

Uvod u elektroniku
OO1UE

SIGNALI

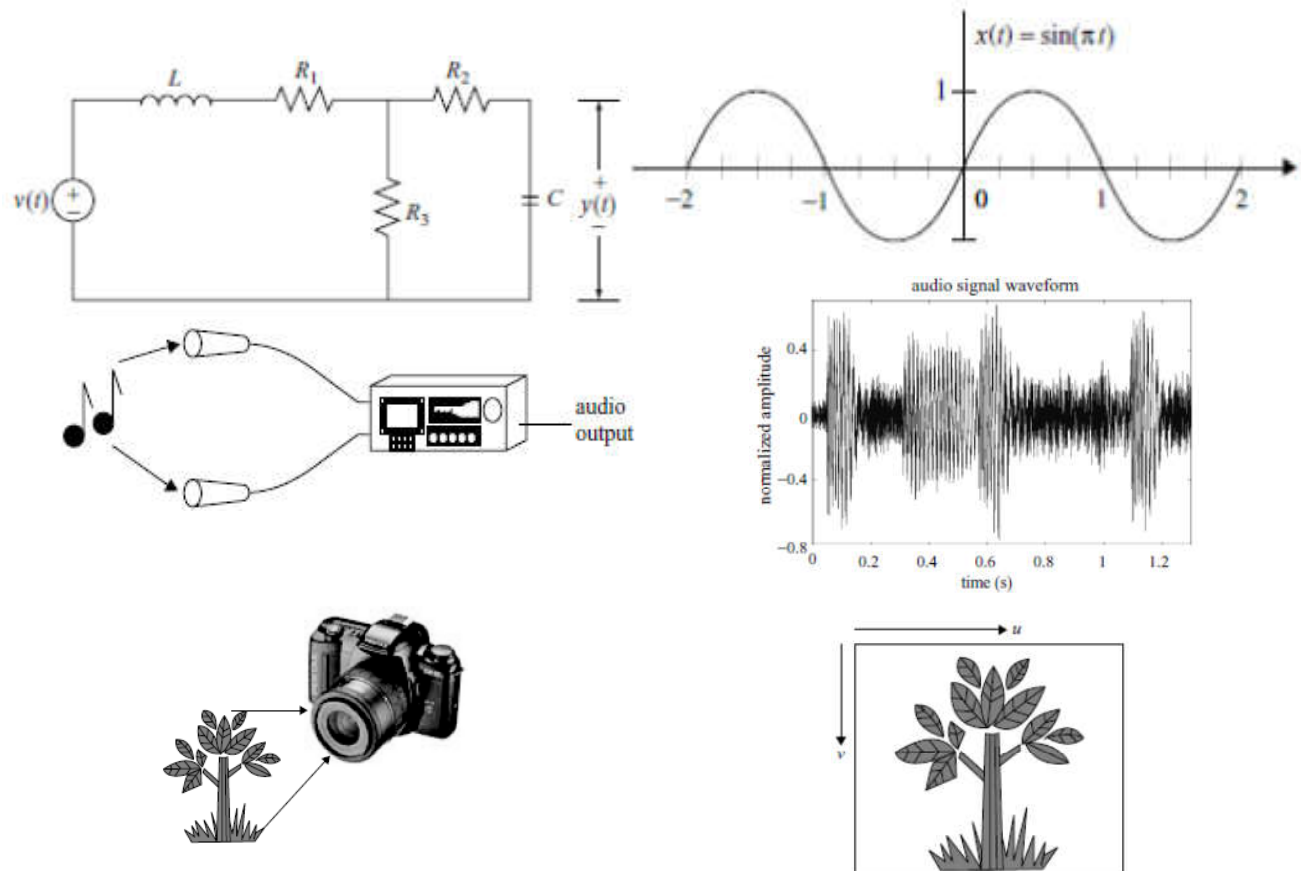
Cilj predavanja

Uvođenje osnovnih koncepata i terminologije koja se odnosi na električne signale.

Šta su signali?

Najopštije signali predstavljaju merljive veličine koje nose **informaciju** o nekom **vremenski promenljivom** fizičkom procesu.

Tako su primeri signala ljudski govor, temperatura, pritisak, cene na berzi...



Šta su električni signali?

Električne i magnetne pojave su prirodne pojave koje se sreću u svim oblastima nauke i tehnike i u mnogim oblastima ljudske delatnosti.

Istorijski posmatrano, električne i magnetne pojave svoju primenu prvo su našle u sistemima za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije i za rad elektroenergetskih uređajaja priključenih na takve sisteme.

Ovom podoblašću elektrotehnike bavi se **Elektroenergetika**.

Električne i magnetne pojave mogu sadržati ili se u njih mogu upisati **informacije i podaci**. Tada se ove pojave nazivaju **električni signali**.

Pretvaranjem informacija u električne signale i obradom i prenosom električnih signala bavi se **Elektronika**.

Iz Elektronike su se razvile druge discipline kao što su : **Telekomunikacije**, **Računarska tehnika**, **Automatika**, ...

Kako nastaju električni signali?

Signal sadrži informaciju (podatak) koji opisuje posmatranu pojavu.

Primeri signala

Informacija o vremenu sadržana je u električnom signalima koji predstavljaju temperaturu vazduha, pritisak, brzinu vetra i dr.

Signal nastaje merenjem ili posmatranjem određene fizičke veličine, pojave, informacije ili podatka.

Za izdvajanje korisnih informacija iz signala potrebno je vršiti **obradu signala**.

Najpogodnije je obradu signala vršiti pomoću **elektronskog sistema**. Da bi ovo bilo moguće određenu pojavu ili veličinu potrebno je najpre konvertovati u **električni signal** - napon ili struju.

Za pretvaranje fizičke pojave u električni signal koristi se uređaj koji se naziva **pretvarač** (*transducer*).

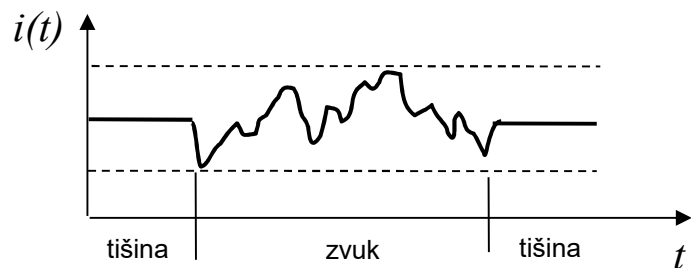
Obrada signala vrši se pomoću elektronskih kola.

Ugljeni mikrofon - primer nastajanja električnog signala

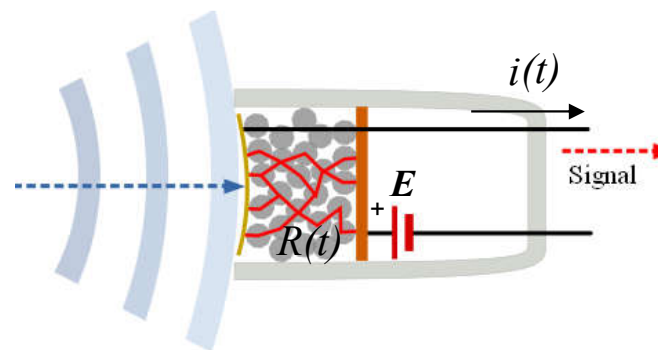
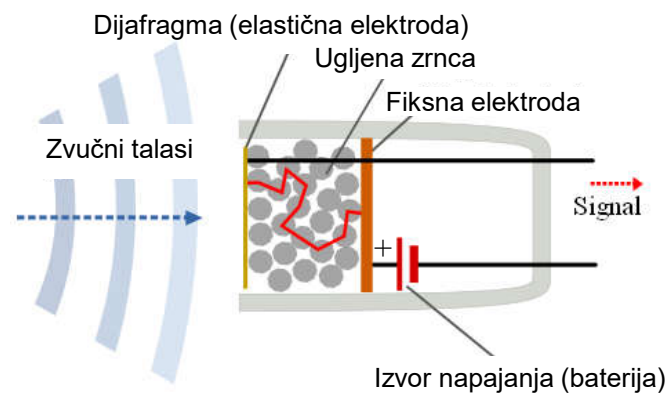


Ugljeni mikrofon pretvara zvuk u električni signal.

$$i(t) = E/R(t)$$



Vremenski oblik signala $i(t)$ na izlazu ugljenog mikrofona



Ilustracija principa rada ugljenog mikrofona

Kako radi ugljeni mikrofon?

Ugljeni mikrofon se sastoji iz dve provodne elektrode, jedne koja je nepokretna i druge elastične pokretne elektrode. Između ovih elektroda nalaze se provodne ugljene granule (zrnca).

U odsustvu zvuka granule se ovlaš dodiruju i otpornost između elektroda iznosi R_0 .

Kada postoji zvuk elastična membrana se pomera i pritiska zrnca te se otpornost između pokretne elastične elektrode i nepokretne elektrode smanjuje. Takođe u prisustvu smanjenog pritiska vazduha razmak između granula se povećava i otpornost se povećava.

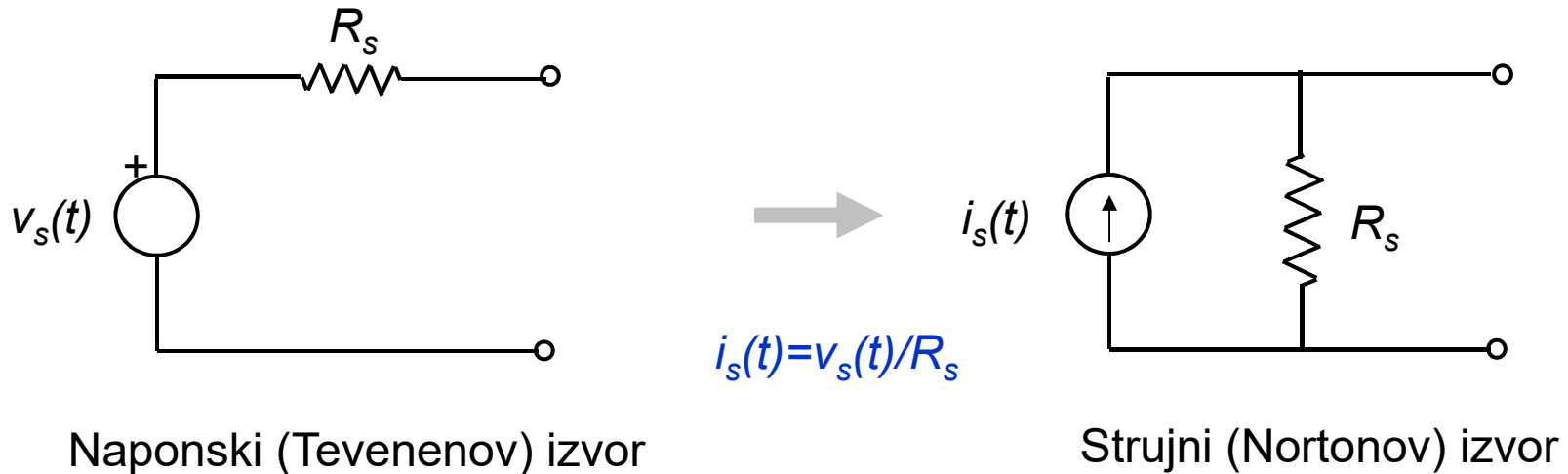
Pri najjačem zvuku smenjuju se polja najvećeg i najmanjeg vazdušnog pritiska te i otpornost osciluje između najmanje R_{min} i najveće R_{max} vrednosti.

Kada se zvuk menja u vremenu na isti način će se menjati i otpornost između membrane i nepokretne elektrode.

Za dobijanje električnog signala na izlazu mikrofona, potrebno je da se mikrofon poveže u kolo jednosmerne struje (videti sliku). Pri promeni zvuka dolazi do promene otpornosti $R(t)$ što dovodi do promene strujnog signala $i(t)$.⁶

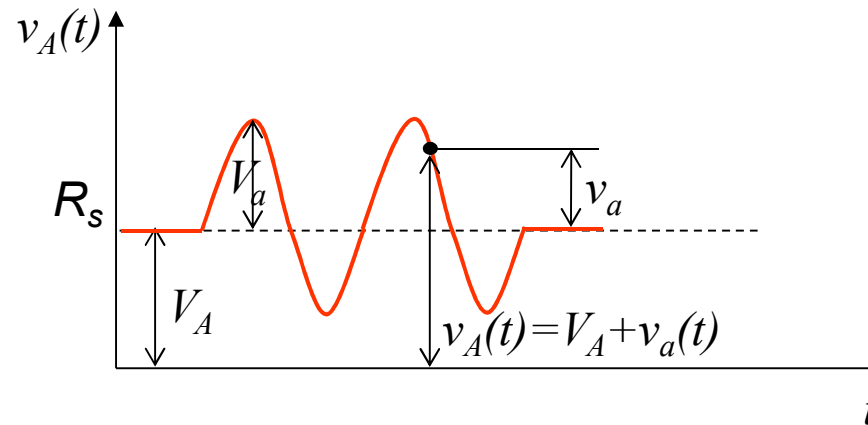
Kako se predstavljaju signali?

Električni signal možemo predstaviti kao naponski (Thevenenov) izvor ili strujni (Nortonov) izvor.



Premda su dva napred izneta načina predstavljanja električnog signala ekvivalentna, naponski izvor signala se koristi kada R_s ima malu vrednost a strujni izvor kada R_s ima veliku vrednost.

Označavanje signala



$v_A(t)$ – ukupna trenutna vrednost; malo slovo za signal, veliko slovo za indeks

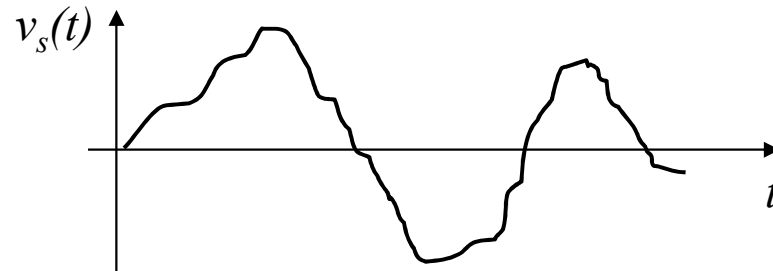
V_A - jednosmerna vrednost; veliko slovo za signal, veliko slovo za indeks

$v_a(t)$ – promenljiva komponenta signala; malo slovo za signal, malo slovo za indeks

V_a - amplituda prostoperiodičnog (sinusoidalnog) signala

Tipovi signala

Električni signal je po pravilu vremenski zavisna veličina.



Grafičko predstavljanje signala - talasni oblik signala

Informacioni sadržaj koji signal nosi krije se u promeni vrednosti signala u vremenu.

Signal često ima proizvoljan talasni oblik koji nije jednostavno matematički opisati.

S druge strane, matematičko predstavljanje signala je od izuzetne važnosti za projektovanje odgovarajućih elektronskih kola za obradu električnih signala kao i za samu obradu signala koja se obavlja pomoću savremenih digitalnih uređaja i računara.

Vreme (prostor)

Nezavisna promenljiva t može biti **kontinualna** ili **diskretna**.

Kada je vreme t kontinualna promenljiva signali su **kontinualni u vremenu (prostoru)**.

Kada je vreme t diskretna promenljiva signali su **diskretni u vremenu (prostoru)**.

Vrednost diskretnih signala se uzima samo u određenim trenucima t_n . Ovi trenuci su obično ekvidistantni i nalaze se na rastojanju T_s , tako da je $t_n = nT_s$ u odnosu na trenutak od koga se pojava prati.

Amplituda

Vrednost (amplituda) signala $v_s(t)$ može biti **kontinualna** ili **diskretna**.

Kada je **vrednost signala kontinualna** to znači da pripada skupu koji čini beskonačno mnogo vrednosti u određenim granicama.

Kada je **vrednost signala diskretna** to znači da pripada skupu koji čini konačan broj vrednosti signala u određenim granicama.

S obzirom na prirodu nezavisne vremenske promenljive t i na vrednost signala $v(t)$, mogu se definisati sledeći tipovi signala:

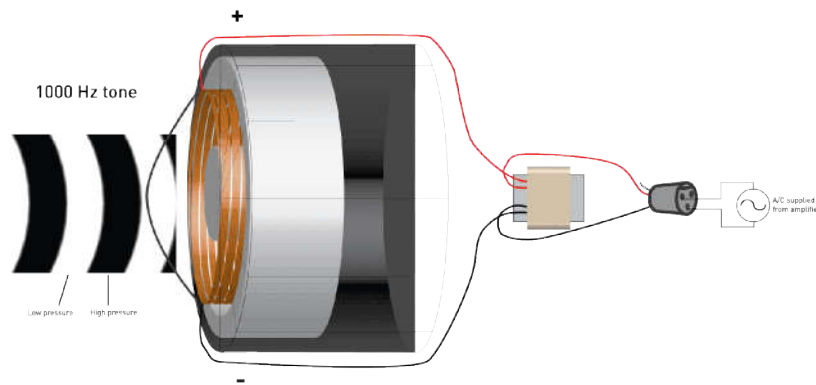
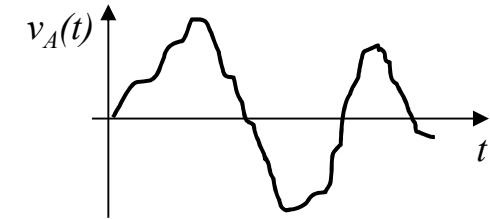
- Analogni signali
- Digitalni signali
- Vremenski diskretni signali
- Kvantizovani diskretni signali

Analogni signali

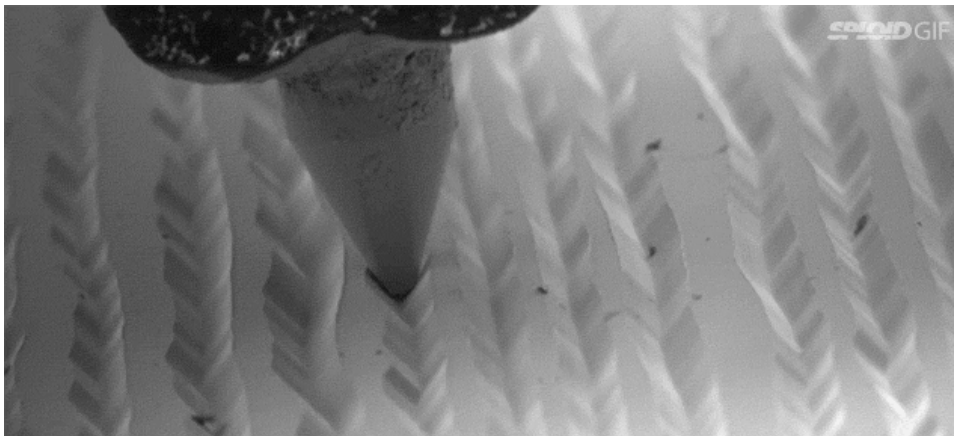
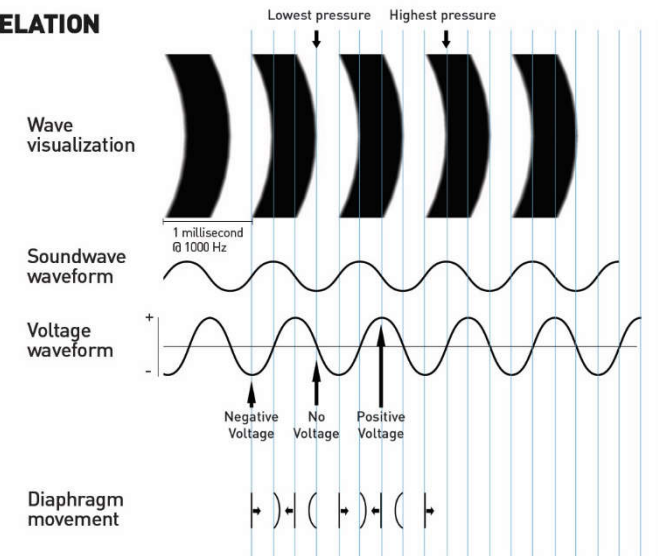
Analogni signali su vremenski kontinualni i kontinualni su po vrednosti (amplitudi).

Naziv signala potiče od činjenice da je posmatrani signal analogan (da odgovara) fizičkoj pojavi koju predstavlja, kao što je to bio slučaj u primeru sa ugljenim mikrofonom.

Analogni signali se izučavaju i obrađuju u **Analognoj elektronici**.



SOUND WAVE CORRELATION WITH VOLTAGE



Digitalni signali

Digitalni signali su kontinualni u vremenu i diskretni po vrednosti. Naziv potiče od reči digit (cifra) u smislu konačnog broja vrednosti signala u određenim granicama.

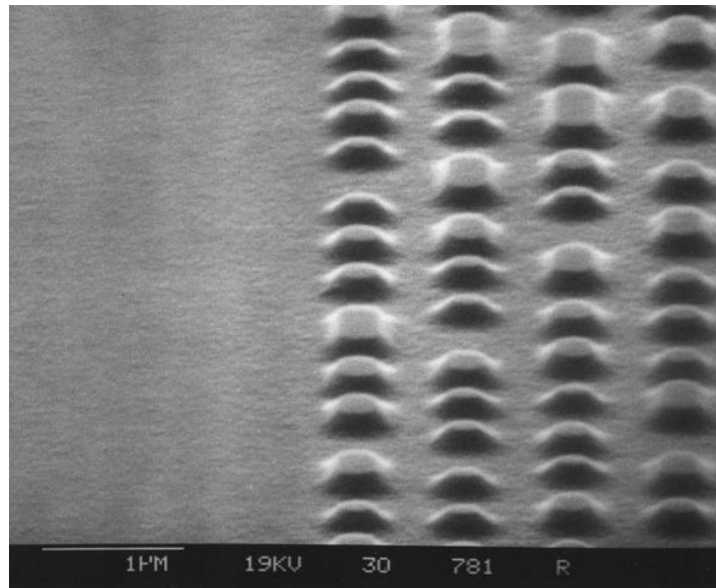
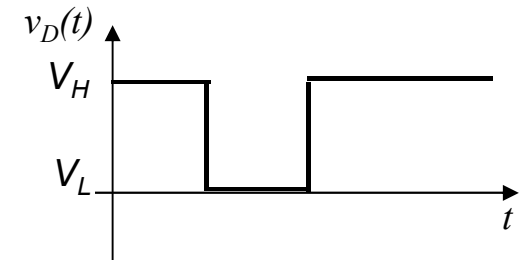
U elektronici se najčešće koriste **binarni digitalni signali**.

Binarni digitalni signali imaju samo dve vrednosti signala:

V_L - nizak naponski nivo, odgovara binarnoj cifri 0

V_H visok naponski nivo - odgovara binarnoj cifri 1

Digitalni signali se izučavaju i obrađuju u **Digitalnoj elektronici**.

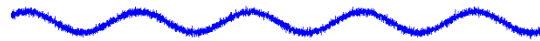


Otpornost na šum analognog i digitalnog signala

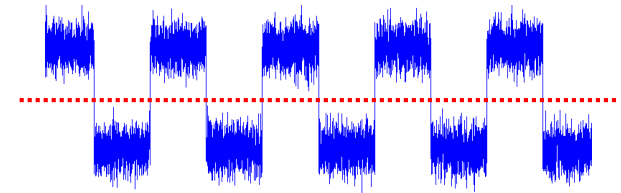
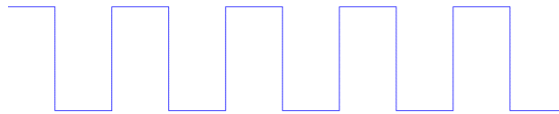
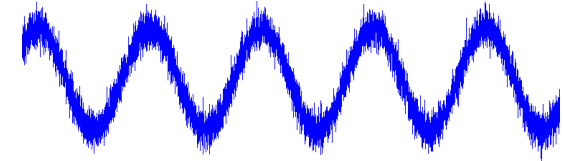
signal koji se šalje



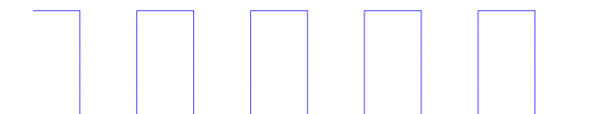
signal u komunikacionom kanalu
(slabljenje + šum)



primljeni signal
(nakon pojačanja)



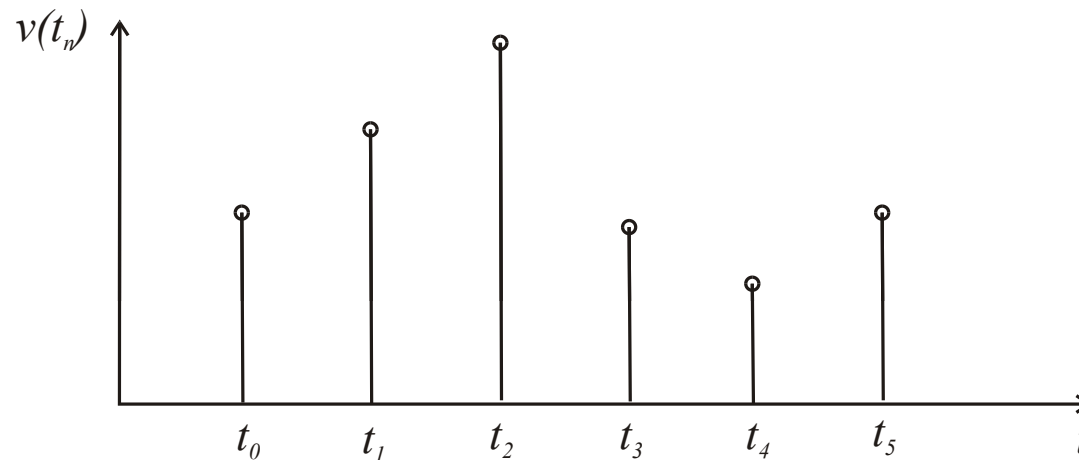
**Digitalni signali su dosta otporniji na šum
u odnosu na analogne signale!!!**



primljeni digitalni signal
nakon poređenja s pragom

Diskretni signali

Diskretni signali su vremenski diskretni i kontinualni po vrednosti. Naziv potiče od činjenice da se vrednost signala definiše samo u određenim, diskretnim vremenskim trenucima $t_n = nT_S$. Gde je T_S perioda odabiranja.



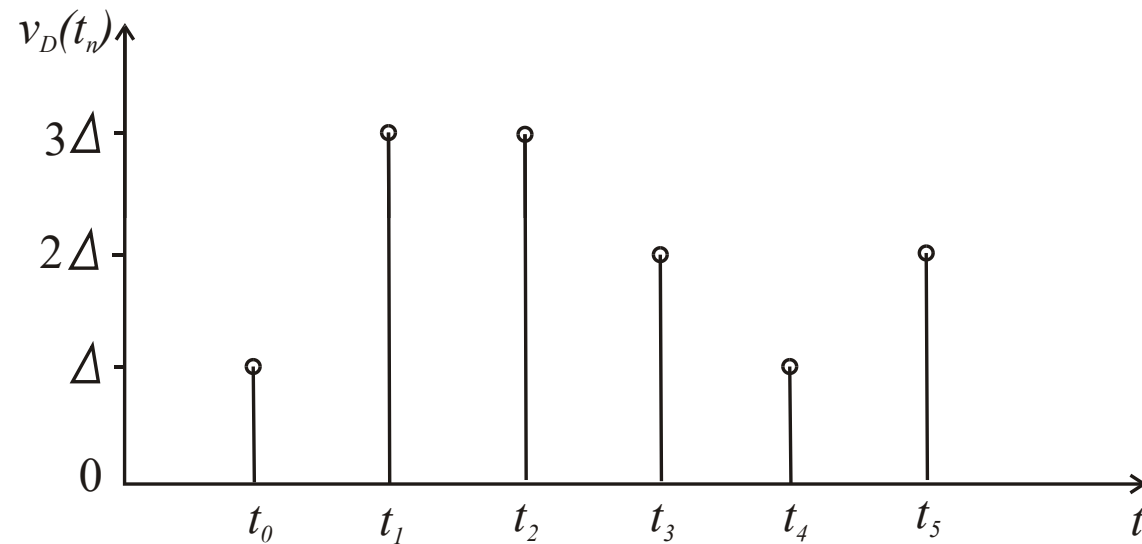
Diskretni signali se opisuju uređenim nizom brojeva, pri čemu vrednost $v(t_n)$ predstavlja vrednost n -tog člana niza uzetog u trenutku t_n . Najčešće su trenuci vremena ekvidistantni, pa se umesto nezavisne promenljive t_n često koristi celobrojna nezavisna promenljiva n i signal se obeležava kao $v[n]$.

Diskretni signali se izučavaju i obrađuju u **Digitalnoj obradi signala**.

Kvantizovani diskretni signali

Kvantizovani diskretni signali su vremenski diskretni i diskretni po vrednosti (amplitudi).

Naziv potiče od činjenice da se vrednost signala može iskazati samo kao celobrojni umnožak kvanta Δ . Kvant Δ je elementarna mera za veličinu signala.



Kvantizovani diskretni signali se opisuju uređenim nizom brojeva $v_D(t_n)$, pri čemu je vrednost svakog člana niza izražena kao ceo broj kvanata.

Kvantizovani diskretni signali se izučavaju i obrađuju u **Digitalnoj obradi signala** i **Digitalnoj elektronici**.

Periodični i aperiodični signali

Signal je periodičan ako nastaje beskonačnim ponavljanjem neke sekvence konačnog trajanja. Trajanje ove generatorske sekvence se naziva period signala.

Za periodične signale važi:

$$x(t) = x(t + T_0)$$

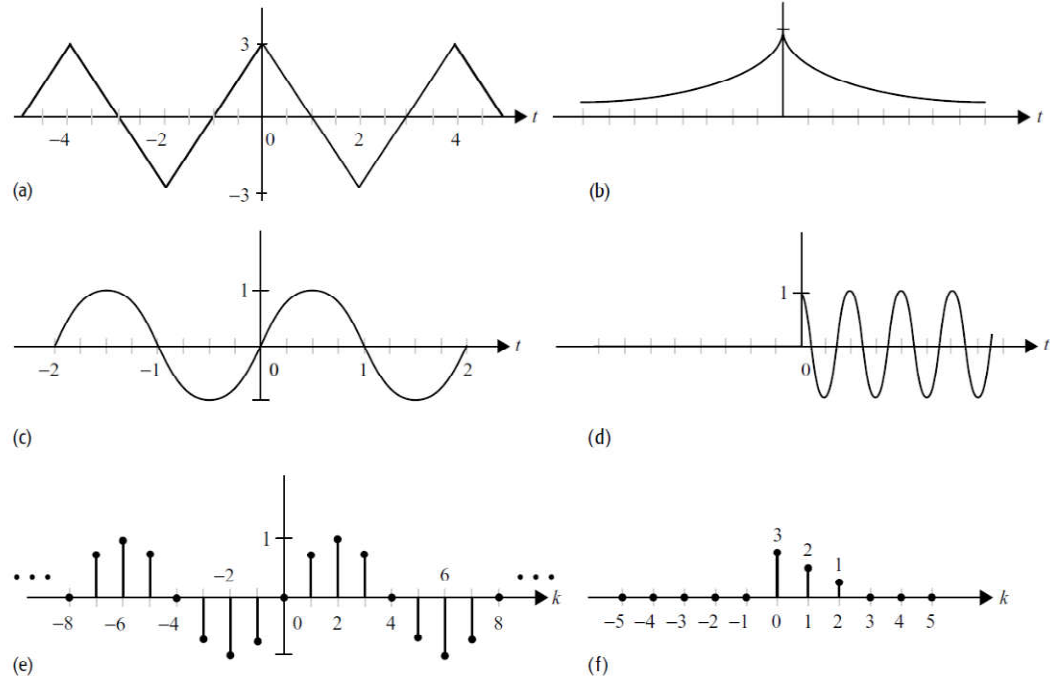
$$x[n] = x[n + N_0]$$

T_0 period kontinualne sekvence

N_0 period diskrente sekvence sekvence

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \text{ učestanost signala}$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \text{ kružna učestanost signala}$$



Primer:

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t + \theta) = A \sin(\omega_0 t + 2m\pi + \theta)$$

$$\omega_0 T_0 = 2m\pi \Big|_{m=1} = 2\pi \Rightarrow T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Periodični i aperiodični signali

Kada je diskretna sinusoida periodična?

$$x[n] = A \sin(\Omega_0 n + \theta_0)$$

$$x[n + N_0] = A \sin(\Omega_0(n + N_0) + \theta_0) = A \sin(\Omega_0 n + \Omega_0 N_0 + \theta_0)$$

Da bi jednakost važila mora da bude ispunjeno:

$$\Omega_0 N_0 = 2k\pi \Rightarrow N_0 = \frac{2k\pi}{\Omega_0} \in \mathbb{N}$$

Što važi jedino ako je $\frac{\Omega_0}{2\pi}$ racionalan broj!

$$f[k] = \sin(\pi k/12 + \pi/4);$$

$$g[k] = \cos(3\pi k/10 + \theta);$$

$$h[k] = \cos(0.5k + \phi);$$

Kada linearna kombinacija dva periodična signala periodična?

$$g(t) = ax_1(t) + bx_2(t)$$

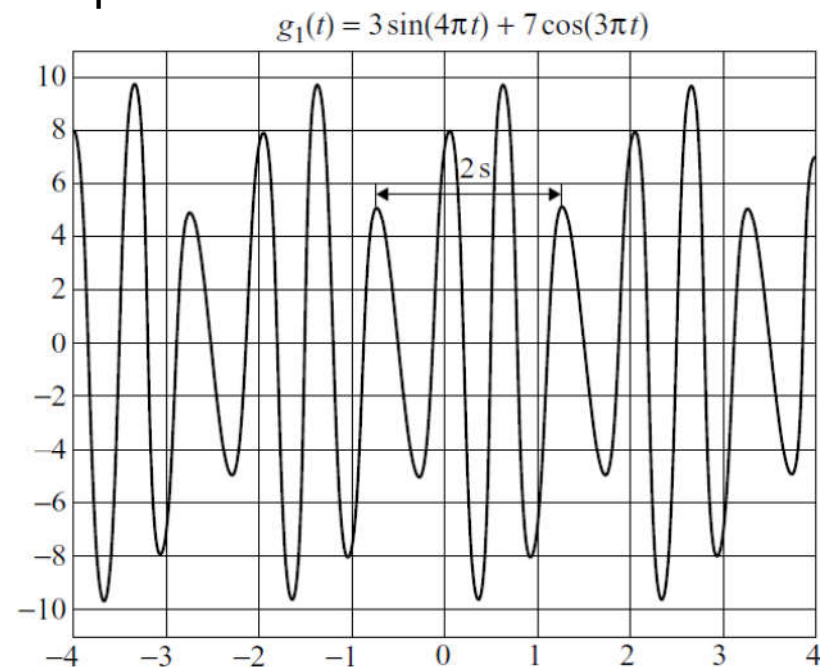
$x_1(t)$ signal periodičan sa periodom T_1

$x_2(t)$ signal periodičan sa periodom T_2

$g(t)$ je periodičan ako važi $\frac{T_1}{T_2} \in \mathbb{Q}$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{p}{q} \Rightarrow qT_1 = pT_2 = T_g \quad p, q \in \mathbb{N}$$

T_g period signala $g(t)$



Konverzija analognog u digitalni signal

Mnogi signali koji potiču iz našeg okruženja po pravilu su analogni. Savremeni elektronski uređaji i računari su digitalni i oni mogu da preuzmu i obrađuju samo informacije koje su digitalno (cifarski) izražene.

Da bi signali mogli da se obrađuju pomoću računara i drugih savremenih digitalnih uređaja potrebno je izvršiti pretvaranje (konverziju) analognog signala $v(t)$ u kvantizovani diskretni signal $v_D(t_n)$.

Kao što je ranije rečeno, kvantizovani diskretni signal $v_D(t_n)$ se opisuje sekvencom (nizom) brojeva.

Proces konverzije analognog u digitalni signal se obavlja u dva koraka:

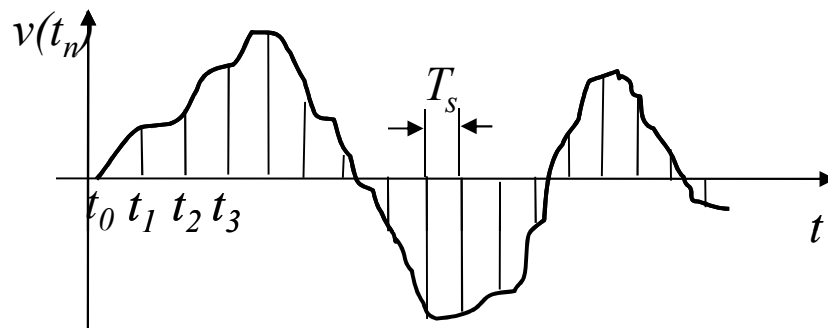
a) Diskretizacija po vremenu (odabiranje)

b) Diskretizacija po vrednosti signala (kvantovanje)

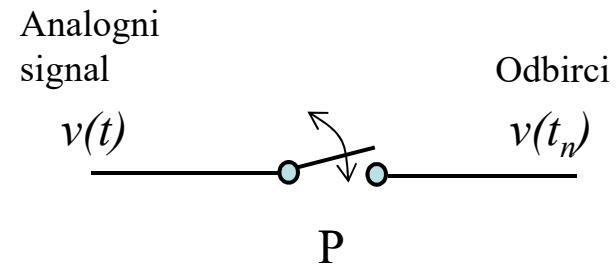
Diskretizacija po vremenu (odabiranje)

Diskretizacija analognog signala $v(t)$ u vremenu obavlja se kratkotrajnim zatvaranjem analognog prekidača P u trenucima t_n ($n=0,1,2,3\dots$). Na taj način se dobija vremenski diskretan analogni signal $v(t_n)$.

Opisani proces se naziva **odabiranje** (eng. *sampling*).

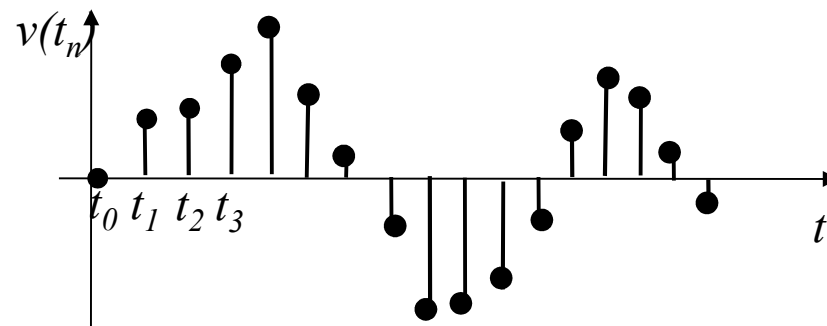


Odmeravanje vremenski kontinualnog analognog signala



Ilustracija procesa odabiranja

Signal dobijen posle odabiranja više nije kontinualan u vremenu i on se naziva **vremenski diskretan signal**. Ako se analogni signal brže menja odabiranje treba vršiti češće.



Vremenski diskretan analogni signal

Diskretizacija po vrednosti signala (kvantovanje)

Ako sada predstavimo vrednost svakog odbirka sa prethodne slike odgovarajućim brojem koristeći konačan broj cifara, amplituda signala neće više biti kontinualna. Na ovaj način izvršena je **diskretizacija** ili **kvantizacija signala po vrednosti** (amplitudi).

Kao rezultat diskretizacije analognog signala u **vremenu** i kvantizacije dobijenih odmeraka po **vrednosti** dobija se **kvantizovani diskretni signal**.

Dobijeni kvantizovani diskretni signal može se zameniti digitalnim signalom. Digitalni signal se predstavlja nizom (sekvencom) brojeva koji reprezentuju vrednosti sukcesivnih odbiraka signala.

Od izbora brojnog sistema pomoću koga se predstavljaju vrednosti odbiraka signala zavisi tip dobijenog digitalnog signala kao i kompleksnost digitalnih kola koja se koriste za obradu ovakvog signala.

Ako se za predstavljanje vrednosti odbiraka koriste **binarni brojevi**, onda su elektronska kola za obradu digitalnog signala najjednostavnija.

Naime, u binarnom brojnom sistemu koriste se samo dve cifre - nula i jedinica. Odgovarajuću digitalni signal, koji se tada naziva **binarni digitalni signal**, ima samo dva naponska nivoa, nizak i visok.

Nizak naponski nivo V_L (0 V) odgovara binarnoj cifri **0**.

Visok naponski nivo V_H (5 V) odgovara binarnoj cifri **1**.

Ako za predstavljanje vrednosti odmerka koristimo N binarnih cifara (bitova), onda se kvantizovana vrednost odbiraka može izraziti kao:

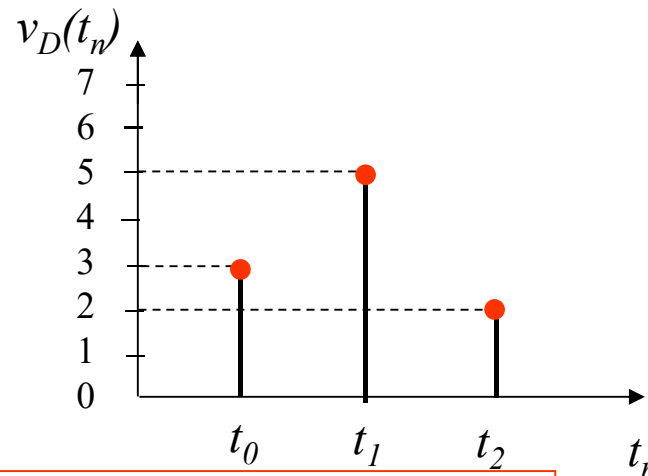
$$D = b_{N-1}2^{N-1} + \dots + b_22^2 + b_12^1 + b_02^0$$

b_0, b_1, b_2, b_{N-1} - binarne cifre (0 ili 1)

b_0 - binarna cifra najmanje težine

b_{N-1} - binarna cifra najveće težine

Binarni broj se zapisuje na sledeći način: $b_{N-1}b_{N-2}\dots b_2b_1b_0$



Digitalne binarne vrednosti	011	101	010
-----------------------------	------------	------------	------------

Sa N binarnih cifara mogu se predstaviti 2^N različitih diskretnih vrednosti.

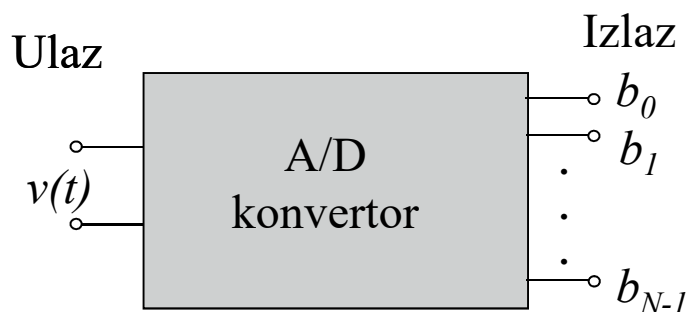
Korišćenjem većeg broja bita (veće N) tačnije se predstavlja vrednost analognog odbirka, tj. smanjuje se greška kvantizacije, koja je neminovna posledica diskretizacije signala po amplitudi. Naravno, ovo poboljšanje dobija se po cenu veće kompleksnosti elektronskih kola.

Analogno-digitalni konvertori

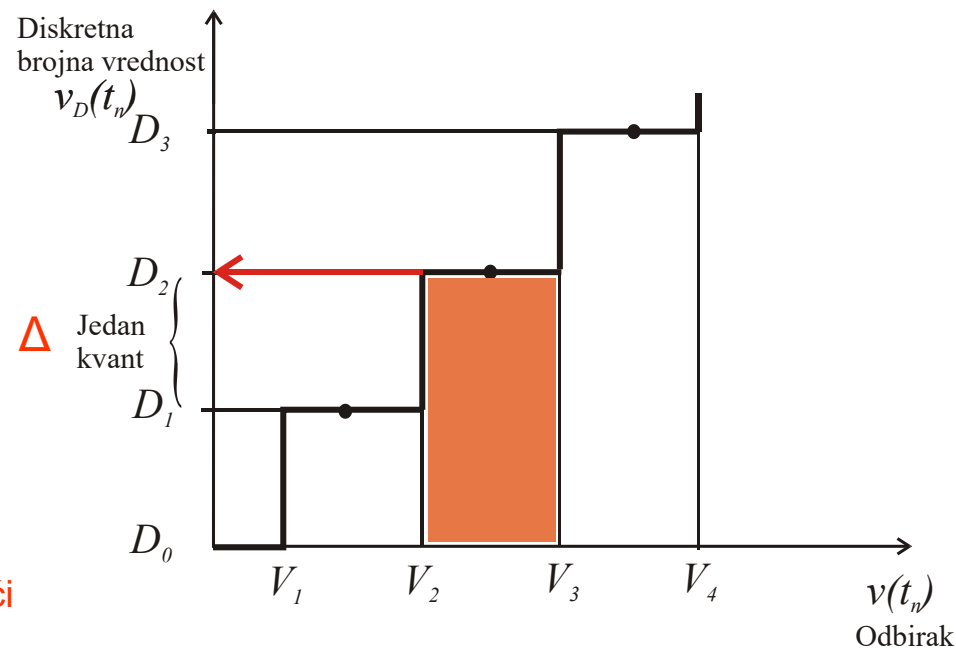
Analogno-digitalni (A/D) konvertor vrši konverziju vremenski diskretnih analognih odbiraka (odbirci se dovode na ulaz A/D konvertora) u kvantizovane diskretne signale tj. diskretne brojne vrednosti koje se dobijaju na izlazu A/D konvertora.

A/D konvertori na svom izlazu najčešće daju binarne digitalne signale koji reprezentuju N -bitni binarni broj D .

Cifre binarnog broja se u vidu odgovarajućih naponskih nivoa (logičkih stanja) pojavljuju na N izlaznih priključaka A/D konvertora.



Blok šema A/D konvertora



Kvantizacija po amplitudi unosi grešku imajući u vidu da se, zbog zaokruživanja, brojna vrednost odbirka može razlikovati od tačne vrednosti odbirka za $\pm\Delta/2$, pri čemu je sa Δ označena vrednost jednog kvanta.

Funkcija preslikavanja po kojoj se vrši kvantizacija po vrednosti

Obrada signala

Obrada signala - proces izdvajanja korisnih informacija iz kompleksnog signala pomešanog sa šumom

Česta funkcija koja se koristi u obradi analognog signala je povećanje vrednosti (amplitude) signala, što se označava kao **pojačanje**.

Za pojačanje signala koristi se elektronsko kolo koje se naziva linearni pojačavač ili **pojačavač**. Pojačavač predstavlja osnovno analogno kolo.

Za obradu digitalnih signala koriste se **logička kola**.