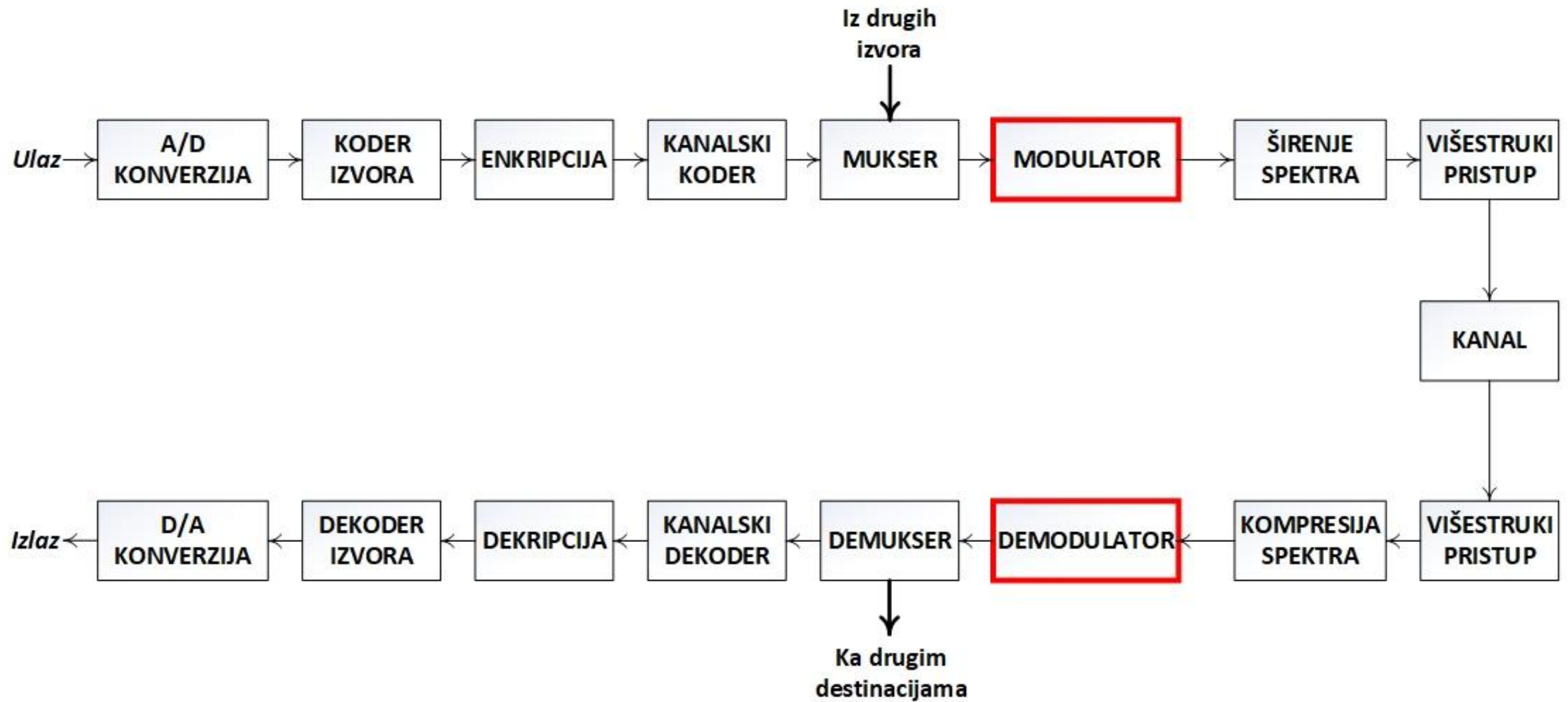


# DIGITALNI KOMUNIKACIONI SISTEMI

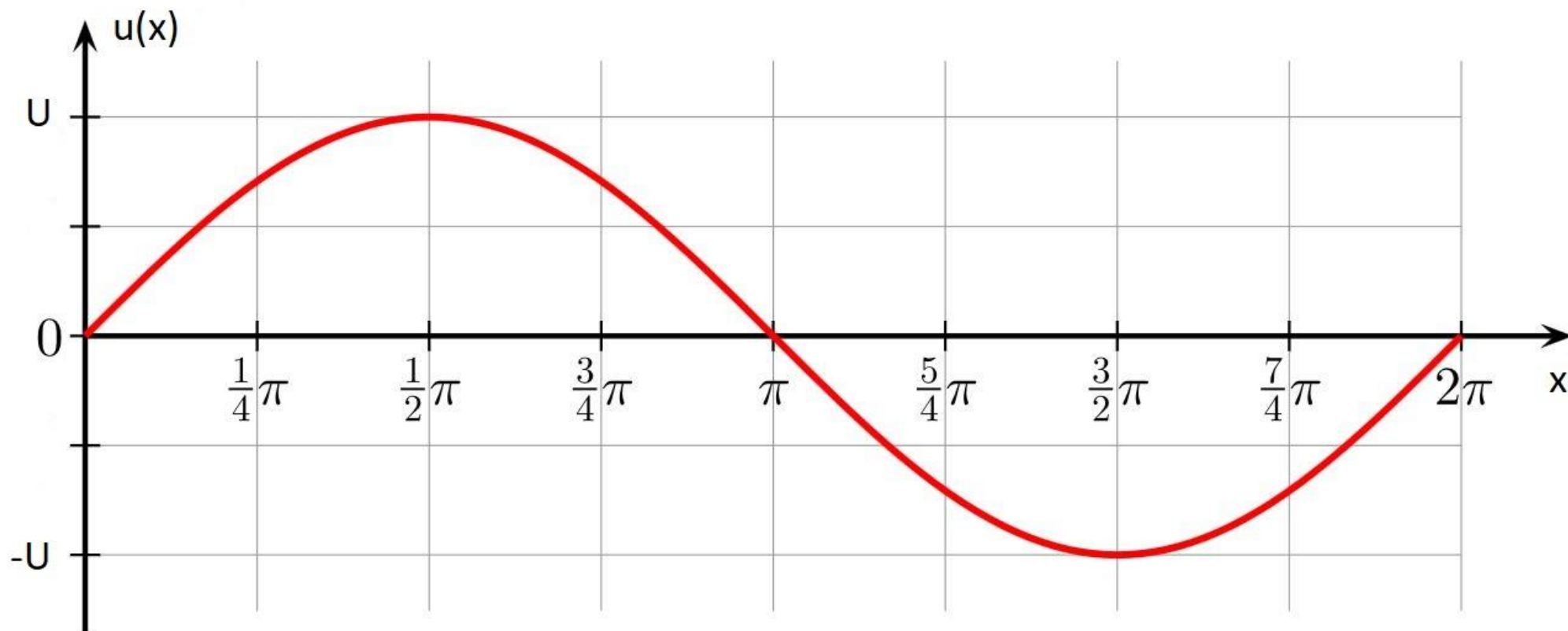
## Vežba 5 Digitalne modulacije

# Blok šema digitalnog komunikacionog sistema



# Predstavljanje prostoperiodičnih funkcija

$$u(x) = U \sin(\omega \cdot x + \varphi)$$



# Ojlerova formula

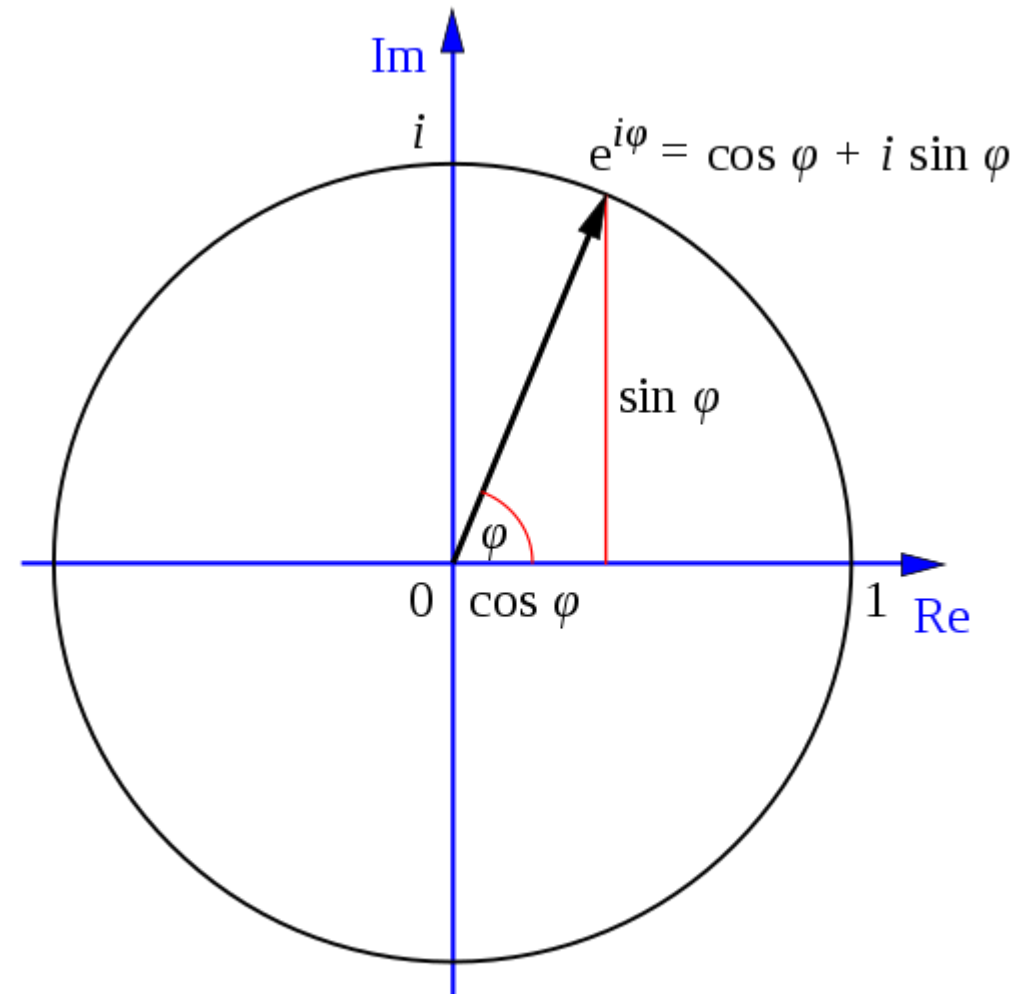
$$z = x + iy \Leftrightarrow |z|e^{i\varphi}$$

$$|z| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\varphi = \arctan(y/x)$$

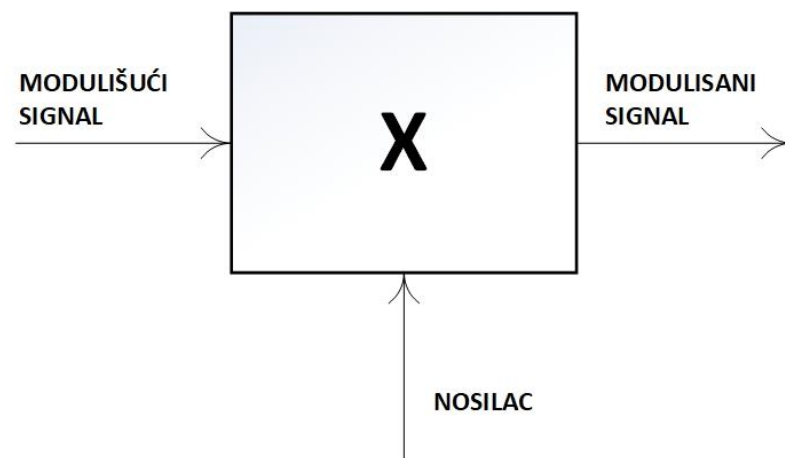
$$z = 3 + i4$$

$$z = 5e^{i 53,13^\circ}$$



# Pojam modulacija

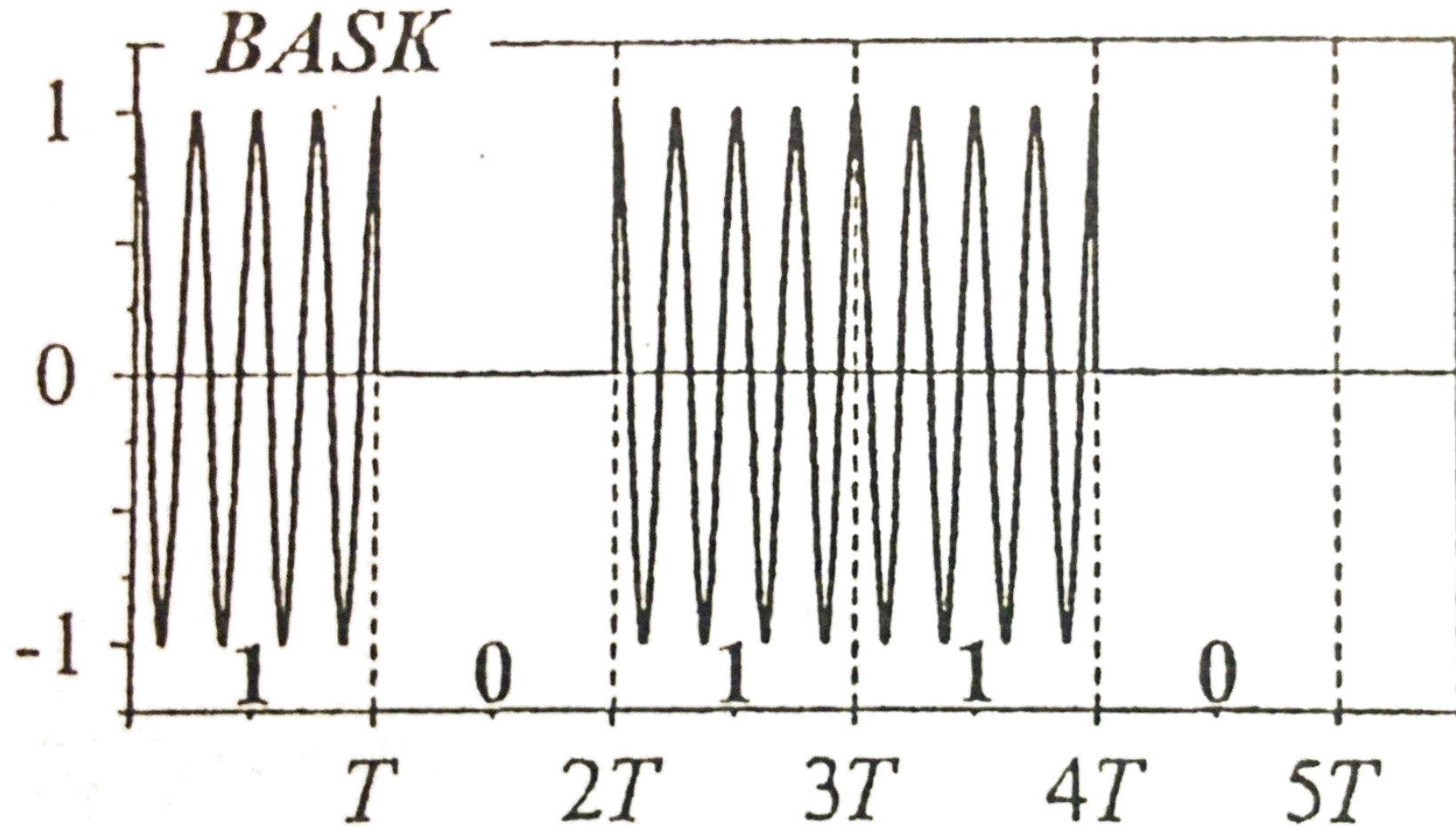
- Digitalna modulacija je proces u kome digitalni symbol - modulišući signal, moduliše prostoperiodični signal - nosilac



- Osnovni binarni modulacioni postupci su:
  - Binarna amplitudska digitalna modulacija – BASK (*Binary Amplitude Shift Keying*)
  - Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK (*Binary Frequency Shift Keying*)
  - Binarna fazna digitalna modulacija – BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

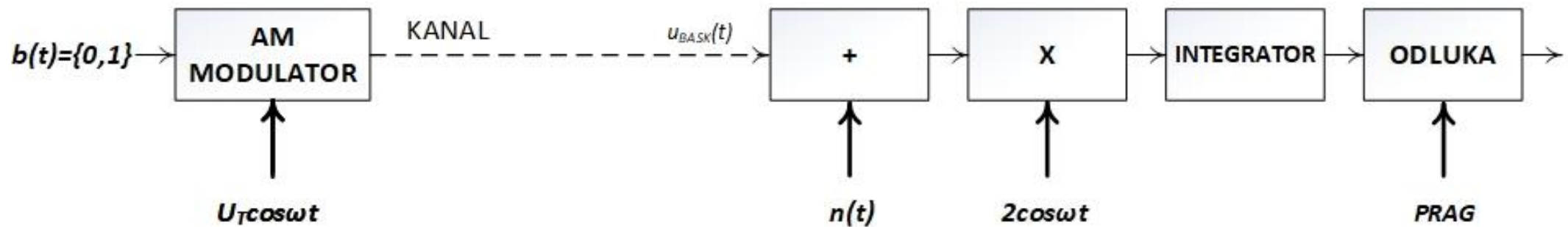


# Binarna amplitudska digitalna modulacija – BASK



# Binarna amplitudska digitalna modulacija – BASK

- Blok šema sistem sa BASK:

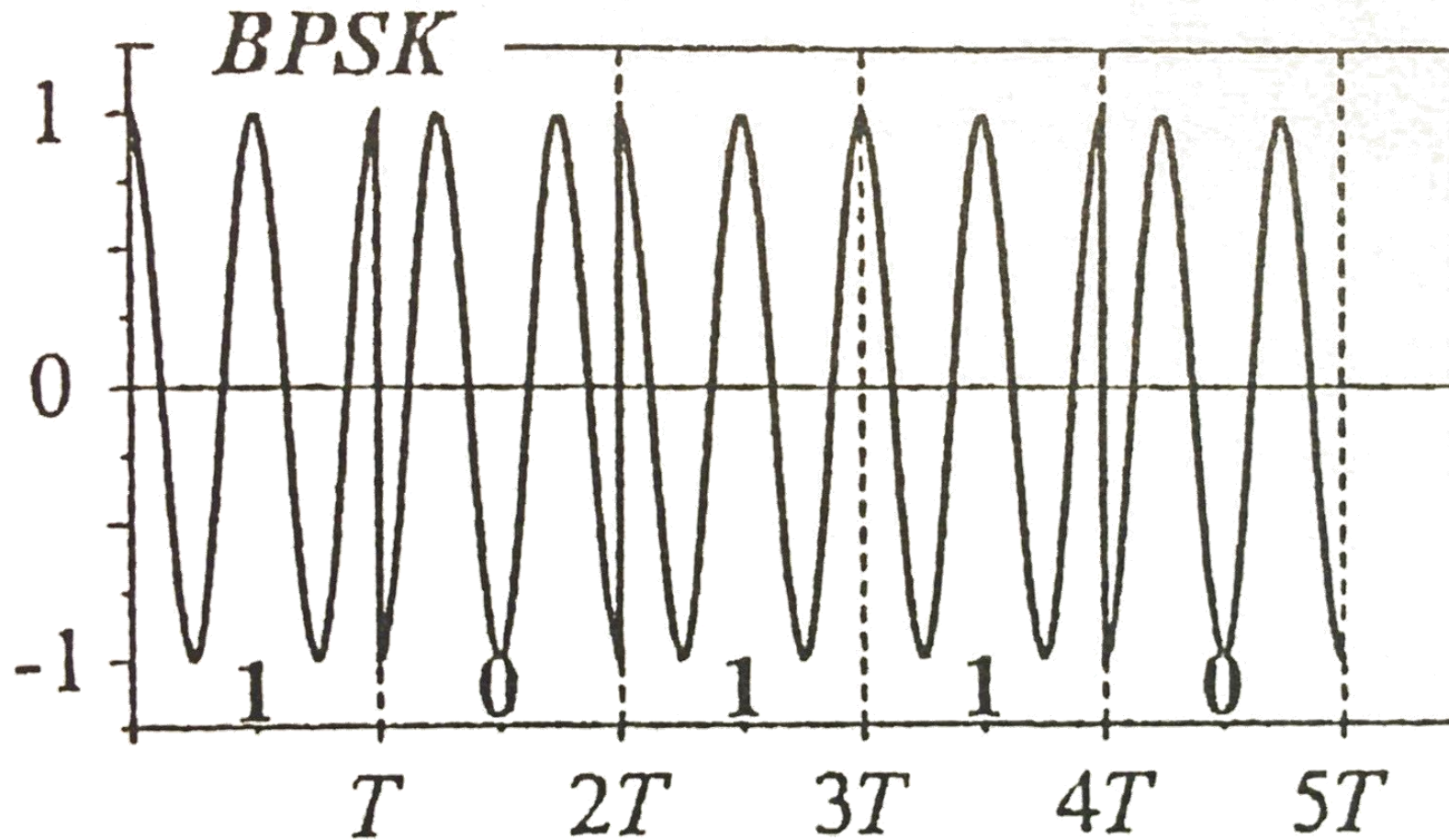


$u_{BASK}(t)=0$  – binarni simbol „0“

$u_{BASK}(t)=U \cos \omega t$  – binarni simbol „1“



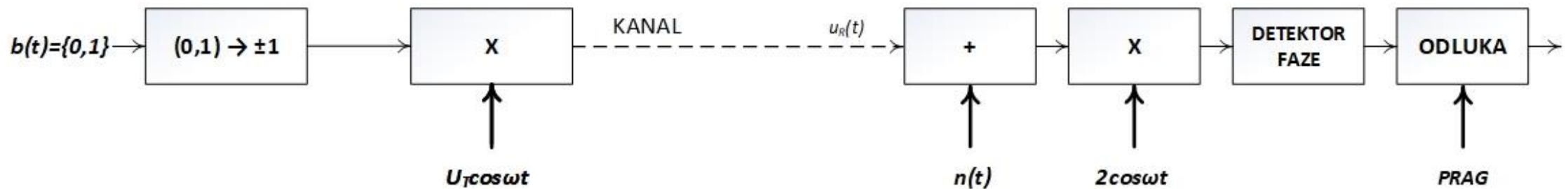
# Binarna fazna digitalna modulacija – BPSK





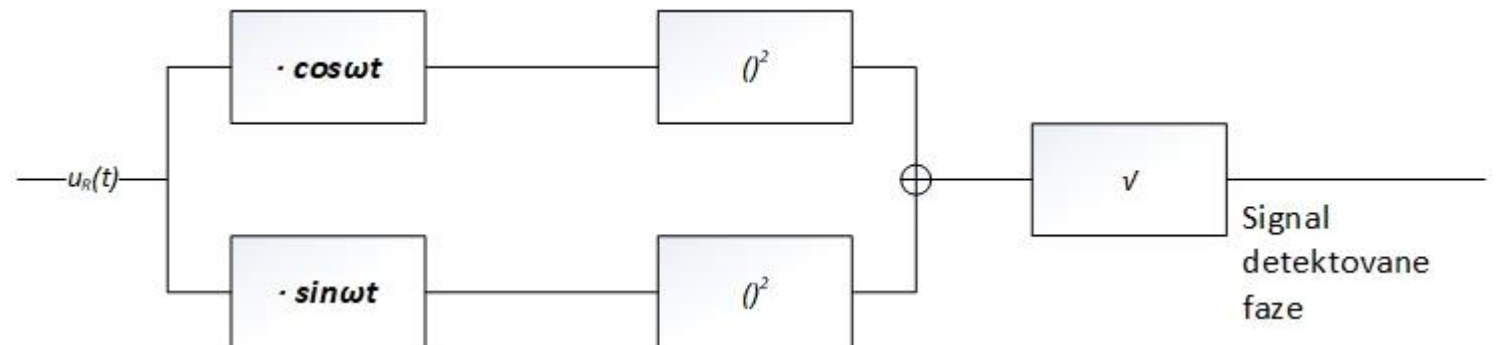
# Binarna fazna digitalna modulacija – BPSK

- Blok šema sistem sa BASK:



$$u_R(t) = b(t)U_T \cos \omega t, \quad b(t) \in \{\pm 1\}$$

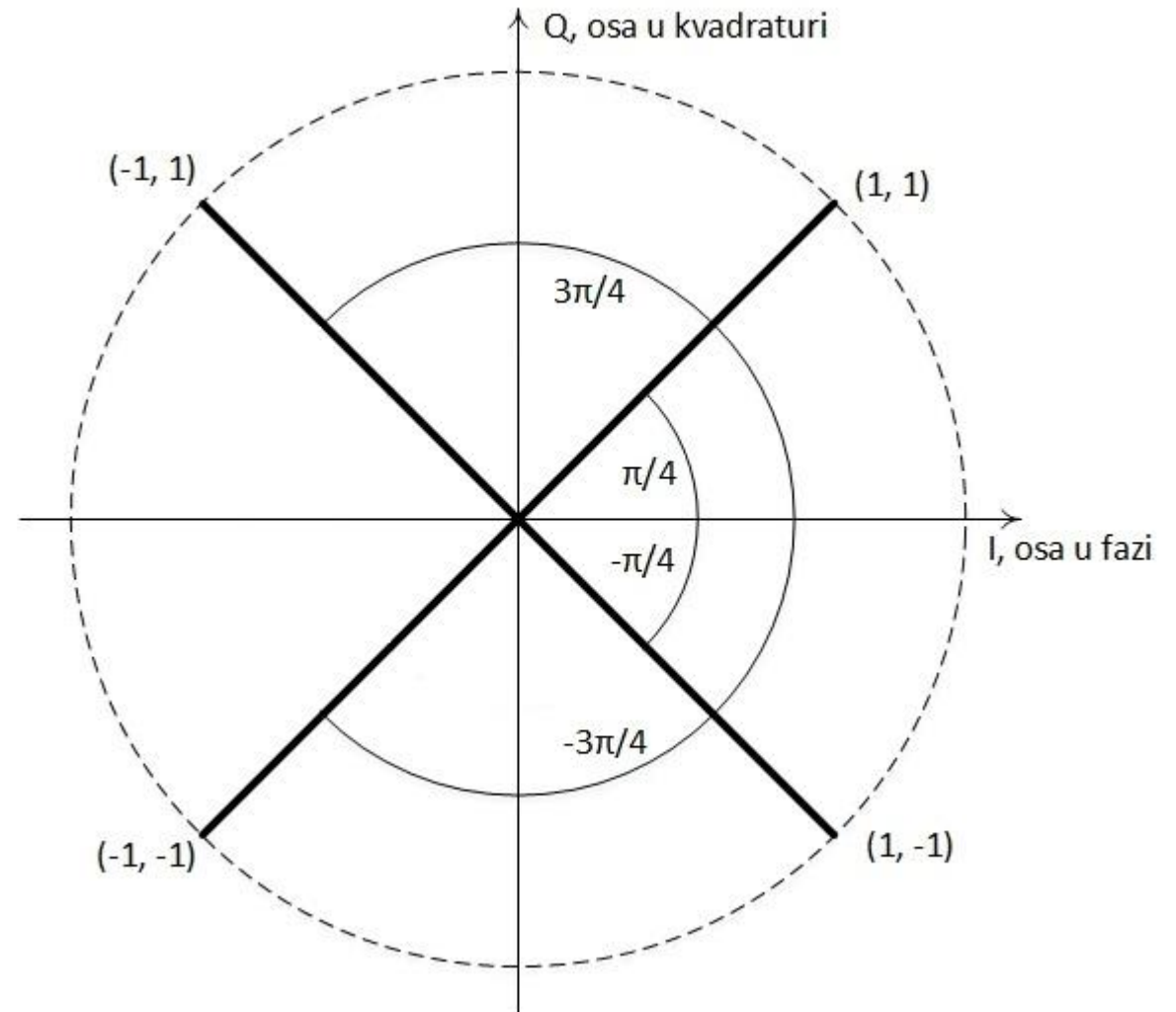
- Sklop za detekciju faze:



# Kvadratura fazna digitalna modulacija – QPSK

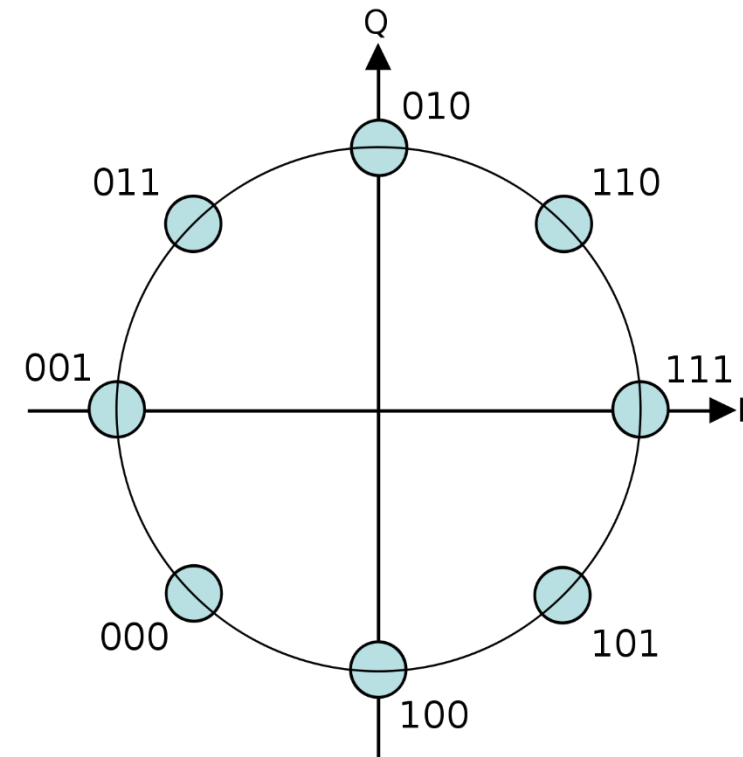
$p, q$	$\sin \phi(t)$	$\cos \phi(t)$	$\phi(t)$
1, 1	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	$\pi/4$
1, -1	$-\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	$-\pi/4$
-1, 1	$\sqrt{2}/2$	$-\sqrt{2}/2$	$3\pi/4$
-1, -1	$-\sqrt{2}/2$	$-\sqrt{2}/2$	$-3\pi/4$

- QPSK demodulator ima dva (u paraleli) BPSK demodulatora odnosno detektora faze



# M-arna fazna digitalna modulacija – MPSK

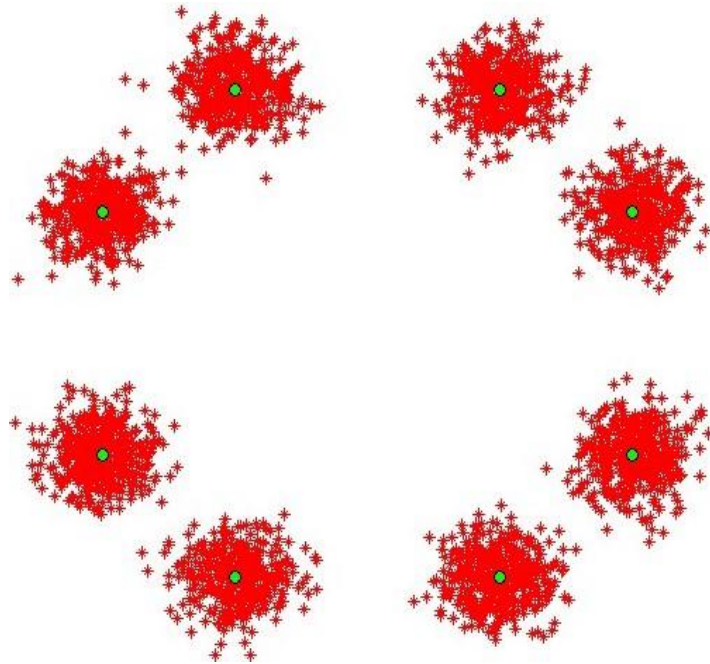
- Osnovna svrha MPSK je povećanje spektralne efikasnosti. U odnosu na BPSK, gde jedan bit predstavlja jedan simbol, kod MPSK modulacije jedan simbol predstavlja  $n=\log_2(M)$  bita, što znači da je spektralna efikasnost povećana  $n$  puta.
- Cena povećanja spektralne efikasnosti je veća složenost sistema u odnosu na BPSK ili QPSK modulacije, kao i povećana verovatnoća greške.
- Na slici je primer 8PSK.
- Uobičajeno je  $M$  stepen broja 2



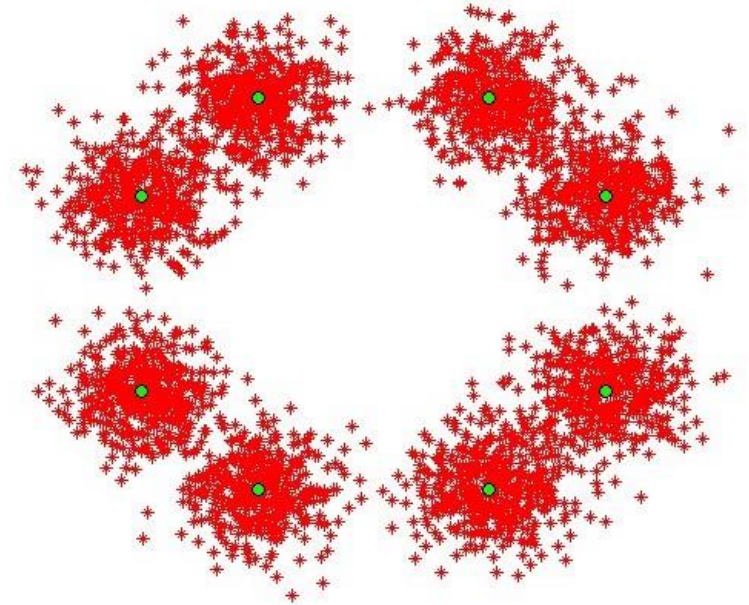
# Uticaj šuma na odlučivanje: M-PSK

- Verovatnoća greške pri odlučivanju obrnuto je srazmerna veličini odnosa signal šum.
- Veličina  $E_b/N_0$  je količnik energije po bitu i spektralne gustine srednje snage

$$E_b/N_0 = 12\text{dB}$$



$$E_b/N_0 = 8\text{dB}$$



# M-arna kvadratura amplitudska modulacija – M-QAM

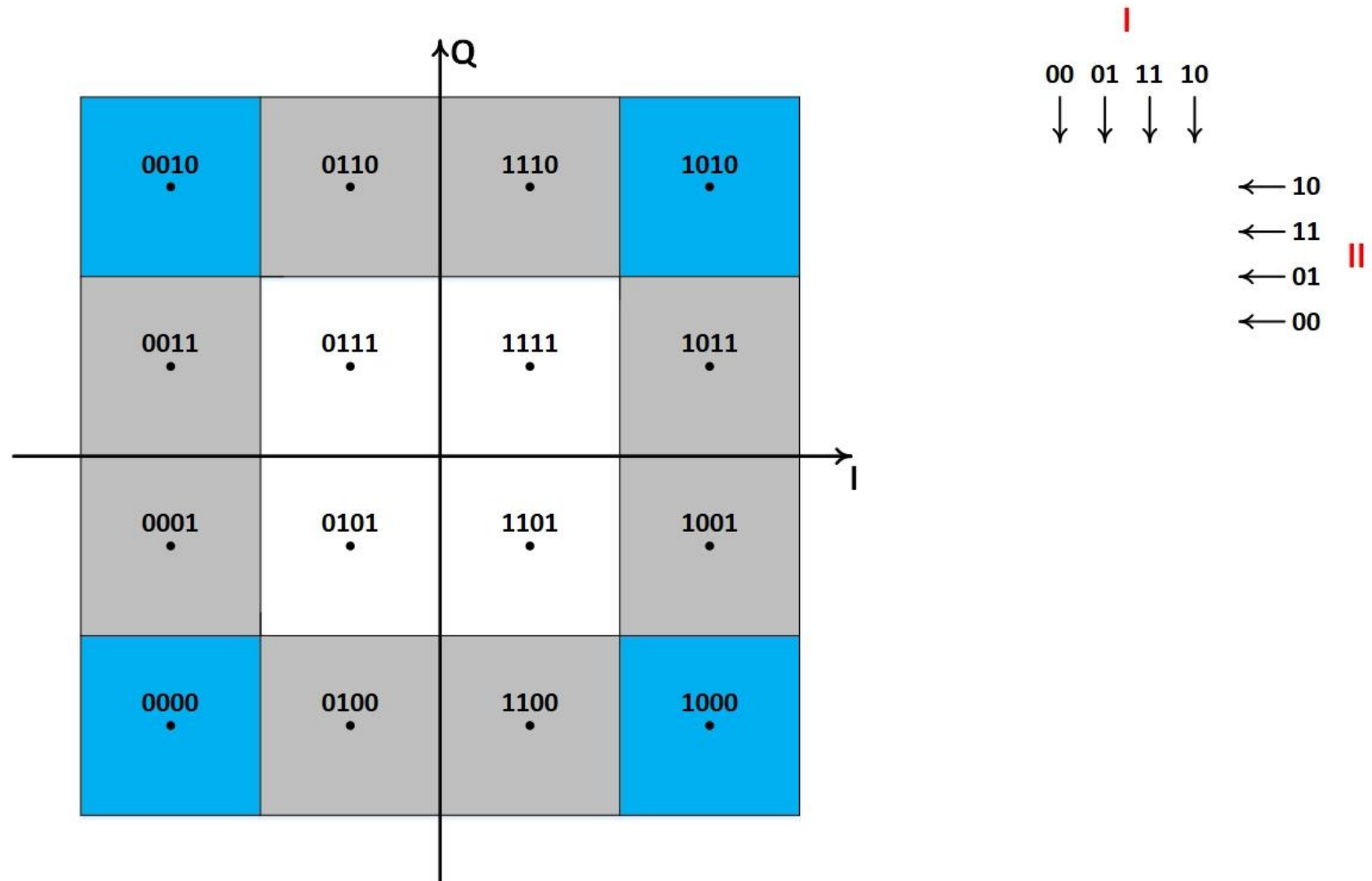
- Osnovna karakteristika M-PSK modulacionih postupaka je konstantna anvelopa modulisanog signala.
- Ukoliko ovo ograničenje ne postoji i ukoliko su kvadrature komponente modulisanog signala nezavisne, dobija se nov modulacioni postupak, poznat pod nazivom M-arna kvadratura amplitudska modulacija – M-QAM
- Uobičajeno je da se za M-arne amplitudkse modulacije koristi Gray-ovo kodiranje:

*Grejov kôd dužine  $n > 1$  je niz  $k$ -torki bita ( $k \geq 1$ )  $b_1, b_2, \dots, b_n$  takvih da se u nizu  $b$  svaka dva uzastopna člana, kao i prvi i poslednji član razlikuju na tačno jednoj poziciji. Na primer, Grejov kôd dužine 4 je 00, 01, 11, 10.*

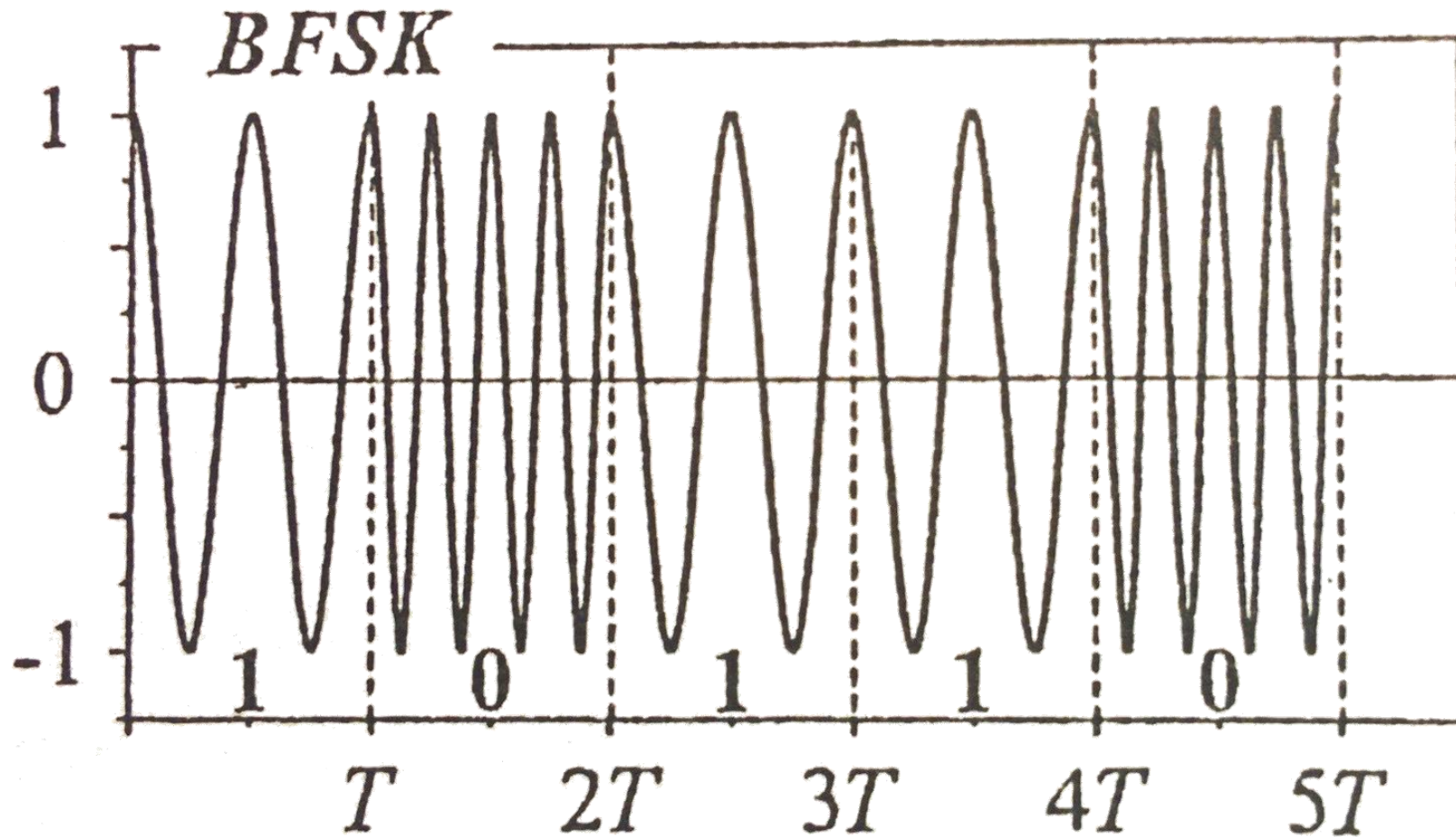


# M-arna kvadratura amplitudska modulacija – M-QAM

- 16-QAM i *Gray*-ovo kodiranje



# Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK



# Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK

- Binarni FSK signal dat je u opštem slučaju izrazima:

$$u_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(\omega_1 t + \varphi)$$

$$u_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(\omega_2 t)$$

Gde je  $E_b$  energija jednog bita,  $T_b$  je signalizacioni interval a  $\varphi$  je slučajni fazni stav.

$$f_1, f_2 \gg 1/T_b \quad \varphi \in [0, 2\pi]$$

$f_0 = (f_1 + f_2)/2$  je centralna ili nominalna učestanost nosioca





# Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK

- Kada se prenosi binarni simbol „1“ signal na izlazu iz predajnika je  $u_1(t)$  ,a kada se prenosi binarni simbol „0“signal na izlazu iz predajnika je  $u_2(t)$
- Minimalna razlika učestanosti za koherentno signaliziranje ( $\varphi=0$ ):

$$2\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{2T_b}$$

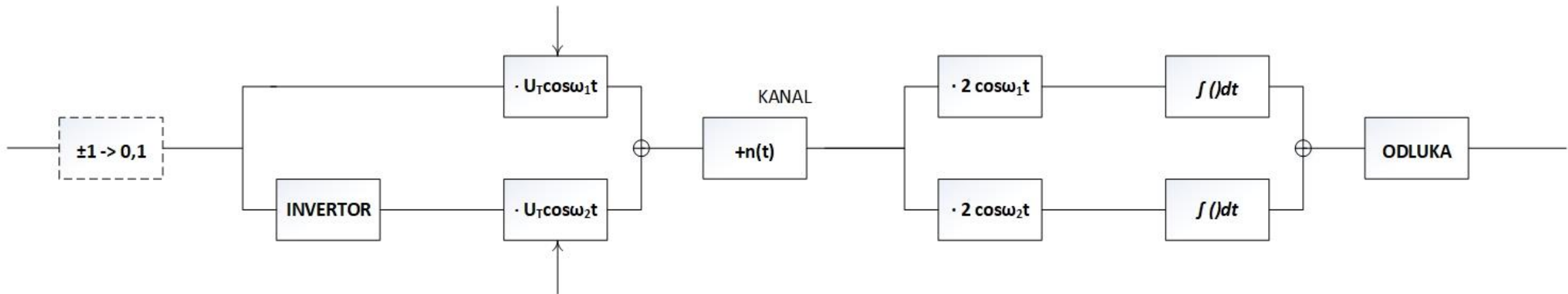
- Minimalna razlika učestanosti za nekoherentno signaliziranje ( $\varphi \neq 0$ )

$$2\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{T_b}$$



# Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK

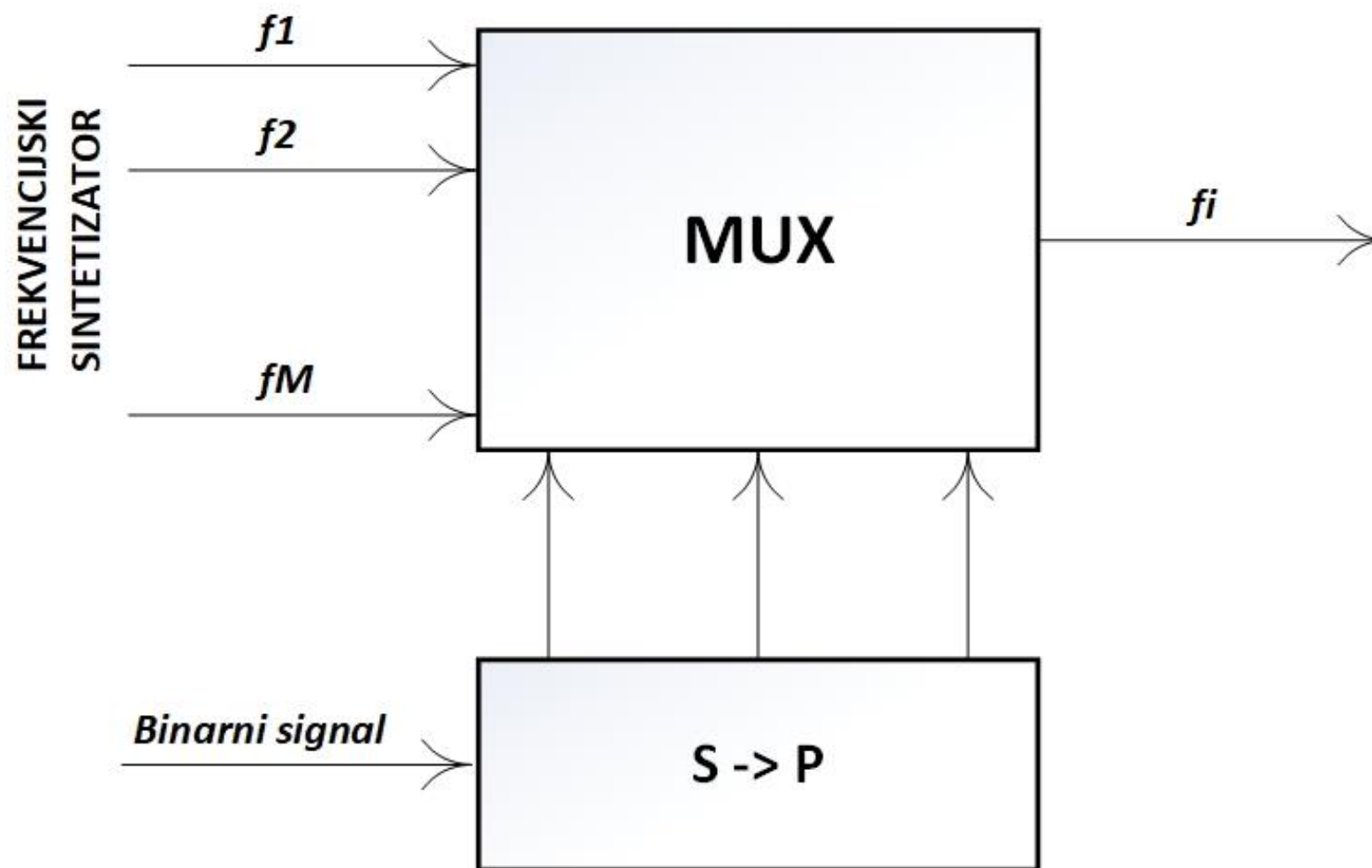
- Funkcionalna blok šema sistema sa binarnom frekvencijskom modulacijom i koherentnom demodulacijom



- Koja je funkcija invertora?
- Koja je funkcija isprekidano obeleženog bloka, na početku lanca?



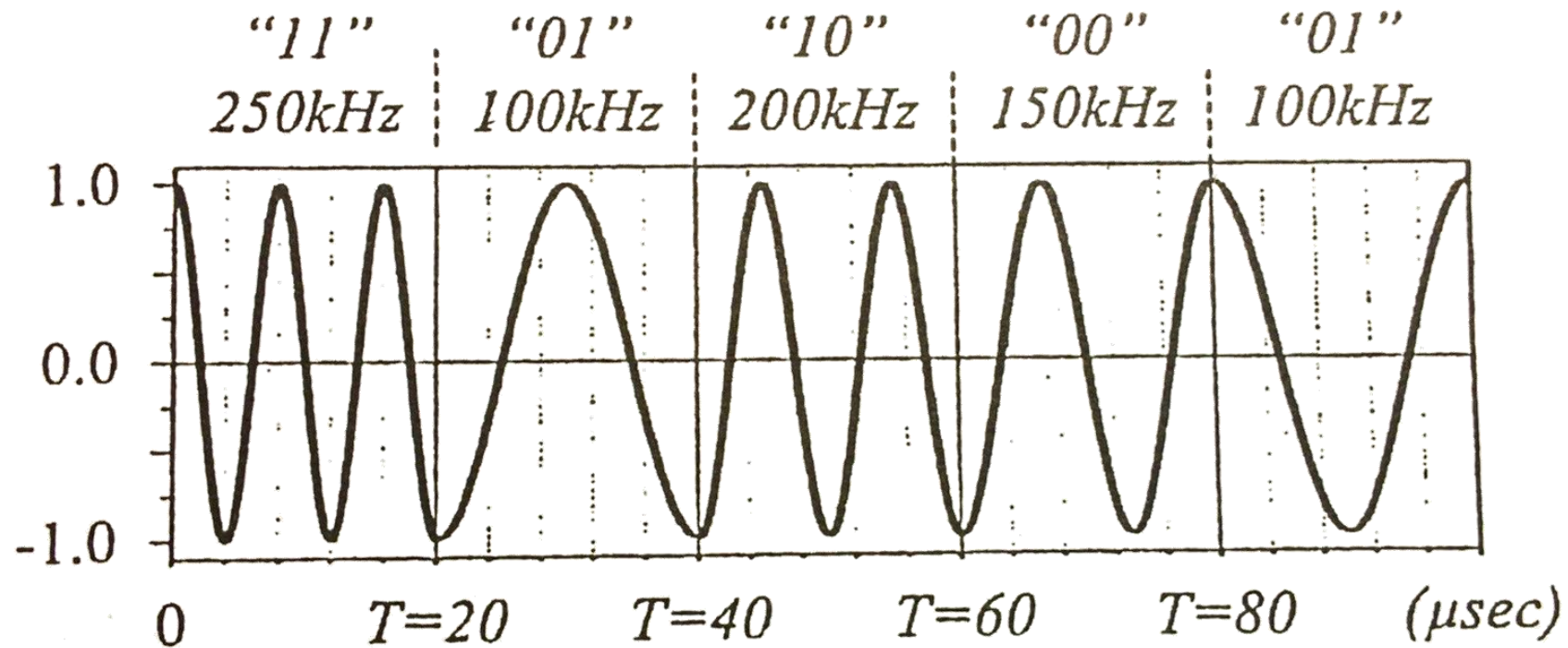
# M-arna FSK



# M-arna FSK

- Primer izlaznog signala za 4FSK u slučaju kada se prenosi binarna sekvenca:

1101100001



# Poređenje digitalnih modulacija

- Osnovni kriterijumi za poređenje digitalnih modulacionih postupaka su:
  - verovatnoća greške
  - spektralna gustina srednje snage (raspodela snage u spektru)
  - spektralna efikasnost
- Komparacijom ovih parametara biramo optimalnu vrednost  $a$  u okvirima Šenonove granice

$$V_{\max} = B \log_2(1 + S/N)$$

$V_{\max}$  – maksimalna brzina prenosa kroz kanal sa šumom [b/s]

$B$  – propusni opseg kanala [Hz]

$S/N$  – odnos signal šum



# Pitanja

