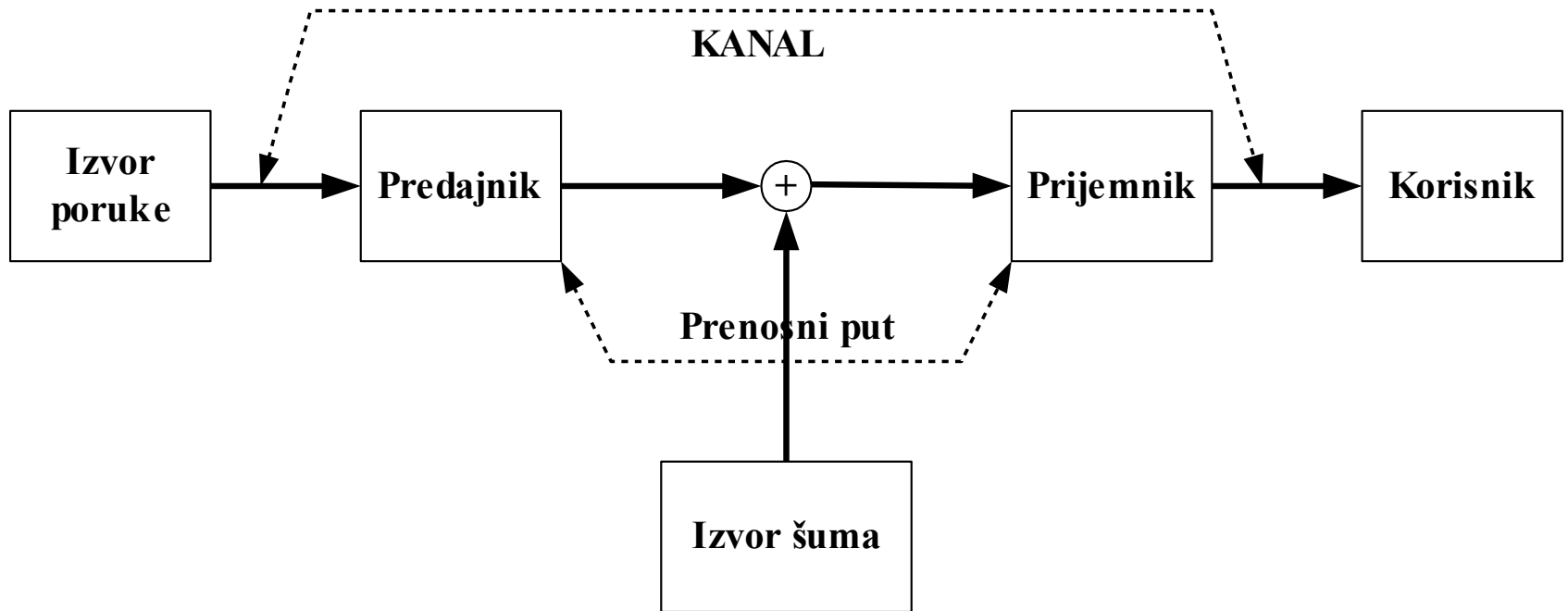


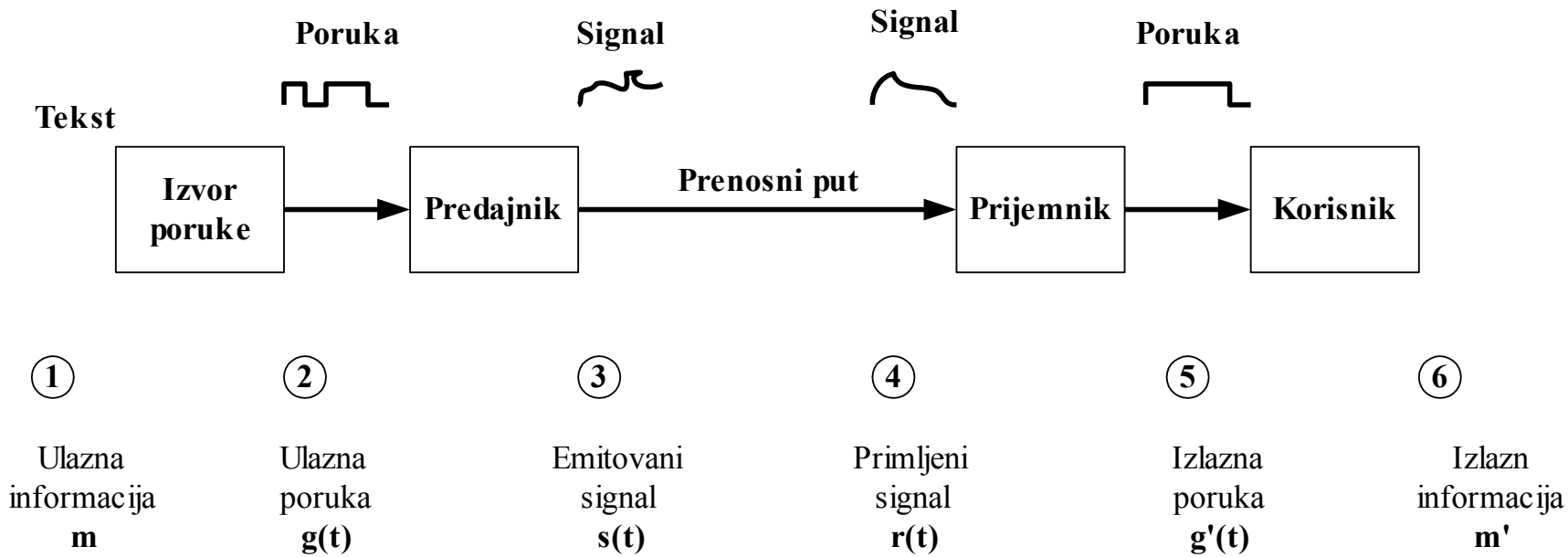
OSNOVNI PRINCIPI RAČUNARSKIH KOMUNIKACIJA

UVOD

- Uobičajeno se pod pojmom računarskih komunikacija podrazumijeva električni ili svjetlosni prenos poruka na daljinu, koje su na neki način povezane sa računarima.
- U savremena dostignuća u oblasti prenosa podataka spadaju:
 - razvoj ATM (Asynchronous Transfer Mode) tehnologije za komutaciju, kojom se omogućava prenos različitih poruka (govor, slika, podaci) jedinstvenom integrisanom mrežom;
 - **Ekspanzija IP zasnovanih mreža**, koje su danas potisnule primjenu ATM-a.
 - stalno povećavanje broja korisnika Interneta, koji je kroz njegove interkonekcije sa ostalim javnim mrežama postao informacioni "autoput" za prenos svih vrsta poruka.

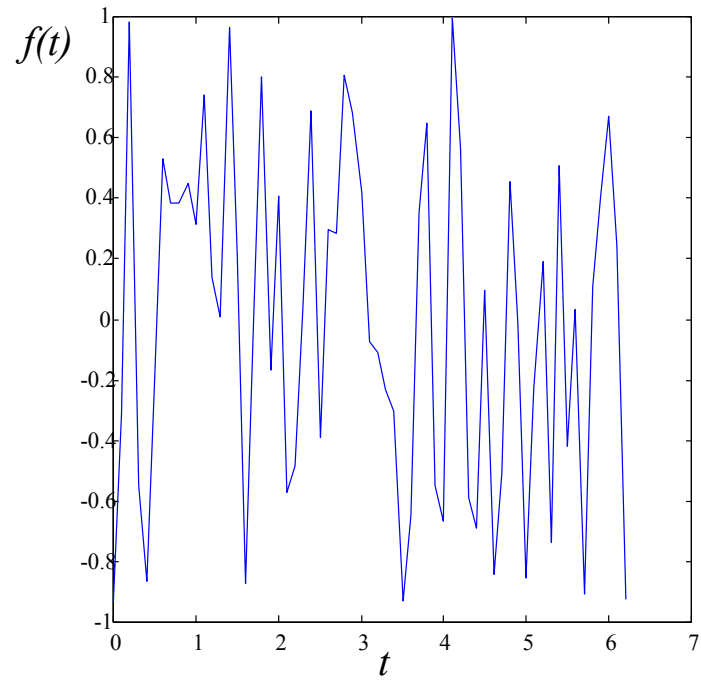
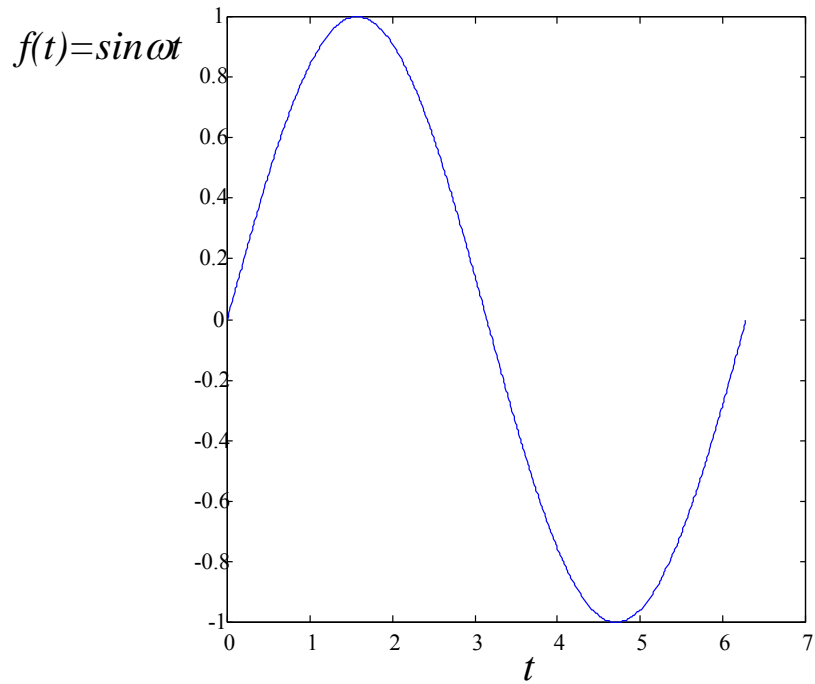


Generalni model telekomunikacionog sistema



SIGNALI

- Generalno se može govoriti o dvije grupe signala koji se pojavljuju u komunikacionim sistemima:
 - **determinističkim**, čije su vrijednosti u vremenu opisane preciznim analitičkim izrazom;
 - **slučajnim**, za koje nije moguće definisati odgovarajući analitički izraz kojim bi se unaprijed opisao njihov vremenski tok.



Primjeri determinističkog i slučajnog signala

Harmonijska analiza determinističkih signala

- **Deterministički signali:**

- *periodični*
- *aperiodični*

- *Periodični signali*

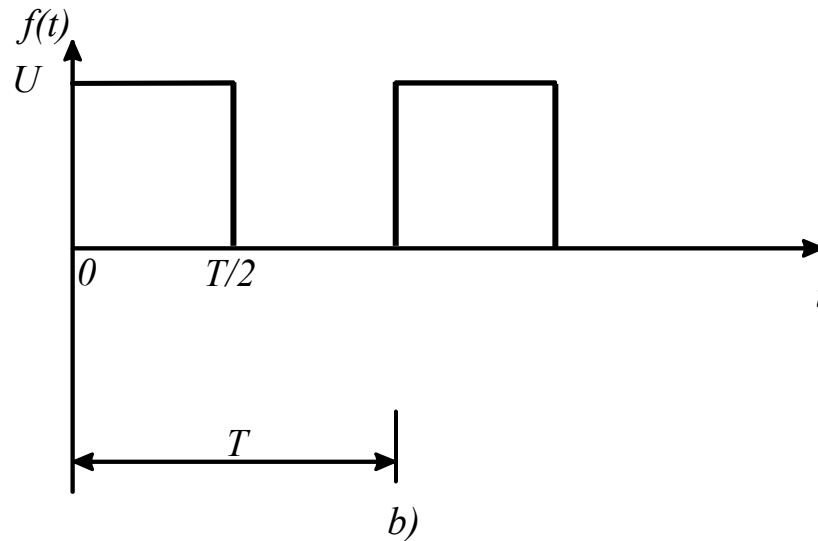
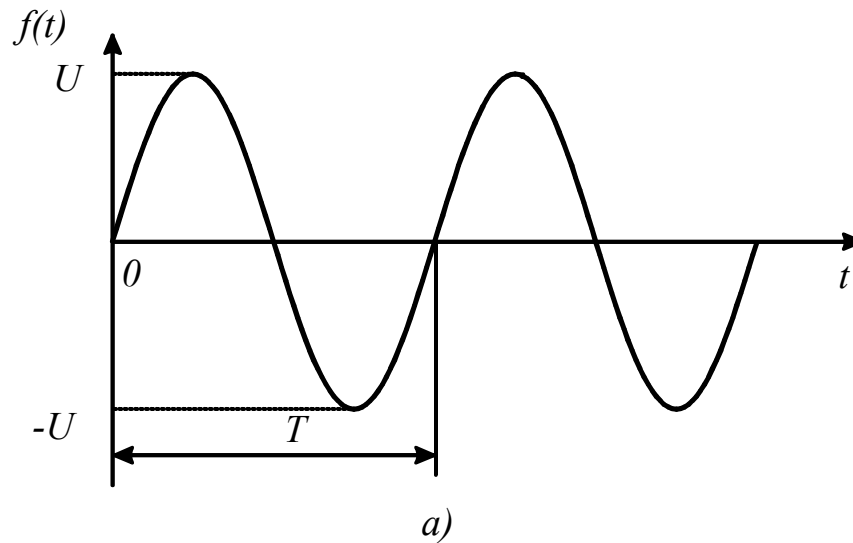
$$f(t) = f(t+T), \quad -\infty < t < +\infty$$

gdje konstanta T predstavlja periodu signala.

Primjer

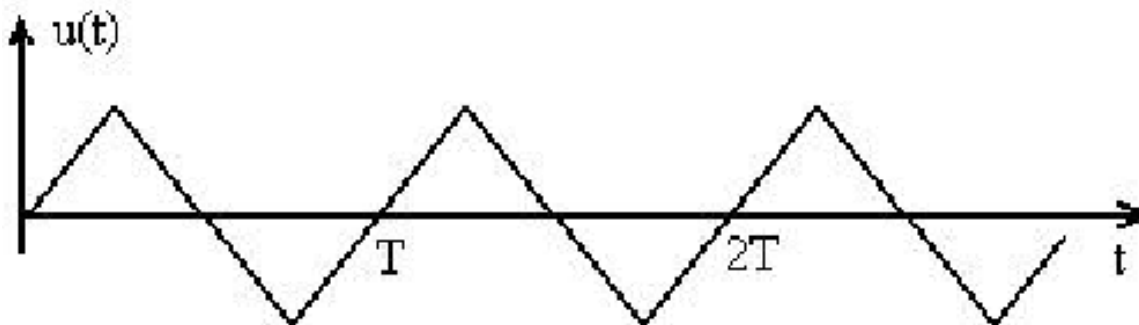
$$f(t) = U \sin(2\pi ft + \varphi) = U \sin(\omega t + \varphi)$$

veličina $\omega = 2\pi f$ naziva se kružna učestanost.

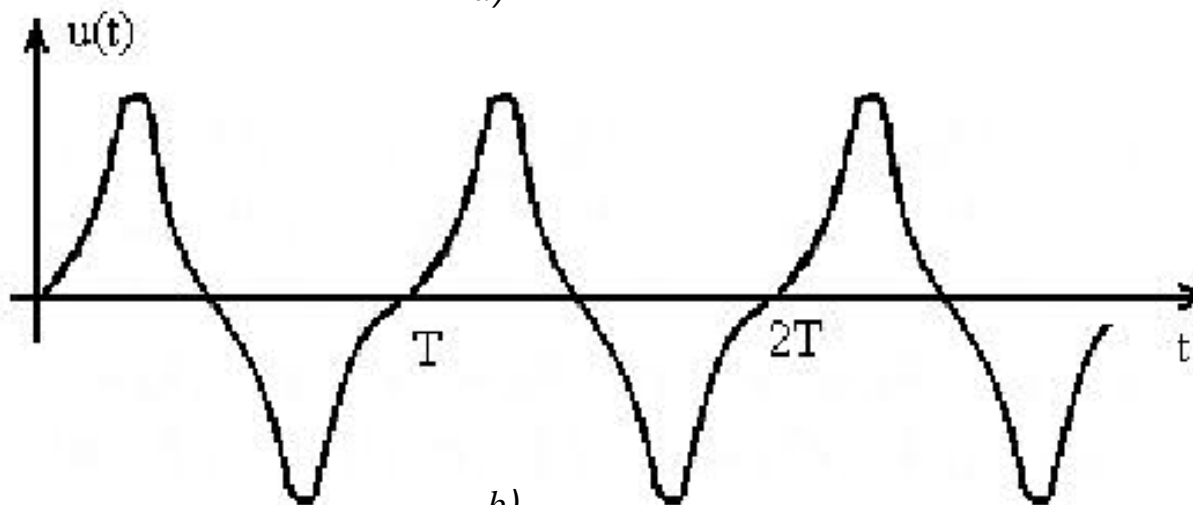


Primjeri periodičnih signala: a) sinusni signal;

b) povorka pravougaonih impulsa

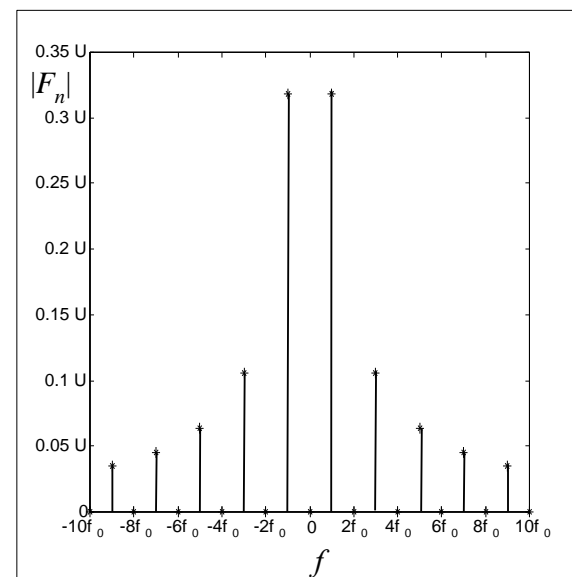
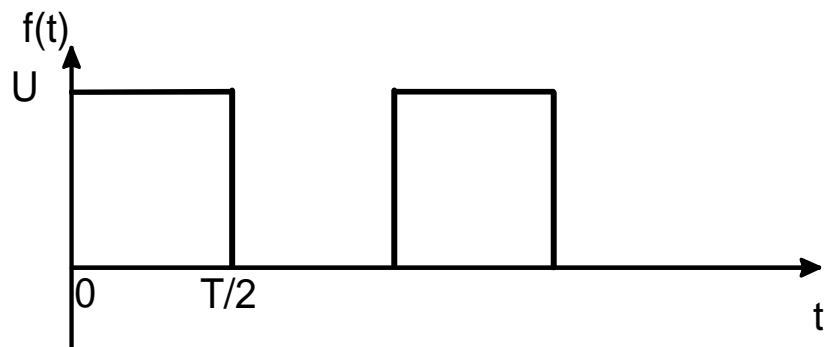
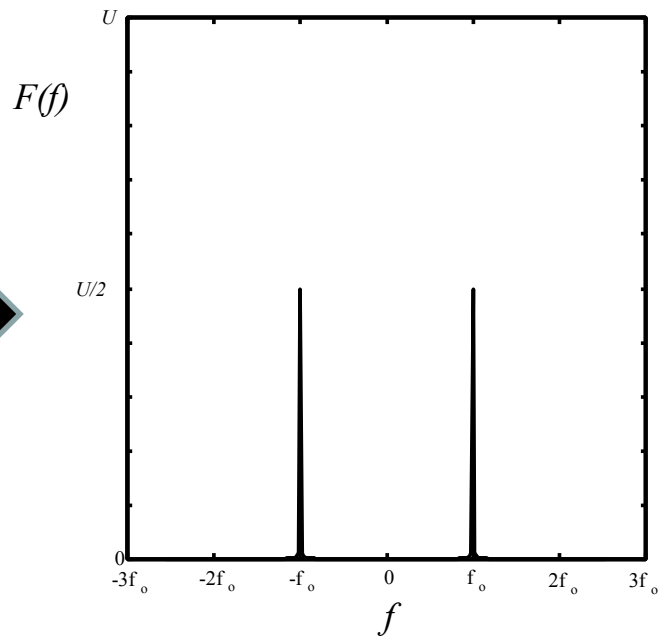
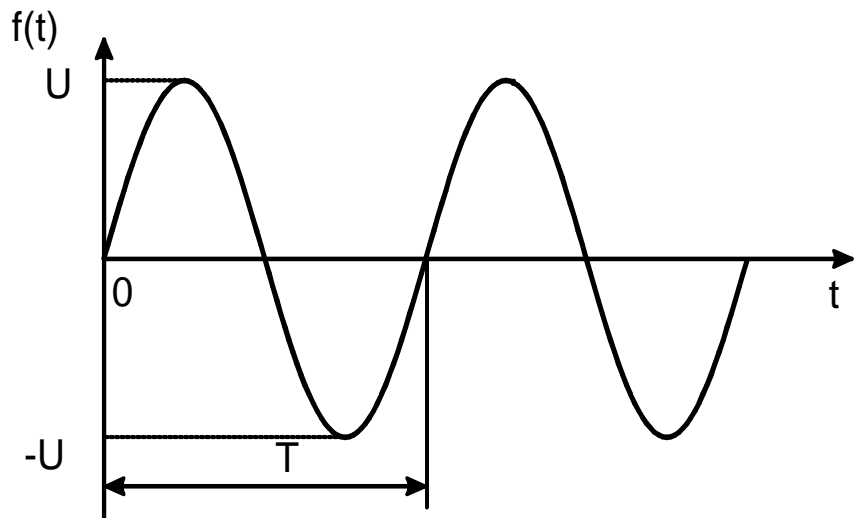


a)

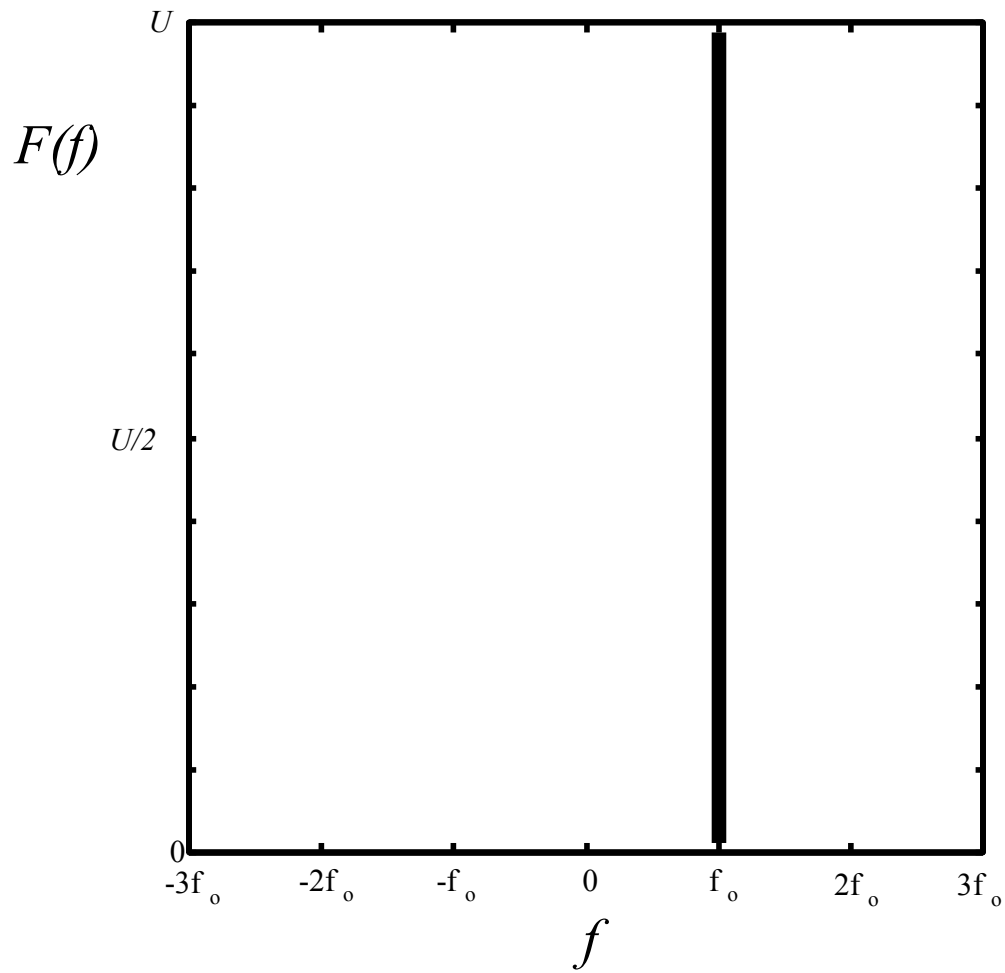


b)

a) trougaoni signal; b) složenoperiodični signal proizvoljnog talasnog oblika



*Dvostrani amplitudski spektri
periodičnih signala*



Jednostrani amplitudski spektar prostoperiodičnog signala

Razvoj periodične funkcije u Fourier-ov red:

$$f(t) = F_0 + \sum_{n=1}^{\infty} 2|F_n| \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad - \text{Trigonometrijski oblik}$$

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} F_n e^{jn\omega_0 t} \quad - \text{Kompleksni oblik}$$

- Fourier-ovi koeficijenti se računaju prema izrazu:

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad F_n = |F_n| e^{j\theta_n}$$

<http://www.falstad.com/fourier/index.html>

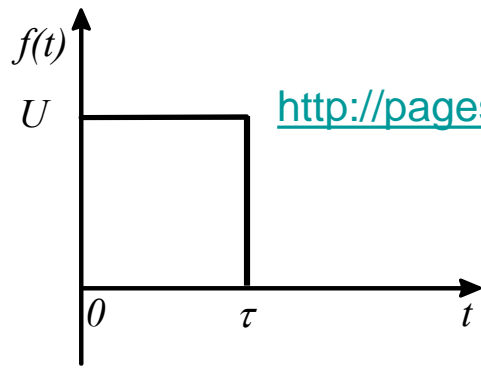
Aperiodični signali

- Aperiodični signal se ne može razviti u Fourier-ov red, pa se analiza aperiodičnog signala u domenu učestanosti obavlja pomoću Fourier-ovih integrala, čime se kompleksni spektar signala $f(t)$ dobija pomoću direktne Fourier-ove transformacije:

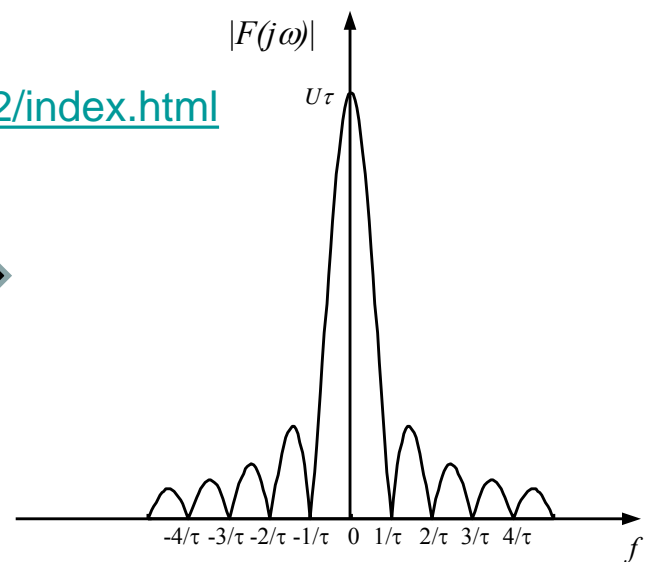
$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

pri čemu je (inverzna Fourier-ova transformacija):

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

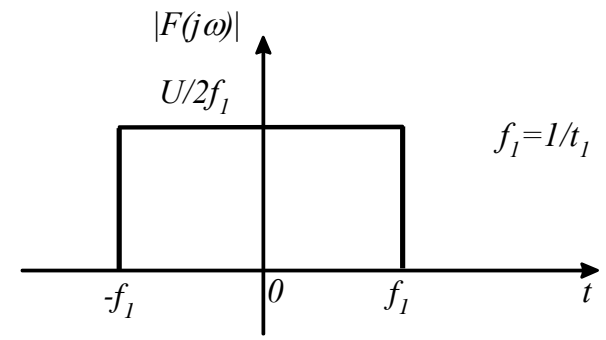
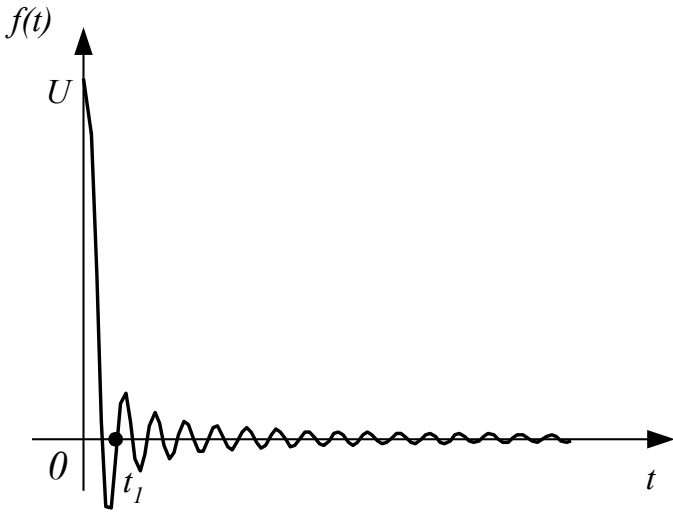


<http://pages.jh.edu/~signals/fourier2/index.html>



a)

a)



b)

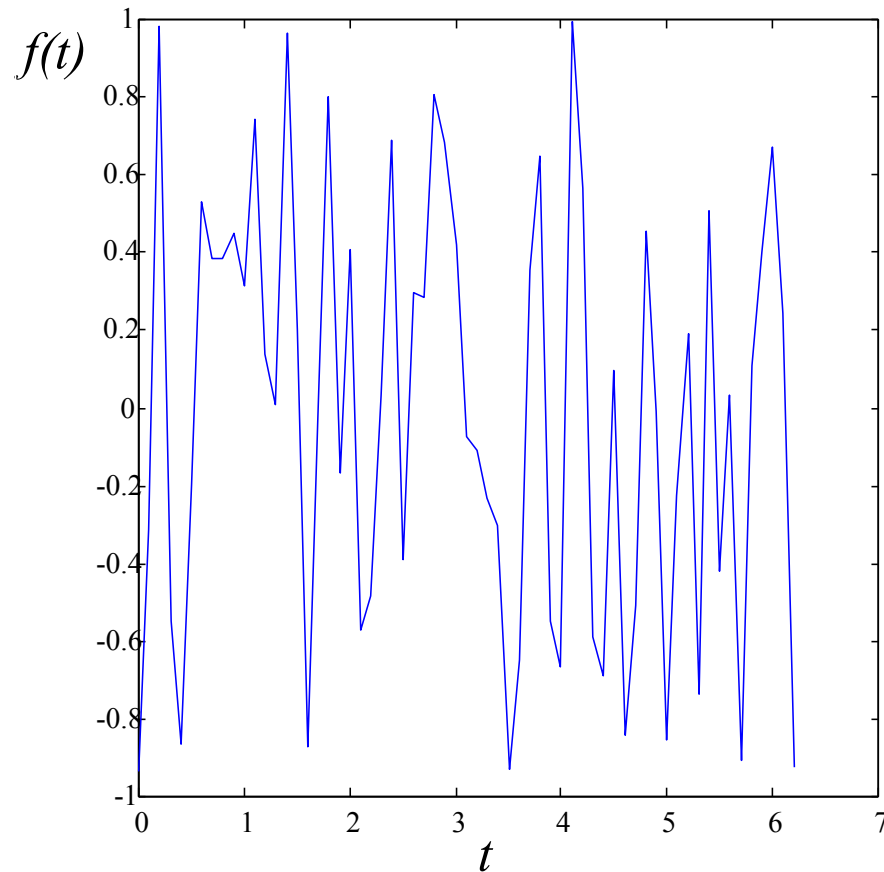
b)

Primjeri amplitudskih spektara aperiodičnih signala;

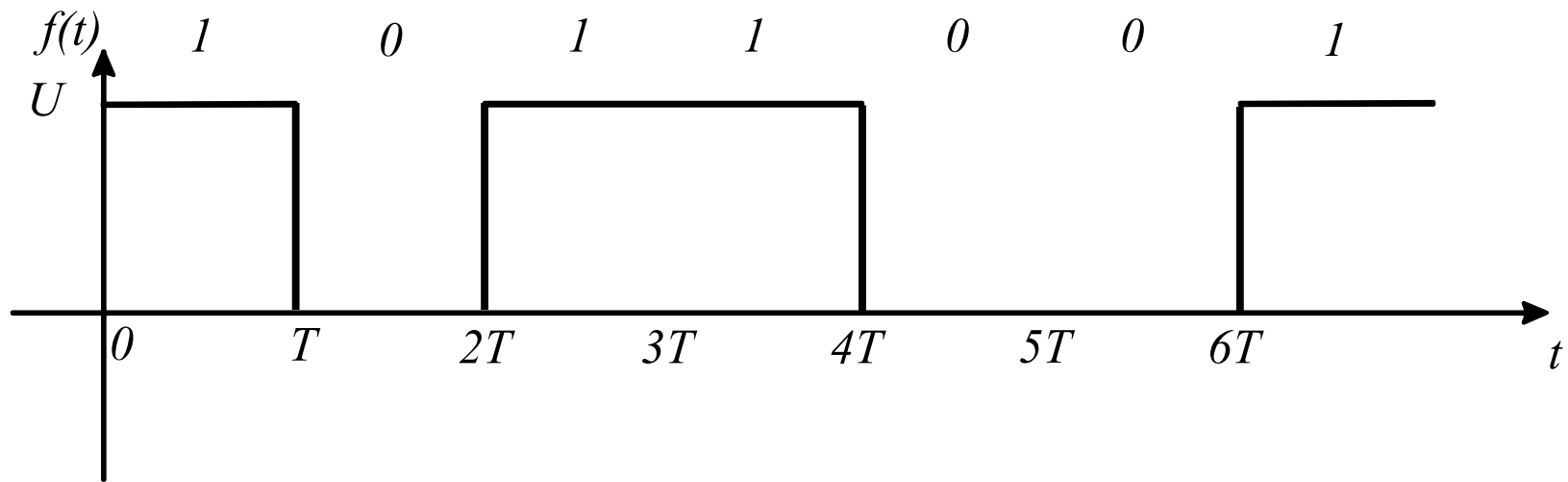
a) Usamljeni pravougaoni impuls;

b) Impuls tipa $\sin x/x$

Osnovne karakteristike signala koji predstavljaju realne poruke



Primjer analognog slučajnog signala



Primjer digitalnog binarnog slučajnog signala

- Od analognih signala koji predstavljaju realne poruke treba izdvojiti sledeće signale:
 - signal govora,
 - signal muzike,
 - televizijski signal (signal pokretne slike).
- Govorni signal u prosjeku ima značajni dio spektra u opsegu učestanosti od **300 do 3400Hz**, pa je Medjunarodna unija za telekomunikacije (ITU) propisala standardni kanal širine 3,1 kHz za prenos ovakvog signala. Signal muzike zauzima opseg učestanosti od **50Hz do 15kHz**, dok video signal zauzima opseg učestanosti od **10Hz do 5MHz**.

Osnovni parametri koji karakterišu digitalni signal

$$V = 2f_c$$

gdje je:

- V brzina signaliziranja ($V=1/T$) izražena u b/s, a
- f_c granična učestanost idealnog sistema za prenos.

Brzina V je poznata kao **Nayquistova brzina signaliziranja**.

Primjer: Odrediti maksimalnu brzinu prenosa podataka linijom veze čija je širina propusnog opsega jednaka 1MHz.

Uticaj sistema za prenos na talasni oblik prenošenog signala

- Idealni sistem prenosa

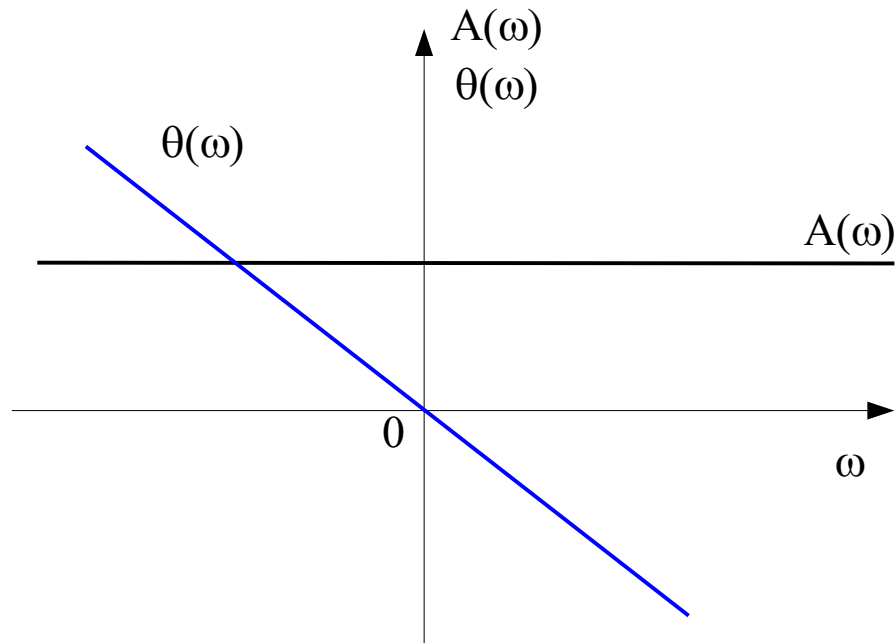
$$y(t) = Ax(t - t_0)$$

gdje je A konstanta, a t_0 konstantno vremensko kašnjenje.

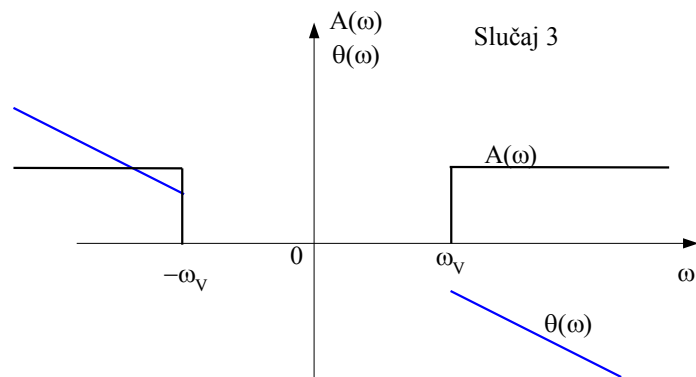
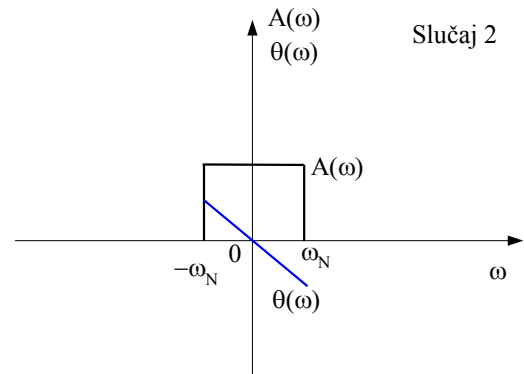
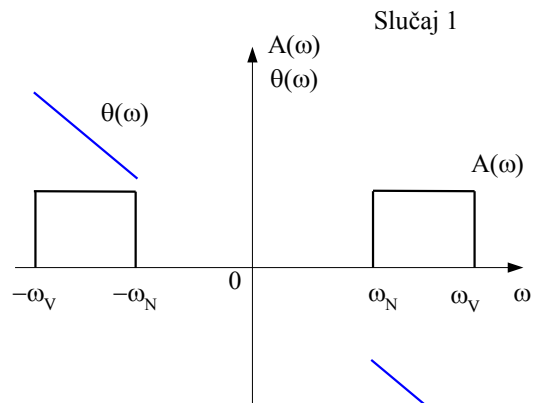
- Funkcija prenosa $H(j\omega)$, kao odnos Fourier-ove transformacije izlaznog i ulaznog signala, idealnog sistema prenosa je :

$$H(j\omega) = Ae^{-j\omega t_0} = A(\omega)e^{j\theta(\omega)}$$

$$H(j\omega) = Ae^{-j\omega t_0} = A(\omega)e^{j\theta(\omega)}$$



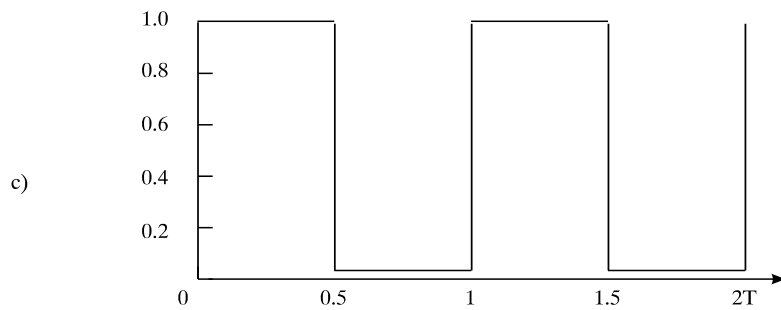
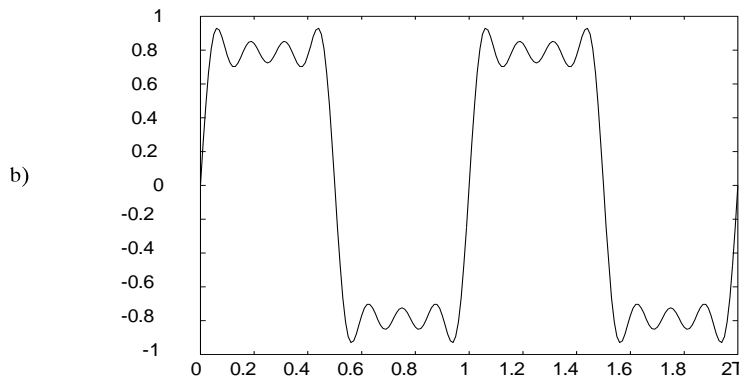
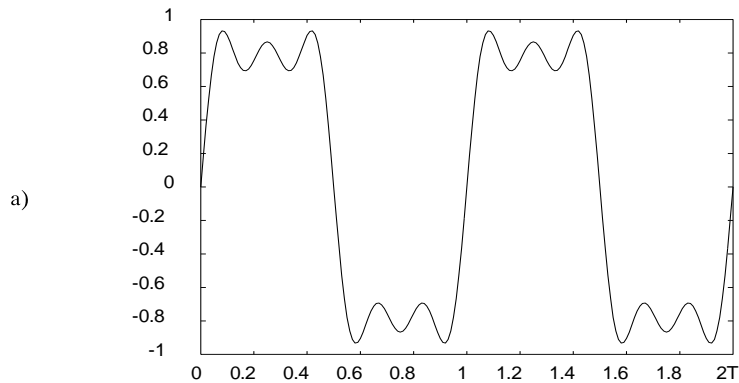
Amplitudska i fazna karakteristika idealnog sistema za prenos



Amplitudna i fazna karakteristika idealnih sistema ograničenog opsega

Izobličenja pri prenosu signala

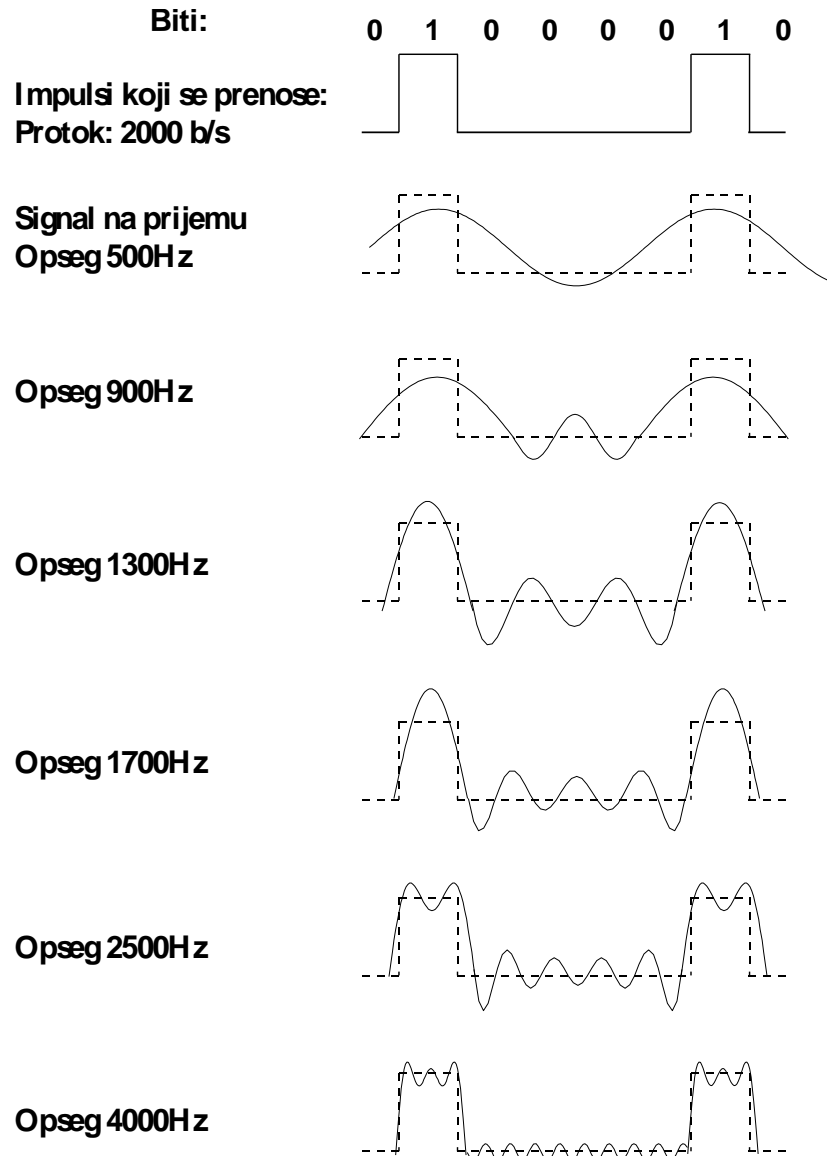
- Izobličenja pri prenosu signala mogu nastati zbog:
 1. nepoklapanja propusnog opsega sistema za prenos i širine spektra prenošenog signala,
 2. neidealnosti amplitudske i fazne karakteristike sistema za prenos i
 3. kombinacije prethodna dva slučaja.



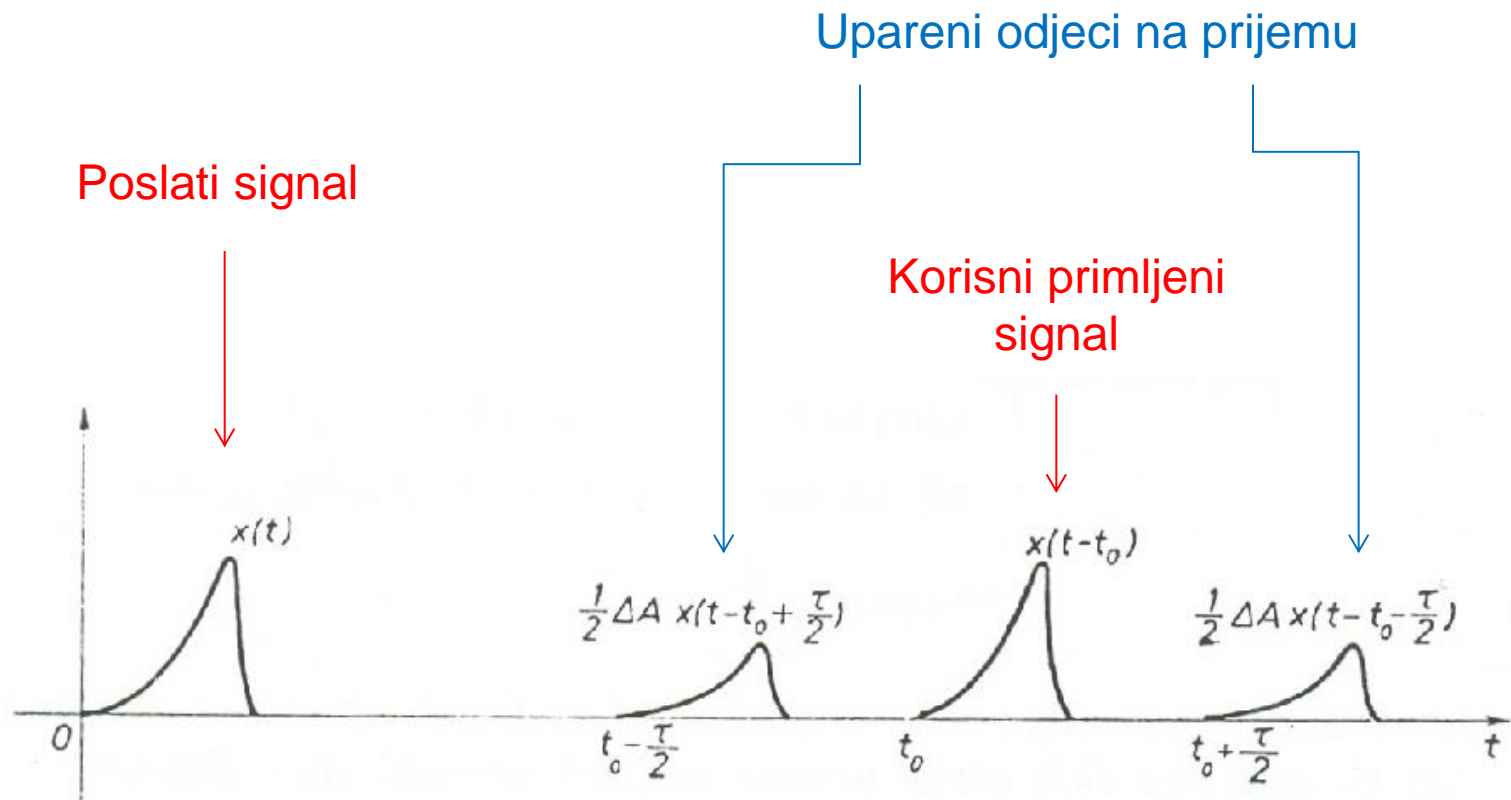
<http://www.falstad.com/fourier/index.html>

<http://pages.jh.edu/~signals/fourier2/index.html>

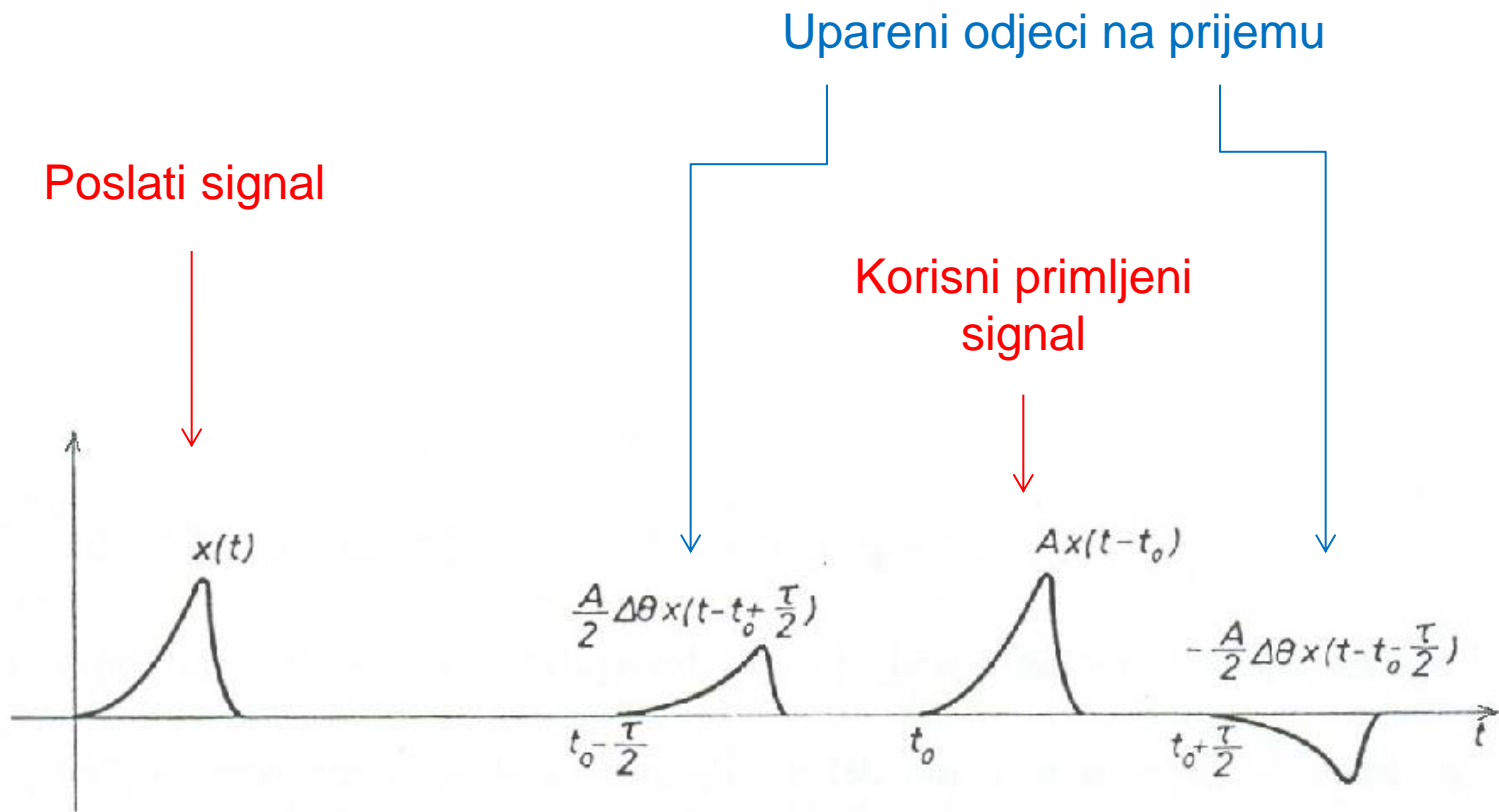
Uticaj broja prenošenih harmonika na oblik signala



Uticaj širine propusnog opsega sistema za prenos na oblik primljenog signala



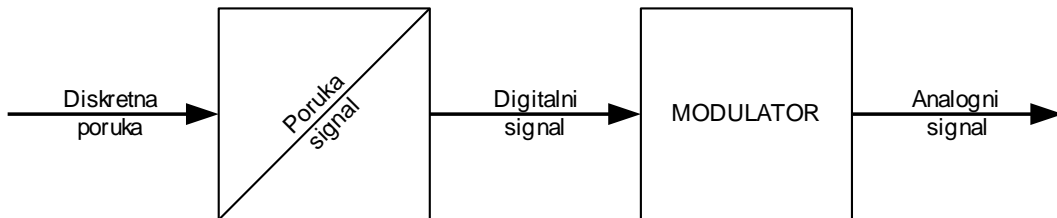
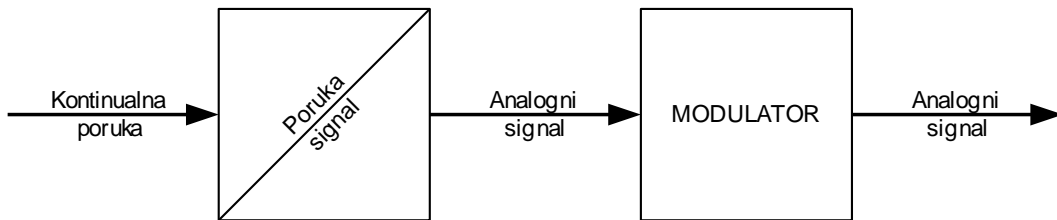
Izobličenja nastala uslijed neidealne amplitudske karakteristike sistema za prenos



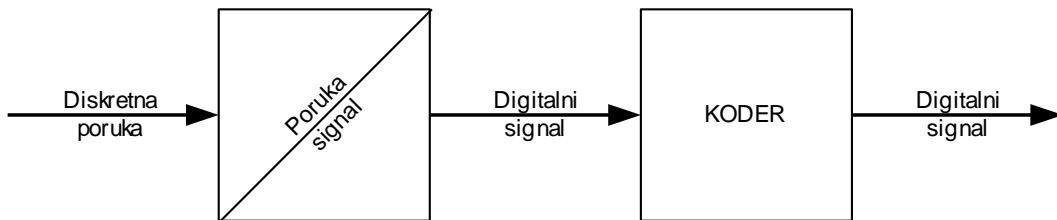
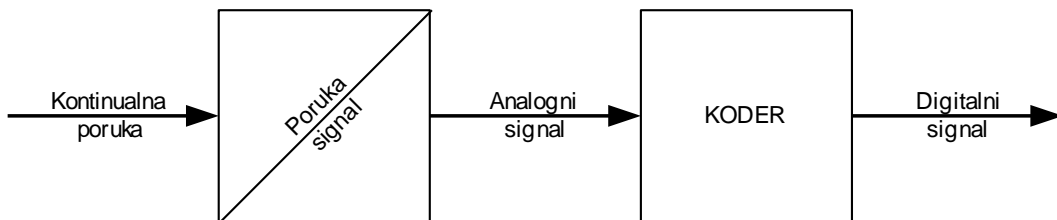
Izobličenja nastala uslijed neidealne fazne karakteristike sistema za prenos

Vrste prenosa

- U zavisnosti od međusobnog odnosa karakteristika prenosnog puta s jedne strane, i predajnika i prijemnika sa druge strane, prenos poruka, odnosno signala, može biti ostvaren u različitim formama. Postoje dva osnovna tipa prenosa poruka prenosnim medijumom komunikacionog sistema i to su:
 - analogni prenos i
 - digitalni prenos.



a)



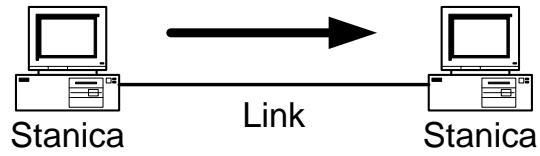
b)

*Mogućnosti prenosa kontinualnih i diskretnih poruka: a) analogni prenos;
b) digitalni prenos*

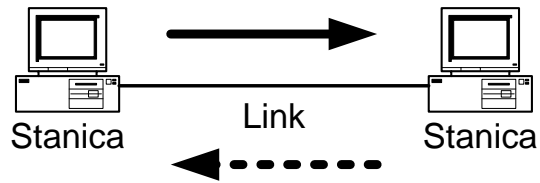
- Glavni razlozi koji su doveli do sveprisutne digitalizacije prenosa se ukratko mogu sistematizovati na sledeći način.
 - **Digitalna tehnologija.** Pronalazak LSI (*Large-Scale Integration*) i VLSI (*Very Large-Scale Integration*) tehnologija je izazvao kontinuiran pad veličine i cijene digitalnih kola, što nije slučaj sa analognom opremom.
 - **Integritet poruka.** Upotrebom ripitera umjesto pojačavača, efekti šuma i ostalih smetnji nisu kumulativni. Upravo zato je digitalnim sistemima prenosa moguće prenositi poruke na veća rastojanja.
 - **Efikasnije korišćenje kapaciteta.** Ekonomično je graditi prenosne puteve velikog propusnog opsega, kao što su satelitski kanali i kablovi sa optičkim vlaknima. Takvi kapaciteti se potom efikasno iskorišćavaju multipleksiranjem, koje je lakše i jeftinije ako se radi digitalnim tehnikama.
 - **Sigurnost i privatnost.** Kriptografske tehnike se mogu direktno primjenjivati na diskretne poruke i kontinualne poruke koje su digitalizovane.
 - **Integracija.** Tretiranjem i kontinualnih i diskretnih poruka digitalno, svi signali imaju isti oblik i stvaraju se uslovi za integraciju govornih, video i računarskih poruka.

Simplex/Polu-duplex/Duplex prenos

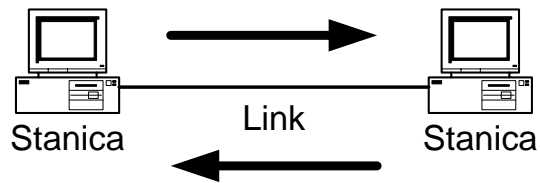
- Prenos poruka (kontinualnih i diskretnih) može biti realizovan u jednom od sledeća tri oblika:
 - simplex (prenos u jednom smjeru),
 - polu-duplex (naizmjeničan prenos u dva smjera),
 - duplex (simultani prenos u oba smjera).



SIMPLEKS



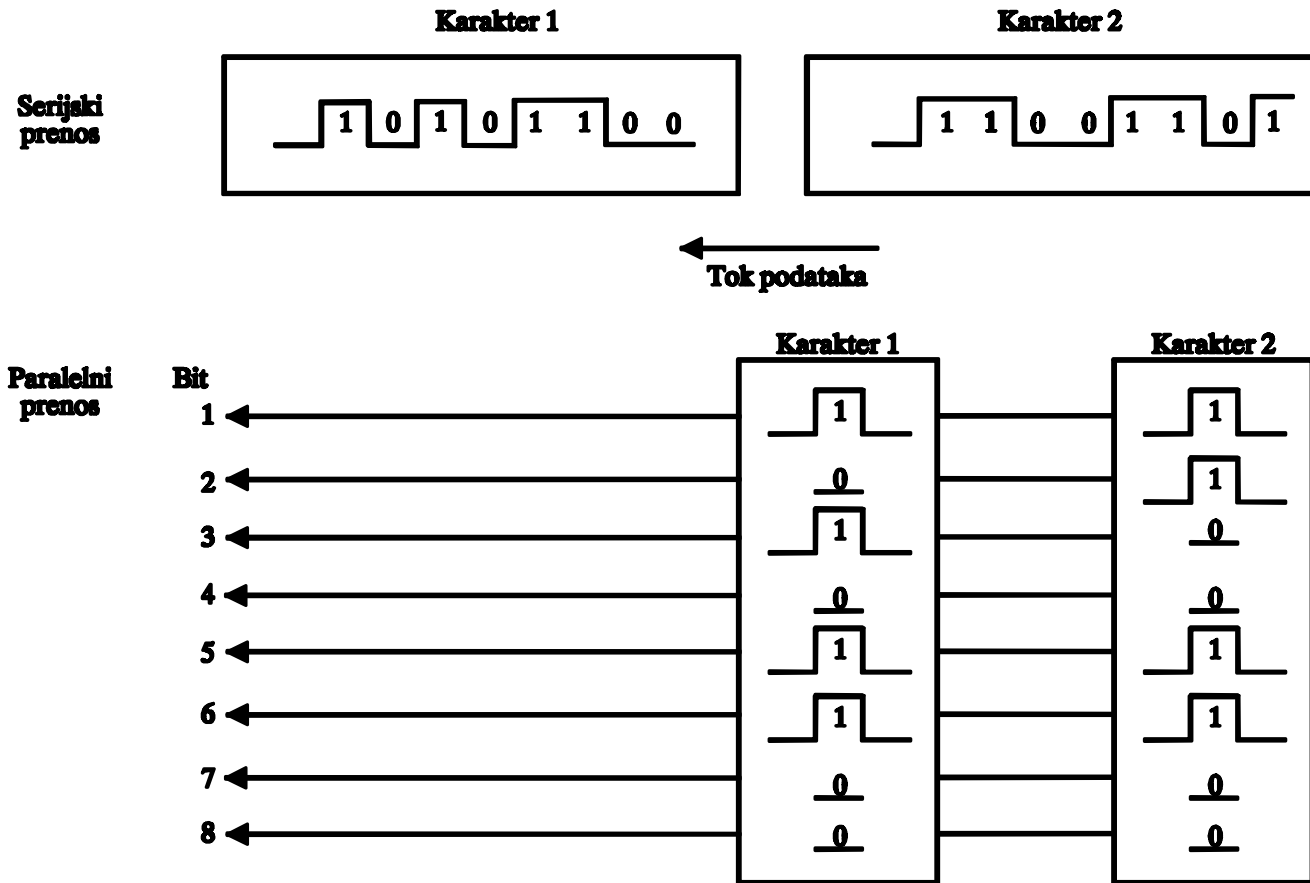
POLU DUPLEKS



DUPLEKS

Oblici prenosa poruka

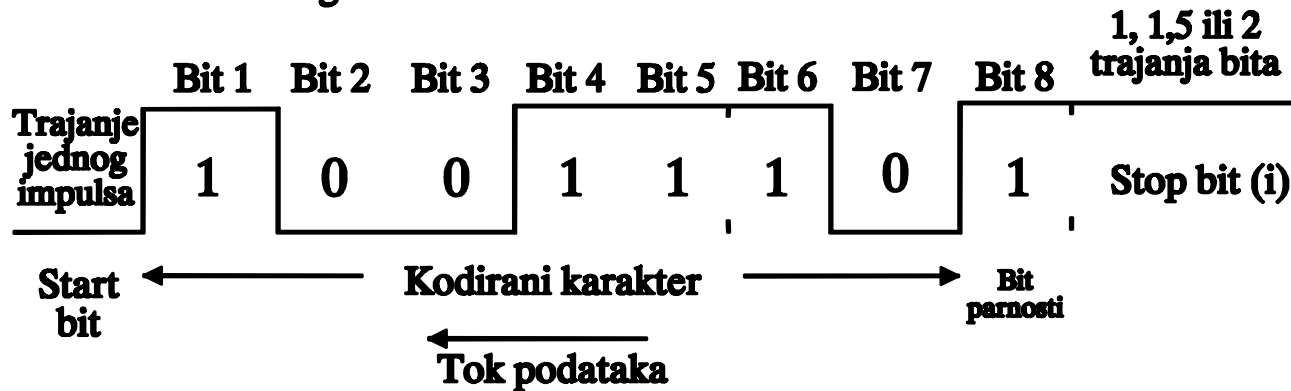
Serijski/Paralelni prenos



Serijski i paralelni prenos podataka

Sinhroni/asinhroni prenos

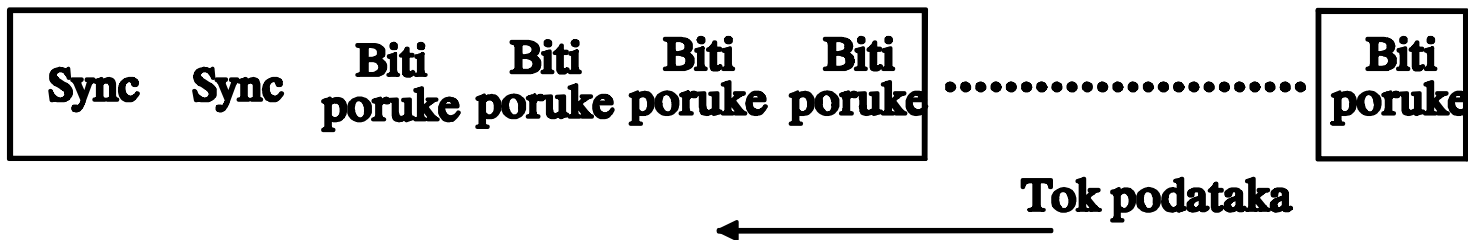
Prenos 7-značnog karaktera



Prenos više karaktera



Ilustracija asinhronog prenosa

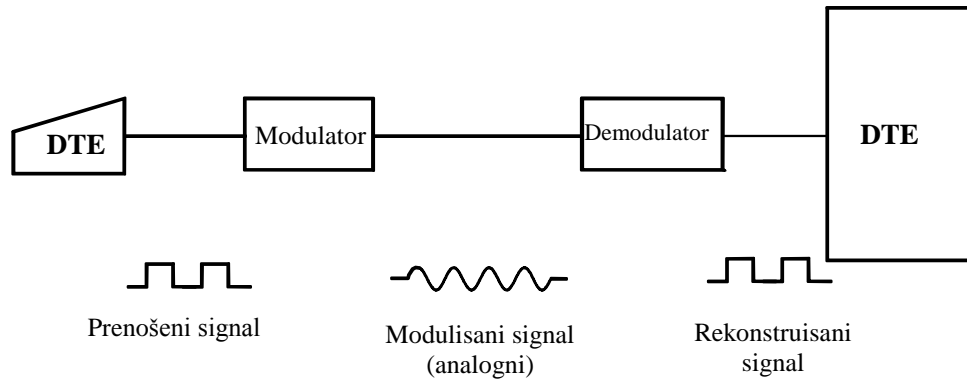


Ilustracija sinhronog prenosa

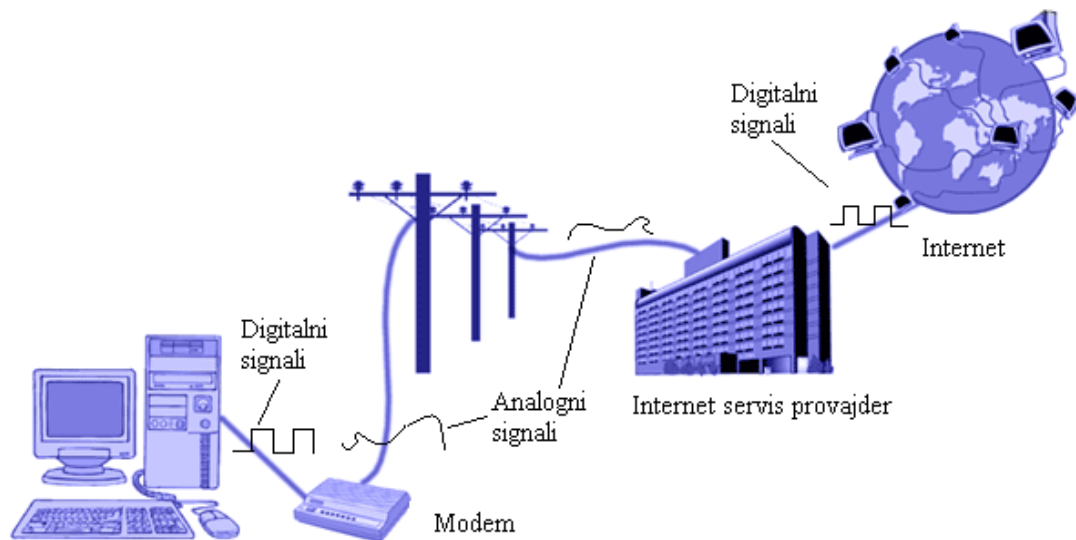
Obrada signala

Vrsta poruke	Originalni signal	Vrsta prenosa	Postupak obrade
Kontinualna	Analogni	Analogni	Bez obrade (u osnovnom opsegu)
			Modulacija
		Digitalni	Kodiranje (analogno/digitalna konverzija)
Digitalna	Digitalni	Analogni	Modulacija
		Digitalni	Kodiranje u osnovnom opsegu

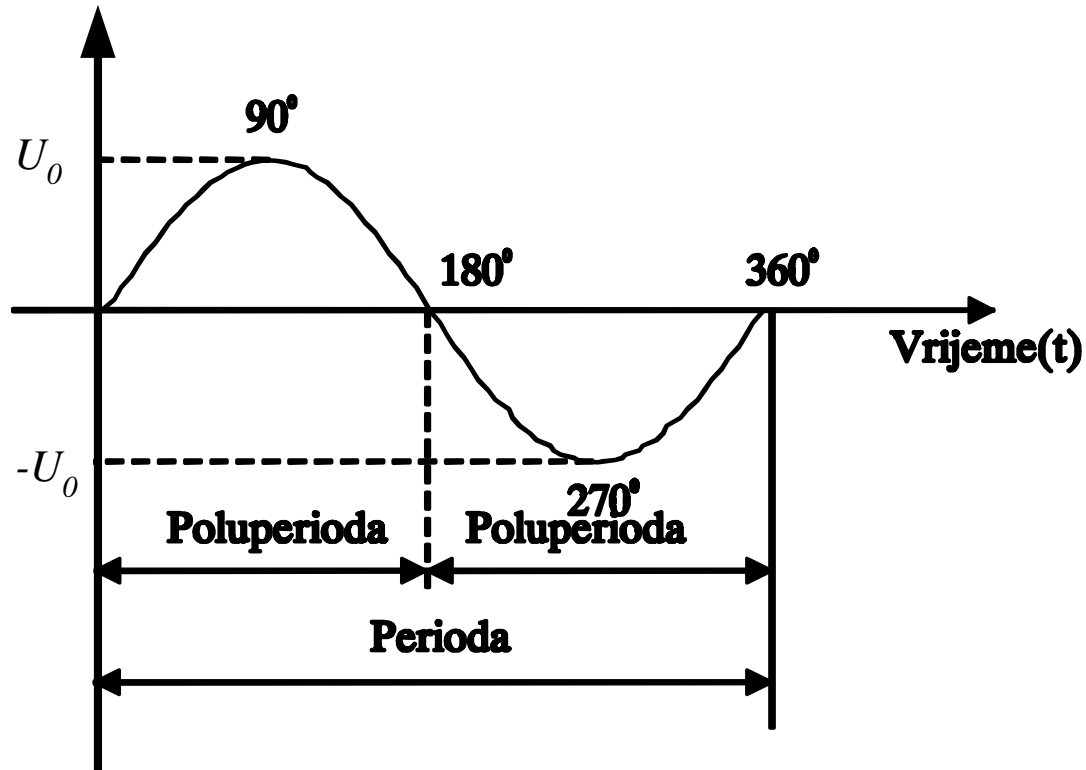
Modulacija



Blok šema sistema za analogni prenos digitalnih signala



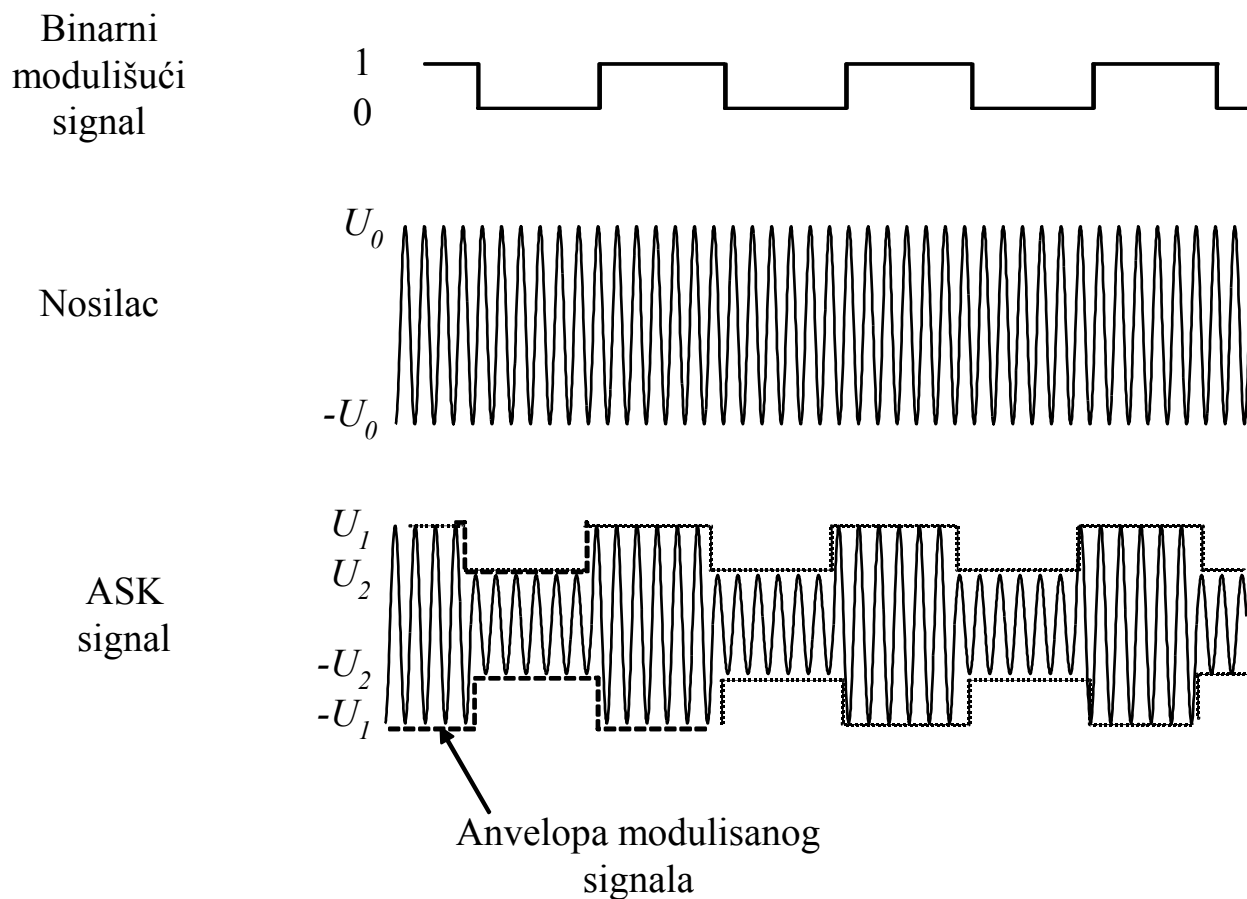
Primjeri analognog i digitalnog prenosa u računarskim komunikacijama



Talasni oblik nosioca u okviru jedne periode

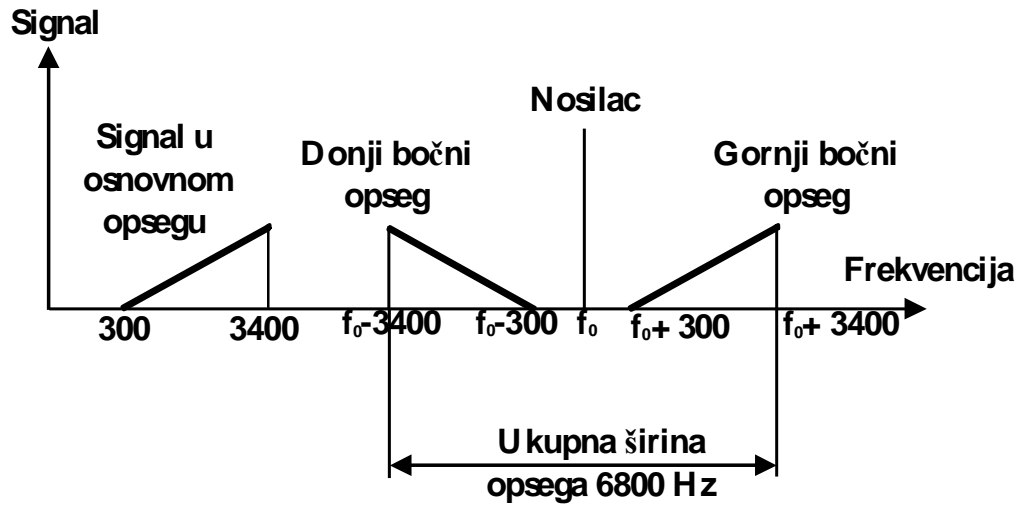
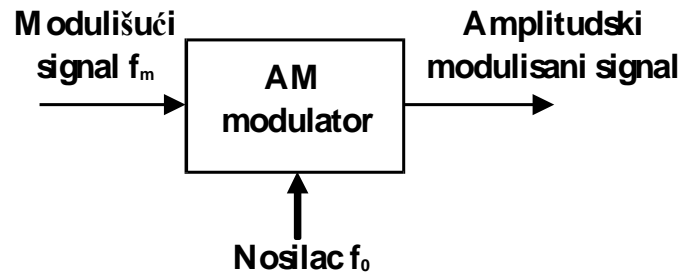
$$u_0(t) = U_0 \sin(2\pi f_0 t + \varphi)$$

Amplitudska modulacija - ASK



Obrada digitalnog signala postupkom amplitudske modulacije

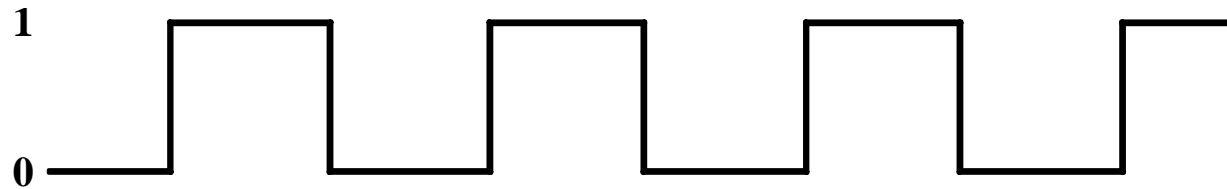
$$u(t) = \begin{cases} U_1 \cos(2\pi f_0 t + \varphi) & \text{binarna 1} \\ U_2 \cos(2\pi f_0 t + \varphi) & \text{binarna 0} \end{cases}$$



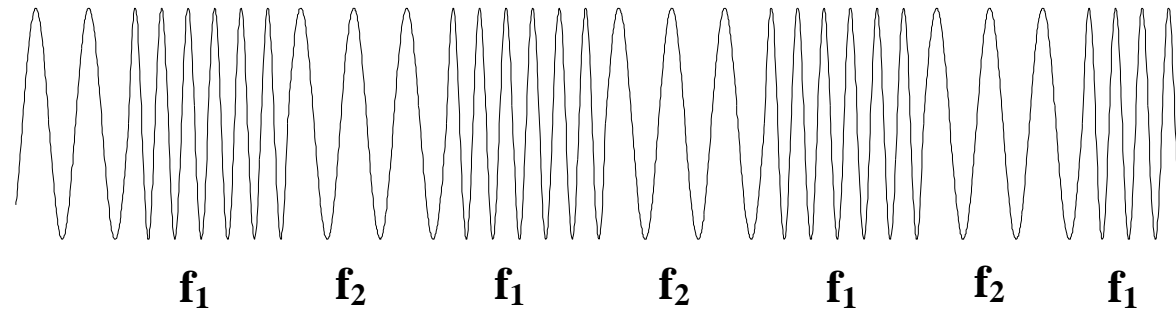
Spektar amplitudski modulisanog signala

Frekvencijska modulacija - FSK

Binarni
modulišuci
signal



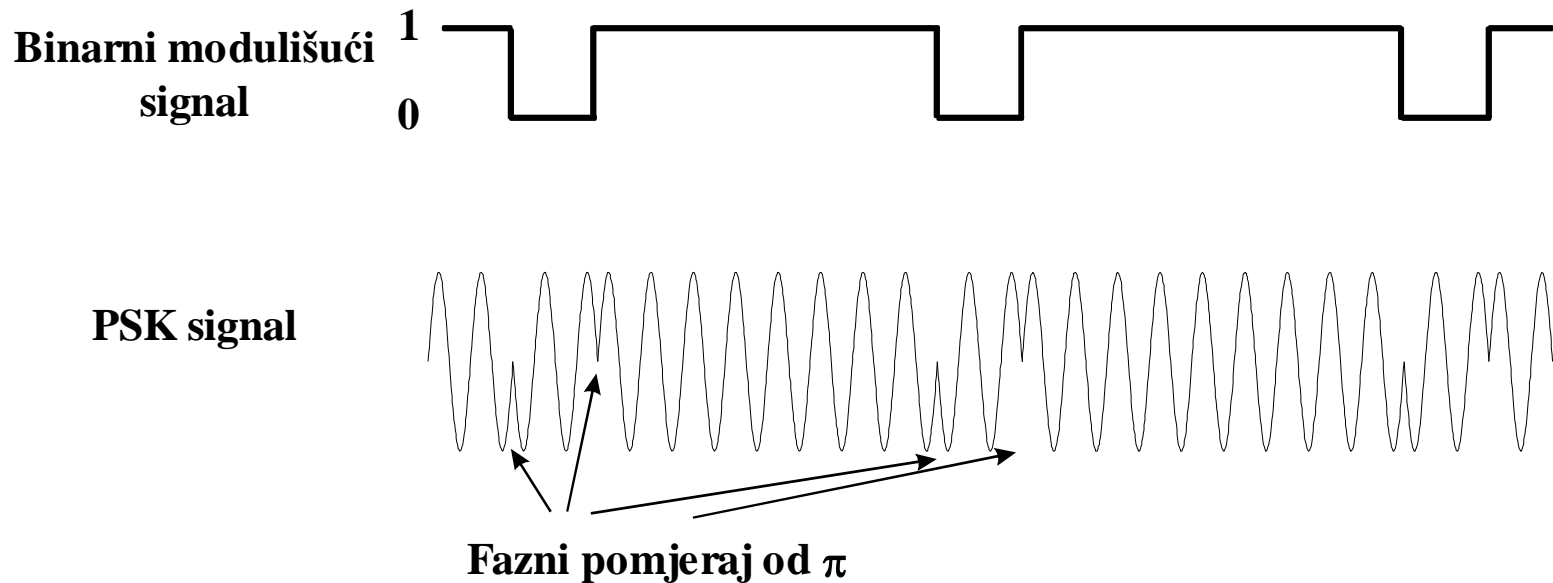
FSK
signal



Postupak frekvencijske modulacije digitalnog signala

$$u(t) = \begin{cases} U_0 \cos(2\pi f_1 t + \varphi) & \text{binarna } 1 \\ U_0 \cos(2\pi f_2 t + \varphi) & \text{binarna } 0 \end{cases}$$

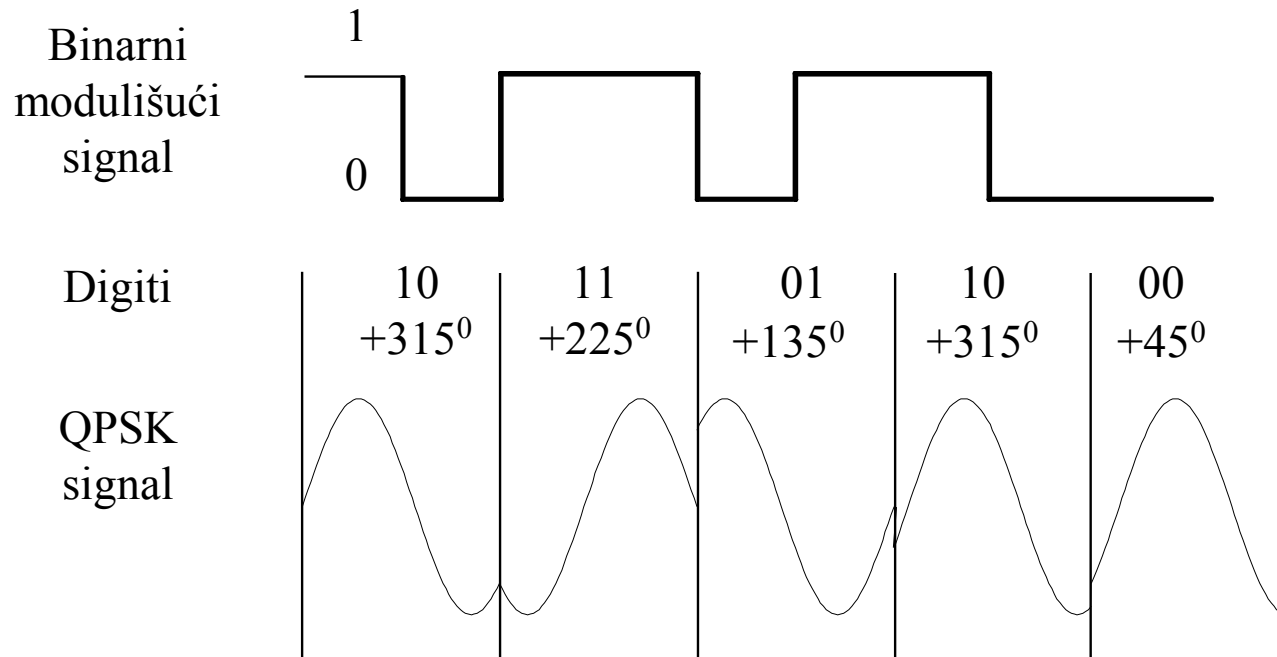
Fazna modulacija - PSK



Postupak fazne modulacije binarnog signala

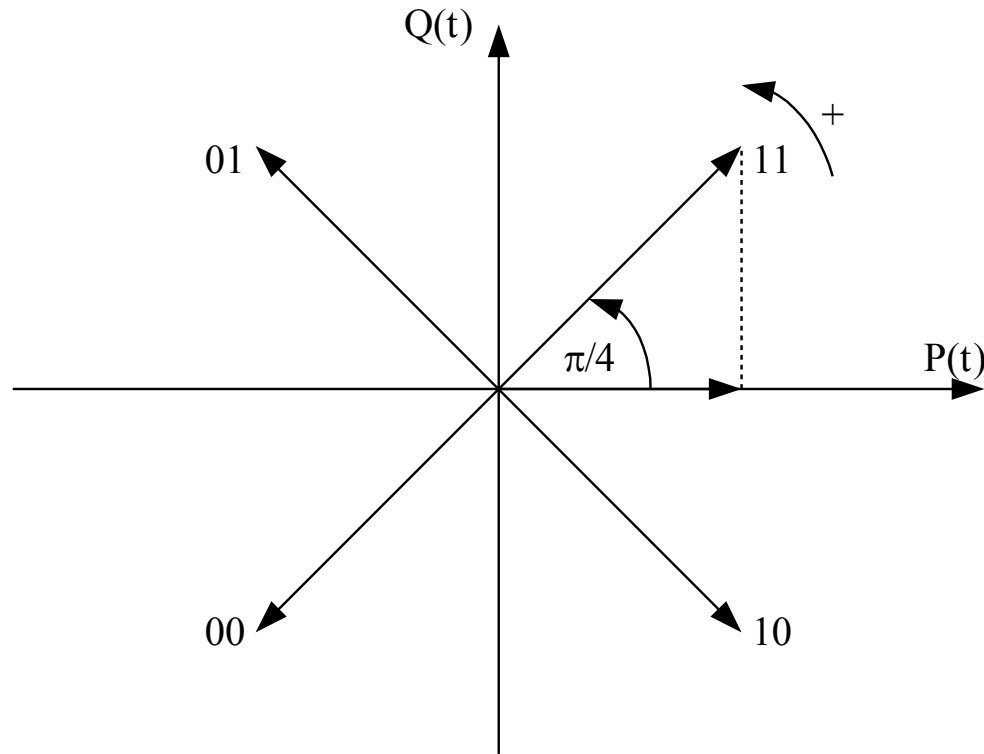
$$u(t) = \begin{cases} U_0 \cos(2\pi f_0 t + \varphi_1) & \text{binarna } 1 \\ U_0 \cos(2\pi f_0 t + \varphi_2) & \text{binarna } 0 \end{cases}$$

Višenoovske fazne modulacije



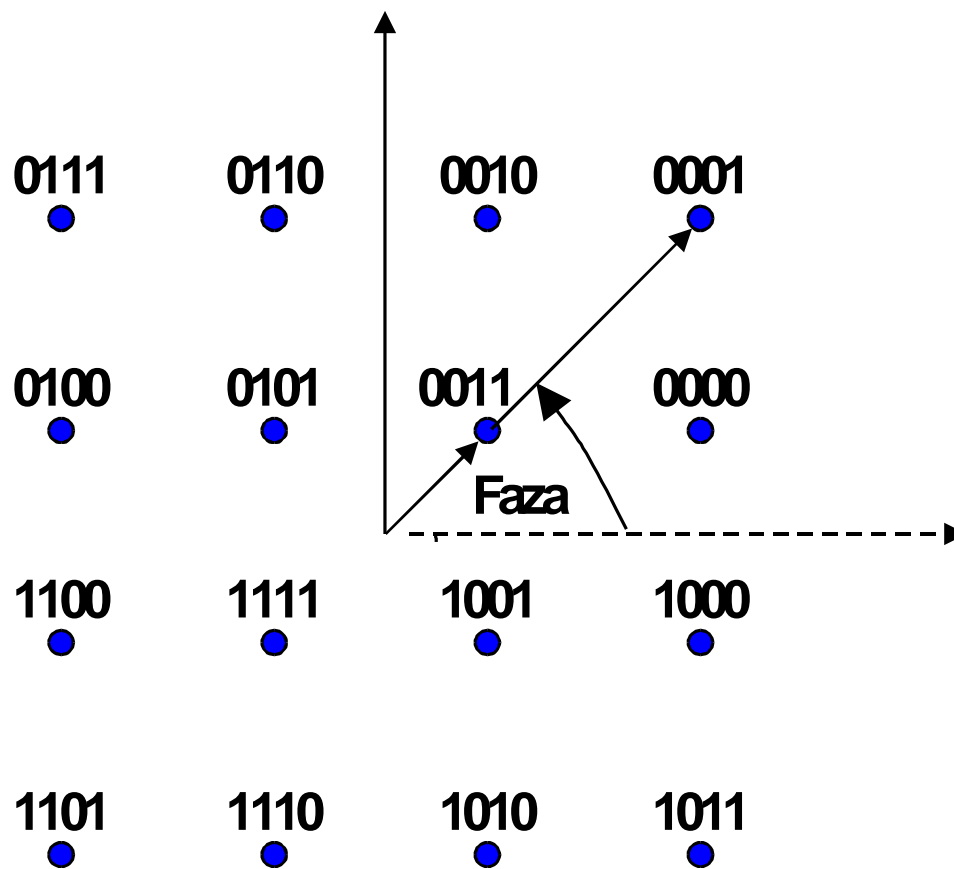
Postupak kvadraturene fazne modulacije (QPSK)

$$u(t) = \begin{cases} U_0 \cos(2\pi f_0 t + 45^\circ) & \text{za kombinaciju } 11 \\ U_0 \cos(2\pi f_0 t + 135^\circ) & \text{za kombinaciju } 10 \\ U_0 \cos(2\pi f_0 t + 225^\circ) & \text{za kombinaciju } 00 \\ U_0 \cos(2\pi f_0 t + 315^\circ) & \text{za kombinaciju } 01 \end{cases}$$



Vektorski dijagram QPSK signala

Kvadratura amplitudsko-fazna modulacija (QAM)



Fazorski dijagram 16QAM signala

Primjeri zadataka za kolokvijum

- Dat je binarni niz 001011 (trajanje bita je 2ms), i sinusoidalni nosilac učestanosti 1kHz.
 - a) Nacrtati talasni oblik amplitudski modulisanog signala, ako binarnoj jedinici odgovara naponski nivo od 0.5V, a binarnoj nuli 1V. Koliko iznosi perioda nosioca?
 - b) Nacrtati talasni oblik fazno modulisanog signala.
- Dat je binarni niz 110100 (trajanje bita je 1 μ s). Nacrtati talasni oblik frekvencijski modulisanog signala, ako binarnoj jedinici odgovara sinusoidalni nosilac učestanosti 1MHz, a binarnoj nuli odgovara sinusoidalni nosilac učestanosti 2MHz.