvertorja je v linearno naraščajoči referenčni napetosti, ki ji primerjamo analogno napetost U_v . Princip je torej zasnovan na spreminjanju napetosti v času oziroma posredno v število impulzov, ki je sorazmerno vhodni napetosti U_v . Na začetku naraščanja strmine na invertirani vhod komparatorja, začne prehod impulzov skozi vrata AND v števec. Ko se ploščadna napetost ujame z vhodom komparator da signal in časovna enota je zabeležena se izhod komparatorja preklopi v stanje 0 in števec je ustavljen do naslednje rampe. Krmilna enota, ki daje takt odčitavanja, sproži začetek naraščanja referenčne napetosti, resetira digitalni števec ter odpre vrata, ki omogočijo, da impulzi s časovne baze pridejo na vhod števca. Zaporedni digitalni izhod je na vhodu števca, vzporedni digitalni izhod pa predstavlja izhod elektronskega registra. Omenjeni ploščadni pretvorniki zahtevajo najmanjše število tranzistorjev. Čas nagiba je občutljiv na temperaturo, ker je vezje za generiranje ploščadi pogosto narejeno le iz preprostega oscilatorja. Obstajata dve rešitvi: uporabo števca ki poganja D/A pretvornik in nato uporaba primerjave za ohranitev nasprotne rednosti, ali izenačitev časovnega nagiba. Posebna ugodnost tega pretvornika je v tem da za primerjavo z drugim signalom potrebuješ le drug primerjalnik in drug register za shranjevanje vrednosti napetosti. To pomeni da je primerjava z drugimi signali zelo hitra in enostavna.

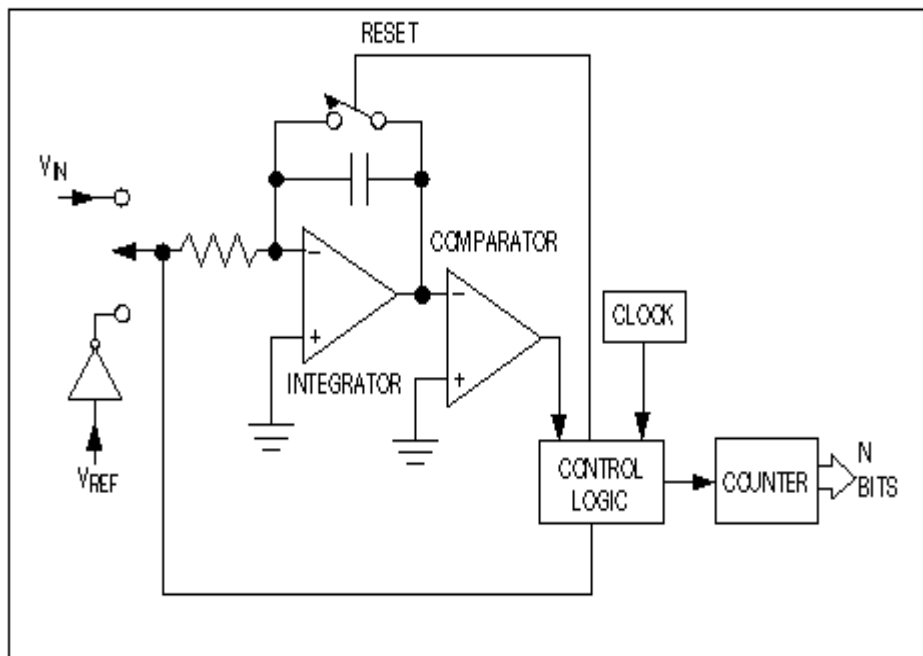
4. Sigma-Delta A/D pretvornik

Sigma-delta pretvornik je znan tudi pod imenom delta-sigma. Ta pretvornik prevzorči željen signal preko veliko faktorjev in filtrov v drugi željen signal. Sestavljen je iz dveh velikih blokov; iz modula in digitalnega filtra. Sestava modulatorja je podobna sestavi integracijskega pretvornika; vsebuje integrator in komparator s povratno zanko, ki vsebuje 1 bitni digitalno analogni pretvornik. Modulator prevzorči vhodni signal in ga preoblikuje v serijo bitnega signala s frekvenco ki je višja kot potrebno za vzorčenje signala. A/D pretvornik nato spelje signal v digitalni filter ki iz 1 bitnega signala naredi večbitnega, kar občutno zviša resolucijo. Nato izhodni filter preoblikuje bitni signal v sekvenco vzporednih digitalnih besed. Filter odstrani nezaželena odstopanja, zniža rekvenco vzorcev in poveča resolucijo signala. Delta sigma konverterji so zelo hitri vendar imajo majhno resolucijo (le 1 bit), vendar se le ta na koncu izboljša. Lastnosti; visoka resolucija, velika natančnost, malo odstopanj in nizki stroški. Zelo dober je za pretvorbo signala do 1MHz, kar vključuje govor in druge avdio signale.



5. Integracijski A/D pretvornik

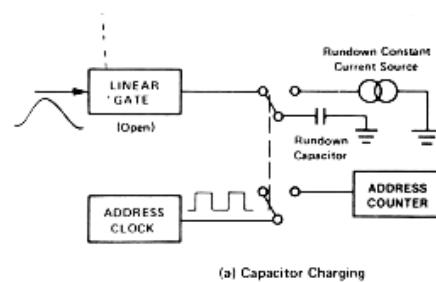
Na vhodu se uporablja neznana vhodna napetost ki je speljana na vhod integratorja kar omogoča, da napetost narašča za določeno časovno obdobje (obdobje naraščanja). Potem se števec resetira in uporabi se referenčna napetost nasprotnne polarnosti, ki se napelje v vhod integratorja, dokler se narasla napetost na izhodu ne vrne na ničlo (to je obdobje padca). Vhodna napetost se izračuna kot funkcijo referenčne napetosti, časovnega obdobja naraščanja in časovnega obdobja padca napetosti. Čas padanja



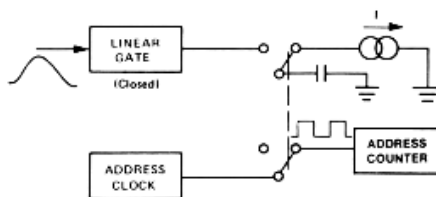
napetosti se navadno meri v uri pretvornika, zato daljši čas povezovanja omogočaja večjo resolucijo. Če pa želimo hitrejšo delovanje se moramo odpovedati resoluciji (ali hitrost ali resolucija). Pretvorniki te vrste (ali variacije na konceptu) se uporabljajo v večini digitalnih voltmetrov zaradi svoje linearnosti in fleksibilnosti.

6. Wilkinsonov A/D pretvornik

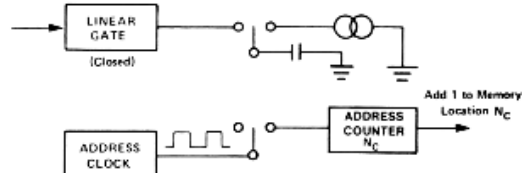
Pretvornik se imenuje po svojem ustanovitelju. Oblikoval ga je DH Wilkinson leta 1950. Wilkinsonov A/D pretvornik temelji na primerjavi vhodne napetosti s tisto, ki ga proizvede polnjenje kondenzatorja. Kondenzator se lahko polne, dokler njegova napetost ni enaka amplitudi vhodnega impulza. Komparator pa določa, kdaj je dosežen ta pogoj. Nato se kondenzator linearno prazne kar proizvaja naraščajočo napetosti. Na točki, ko se kondenzator začne prazniti, se začne impulz, ki ostane dokler se kondenzator popolnoma ne izprazni. Tako je



(a) Capacitor Charging



(b) Capacitor Rundown



(c) Memory Cycle

trajanje impulza je neposredno sorazmerna z amplitudo vhodnega impulza. Medtem ko so vrata kondenzatorja odprta, diskretni impulzi tečejo skozi linearna vrata in so nato zabeleženi v registerju. Čas ko so linearna vrata odprta, je sorazmeren z amplitudo vhodnih impulzov, ker pa se ti impulzi nato vpišejo v register so tudi ti vpisi sorazmerni z vhodnim impulzom.

Literatura:

- http://www.dnp.fmph.uniba.sk/~kollar/je_w/el3.htm
- <http://abra.fkkt.uni-lj.si/pihlar/AA-8.pdf>
- http://lab405.fesb.hr/tinf/teorijainf_11.htm
- <http://www.informatika.buzdo.com/s874.htm>