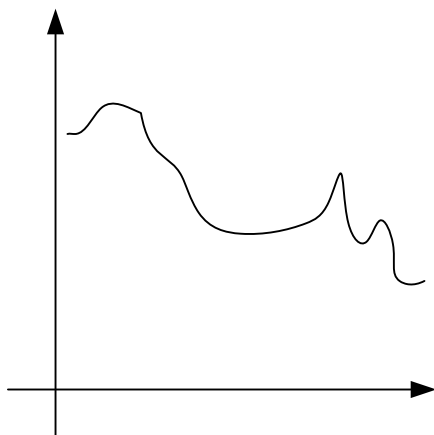
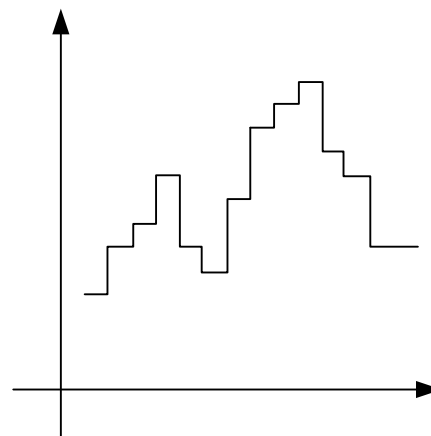


Sistemi za akviziciju podataka

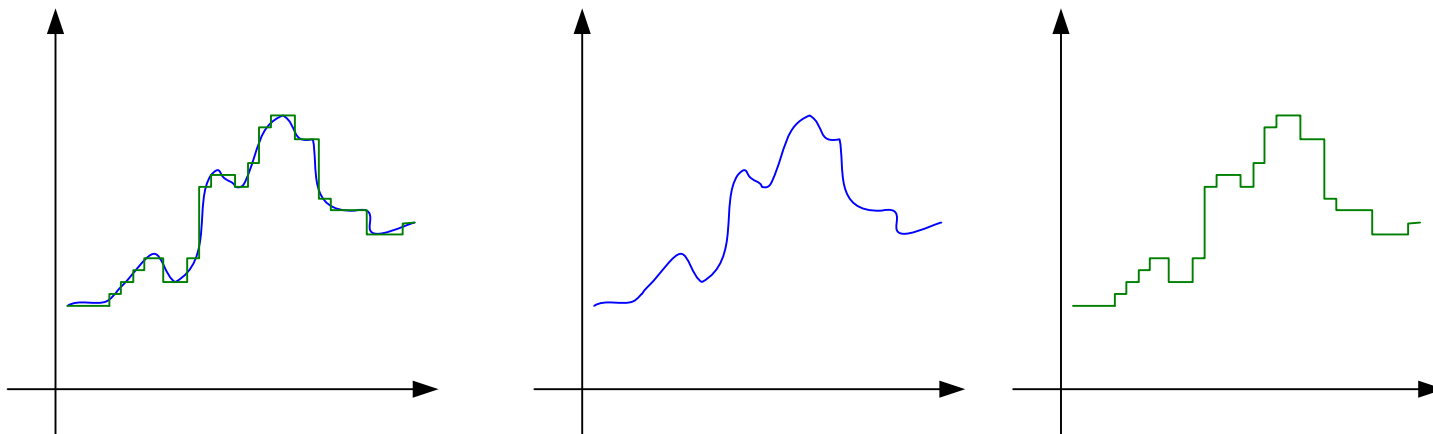


Analogni signal

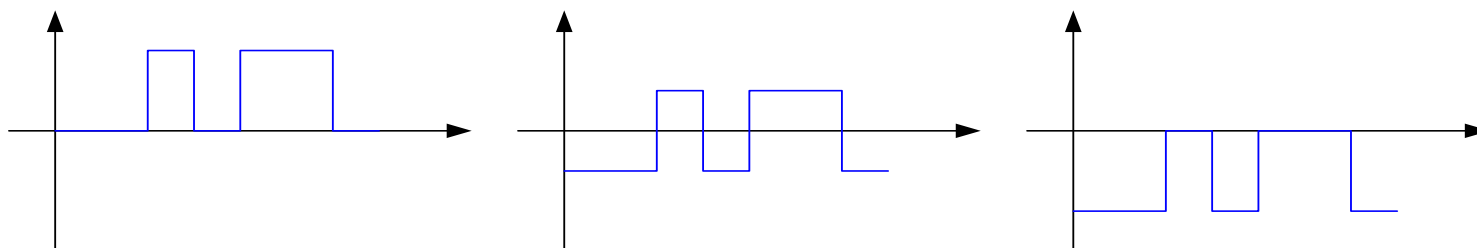


Digitalni signal

- U elektronici analogni signali su kontinualno promenljivi napon ili struja.
- Fizičke veličine se uglavnom menjaju kontinualno i zato se one mogu predstaviti preko analognih signala (temperatura, pritisak, zvuk...).
- Kod digitalnih signala vrednosti se menjaju skokovito i signal može imati samo određene, diskretne, vrednosti.



- Analogni signali se mogu aproksimirati digitalnim ili obrnuto digitalni, analognim.
- Digitalni signali koji imaju samo dva nivoa nazivaju se binarni signali.
- Binarni signali imaju veoma veliku važnost, jer se koriste u logičkim i računarskim kolima. Često se termin digitalni signali koristi u užem smislu i pod terminom digitalni signal se podrazumeva binarni signal.



Brojni sistemi

- Za razliku od dekadnog sistema u kome jedna cifra može uzeti deset različitih vrednosti, u binarnom sistemu brojeva svaka cifra može imati dve vrednosti – nula ili jedinica. Svaki (binarni) broj se može zapisati kao niz bita (binarnih cifara), pri čemu svaka binarna cifra može imati vrednost nula ili jedan.

- U matematičkoj logici, odnosno Bulovoj algebri, nula odgovara predstavi netačnog iskaza, dok jedinica odgovara predstavi tačnog iskaza.

- Pored dekadnog i binarnog sistema često se koriste i oktalni i heksadecimalni sistem brojeva.

Dekadni	Binarni	Oktalni	Heksadecimalni
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

$$94_{10} = 1011110_2 = 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$$

Bulova (Boole) algebra

- Engleski matematičar Džordž Bul (George Boole) je formalizovao logičke zakone i formirao takozvanu Bulovu algebru.
- Logički iskazi “pogrešno” i “tačno” se u Bulovoj algebri zamenjuju logičkom “nulom” i logičkom “jedinicom” odnosno ciframa “0” i “1”
- Bulova algebra definiše tri logičke operacije:
 - “NE” operacija ili komplementiranje (NOT) za koju se koristi simbol “ $\bar{}$ ” (na primer \bar{A})
 - “ILI” operacija ili logičko sabiranje (OR) za koju se koristi simbol “+” (na primer $A+B$)
 - “I” operacija ili logičko množenje (AND) za koju se koristi simbol “ \cdot ” (na primer $A \cdot B$)

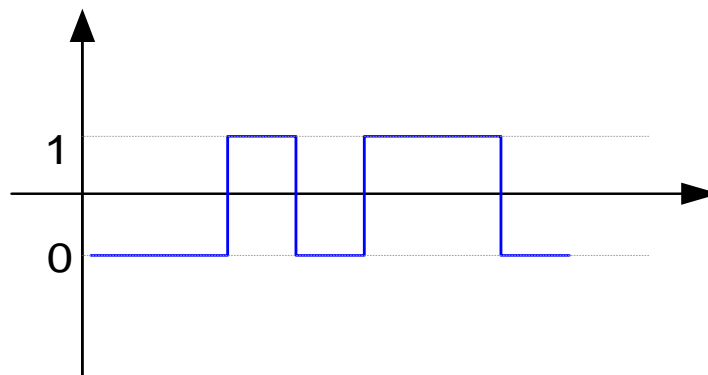
x	\bar{x}
0	1
1	0

x	y	$z = x + y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

x	y	$z = x \cdot y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- Funkcija “NE” se za razliku od “I” i “ILI” operacije izvodi nad jednom promenljivom ili izrazom.

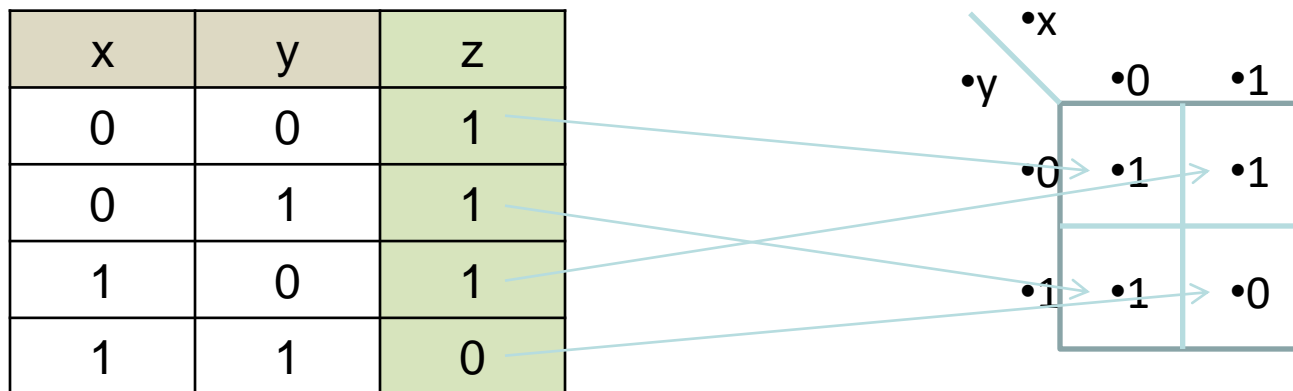
- Definišu se dva moguća stanja digitalne logike:
 - nisko naponsko stanje = logička nula ("0") = netačno
 - visoko naponsko stanje = logička jedinica ("1") = tačno



- Korišćenjem analognih elektronskih komponenti (tranzistora, dioda, otpornika, itd.) mogu se konstruisati elektronska kola koja su u stanju da repliciraju određene logičke funkcije.
- Dovođenjem napona određenih vrednosti na ulaze tih elektronskih kola, na izlazu se javlja napon koji po vrednosti odgovara željenoj vrednosti funkcije koju kolo vrši.

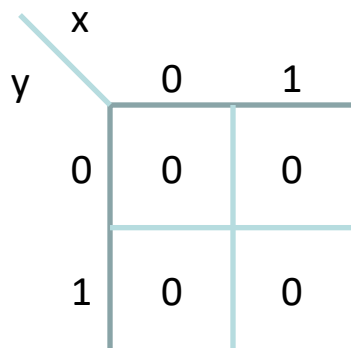
Tabela istinitosti i Karnoova (Karnaugh) karta

- Tabelom istinitosti se može prikazati bilo koja logička funkcija nad jednom ili više ulaznih promenljivih. Broj redova u tabeli istinitosti odgovara stepenu dvojke, čiji je eksponent jednak broju ulaznih promenljivih
- Popunjavanje tabele istinitosti se izvodi na sledeći način. Najpre, ispišu se sve moguće kombinacije stanja ulaznih promenljivih. Zatim, definiše se (tj. zadaje) stanje na izlazu (rezultat logičke funkcije) za svaku od kombinacija stanja ulaznih promenljivih. Tako popunjena tabela istinitosti, u potpunosti opisuje proizvoljnu logičku funkciju.



- Karnoove karte su nepraktične za funkcije sa preko četiri promenljive

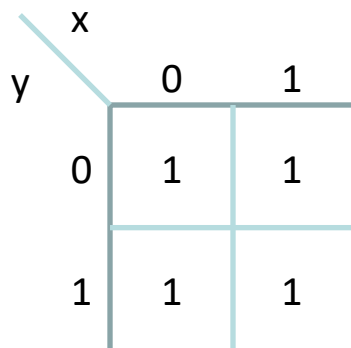
x	y	z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	0



$z = "0"$

"0" ————— z

x	y	z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	1



$z = "1"$

"1" ————— z

x	y	z
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

		x	
		0	1
y	0	0	1
	1	0	1

$$z = x$$



x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

		x	
		0	1
y	0	0	0
	1	1	1

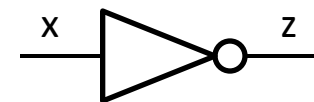
$$z = y$$



x	y	z
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

x	0	1
y	0	1
0	1	0
1	1	0

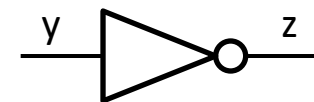
$$z = \text{NOT } x$$



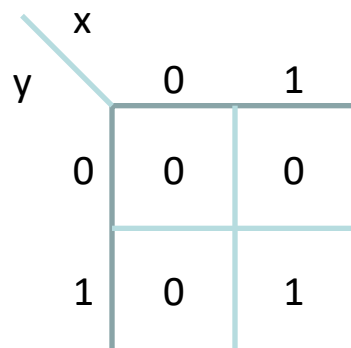
x	y	z
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	0

x	0	1
y	0	1
0	1	1
1	0	0

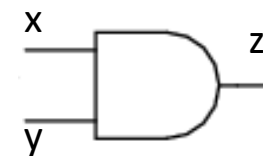
$$z = \text{NOT } y$$



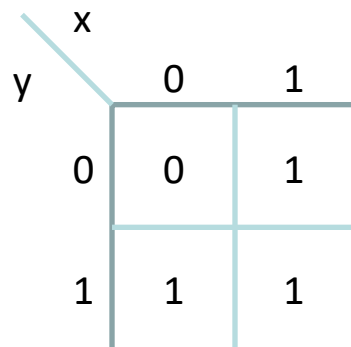
x	y	z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



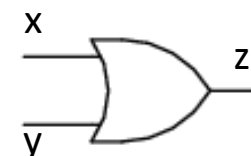
$$z = x \text{ AND } y$$



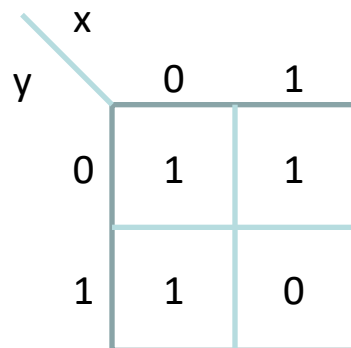
x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



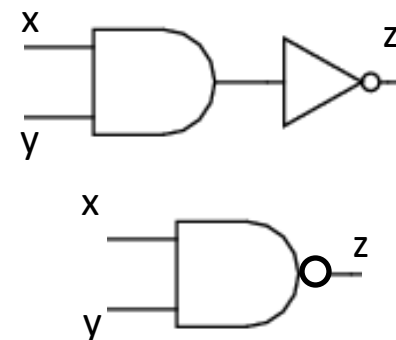
$$z = x \text{ OR } y$$



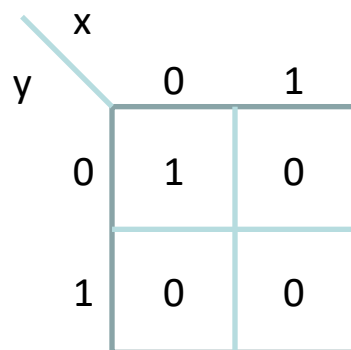
x	y	z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



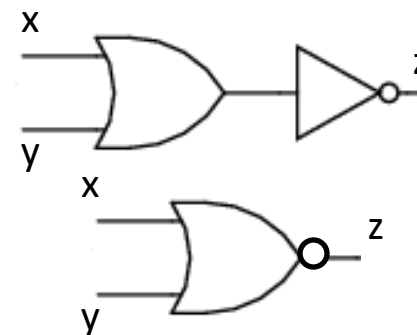
$$z = x \text{ NAND } y$$



x	y	z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



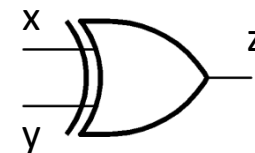
$$z = x \text{ NOR } y$$



x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

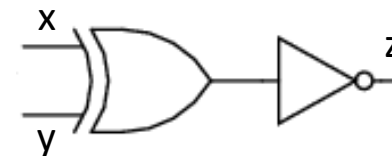
$$z = x \text{ XOR } y$$



x	y	z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

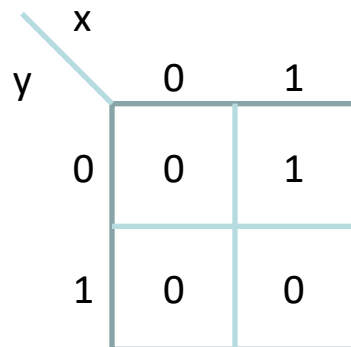
x	y	z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$z = x \text{ XNOR } y$$

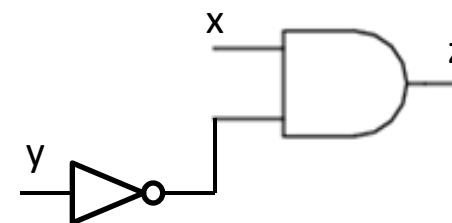


Preostali slučajevi (1)

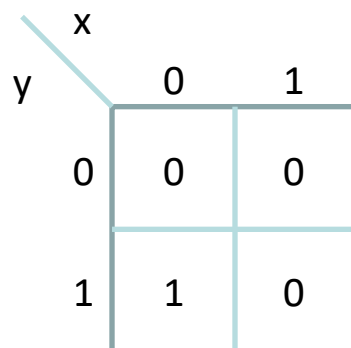
x	y	z
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0



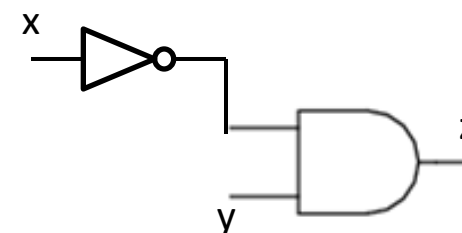
$$z = x \text{ AND } (\text{NOT } y)$$



x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

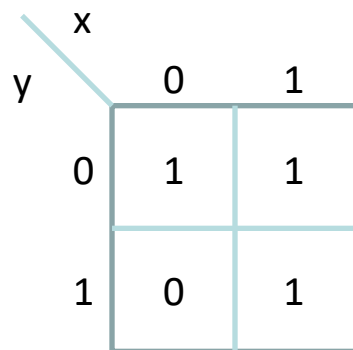


$$z = (\text{NOT } x) \text{ AND } y$$

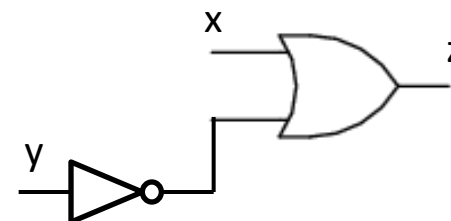


Preostali slučajevi (2)

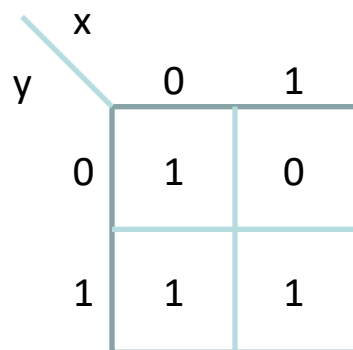
x	y	z
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1



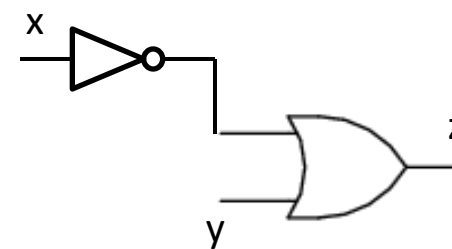
$$z = x \text{ OR } (\text{NOT } y)$$



x	y	z
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1



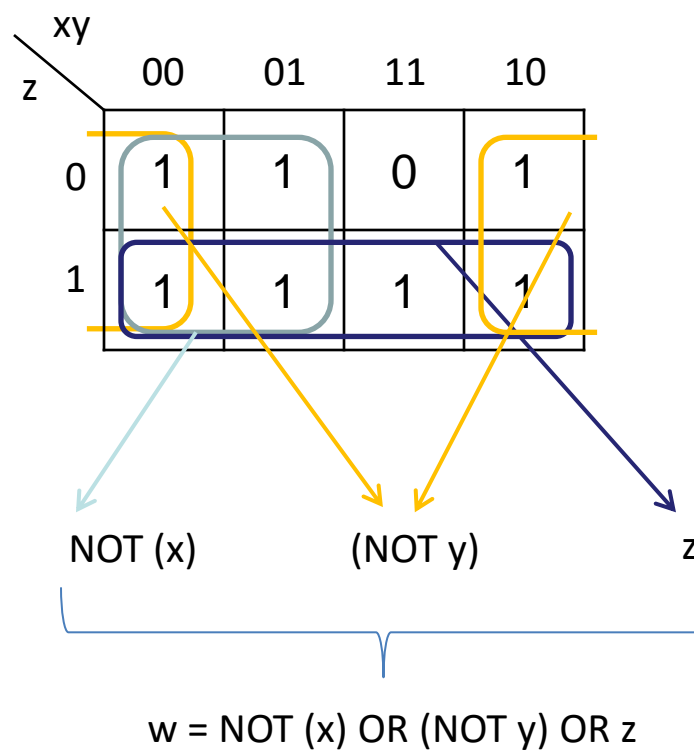
$$z = (\text{NOT } x) \text{ OR } y$$



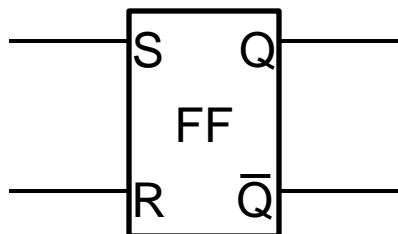
- U slučaju da postoji više ulaznih promenljivih, za jednu ili više izlaznih promenljivih, tada je određivanje nepoznate logičke funkcije koja definiše izlaz na osnovu ulaza moguće odrediti korišćenjem Karnoovih karti, kada je poznata tabela istinitosti.
- Postoji više mogućih funkcija nad ulaznim promenljivama koje će dati isti izlaz. Potrebno je naći minimalnu funkciju odnosno realizovati funkciju preko minimalnog broja logičkih kola.
- Sve funkcije je moguće realizovati korišćenjem samo “NI” ili “NILI” kola.

- Nepoznata minimalna funkcija se nalazi na osnovu sledećeg:
 - grupišu se sve "1" u karti u najveće moguće pravougaonike tako da njihov broj u grupi bude jednak stepenu dvojke
 - za svaku grupu se određuje logička funkcija koja je opisuje
 - minimalna funkcija jednaka je "zbiru" logičkih funkcija grupa

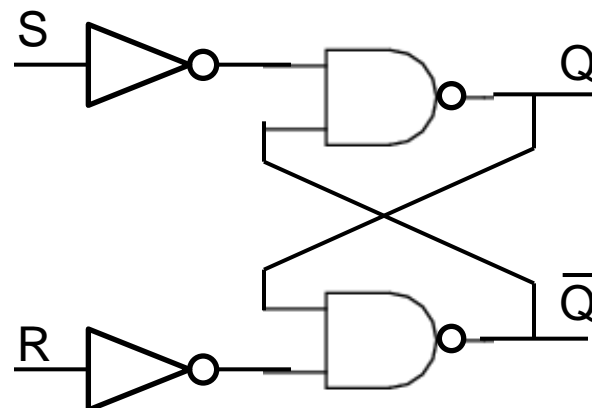
x	y	z	w
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



- Prethodno prikazana logička kola su digitalna kola koja reaguju “trenutno”, tj. za zadati ulaz saglasno željenoj funkciji proizvode očekivani izlaz, bez mogućnosti pamćenja prethodnih stanja izlaza kola.
- Navedena digitalna kola nazivaju se i tzv. kombinatornom logikom.
- Memorijski elementi, tj. sekvencijalna logika, se uvode kada je potrebno da izlaz digitalnih kola zavisi i od prethodnog stanja izlaza, a ne samo od trenutne vrednosti ulaznog signala.
- Digitalna kola koja spadaju u kategoriju memorijskih elemenata, poput RS (*reset-set*) FF (*flip-flop*), D (*delay* ili *data*) FF i drugih, predstavljaju osnovu za izgradnju savremenih memorijskih čipova poput DDR memorije i sl.



oznaka

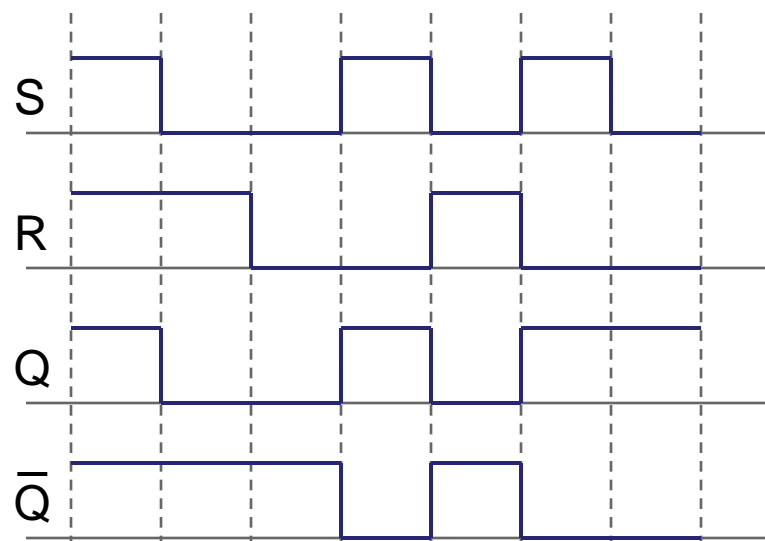


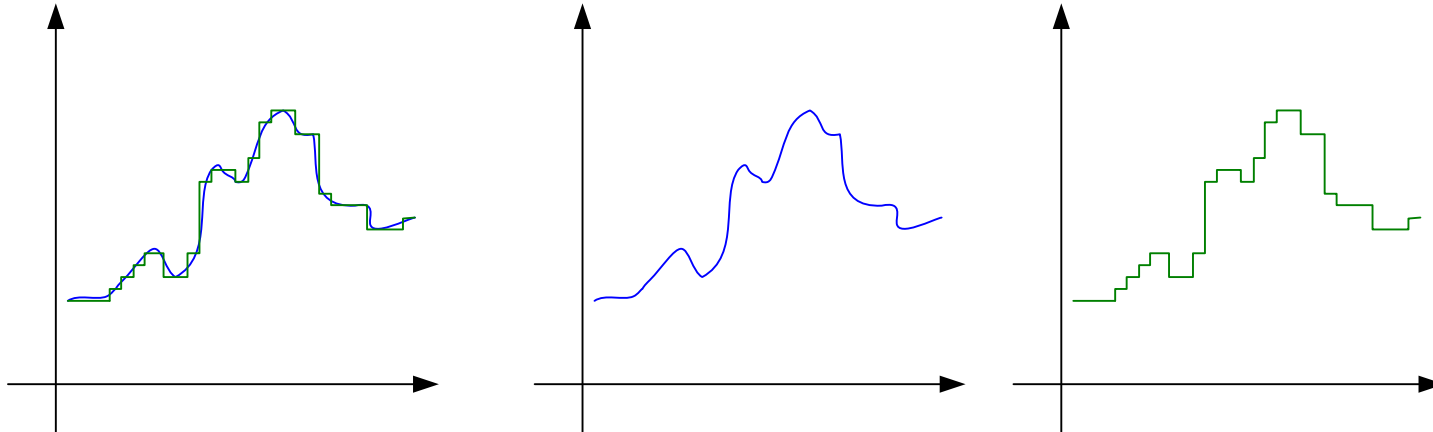
realizacija

tabela promene stanja

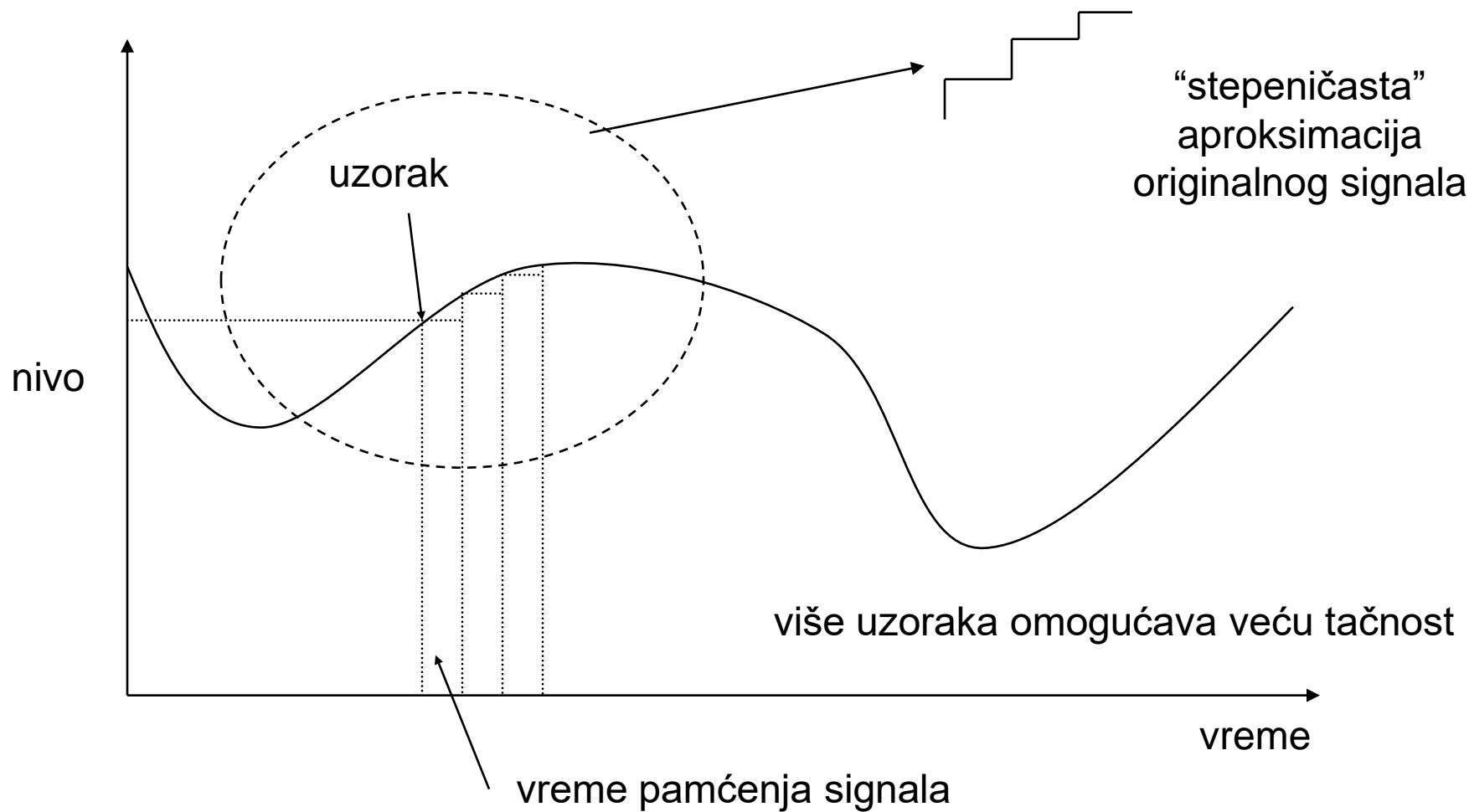
S	R	Q	\bar{Q}	promena
0	0	*	*	prethodno stanje
1	0	1	0	set (Q="1")
0	1	0	1	reset (Q="0")
1	1	1	1	nedozvoljen o

vremenski dijagrami

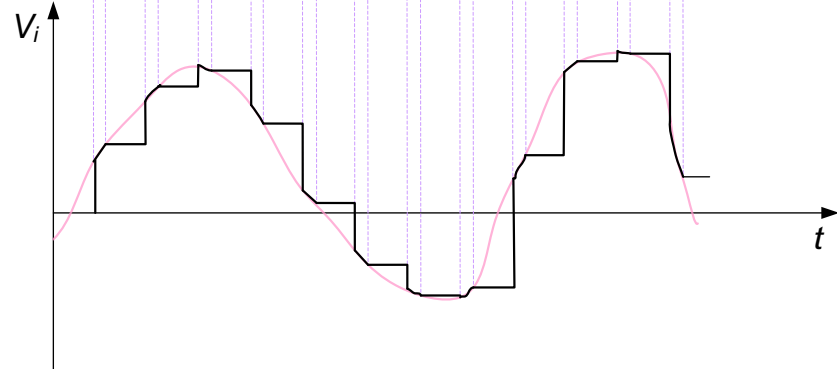
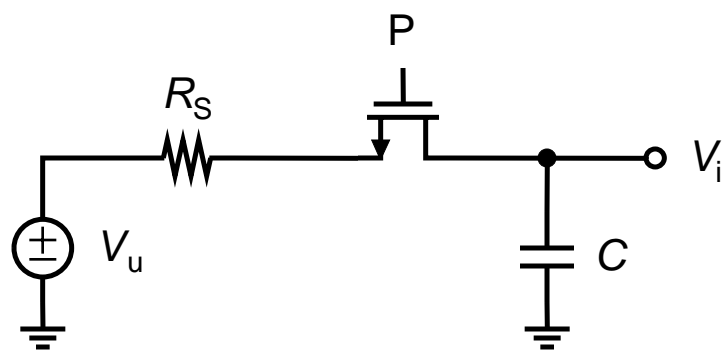
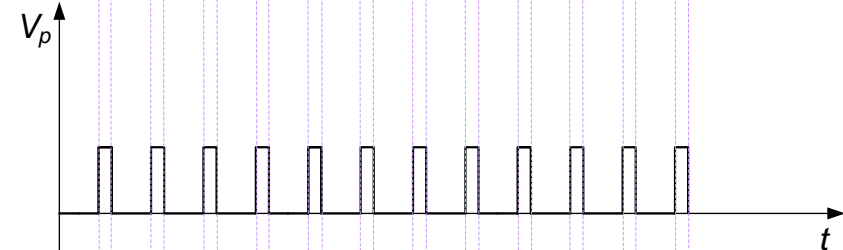
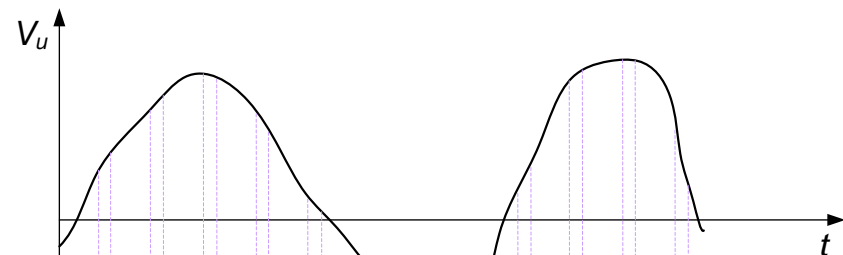
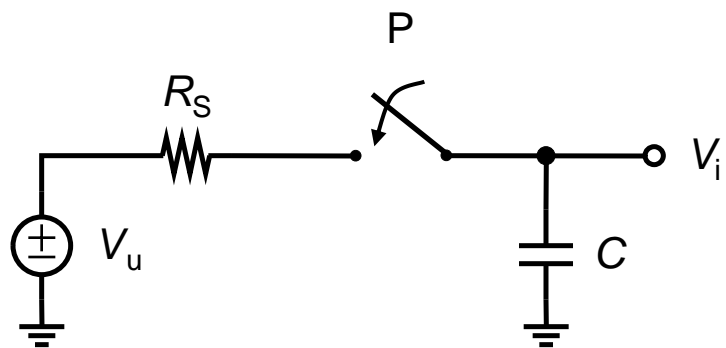




- Digitalna obrada signala ima brojne prednosti nad analognim metodama:
 - ✓ manji je uticaj šuma i temperaturnih varijacija,
 - ✓ obrada, prenos i čuvanje su uglavnom jednostavniji.
- Većina signala koji se generišu i koriste su analogni.
- Često je neophodno prevesti signale iz analognog u digitalni oblik i obrnuto.

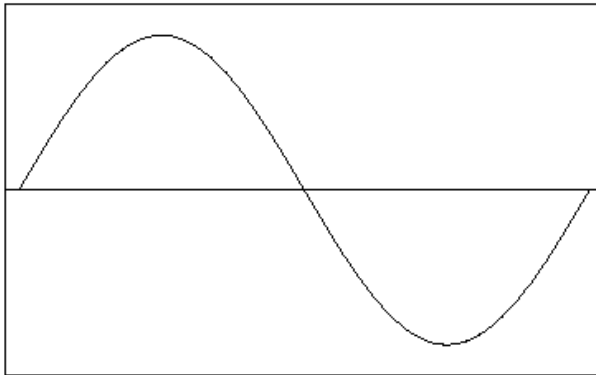


Prati-pamti kolo



- Na osnovu Furijeove teoreme, svaki analogni signal može se predstaviti kao (beskonačna) suma sinusoida:

$$u(t) = U_0 + U_1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_1) + U_2 \cdot \sin(2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_2) + \\ + U_3 \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_3) + \dots$$

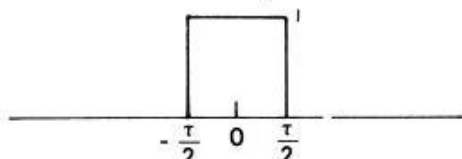
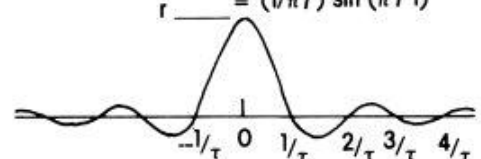
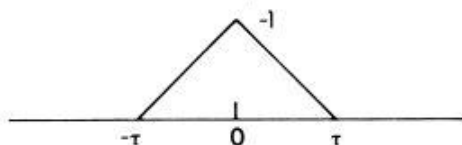
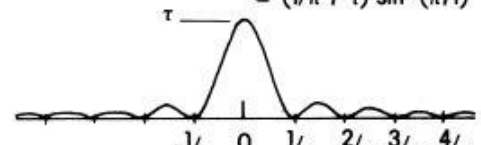
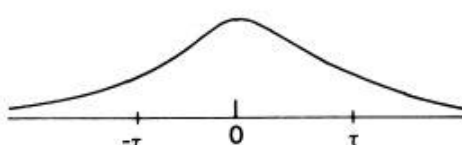
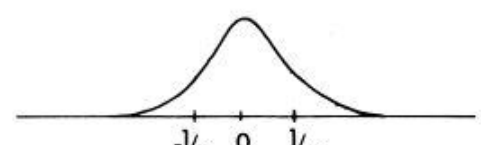
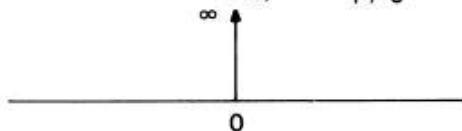
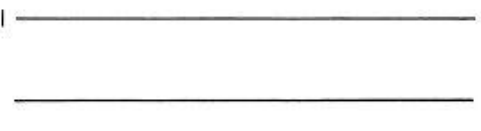
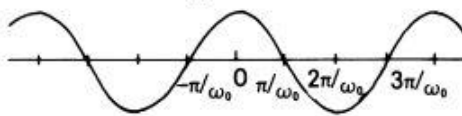
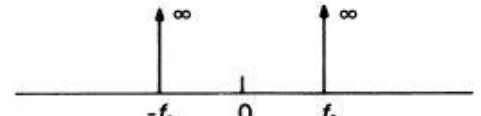


- U opštem slučaju, Furijeova transformacija nam omogućuje da odredimo frekvencijsku predstavu nekog vremenski promenljivog signala:

$$\underline{U}(f) = F \{u(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} \cdot dt$$

*Furijeova transformacija pravougaoonog impulsa. (Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State).

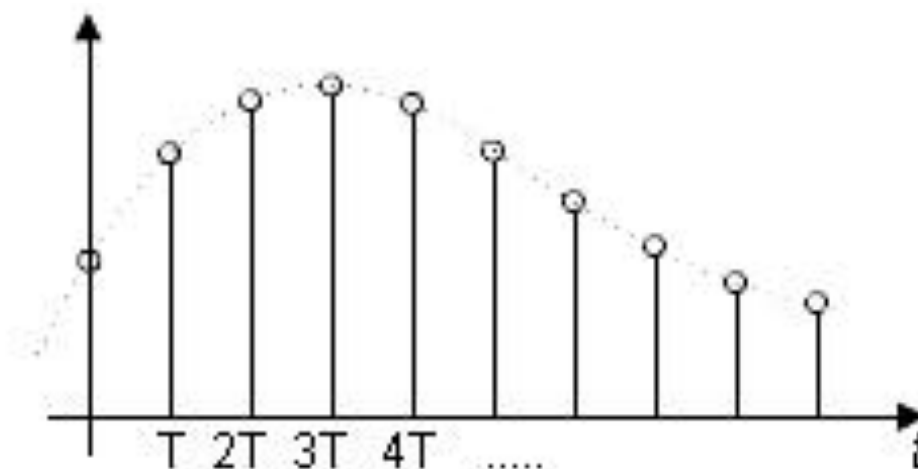
Primeri spektara nekih signala

Time Function		Frequency Function	
Boxcar	$G(t) = \begin{cases} 1, & t < \tau/2 \\ 0, & t > \tau/2 \end{cases}$ 	Sinc	$S(f) = \tau \operatorname{sinc}(f\tau)$ $= (1/\pi f) \sin(\pi f \tau)$ 
Triangle	$G(t) = \begin{cases} 1- t /\tau, & t < \tau \\ 0, & t > \tau \end{cases}$ 	Sinc ²	$S(f) = \tau \operatorname{sinc}^2(f\tau)$ $= (1/\pi^2 f^2 \tau) \sin^2(\pi f \tau)$ 
Gaussian	$G(t) = e^{-1/2 t^2}$ 	Gaussian	$S(f) = \tau(2\pi)^{1/2} e^{-(\pi f \tau)^2}$ 
Impulse	$G(t) = \delta(t)$ $= 0, \quad t \neq 0$ 	DC Shift	$S(f) = 1$ 
Sinusoid	$G(t) = \cos \omega_0 t$ 	Single Freq.	$S(f) = 1/2(\delta(f+f_0) + \delta(f-f_0))$ 

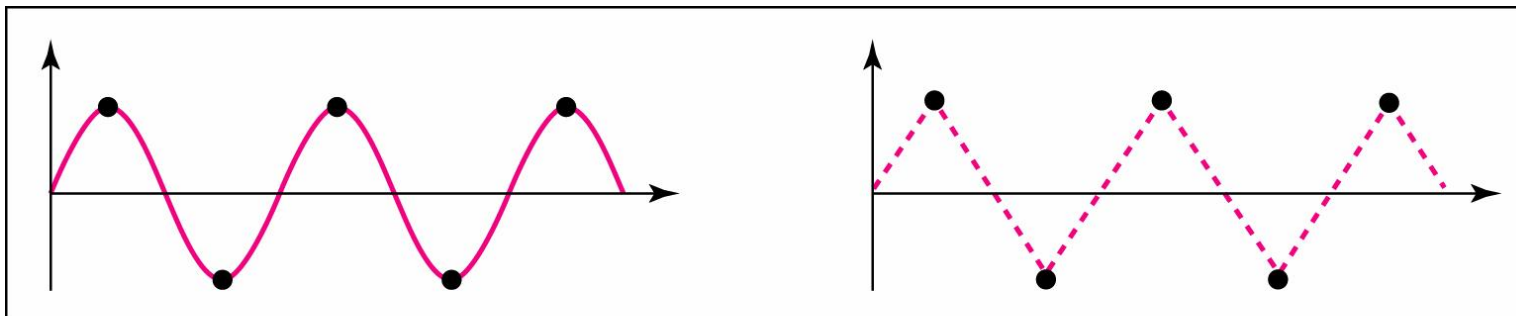
*<https://wiki.seg.org/images/2/2c/Segf19.jpg>

Teorema o odabiranju

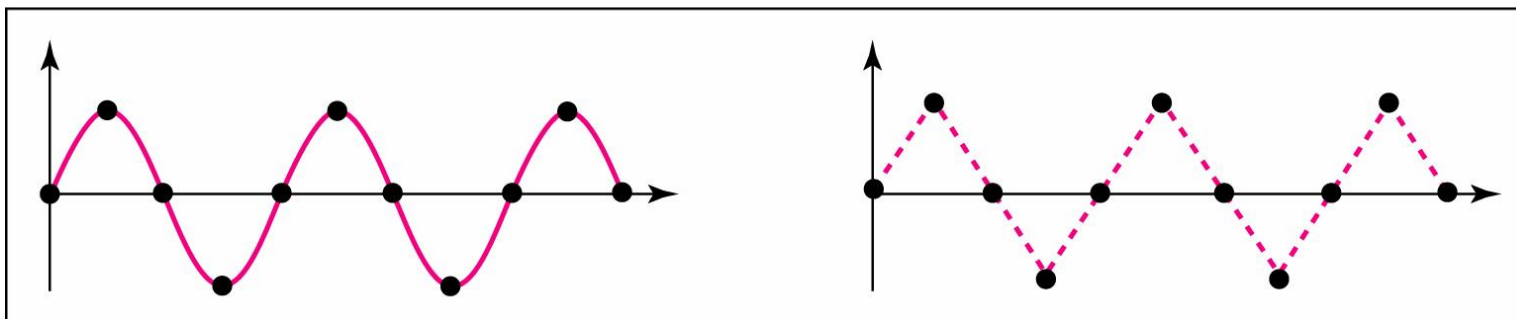
- Kontinualni signal ograničenog frekventnog opsega ($f < f_G$) može da se verno (potpuno) predstavi i rekonstruiše serijom tačaka koje su merene u regularnim intervalima.
- Da bi se signal mogao potpuno rekonstruisati interval odabiranja (registrovanja vrednosti kontinualnog signala) $T=1/f_S$ mora da bude manji od polovine perioda komponente signala sa najvećom učestanosti (f_G). Učestanost odabiranja $f_S=2f_G$ se naziva Niquist-ova učestanost.



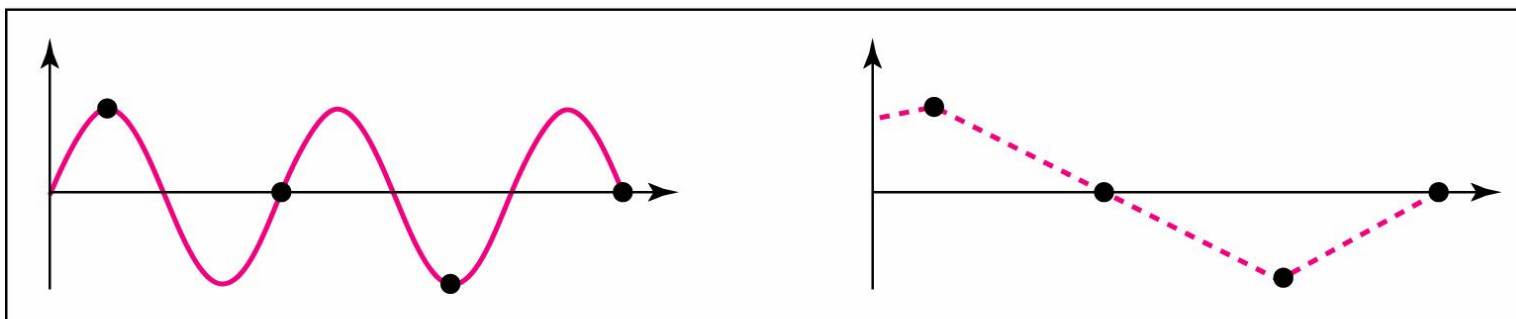
Rekonstruisanje signala



a. Uzorkovanje Nikvistovom učestanošću $f_s=2f$



b. Uzorkovanje učestanošću većom od Nikvistove učestanosti $f_s=4f$



c. Uzorkovanje učestanošću manjom od Nikvistove učestanosti $f_s=3f/2$

- Rezultati uzorkovanja predstavljaju niz impulsa različite amplitude čije vrednosti se kreću između dve granice: min i max.
- Vrednosti amplituda mogu zauzeti beskonačno mnogo vrednosti između ove dve granice.
- Potrebno je mapirati beskonačno mnogo vrednosti na konačan broj poznatih vrednosti.
- Ovo se postiže podelom razdaljine između minimalne (min) i maksimalne (max) vrednosti u **L zona**, svake visine Δ .

$$\Delta = (\max - \min)/L$$

- Sredini svake zone se dodeljuju vrednosti od 0 do L-1 (što daje L vrednosti)
- Svakom uzorku koji upada u zonu se dodeljuje vrednost sredine zone.
- Pretpostavimo da imamo naponski signal amplitutde između $V_{\min} = -20$ V and $V_{\max} = +20$ V.
- Želi se korišćenje $L=8$ kvantizacionih nivoa.
- Širina zone je $\Delta = (20 - (-20))/8 = 5$
- Osm zona su: -20 do -15; -15 do -10; -10 do -5; -5 do 0; 0 do +5; +5 do +10; +10 do +15; +15 do +20
- Srednje vrednosti su: -17,5; -12,5; -7,5; -2,5; 2,5; 7,5; 12,5; 17,5

- Svakoj zoni se dodeljuje binarni kod.
- Broj bita neophodan za kodiranje zona, odnosno broj bita po uzorku se dobija iz izraza:

$$n_b = \log_2 L$$

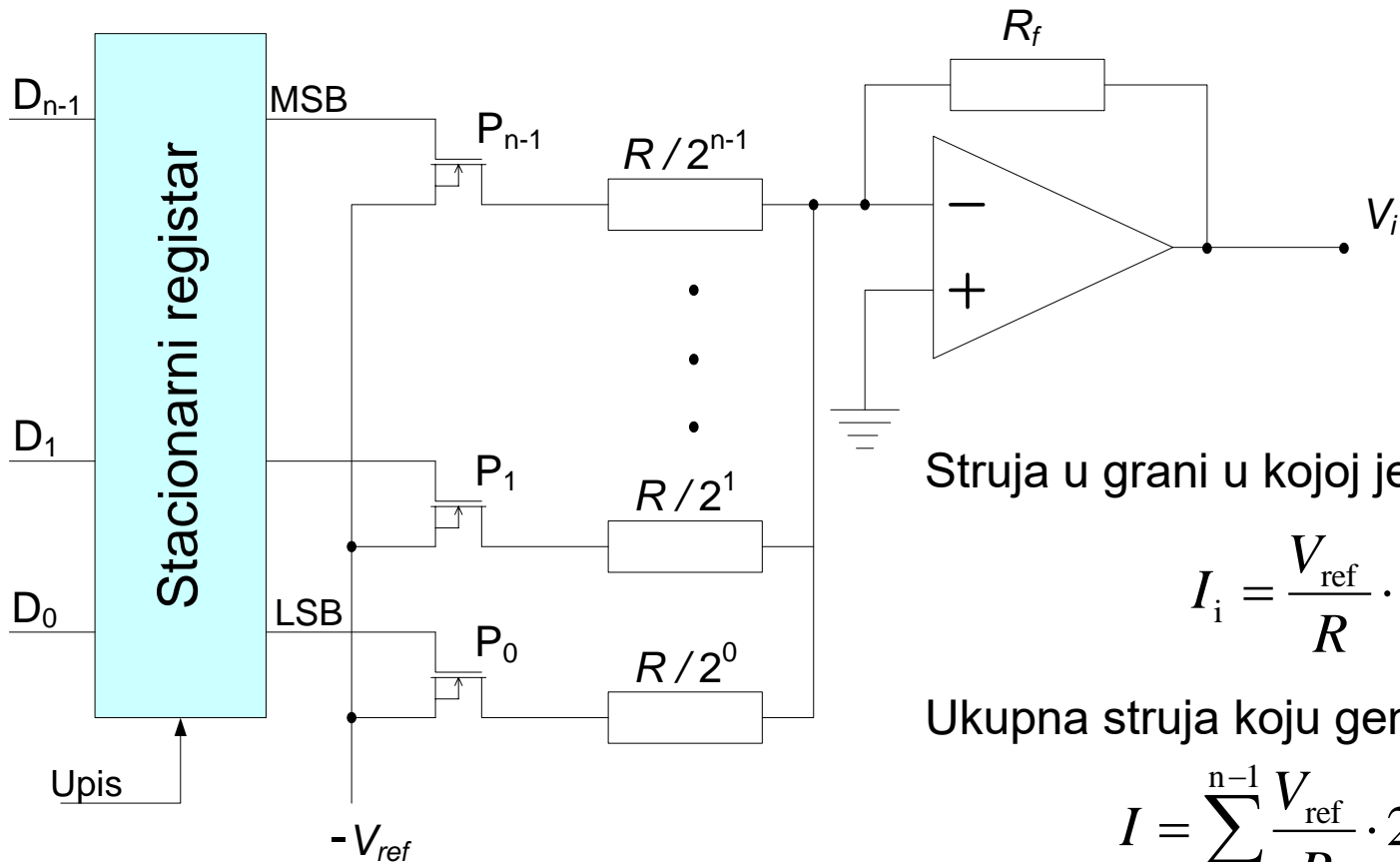
- Ukoliko n_b nije ceo broj vrši se zaokruživanje na veću vrednost.
- Za dati primer, $n_b = 3$
- Kodovi za 8 zona (ili nivoa) su dakle: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, i 111
- Dodeljuju se kodovi zonama:
 - 000 se odnosi na zonu -20 do -15
 - 001 na zonu -15 do -10, itd.

- Rezolucija A/D i D/A konvertora predstavlja broj **kvantizacionih nivoa** koji se koriste
- n -bitni konvertor koristi 2^n diskretnih koraka
 - 8-bitni konvertor koristi 2^8 ili 256 nivoa
 - 10-bitni konvertor koristi 2^{10} ili 1024 nivoa
 - 16-bitni konvertor koristi 2^{16} ili 65536 nivoa
- 8-bitni konvertor daje rezoluciju od otprilike 0.25%
- postoje konvertori sa 24-bitnom ili čak 32-bitnom rezolucijom
- nema smisla koristiti rezolucije kod kojih je kvantizacionog nivoa manji od signala šuma

- Digitalno-analogni konvertor (skraćeno D/A ili DAC) je poluprovodnička komponenta koja služi za pretvaranje digitalnog koda u analogni signal.
- Digitalno-analogna konverzija je osnovno sredstvo kojim se služe računarski sistemi i digitalni uređaji kako bi preveli binarni zapis u analogne signale i na taj način “komunicirali” sa spoljnjim svetom.
- D/A konvertori se koriste i kod digitalne kontrole mašina, bele tehnike, itd.
- D/A konvertor na izlazu daje analogni naponski ili strujni signal, proporcionalan ulaznom digitalnom kodu.
- Većina D/A konvertora prima ulazni signal preko više pinova odjednom, međutim pojedini, primaju ulazni signal serijski, odnosno bit po bit preko jednog pina.

- Proizvode se za veoma širok opseg rezolucija pri čemu se u opštem slučaju brzina konverzije smanjuje sa povećanjem rezolucije.
- Kod tipičanog 8-bitnog D/A konvertora vreme uspostavljanja signala je između 100 ns i 1 μ s.
- Tipičan 16-bitni konvertor ima vreme uspostavljanja reda nekoliko milisekundi.
- Za posebne aplikacije konvertori velikih brzina rade sa vremenom uspostavljanja reda nekoliko nanosekundi.
- Video D/A konvertori mogu imati rezoluciju od 8 bita i maksimalnu frekvenciju uzorkovanja od 330 MHz.

D/A konvertor sa težinskom otpornom mrežom



Struja u grani u kojoj je uključen prekidač

$$I_i = \frac{V_{ref}}{R} \cdot 2^i$$

Ukupna struja koju generišu sve grane

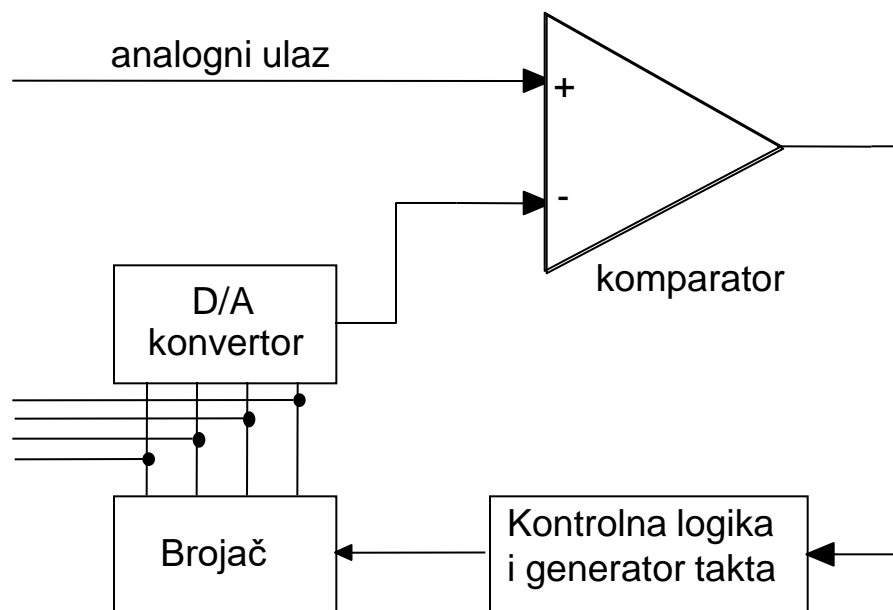
$$I = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{V_{ref}}{R} \cdot 2^i \cdot D_i$$

Napon na izlazu D/A konvertora

$$V_i = R_f \cdot I = \frac{R_f \cdot V_{ref}}{R} \sum_{i=0}^{n-1} 2^i \cdot D_i$$

Kada je $D_i=0$ prekidač je otvoren,
a kada je $D_i=1$ prekidač je zatvoren

- Sastoji se od D/A konvertora, jednog komparatora, brojača, generatora takta i kontrolne logike
- Kada je neophodno izvršiti konverziju
 - ✓ Signal (zahtev za konverzijom) se šalje konvertoru i brojač se resetuje na nulu
 - ✓ Signal takta uvećava brojač dok referentni napon koji generiše D/A konvertor ne postane veći od analognog ulaza
 - ✓ U tom trenutku izlaz komparatora ide na logičku “1”, čime se kontrolnoj logici šalje signal da je konverzija završena
 - ✓ Vrednost brojača predstavlja digitalnu vrednost izlaza



Brojački A/D konvertor

- Vreme između početka i kraja konverzije je poznato kao *vreme konverzije*
- Mana brojačkog A/D konvertora je vreme potrebno da se izvrši konverzija za veće napone na ulazu
- Pri proračunu vremena neophodnog za konverziju mora se u obzir uzeti najgori mogući slučaj

