

## 4 GENERATORJI SIGNALOV IN KOMBINIRANA VEZJA

### 4.1 ZNAČILNOSTI GENERATORJEV SIGNALOV

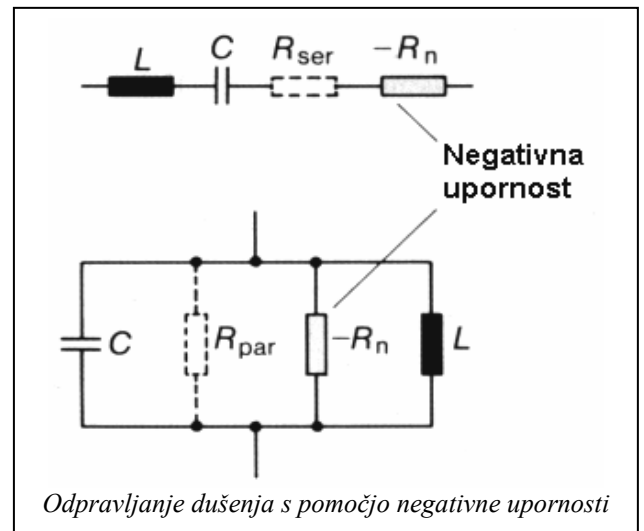
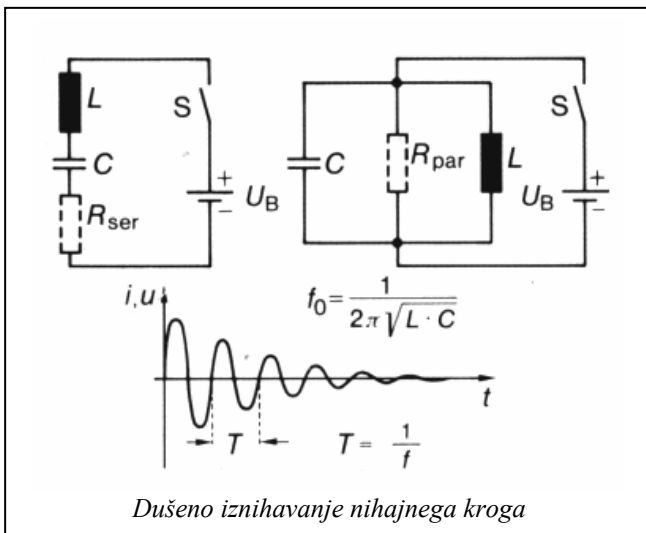
Generatorji signalov so elektronska vezja ali naprave, ki energijo iz napajalnega vezja pretvorijo v izmenično napetost. Glede na obliko izmeničnega signala ločimo različne tipe generatorjev. V grobem jih lahko ločimo na **harmonične** (sinusna oblika signala) in **relaksacijske** (pravokotna oblika signala). Sestavljena vezja omogočajo tudi druge oblike, ki pa se običajno generirajo z dodatno obdelavo signala iz prvih dveh načinov. Taka vezja imenujemo **funkcijski generatorji** in so večinoma v integrirani obliki. Generatorje za sinusno nihanje imenujemo oscilatorji, generatorje za pravokotne signale pa multivibratorji.

### 4.2 OSCILATORJI

Oscilatorji delujejo na principu negativne upornosti (dvopol) ali ojačevalniku s pozitivno povratno vezavo, ki napaja resonančno LC vezje ali pa selektivni RC krog. Za ta vezja je značilno, da se pri impulznem vzbujanju, energija zaradi izgub periodično izniha, vendar z definirano frekvenco (dušeno nihanje). Vzrok za izgube v dušenem nihanju so doводи in izgube od L in C. Za zaporedni nihajni krog velja, da je:  $X_C = X_L$  in  $Z = R_{ser}$  ( $X_L$  in  $X_C$  se kompenzirata). S tem so podani kriteriji za stabilnost:

- $R_{ser} > 0$ : Sledi dušeno nihanje, ki traja določen čas
- $R_{ser} = 0$ : Sledi nedušeno nihanje
- $R_{ser} < 0$ : Sledi naraščajoče nihanje za določen čas

Na podlagi teh dejstev sledi, da lahko vzdržujemo konstantno amplitudo realnega nihajnega kroga z  $R_{ser} > 0$ , če periodično dovajamo ustrezen delež energije, ali pa z zaporedno vezavo komponente z negativno upornostjo. Z zvišanjem negativne upornosti  $R_n$  na vrednost  $R_{ser}$  je izraz  $R_{ser} + R_n = 0$ , kar pomeni, da postane pri tisti amplitudi nihanje nedušeno-konstantna amplituda. Vendar je za začetek nihanja potreben pogoj, da je  $R_{ser} + R_n < 0$ , kar pomeni, da se pri napetostni motnji vezje samo vzbudi. Vendar bi po tretjem stabilnostnem kriteriju v začetku amplituda naraščala v »neskončnost«, zato mora imeti vsak oscilator tudi omejitev naraščanja amplitude.



V praksi so dvopolni oscilatorji bolj primerni za področje ultravisokih UHF frekvenc, štiripolni pa za področje nižjih in srednjih frekvenc. Četverpolni oscilatorji pogosto uporabljajo namesto nihajnega kroga kvarčev kristal, kar zagotavlja visoko stabilnost frekvence. V nekaterih primerih pa izkoriščamo spremenljivost pogojev za nihanje. V takih primerih se oscilatorju spreminja amplituda v odvisnosti od pogojev za nihanje. Če izgube v nihajnem krogu narastejo se amplituda oscilatorja zniža ali pa celo izgubi pogoje za nihanje (npr. induktivni ali kapacitivni senzorji oz. stikala).

### 4.2.1 ČETVEROPOLNI OSCILATORJI

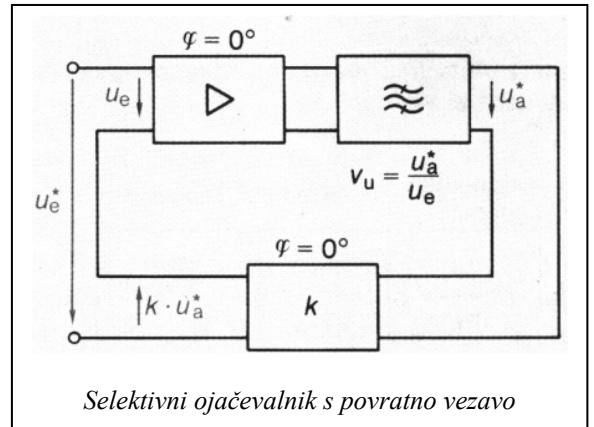
Četveropolni oscilatorji temeljijo na principu pozitivne povratne vezave. Poenostavljena blokovna shema ponazarja ojačevalnik, ki ima pripeto pasivno frekvenčno vezje (npr. nihajni krog). Če tak selektivni četveropol vzbudimo z enkratnim impulzom, se na izhodu pojavi dušeno nihanje. Z dodatno pozitivno povratno vezavo primerne jakosti, lahko izgube periodično kompenziramo, kar omogoča nedušeno nihanje s konstantno amplitudo.

Bistven pogoj je, da je fazni kot med vhodnim in signalom iz povratne vezave izenačen ( $\varphi=0^\circ$ ).

V primeru, da ojačevalnik obrača fazo samo za  $180^\circ$ , jo mora tudi četveropol v povratni vezavi za  $180^\circ$ .

Iz blokovne sheme izhaja, da je za željeno izhodno napetost potrebna vhodna napetost:

$$U_e = U_A^* / V_U$$



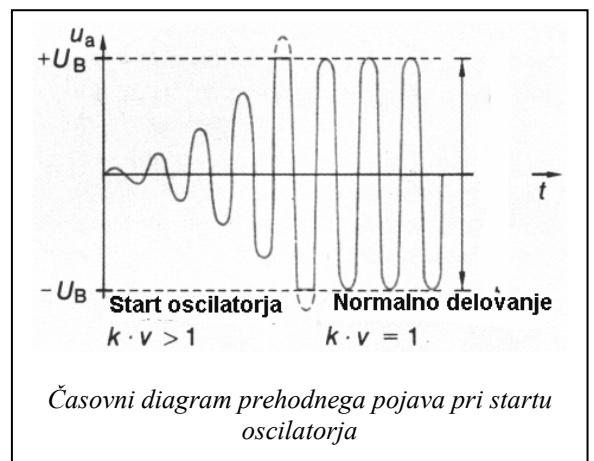
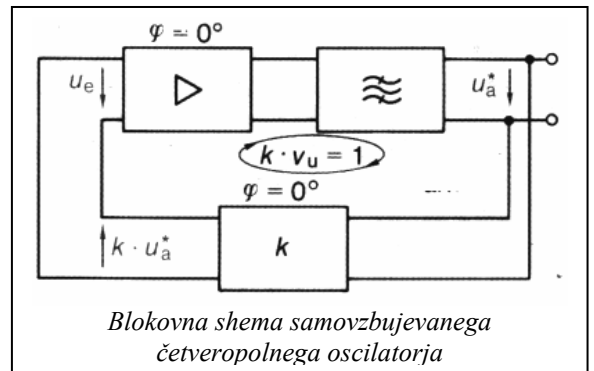
Če spojimo četveropol v povratni vezavi z vhomom se bo ojačevalnik napajal iz dela izhodne napetosti. Iz tega sledi pogoj:

$$V_U = \frac{U_A^*}{U_e}; \Rightarrow V_U = \frac{U_A^*}{k \cdot U_A^*}; \Rightarrow k \cdot V = 1$$

V osnovi lahko podobno kot prej definiramo tri stabilnostne kriterije:

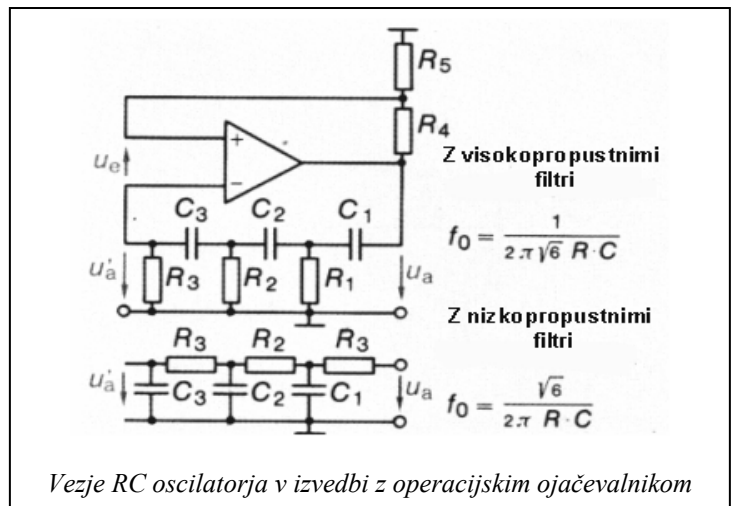
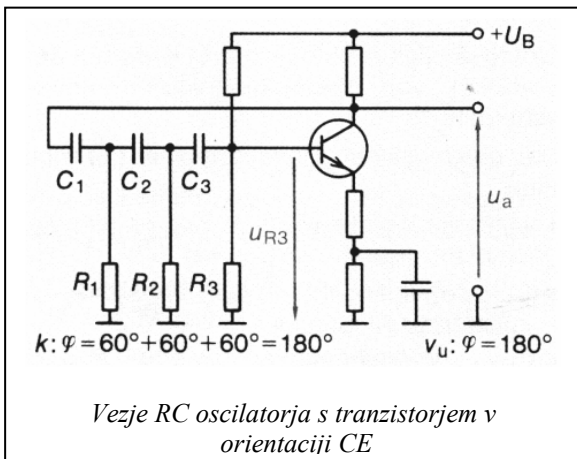
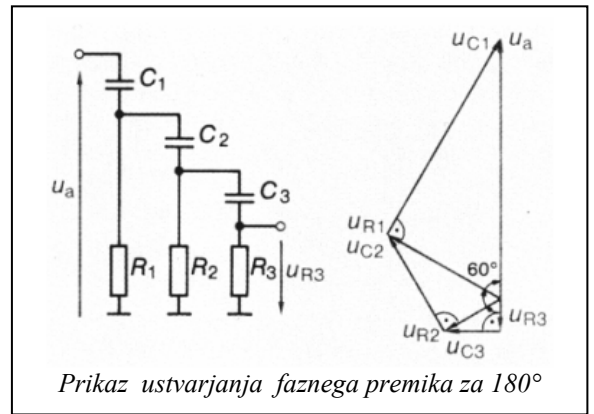
- $k \cdot V < 1$ ...ni lastnega vzbujanja
- $k \cdot V = 1$ ... lastno vzbujanje s konstantno amplitudo
- $k \cdot V > 1$ ...lastno vzbujanje z naraščajočo amplitudo

V praksi pogoja  $k \cdot V = 1$  zaradi tolerance komponent ni možno vedno dosežati. Poleg tega je potrebno za lastno vzbujanje na začetku večje ojačanje ( $k \cdot V > 1$ ), kar lahko povzroči popačenje sinusnega signala. V tem primeru je potrebno dodati povratni vezavi še napetostni omejevalnik ali pa ojačevalnik z napetostno odvisnim ojačanjem.



4.2.1.1 **RC oscilator**

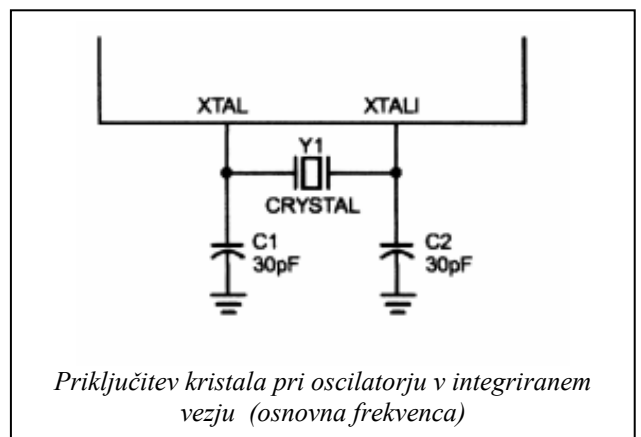
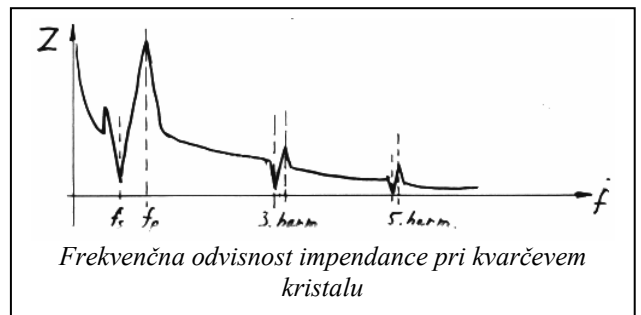
Pri RC oscilatorju ustvarjajo ustrezen fazni premik tri RC vezja. Glede na to, da že tranzistor v orientaciji CE obrača fazo za 180°, mora biti fazni zasuk v povratni vezavi še 180°, da bo na skupaj 360° (sofazni signal). Glede na to, da je fazni kot pasameznega RC vezja odvisen od frekvence, bo oscilator »izbral« tisto frekvenco pri kateri bo skupni fazni premik vseh RC členov točno 180°. Seveda ni pomembno, če so posamezni prispevki različni zaradi tolerance komponent.



4.2.1.2 **Kvarčni oscilatorji**

Značilnost kvarčevega kristala je, da je izdelan tako, da se mehanska resonanca odraža na električnih lastnostih.

Glede na to, da sta dve kapacitivnosti v nadomestni shemi, sta izraženi paralelna fp in serijska resonanca fs. Ti pa imata določen učinek še na lihih mnogokratnikih osnovne resonance, kar izkoriščajo overtonski oscilatorji. V praksi je uporabljiva le tretja harmonska komponenta v obsegu od 10MHz do 100MHz. V tem primeru je potrebno kristal »prisiliti« v to frekvenčno področje, kar dosežemo večinoma z nihajnim krogom, uglašnim na to frekvenčno področje. Čeprav je frekvenčna stabilnost kvarčevega kristala zelo velika (10<sup>6</sup>), je možno tudi minimalno spreminjanje frekvence z dodatnimi kapacitivnostmi. Pri modulaciji je posledica tega zelo majhna frekvenčna deviacija, kar pa se lahko kljub temu uporablja ob predhodnem kompresiranju dinamike signala (npr. FM brezžični mikrofoni, brezžični hišni telefoni,...).



### 4.3 VRSTE KOMBINIRANIH VEZIJ IN ZNAČILNOSTI

Za kombinirana vezja je značilno, da so sestavljena iz analognih in digitalnih komponent in posledično so vhodni oz. izhodni signali analogni oz. digitalni. Prav tako se tudi signali v notranjosti vezja spreminjajo glede na pripadajočo strukturo vezja. Kombinirana vezja (*mixed signal IC*) so večinoma namenska vezja za specifične funkcije, operacije, pretvorbe in obdelave signalov. Med številnimi nalogami, ki jih ta vezja opravljajo lahko izpostavimo najznačilnejše skupine:

- DAC....digitalno - analogni (DA) pretvorniki
- ADC... analogno - digitalni (AD) pretvorniki
- Pretvorniki signalov (U/f, f/U, ...).
- Vezja za prenos signalov (ločilni ojačevalniki, linijski gonilniki, optični vmesniki,...)
- Vezja za vzorčenje signalov (*SH-Sample and Hold*).
- Vezja za digitalno krmiljenje analognih signalov (*analog switches*).
- Vezja za posebne namene (senzorika, funkcijski generatorji, napajalniki, krmiljenje koračnih motorjev,...).

Glede na to, da so nekatere skupine zelo obširne in specifične, bomo tematiko omejili le na tiste, ki jih najpogosteje srečujemo v elektronskih vezjih. Med te zagotovo sodijo D/A in A/D pretvorniki.

#### 4.3.1 ZNAČILNOSTI A/D IN D/A PRETVORNIKOV

A/D in D/A pretvorniki imajo v sodobnih elektronskih vezjih zelo pomembno funkcijo, saj zunanje signale, ki so v okolju pretežno analogni (npr. temperatura in ostale zvezno se spreminjajoče veličine) pretvarjajo v digitalno obliko, katera je z današnjimi elektronskimi vezji bolj primerna za kvalitetno obdelavo (procesiranje), arhiviranje in seveda za matematične operacije. Izhodni signali pogosto ostanejo v digitalni obliki (npr. številčni prikaz, diskretni krmilni signali, prikaz na zaslonu,...) ali pa jih je potrebno ponovno pretvoriti v analogno obliko.

Pri pretvarjanju je poleg natančnosti pretvorbe pogostokrat zelo pomembna hitrost pretvorbe, upoštevati pa je potrebno tudi stranske učinke (harmonska popačenja, frekvenčna omejitvev, način kodiranja, občutljivost na motnje,...). Glede na to lahko definiramo najznačilnejše parametre za A/D in D/A pretvornike:

- Natančnost pretvorbe (število bitov-resolucija).
- Linearnost pretvorbe (*linearity error*).
- Hitrost pretvorbe (*conversion time*).
- Hitrost vzorčenja signala (*sampling rate*).
- Harmonska popačenja (*harmonic distortion*).
- Način delovanja pretvorbe.
- Vrsta vhoda oz. izhoda (tokovni, napetostni, paralelni, serijski,...).
- Povezljivost z mikroprocesorjem.

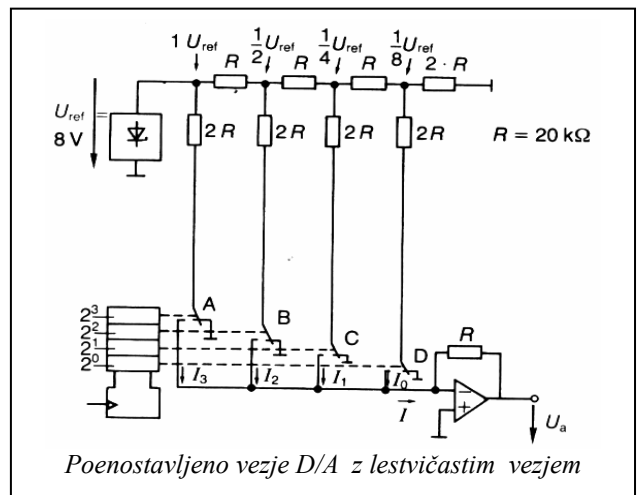
Pretvorba signalov iz analogne v digitalno obliko in obratno je možna na več načinov, vendar je glede na zahtevane kriterije, potrebno izbrati primernega. V primeru zahtevnejše pretvorbe (npr. visoka resolucija, velika hitrost in linearnost) izpolnjujejo pogoje le namenski A/D oz D/A pretvorniki kot monolitno integrirano vezje. Za počasno spreminjajoče se signale in pri mikroprocesorskem vezju lahko uporabimo funkcijo A/D oz. D/A pretvorbe, ki je že vgrajena v nekatere vrste mikroprocesorjev. V primeru potrebe po pretvorbi analognih signalov iz procesnega okolja lahko uporabimo primerne prosto programirljive krmilnike z analognimi vhodi oz. izhodi (DC izvedba). Pri teh krmilnikih je pogosto možno programsko nastavljati nekatere parametre vgrajenega A/D pretvornika. Pogostokrat je A/D pretvornik v povezavi z analognim multipleksorjem, kar omogoča postopno pretvorbo več multipleksiranih signalov s samo enim pretvornikom.

### 4.3.2 DIGITALNO ANALOGNI PRETVORNIKI - DAC

Digitalno-analogni pretvorniki delujejo na osnovi povezovanja skupine ustreznih uporov, ki se povezujejo v odvisnosti od binarne kombinacije digitalnega podatka. Upori določajo »bitno utežene« tokovne prispevke, katerih vsota ustvarja na izhodnem uporu pripadajoči padec napetosti – analogno vrednost. Upori se priključujejo na referenčno napetost pripadajoče glede na digitalni podatek in s tem prispevajo »utežen« delež toka, ki teče skozi upor na izhodu. V odvisnosti od digitalnega podatka se na izhodu pojavljajo diskretne vrednosti napetosti. Vključevanje posameznih uporov je izvedeno s pomočjo stikalnih tranzistorjev, katere krmilijo pripadajoči biti glede na velikost podatka. Upori vezja morajo biti preračunani tako, da se bo ob vsaki vrednosti digitalnega podatka na izhodu pojavila pripadajoča analogna napetost ter, da bo zagotovljena željena linearnost (enaka višina spremembe napetosti - stopničke) na izhodu v celotnem območju pretvorbe. Obstaja več izvedb D/A pretvornikov, najznačiljši sta dve: ena temelji na utežnostnem in druga na lestvičastem vezju.

### 4.3.3 D/A PRETVORNIK (LESTVIČASTO VEZJE)

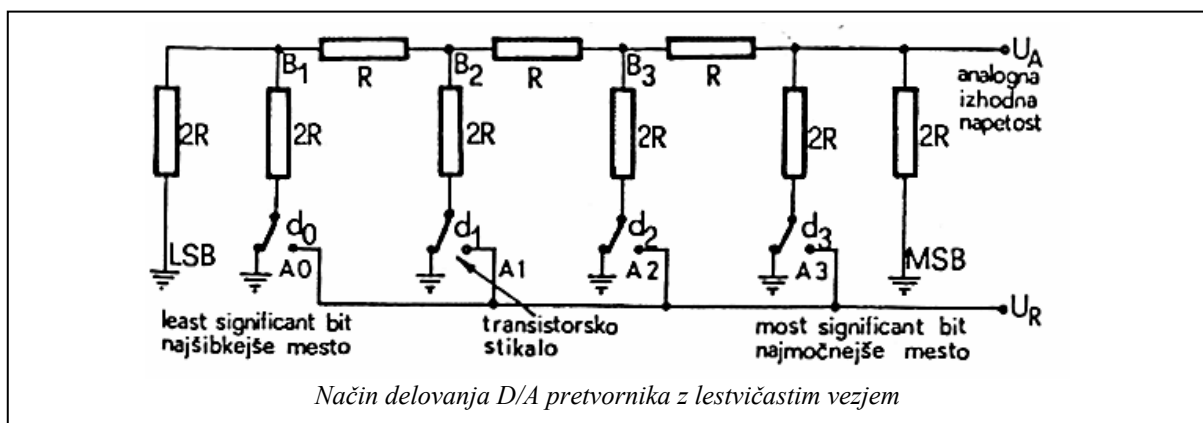
Za lestvičasto vezje je značilno, da je zgrajeno iz uporov samo dveh vrednosti, kar omogoča poenostavitve, pocenitev in razširitev do največjih resolucij. Referenčna napetost mora biti v obeh primerih primerno izbrana tako, da pri največjem podatku ne pride do nelinearnosti. Referenčna napetost mora biti zelo stabilna za kar poskrbi interni stabilizator ali pa zunanji izvor referenčne napetosti (npr.: TL431C – 2,5-36V; 30ppm/°C). Hitrost D/A pretvorbe je velika in je omejena s hitrostjo registra, elektronskih stikal in operacijskega ojačevalnika.



Za lažje razumevanje delovanja, opravimo analizo vezja na sliki spodaj. Glede na položaj posameznega stikala, je pripadajoči tokovni prispevek na izhodu sorazmeren kombinaciji zaporedno vezanih upornosti. Levo in desno od vsakega vozlišča je nadomestna upornost enaka 2R, zato se tok, ki teče iz referenčne napetosti v vsakem vozlišču prepolovi. Katerokoli od stikal bo vključeno na U<sub>R</sub>, bo skozi stikalo tekla tok  $I = U_R/3R$ . Desna polovica toka se v naslednjem vozlišču spet razpolovi (polovica teče dalje proti izhodu, polovica pa preko stikala na maso). Tako se tok na vsakem vozlišču razpolavlja (na bolj oddaljenih vozliščih večkrat), dokler ne pride do bremenskega upora R<sub>L</sub>, kjer povzroči podatku sorazmeren padec napetosti.

Tok, ki steče v R<sub>L</sub> od skrajnega desnega stikala, kadar je le- to priključeno na U<sub>R</sub> znaša:

$$I_3 = \left(\frac{U_R}{3R}\right) \cdot \frac{1}{2}$$



Ustrezni prispevek stikala  $A_3$  k napetosti  $U_A$  znaša:

$$U_{A3} = \left(\frac{U_R}{3R}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 2R = \frac{U_R}{3} \cdot 1$$

Prispevek vključenega sosednjega levega stikala  $A_2$  je:

$$U_{A2} = \left(\frac{U_R}{3R}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2R = \frac{U_R}{3} \cdot \frac{1}{2}$$

Podobno lahko zapišemo za ostala stikala izraze:

$$U_{A1} = \left(\frac{U_R}{3}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \quad U_{A0} = \left(\frac{U_R}{3}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

Celotno izhodno napetost lahko izračunamo po izrazu:

$$U_A = \frac{U_R}{3} \cdot \left(d_3 + \frac{d_2}{2} + \frac{d_1}{4} + \frac{d_0}{8}\right)$$

Po preureditvi enačbe dobimo izraz:

$$U_A = \frac{U_R}{3} \cdot \frac{1}{2^3} (d_0 \cdot 2^0 + d_1 \cdot 2^1 + d_2 \cdot 2^2 + d_3 \cdot 2^3)$$

### **Primer izračuna:**

V primeru vhodnega podatka 1010, bi bili koeficienti  $d_0=0$ ;  $d_1=1$ ;  $d_2=0$  in  $d_3=1$  in na izhodu sledeča napetost:

$$U_A = \frac{U_R}{3} \cdot \frac{1}{8} (2 + 8) = \frac{10}{24} \cdot U_R = 0,4167U_R$$

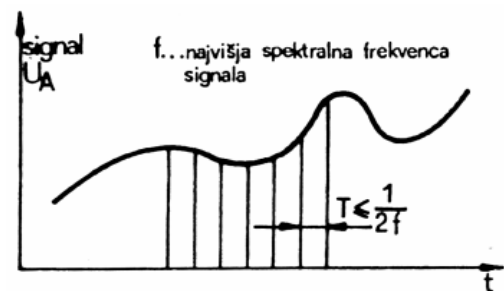
V praksi se D/A pretvorniki se uporabljajo posamezno ali kot pomožna komponenta pri A/D pretvornikih, ki so po konstrukciji vezja nekoliko zahtevnejši.

Pozornost velja pri napajanju, saj morata biti masi ( $D_{\text{gnd}}$  in  $A_{\text{gnd}}$ ) ločeni, da ne pride do motenj v analognem signalu zaradi padcev napetosti v napajalnih povezavah digitalnih vezij.

(Primer: <http://www.williamson-labs.com> - decoupling)

## **4.4 ANALOGNO DIGITALNI PRETVORNIKI - ADC**

A/D pretvorniki pretvarjajo zvezno se spreminjajočo napetost, ki so lahko rezultat meritev procesnih veličin ali drugi električni signali (npr. zvok, slika,...) v digitalne podatke. Obstaja več načinov A/D pretvorbe, ki se med seboj razlikujejo po hitrosti, natančnosti in kompleksnosti vezja pretvornika. Postopek pretvorbe je sestavljen iz treh faz. Najprej je potrebno odmeriti nek dovolj kratek čas, ki imenujemo vzorčni interval  $T$ , za katerega menimo, da signal tudi v najhitrejšem delu signala ne spremeni bistveno. Glede na frekvenčni spekter signala to pomeni najvišjo frekvenco, ki je še vsebovana v signalu.

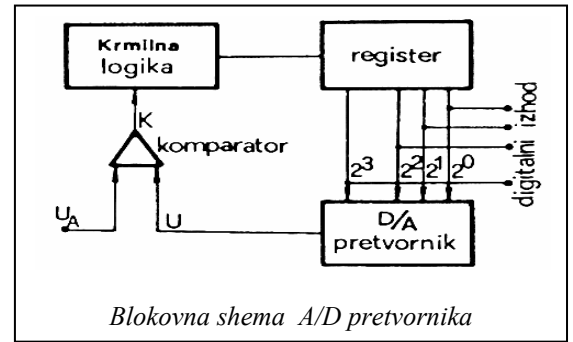


Prikaz intervalov vzorčenja analognega signala (Shanonov teorem)

V praksi se je izkazalo, da mora biti ta čas vsaj polovico krajši kot je recipročna vrednost najvišje frekvence (minimalne periode), ki je zastopana v signalu. Ta zahteva sledi iz Shanonovega teorema o odmerjanju vzorcev (*sampling teorem*). Naslednji del postopka pretvorbe zajema amplitudno kvantizacijo, kar pomeni, da je treba poiskati trenutni analogni vrednosti najbližjo diskretno vrednost. To funkcijo opravlja vezje za vzorčenje (*Sample and Hold*), ki ima to značilnost, da v času impulza za vzorčenje prebere trenutno velikost napetosti in to vrednost »zadrži« do naslednjega impulza za vzorčenje. Tretja faza postopka A/D pretvorbe zajema primerno kodiranje diskretne vrednosti napetosti (stopničke) v pripadajoči digitalni podatek. Glede na način pretvorbe razlikujemo več izvedb A/D pretvornikov, vendar se v praksi pojavljajo večinoma AD s postopno pretvorbo (*successive approximation converter*), AD na osnovi dvojne rampe (*dual ramp converter*) in hitri AD (*flash AD converter*).

### 4.4.1 A/D PRETVORNIK S POSTOPNO PRETVORBO

A/D pretvornik s postopno pretvorbo se veliko uporablja zaradi sorazmerno velike hitrosti in natančnosti pretvorbe. Analogni signal se pretvori v digitalnega bit za bitom, pri čemer pa pretvorba poteka od najbolj uteženega mesta (skrajno levo) navzdol. Sestavlja ga primerjalnik, D/A pretvornik, krmilna logika, pomikalni in LATCH register. Delovanje lahko opišemo na spodaj opisani način.



Krmilna logika najprej postavi LATCH register na 0. Ob naslednjem taktne impulzu se postavi prvi flip-flop pomikalnega registra na »1«. Pri 4-bitni pretvorbi to pomeni, da je v tem primeru na vhodu D/A pretvornika podatek 1000. Ekvivalentna izhodna napetost D/A pretvornika se primerja z vhodno in če je vhodna višja se to stanje vpiše v prvi flip-flop LATCH registra, kjer ostane »1«. V primeru, da je vhodna napetost v tem poskusu nižja, se »1« ne vpiše in v prvem flip-flopu LATCH registra ostane »0«. V naslednjem taktne impulzu se postopek ponovi za drugo pomembnejše mesto in nadaljuje do najmanj uteženega bita. Postopek potrebuje toliko taktne impulzov, kolikor bit-na je izvedba, perioda cikla pa traja nekaj dlje saj je potrebno še nekaj impulzov za krmiljenje.

