



# Pretvorba signalov

---



# Uvod

---

- Informacijo je potrebno pretvoriti v signale preden jo pošljemo preko komunikacijskega medija.
- Pretvorba je odvisna od:
  - ✓ Originalnega formata
  - ✓ Komunikacijske strojne opreme.
- Signal mora biti manipuliran, tako da vsebuje opazne spremembe, ki so prepoznavne pošiljatelju in prejemniku kot prikaz informacije.



# Uvod

---

- Imamo dva tipa informacij in signalov:
  - ✓ digitalne
  - ✓ analogne.
  
- Imamo štiri različne možne pretvorbe:
  - ✓ Digitalno informacijo v digitalni signal,
  - ✓ Analogno informacijo v digitalni signal,
  - ✓ Digitalno informacijo v analogni signal,
  - ✓ Analogno informacijo v analogni signal.



# Pretvorba signalov

---

Analogno analogna pretvorba

# Uvod

Pretvorba analogno v analogno je predstavitev analogne informacije z analognim signalom.

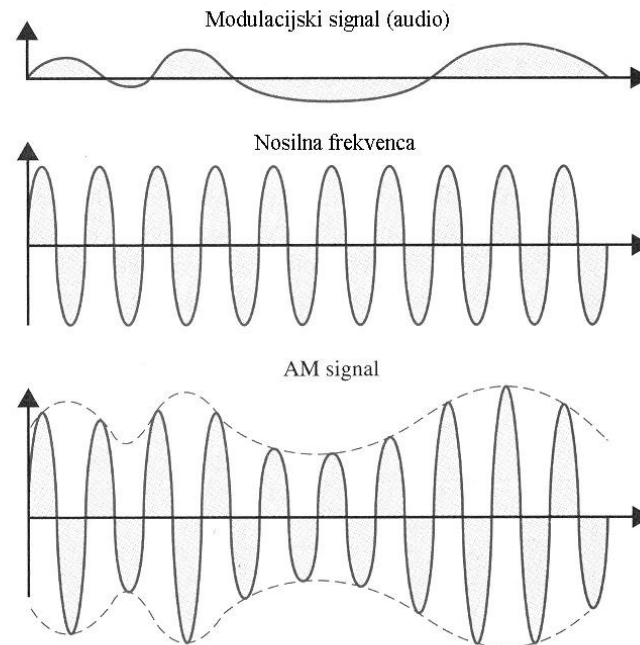
Izvedemo jo lahko na tri načine:

- ✓ Amplitudna modulacija (AM)
- ✓ Frekvenčna modulacija (FM)
- ✓ Fazna modulacija (PM).



# Amplitudna modulacija

Pri amplitudno moduliranem prenosu je nosilni signal moduliran tako, da se njegova amplituda spreminja s spremembo amplitude modulacijskega signala.





# Amplitudna modulacija

---

## Matematični pristop

$$y(t) = x(t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$x(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + \dots + A_m \sin(2\pi f_m t)$$

$$y(t) = [A_0 + A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + \dots + A_m \sin(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$y(t) = A_0 \cos(2\pi f_c t) + A_1 \sin(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_c t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) \cos(2\pi f_c t) + \dots + A_m \sin(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)]$$

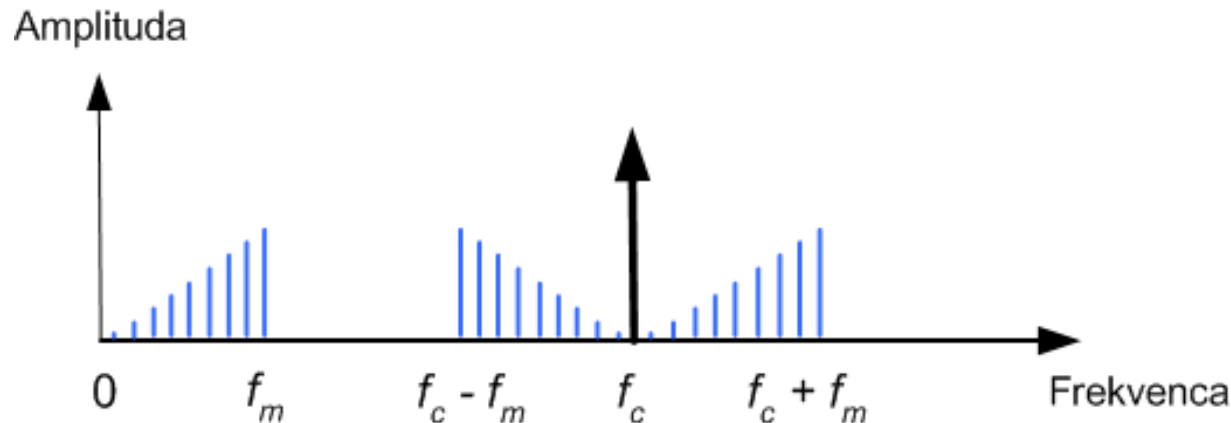
$$y_m(t) = A_m \sin(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$y_m(t) = \frac{A_m}{2} [\sin(2\pi f_m t - 2\pi f_c t) + \sin(2\pi f_m t + 2\pi f_c t)]$$

$$y_m(t) = -\frac{A_m}{2} \sin[2\pi(f_c - f_m)t] + \frac{A_m}{2} \sin[2\pi(f_c + f_m)t]$$

# Amplitudna modulacija

- Rezultat modulacije  $y_m(t)$  signala frekvence  $f_m$  z nosilnim signalom frekvence  $f_c$  je spekter z dvema komponentama  $f_c - f_m$  in  $f_c + f_m$ .
- Za ostale komponente ( $y_1(t), y_2(t), \dots$ ) postopamo podobno in dobimo celotni frekvenčni spekter signala:  $f_c - f_1, f_c + f_1, f_c - f_2, f_c + f_2, \dots, f_c - f_m, f_c + f_m$ .







# Amplitudna modulacija

---

Če modulirani signal  $y(t)$  še enkrat moduliramo (pomnožimo) z dvakratno amplitudo nosilnega signala frekvence  $f_c$ , dobimo

$$y'(t) = 2y(t) \cos(2\pi f_c t) = 2x(t) \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t)$$

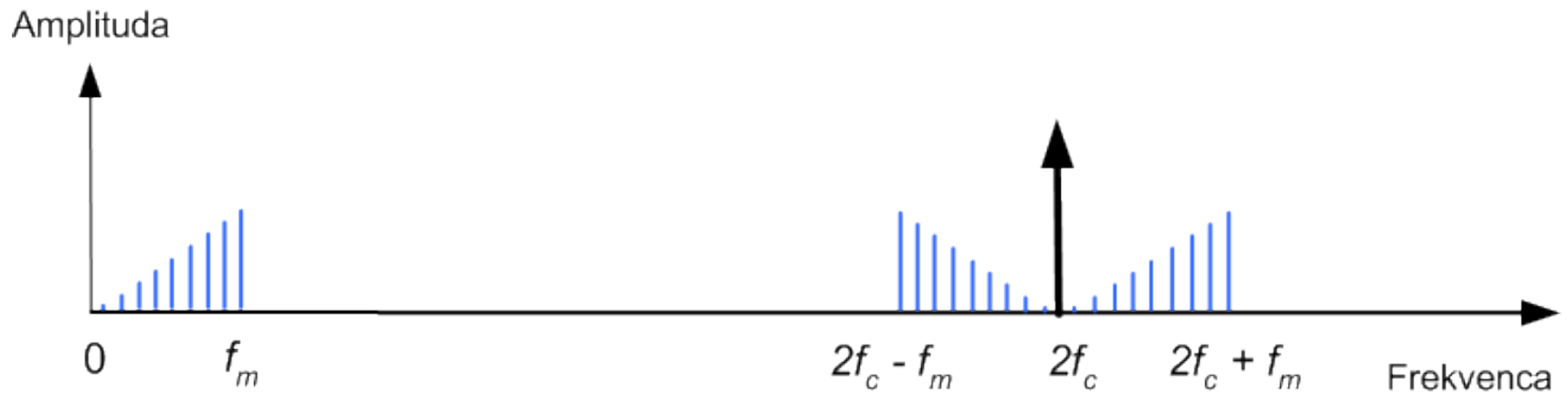
$$y'(t) = 2x(t) \cos^2(2\pi f_c t)$$

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

$$y'(t) = 2x(t) \frac{1}{2} [1 + \cos(4\pi f_c t)] = x(t) + x(t) \cos(4\pi f_c t)$$

# Amplitudna modulacija

Prvi del vsote signala je originalni signal  $x(t)$ , drugi del pa je enak originalnemu signalu, ki je moduliran z dvojno frekvenco nosilnega signala  $2f_c$ .



# Amplitudna modulacija

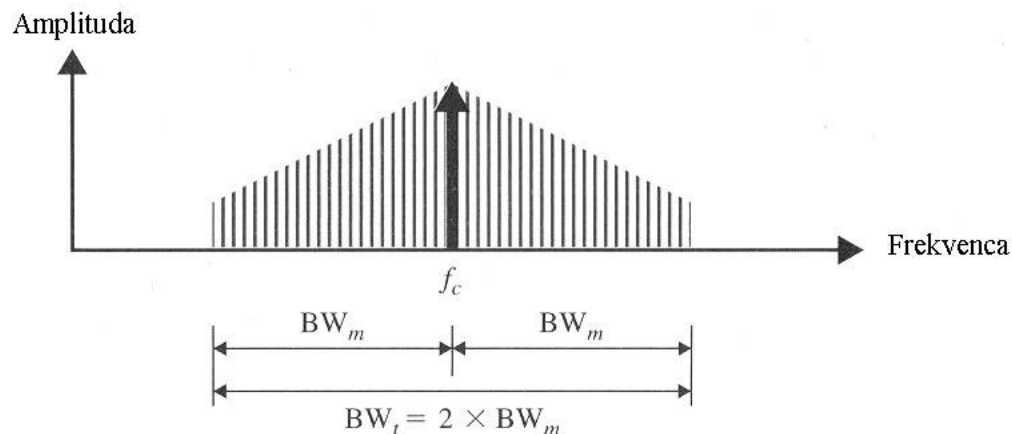
**Pasovna širina** AM signala je enaka dvojni širini modulatorskega signala in pokriva območje okrog nosilne frekvence.

$$BW_t = 2 * BW_m$$

$BW_m$  = Pasovna širina modulatorskega signala (audio)

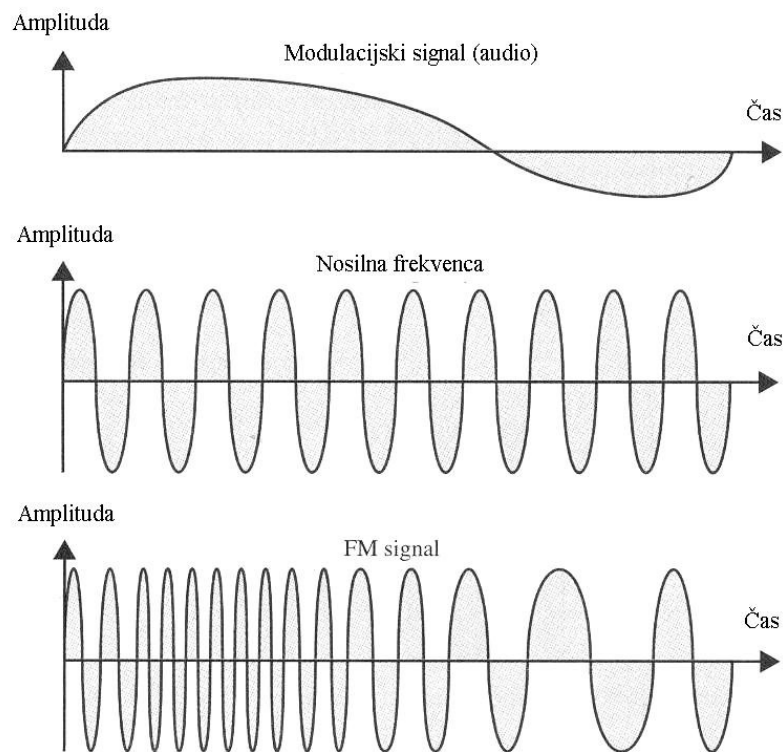
$BW_t$  = Celotna pasovna širina

$f_c$  = Frekvenca nosilca



# Frekvenčna modulacija

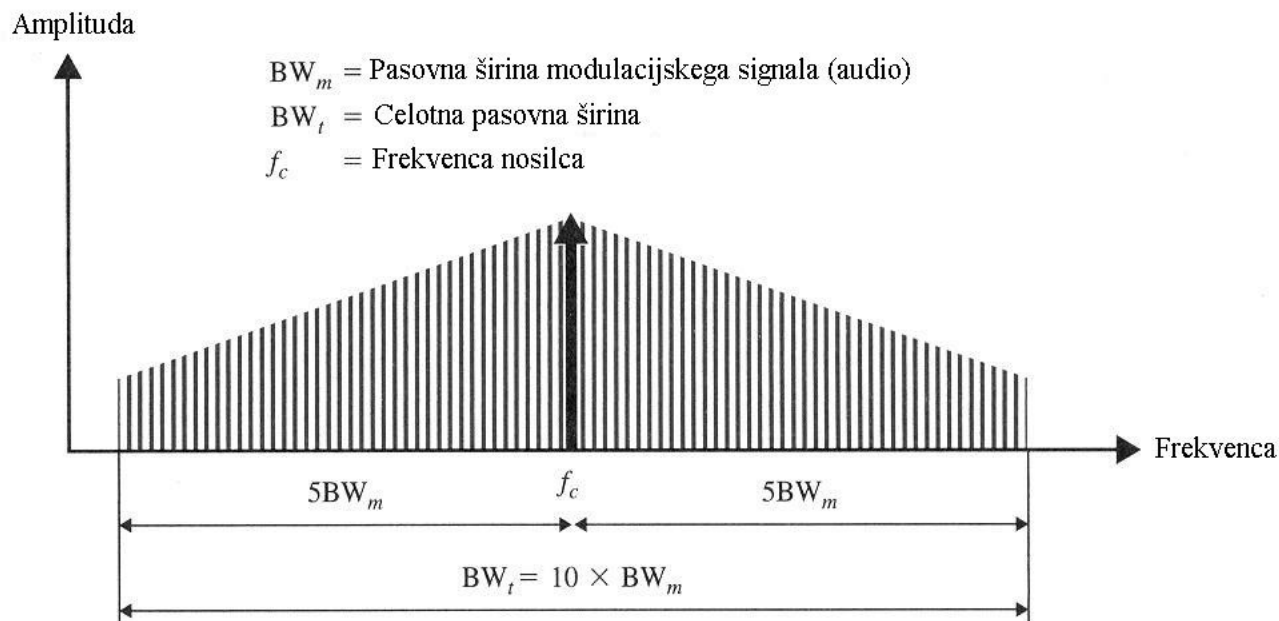
Pri FM prenosu je modulirana frekvenca nosilnega signala in le ta sledi spremembi nivoja (amplitudi) modulacijskega signala.



# Frekvenčna modulacija

Pasovna širina FM signala je običajno enaka 10 kratni pasovni širini modulatorskega signala

$$BW_t = 10 * BW_m$$





# Pretvorba signalov

---

Pretvorba digitalno v analogno

# Uvod

Digitalni podatki so pretvorjeni v analogni signal, ki je upravljan, tako da lahko ponazarja dve različni vrednosti, ki se nanašata na binarno 1 in 0.



Sinusno valovanje je definirano s tremi karakteristikami:

- ✓ amplituda,
- ✓ frekvenca in
- ✓ faza.

Na voljo imamo vsaj tri mehanizme pretvorbe digitalnih podatkov v analogni signal:

- ✓ Amplitudno-preklopna modulacija – ASK (Amplitude shift keying)
- ✓ Frekvenčno-preklopna modulacija – FSK (Frequency shift keying)
- ✓ Fazno-preklopna modulacija – PSK (Phase shift keying)
- ✓ Amplitudno fazna modulacija – QAM (Quadrature amplitude modulation); kombinacija ASK in PSK



## Bitna hitrost in simbolna hitrost

- ✓ *Bitna hitrost* ( $R$ ) je število bitov poslanih v eni sekundi.
- ✓ *simbolna hitrost* ( $N_{\text{baud}}$ ) je število enot signala na sekundo. Merska enota je *baud*.

Simbolna hitrost je manjša ali enaka bitni hitrosti.

$$R = mN_{\text{baud}}$$

$m$  – število bitov, ki jo ena enota predstavlja

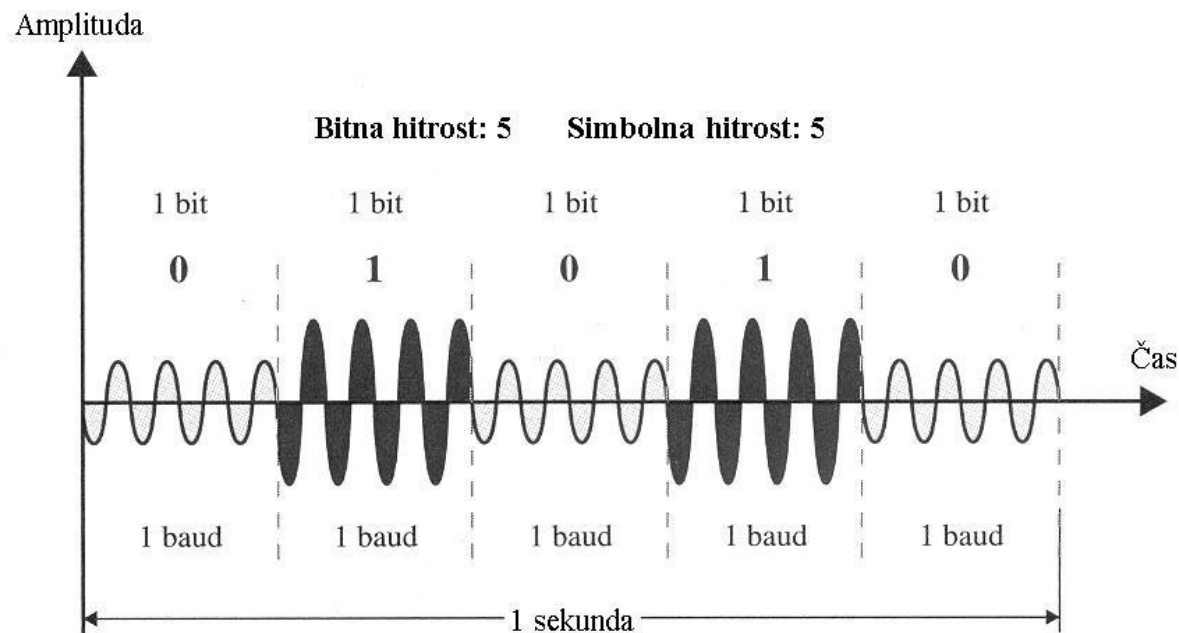
## Nosilni signal ali nosilna frekvenca

- ✓ V analognem prenosu oddajna enota producira visokofrekvenčni signal, ki služi kot osnova za informacijski signal.
- ✓ Digitalna informacija je vkodirana v nosilni signal z modificiranjem ene ali več njegovih karakteristik.
  - Ta vrsta modifikacije se imenuje *preklopna modulacija* (ali shift keying),
  - informacijski signal se imenuje *preklopno moduliran signal*.

# Amplitudno-preklopna modulacija - ASK

Jakost signala predstavlja binarno 1 ali 0.

- ✓ *Trajanje bita* je perioda časa, ki definira en bit.
- ✓ ASK prenos je zelo občutljiv na vmešavanje šuma.





# Amplitudno-preklopna modulacija - ASK

## Pasovna širina ASK

- ✓ Frekvenčni spekter ASK signala

$$f_c - N_{baud}/2, f_c + N_{baud}/2, f_c - 3 N_{baud}/2, f_c + 3 N_{baud}/2, f_c - 5 N_{baud}/2, f_c + 5 N_{baud}/2, \dots$$

- ✓ Za praktično uporabo so potrebni samo nosilna frekvenca in dve najbližji frekvenci.
- ✓ Potrebno pasovno širino za ASK pretvorbo izračunamo po formuli:

$$BW = (1 + d) \times N_{baud}$$

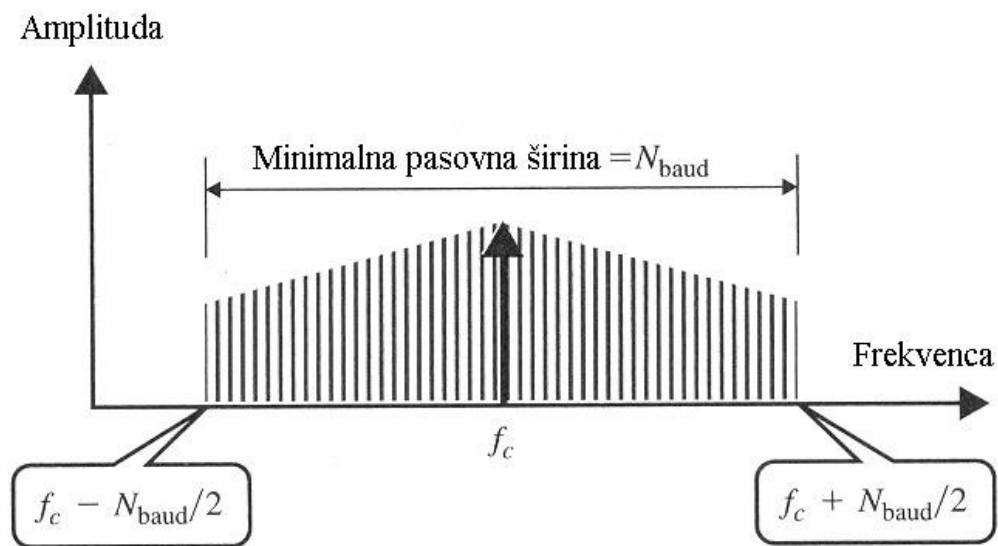
BW – pasovna širina

$N_{baud}$  – simbolna hitrost

$d$  – faktor, ki se nanaša na pogoje linije (minimalna vrednost je 0)

# Amplitudno-preklopna modulacija - ASK

Minimalna pasovna širina, potrebna za prenos je enaka simbolni hitrosti.



# Amplitudno-preklopna modulacija - ASK

## Vaje

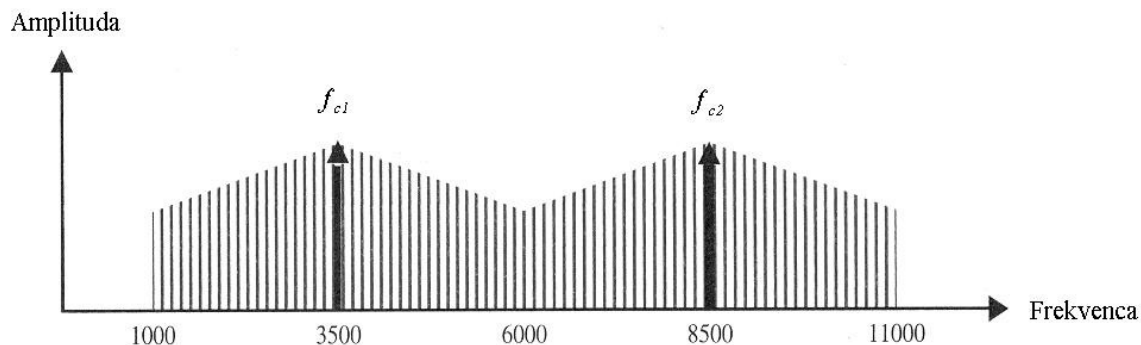
Za podano pasovno širino 10 KHz (1 K do 11 KHz), skiciraj full-duplex ASK diagram sistema. Poišči nosilca in pasovni širini za vsako smer. Predpostavimo, da ni praznine med pasovi za obe smeri.

Full-duplex prenos ima dva nosilca, po enega za vsako smer.

$$BW = 10000/2 = 5000 \text{ Hz}$$

$$f_{c1} = 1000 + 5000/2 = 3500 \text{ Hz}$$

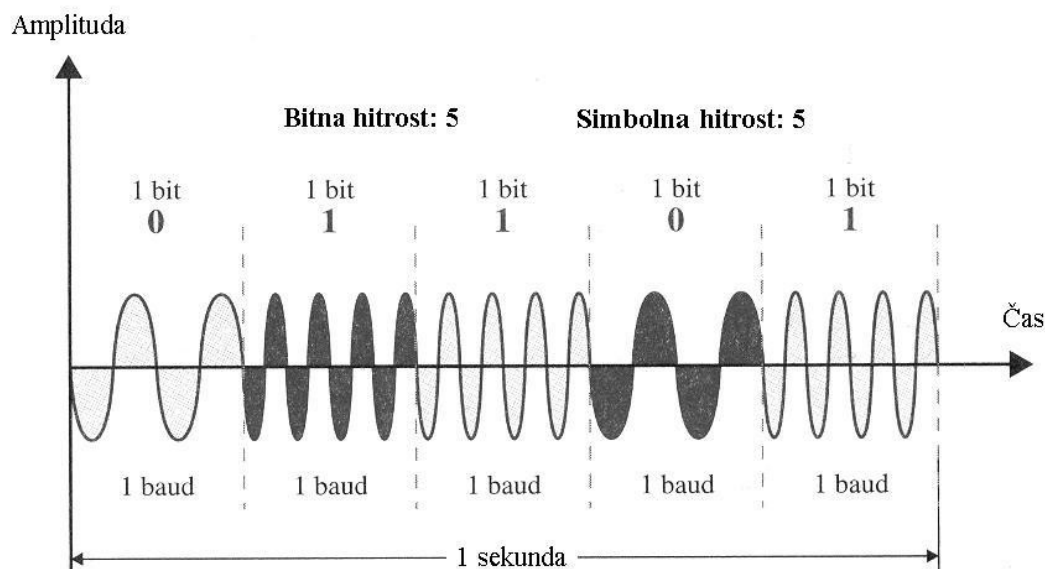
$$f_{c2} = 11000 - 5000/2 = 8500 \text{ Hz}$$



# Frekvenčno-preklopna modulacija - FSK

Pri frekvenčno-preklopni modulaciji varira frekvenca signala za ponazoritev binarne 1 ali 0.

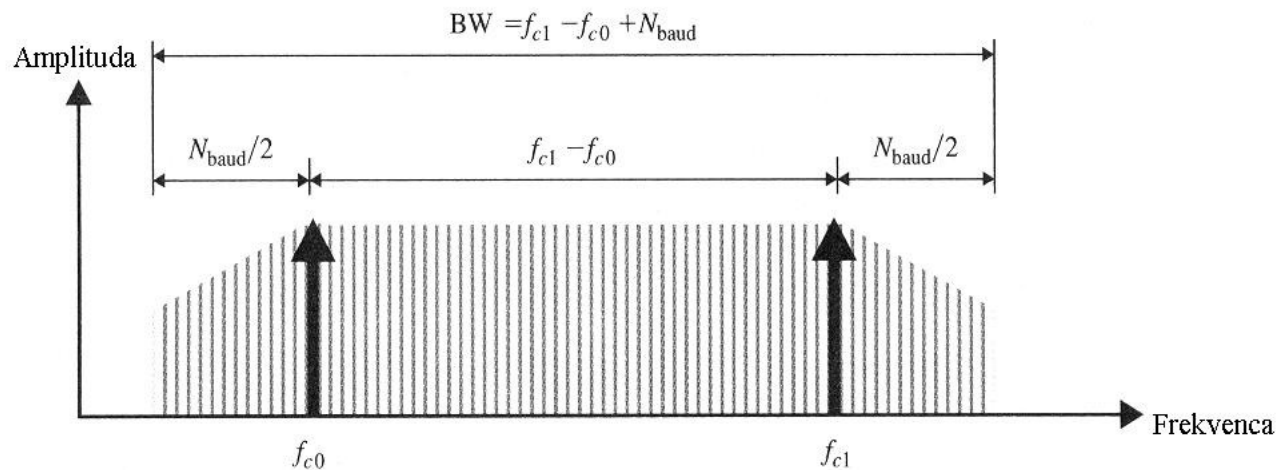
- ✓ FKS odpravlja večino problema šuma v primerjavi z ASK.
- ✓ Omejevalni faktor FSK metode je fizična sposobnost nosilca.



# Frekvenčno-preklopna modulacija - FSK

## Pasovna širina za FSK

- ✓ FSK spekter je kombinacija dveh ASK spektrov skoncentriranih okrog  $f_{c0}$  in  $f_{c1}$ .
- ✓ Pasovna širina  $BW = (f_{c1} - f_{c0}) + N_{\text{baud}}$







# Frekvenčno-preklopna modulacija - FSK

---

## Vaje

- Poišči maksimalno bitno hitrost za FSK signal, če je pasovna širina medija 12KHz in mora biti razdalja med dvema nosilcema najmanj 2000 Hz. Prenos je full duplex.

Ker je prenos full duplex je za vsako smer na voljo samo polovica pasovne širine – 6000Hz.

$$BW = (f_{c1} - f_{c0}) + N_{\text{baud}}$$

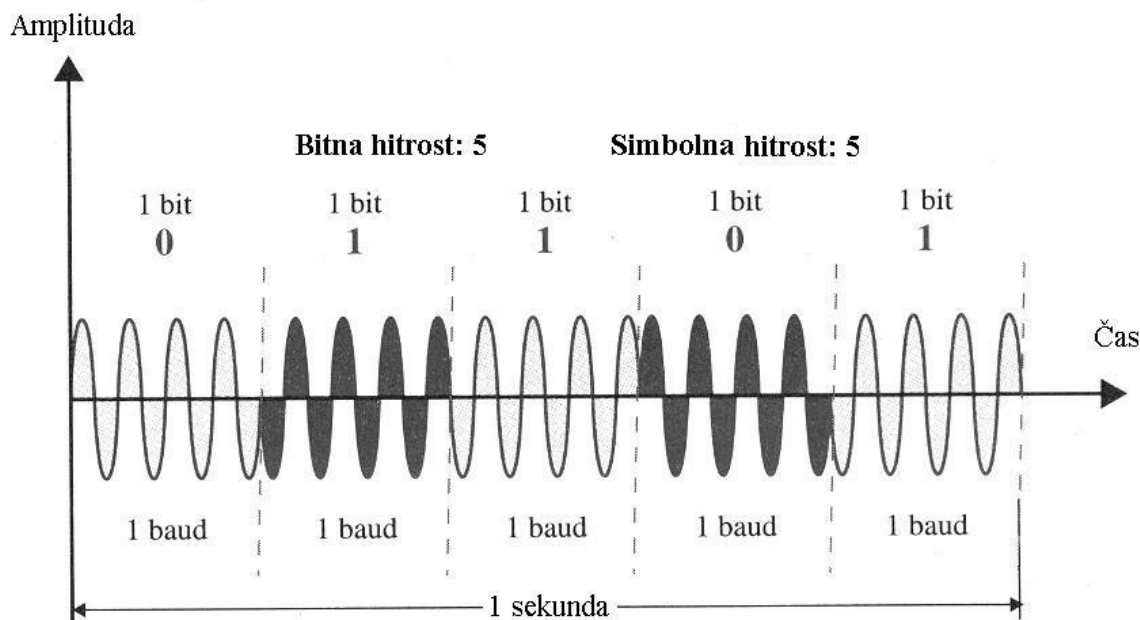
$$N_{\text{baud}} = BW - (f_{c1} - f_{c0}) = 6000 - 2000 = 4000 \text{ baud}$$

Ker je simbolna hitrost enaka bitni hitrosti, je le ta 4000 bps.

# Fazno-preklopna modulacija - PSK

Pri fazno-preklopni modulaciji se za ponazoritev binarne 1 ali 0 spreminja faza.

- ✓ Če startamo s fazo 0 stopinj za ponazoritev binarne 0, potem lahko fazo spremenimo na 180 stopinj za pošiljanje binarne 1.



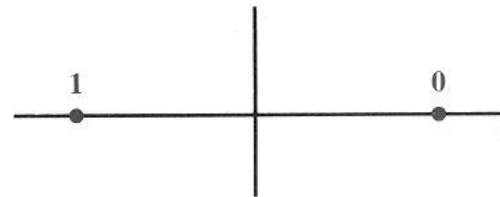
# Fazno-preklopna modulacija - PSK

Prikazana metoda se pogosto imenuje 2-PSK, ali binarna PSK, ker sta uporabljeni dve različni fazi za pretvorbo ( $M=2$ )

- ✓ V faznem diagramu je odnos med vrednostjo in fazo jasnejši.

Bit	Faza
0	0
1	180

Biti



Fazni diagram

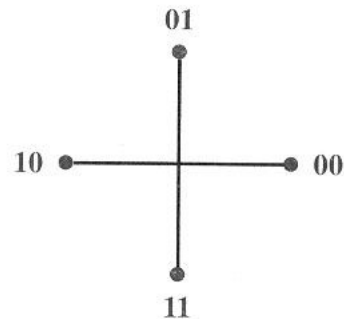
# Fazno-preklopna modulacija - PSK

Metoda 4 – PSK ali Q – PSK uporablja štiri variacije faze ( $M=4$ )

- ✓ Vsak pomik faze predstavlja dva bita ( $m=2$ ;  $M=2^m$ ).
- ✓ Par bitov predstavljenih z vsako fazo se imenuje *dibit*.
- ✓ Z uporabo 4-PSK se podatki pošiljajo z dvakratno hitrostjo glede na 2-PSK.

Dibit	Faza
00	0
01	90
10	180
11	270

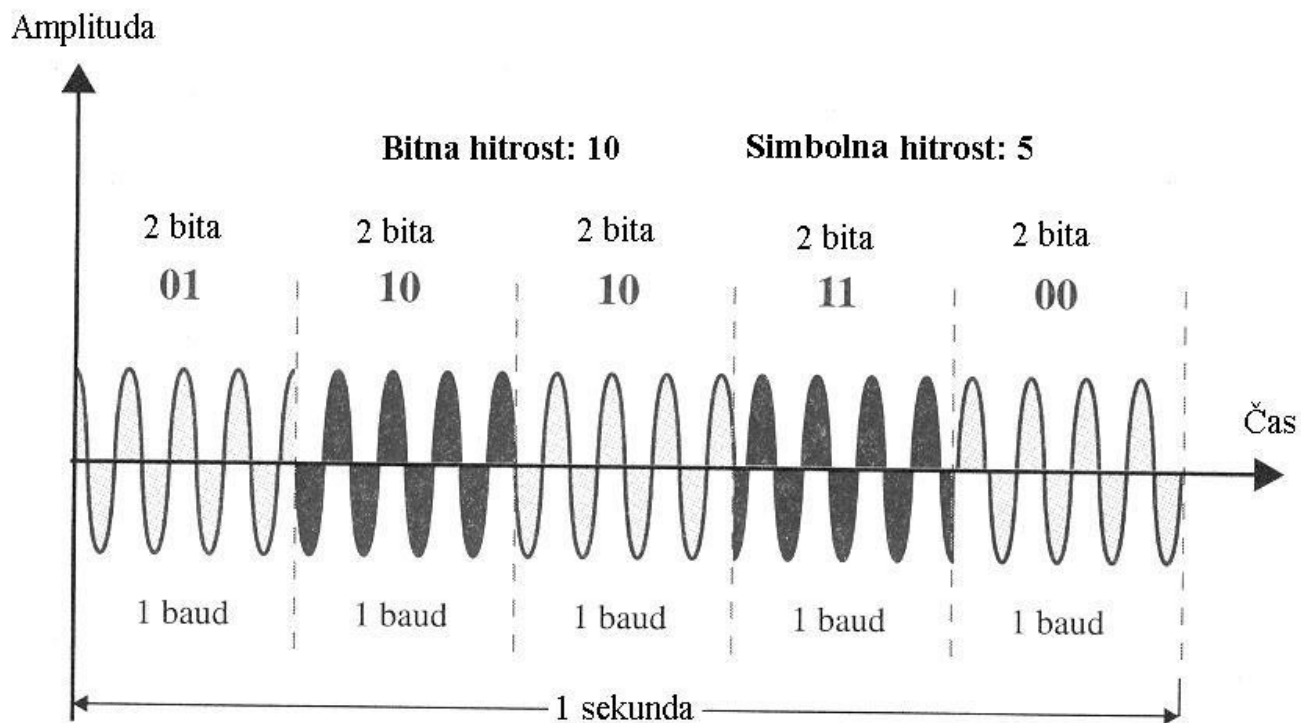
Dibit  
(2 bita)



Fazni diagram

# Fazno-preklopna modulacija - PSK

## Časovni diagram 4 – PSK metode



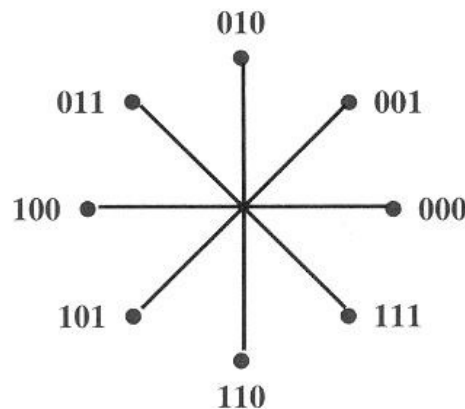
# Fazno-preklopna modulacija - PSK

## 8 – PSK metoda

- ✓ Signal se spreminja za 45 stopinj
- ✓ Vsak pomik v okviru 8 različnih faz ponazarja tri bite (en *tribit*) hkrati.  
( $M=8 \Rightarrow m=3; M=2^m$ )
- ✓ 8-PSK ima trikratno hitrost glede na 2-PSK.

Tribit	Faza
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits  
(3 biti)



Fazni diagram



# Fazno-preklopna modulacija - PSK

---

- PSK metoda ni občutljiva na šum kot ASK, niti na pasovne omejitve pri FSK.
- Minimalna pasovna širina potrebna za PSK je enaka kot je zahtevana za ASK prenos ( $BW = N_{\text{baud}}$ ).
- Medtem ko je maksimalna simbolna hitrost za ASK in PSK konstantna za podano pasovno širino, pa je lahko bitna hitrost pri isti pasovni širini dva ali večkrat večja ( $R = mN_{\text{baud}}$ ).
- PSK metoda je omejena s sposobnostjo naprav, da razlikujejo male razlike v fazi.



# Fazno-preklopna modulacija - PSK

---

## Vaje

Poišči pasovno širino za 4-PSK signal poslan pri bitni hitrosti 2000 bps. Prenos je half duplex.

$$M=4; M=2^m \Rightarrow m=2$$

$$R=2000 \text{ bps}; R=mN_{\text{baud}} \Rightarrow N_{\text{baud}} = 1000 \text{ baud}$$

$$BW = N_{\text{baud}} = 1000 \text{ Hz}$$

Podana je pasovna širina 5000 Hz za 8-PSK; kakša je simbolna in bitna hitrost?

$$N_{\text{baud}} = BW = 5000 \text{ baud}$$

$$M=8; M=2^m \Rightarrow m=3$$

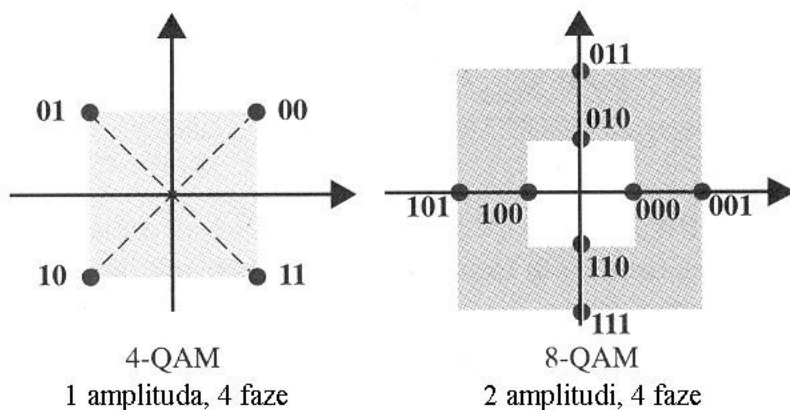
$$R=mN_{\text{baud}} = 3 \times 5000 = 15000 \text{ bps}$$



# Amplitudno fazna modulacija -QAM

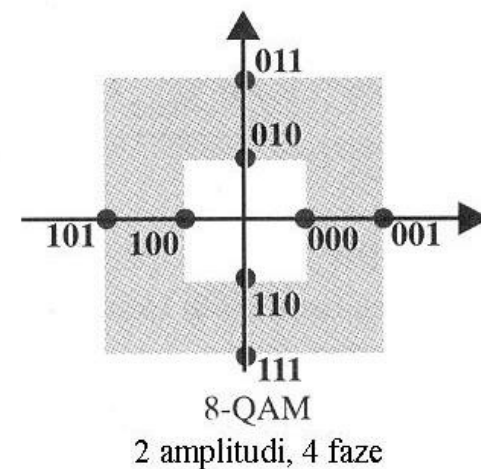
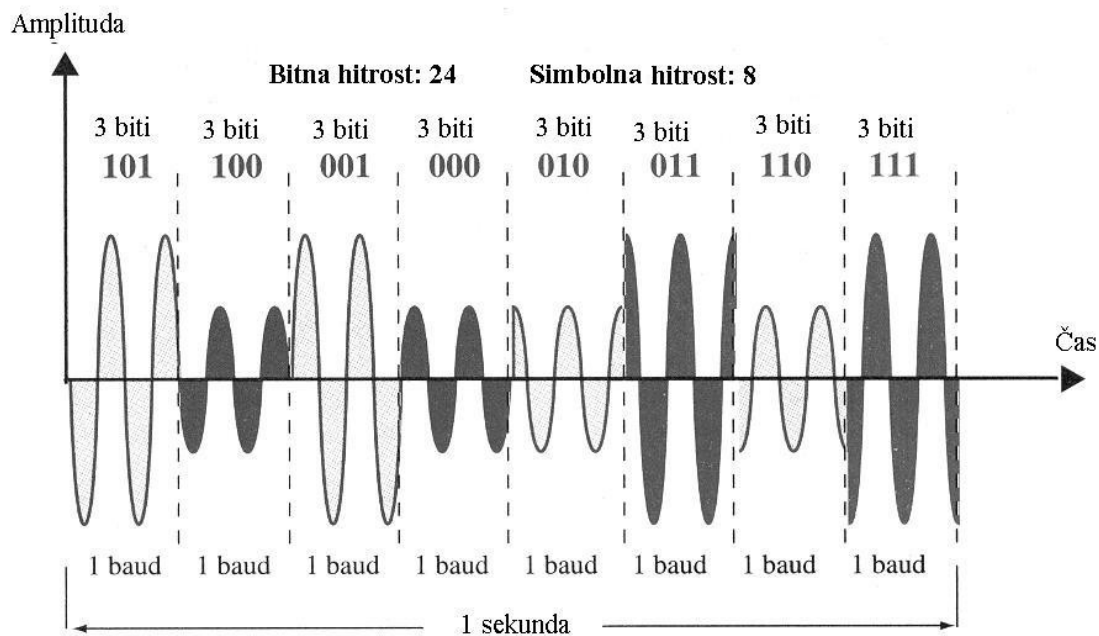
QAM je kombinacija amplitudne in fazne modulacije.

- ✓ Teoretično je vsako število izmerljivih sprememb amplitude lahko kombinirano z vsakim številom izmerljivih sprememb faze.
- ✓ Amplitudno fazna modulacija (QAM) je kombinacija ASK in PSK na način, da je zagotovljena maksimalna ločljivost med vsakim bitom, dibitom, tribitom, itd.



# Amplitudno fazna modulacija -QAM

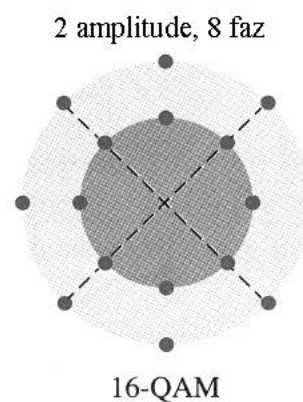
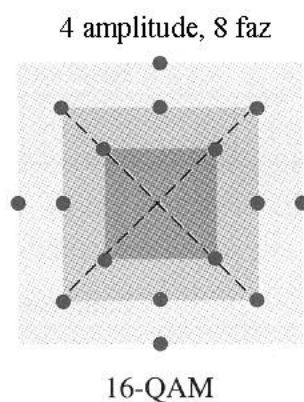
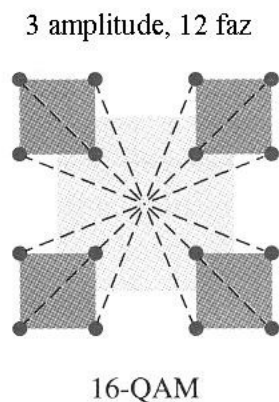
## Časovni diagram 8 QAM metode



# Amplitudno fazna modulacija -QAM

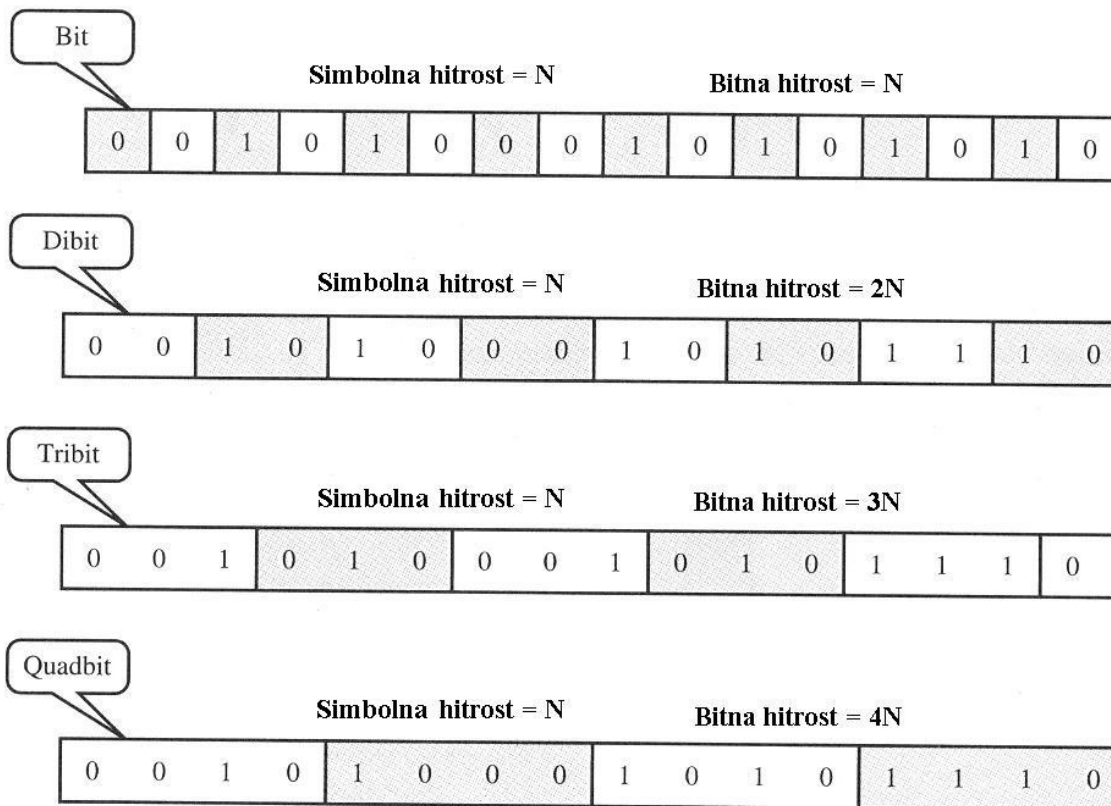
## Razne variacije 16-QAM pretvorbe

- ✓ Običajno je izbrano število sprememb amplitud manjše od števila sprememb faze (amplituda je občutljivejša na šum).
- ✓ Dodatno mnoge QAM rešitve povezujejo specifične amplitude z specifičnimi fazami (večja čitljivost signala)



# Amplitudno fazna modulacija -QAM

Zveza med bitno in simbolno hitrostjo – slikovni prikaz





# Amplitudno fazna modulacija -QAM

Zveza med bitno in simbolno hitrostjo – tabelarični prikaz

<i>Pretvorba</i>	<i>Enote</i>	<i>Biti/Baudi</i>	<i>Simb. hitrost</i>	<i>Bitna hitrost</i>
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	$N$	$N$
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	$N$	$2N$
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	$N$	$3N$
16-QAM	Quadbit	4	$N$	$4N$
32-QAM	Pentabit	5	$N$	$5N$
64-QAM	Hexabit	6	$N$	$6N$
128-QAM	Septabit	7	$N$	$7N$
256-QAM	Octabit	8	$N$	$8N$



# Amplitudno fazna modulacija -QAM

---

- QAM pretvorba je manj občutljiva na šum kot ASK.
- Minimalna zahtevana pasovna širina QAM je enaka kot za ASK in PSK prenos.



# Amplitudno fazna modulacija -QAM

---

## Vaje

Fazni diagram sestavlja osem enakomerno porazdeljenih točk na krogu. Kakšna je simbolna hitrost, če je bitna hitrost 4800 bps?

Diagram torej prikazuje 8-PKS pretvorbo z točkami, ki so razmaknjene za 45 stopinj.

$$M=8; M=2^m \Rightarrow m=3$$

$$R=4800 \text{ bps}; R=mN_{\text{baud}} \Rightarrow N_{\text{baud}} = 1600 \text{ baud}$$

Izračunaj bitno hitrost pri simbolno hitrost 1000 baudov za 16-QAM signal.

$$M=16; M=2^m \Rightarrow m=4$$

$$N_{\text{baud}} = 1000 \text{ baud}; R=mN_{\text{baud}} = 4000 \text{ bps}$$



# Pretvorba signalov

---

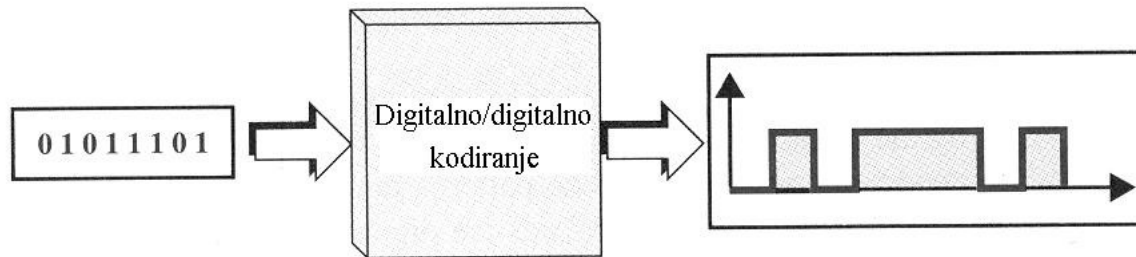
Pretvorba digitalno v digitalno



# Pretvorba digitalno v digitalno - Uvod

Pri tej pretvorbi digitalni signal ponazarja digitalno informacijo.

- ✓ Ta tip pretvorbe binarne 1 in 0 prevede v sekvence napetostnih impulzov, ki se širijo po komunikacijskem mediju.





# Pretvorba digitalno v digitalno - Uvod

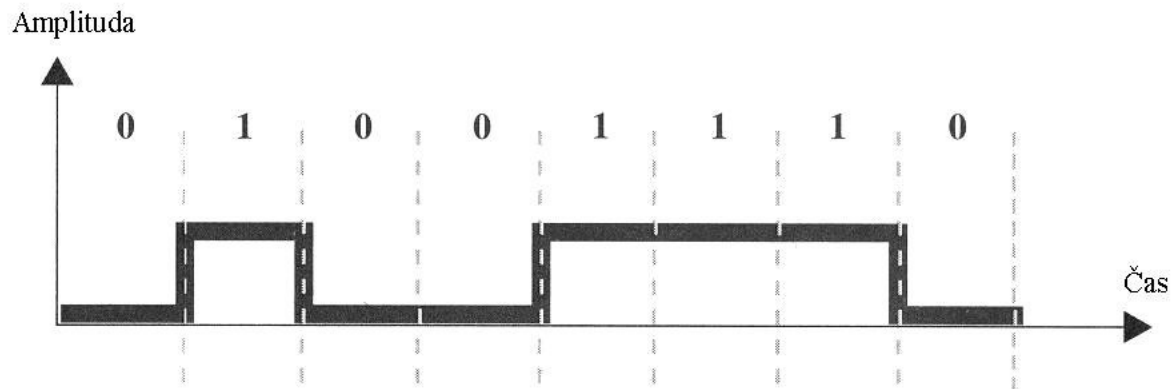
---

Vrste pretvorbe:

- ✓ *enopolarizacijska* (unipolarna),
- ✓ *polarizacijska* (polarna),
- ✓ *dvopolarizacijska* (bipolarna).

# Enopolarizacijska pretvorba

- Unipolarna pretvorba se imenuje tako, ker uporablja samo eno polariteto.
- Unipolarna pretvorba je cenena za implementacijo, ima pa vsaj dva problema, zaradi katerih je praktično neuporabna: *enosmerna komponenta* in *sinhronizacija*.





# Enopolarizacijska pretvorba

---

## Enosmerna komponenta

- ✓ Srednja vrednost amplitude unipolarno pretvorjenega signala ni enaka nič (komponenta s frekvenco 0).
- ✓ Enosmerna komponenta ne more preko medija.



# Enopolarizacijska pretvorba

---

## Sinhronizacija:

- ✓ Če se signal ne spreminja, sprejemnik ne more prepoznati začetka in konca bita.
- ✓ Kadarkoli ni spremembe signala, ki bi nakazala start naslednjega bita v sekvenci, je sprejemnik odvisen od timerja.
- ✓ Zakasnitve razširjanja signala spremenijo čas signala.
  - Primer:**  $R = 1000 \text{ bps} \Rightarrow \tau = 1 \text{ ms}$ ;
  - 5 zaporednih 1 povzroči napetostni impulz dolžine  $t = 5 \text{ ms}$ ;
  - Če se čas poveča na  $t = 6 \text{ ms}$ , sprejemnik razume to kot 6 enic!
- ✓ Rešitev za kontrolo sinhronizacije unipolarnega prenosa je uporaba dodatne vzporedne linije, ki prenaša urine impulze.



# Polarizacijska pretvorba

---

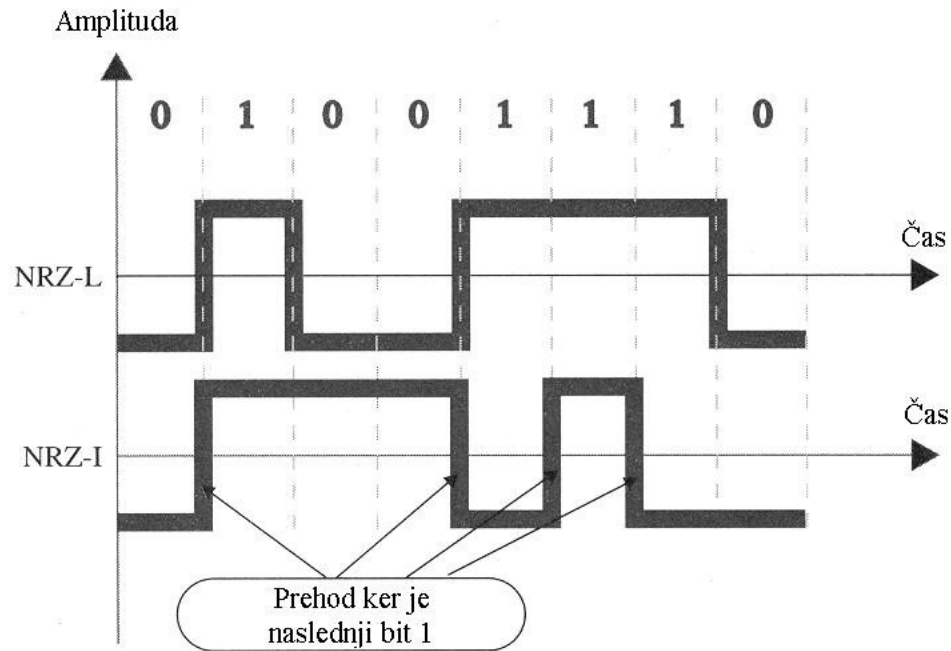
Polarizacijska pretvorba uporablja dva napetostna nivoja:

- ✓ *pozitivnega,*
- ✓ *negativnega.*

# Polarizacijska pretvorba

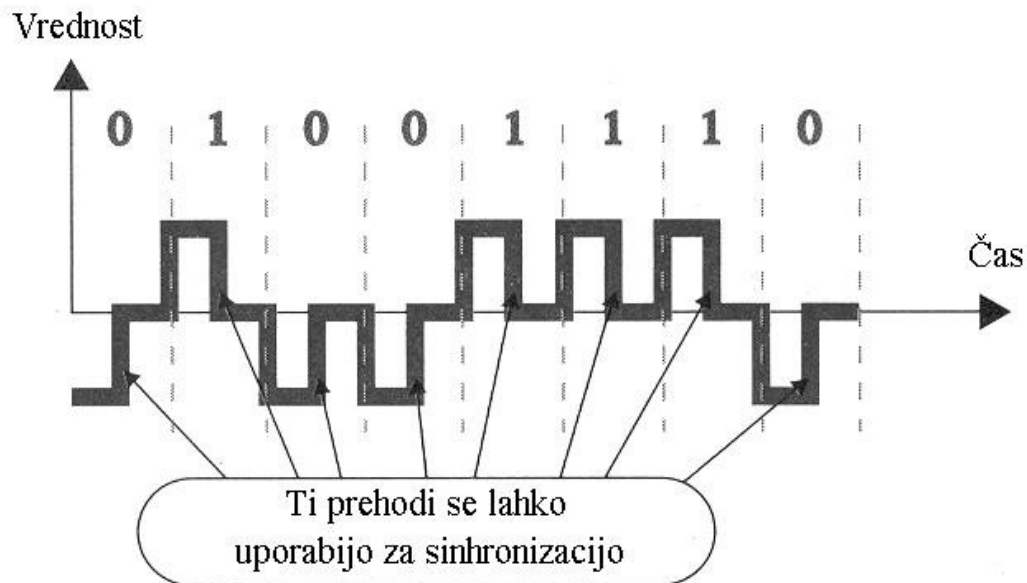
NRZ-L in NRZ-I pretvorba.

(non-return to zero level, non-return to zero-invert)



# Polarizacijska pretvorba

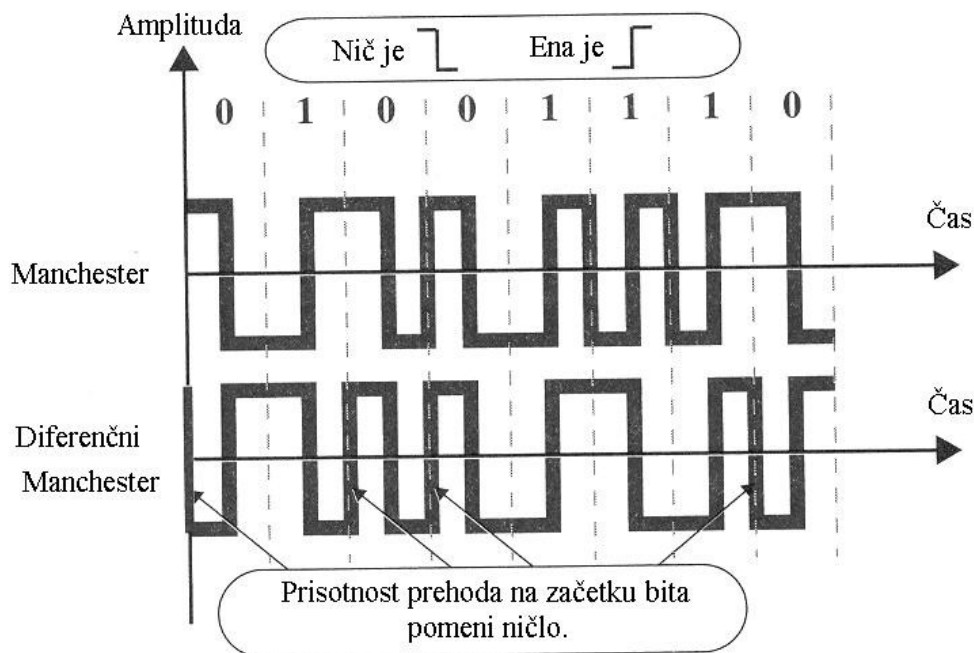
## RZ pretvorba





# Polarizacijska pretvorba

## Dvofazna pretvorba





# Dvopolarizacijska metoda

---

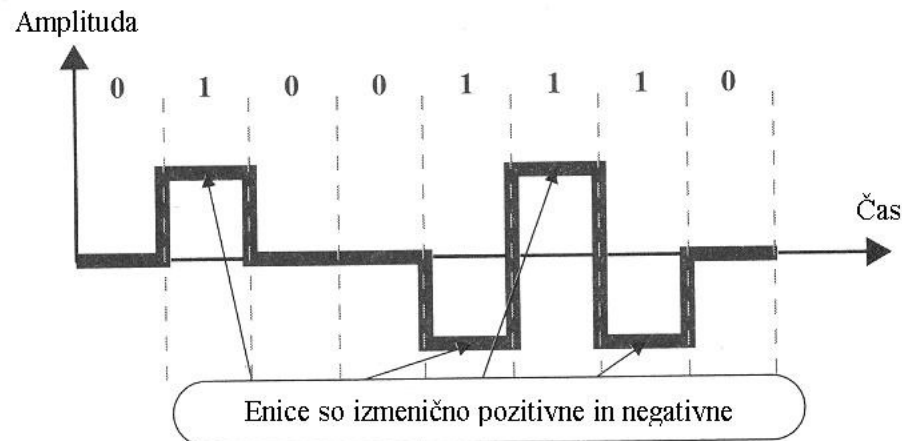
Pri dvopolarizacijskih pretvorbah uporabljamo tri nivoje:

- ✓ Pozitivni,
- ✓ Negativni in
- ✓ Ničelni.

# Dvopolarizacijska metoda

Dvopolarizacijska AMI (Alternate Mark Inversion) metoda.

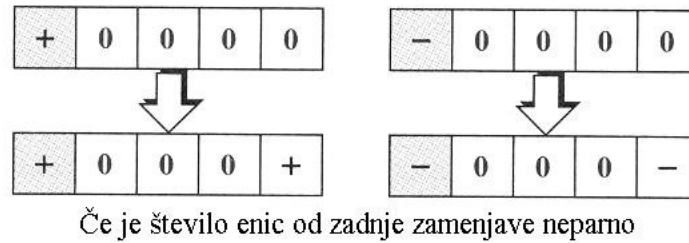
- ✓ Enosmerna komponenta je nič
- ✓ Dolga sekvenca bitov 1 ostane sinhronizirana
- ✓ Ni mehanizma za zagotovitev sinhronizacije dolgih nizov bita 0.



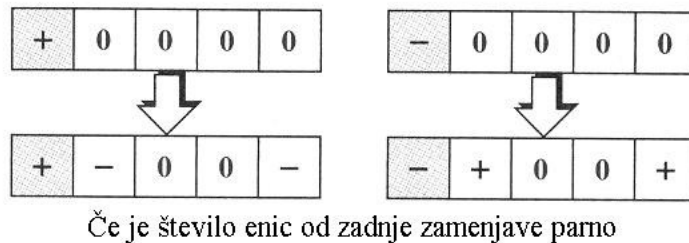
# HDB3 pretvorba (High-Density Bipolar 3)

Vzorec pretvorbe je odvisen od:

- ✓ polaritete predhodnega bita 1
- ✓ od števila bitov 1 (neparno ali parno število)

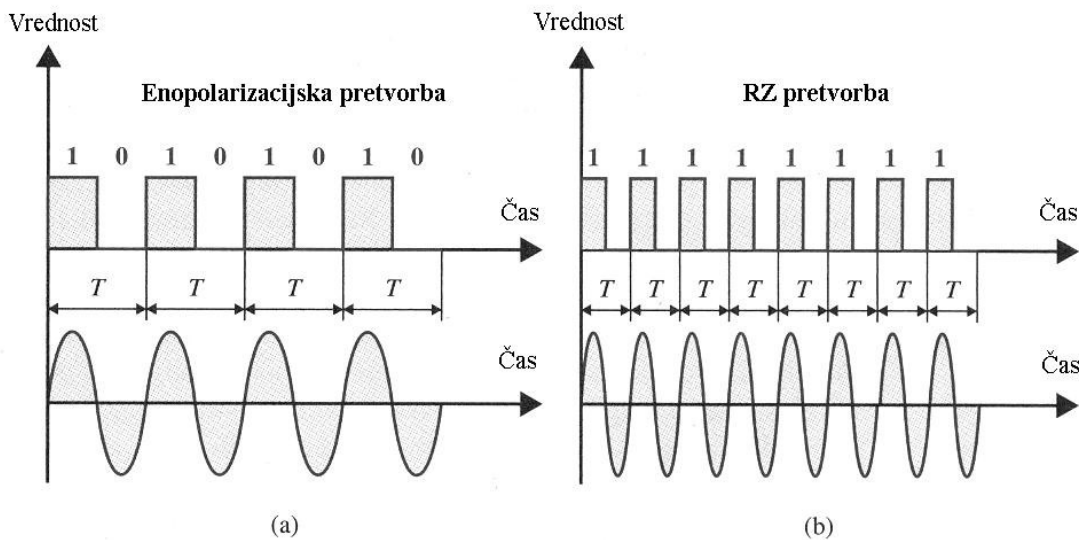


(a)



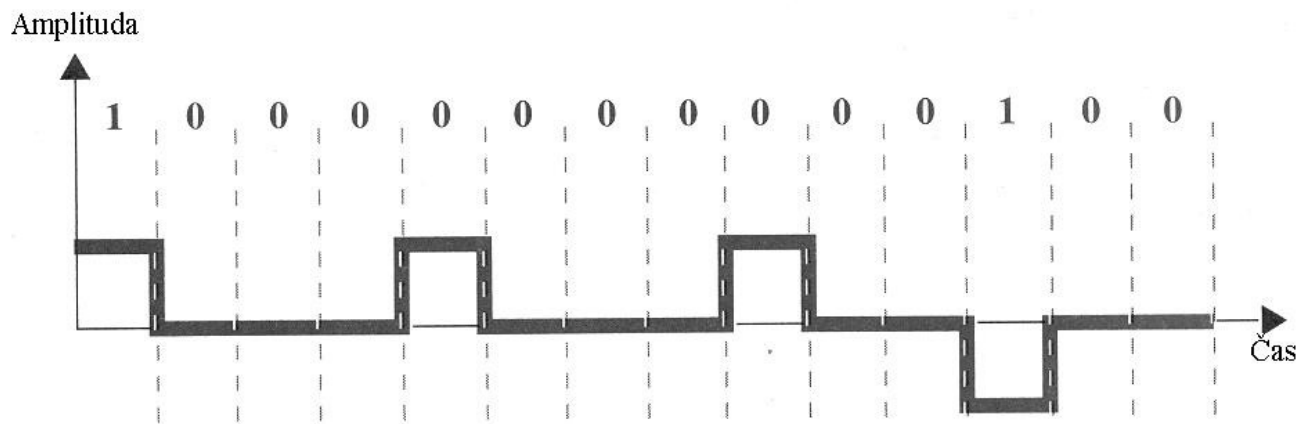
(b)

Primerjaj potrebno pasovno širino za enopolarizacijsko pretvorbo in RZ pretvorbo. Predpostavi najneugodnejši scenarij za obe pretvorbi.



## Vaje

Uporabi HDB3 pretvorbo niza 10000000000100 (10 ničel).  
Predpostavi polariteto prvega bita 1 kot pozitivno in število bitov 1 kot neparno.





# Pretvorba signalov

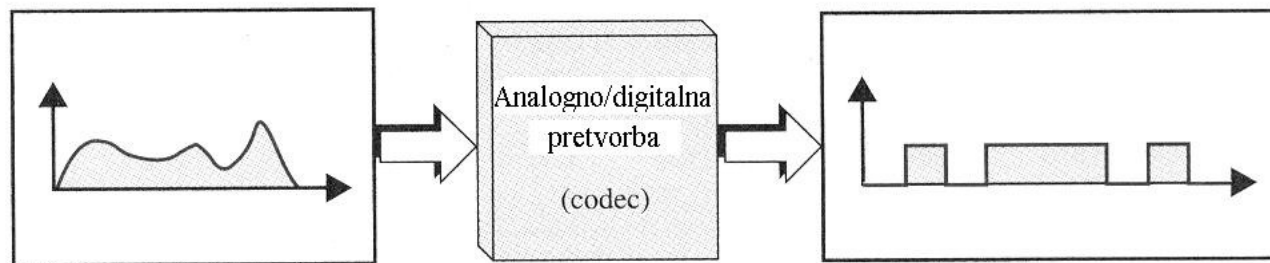
---

Pretvorba analogno v digitalno

# Pretvorba analogno v digitalno - Uvod

Cilj analogno digitalni pretvorbe je ponazoriti analogno informacijo v obliki zveznega valovanja s serijo digitalnih impulzov (1 ali 0). Poznamo:

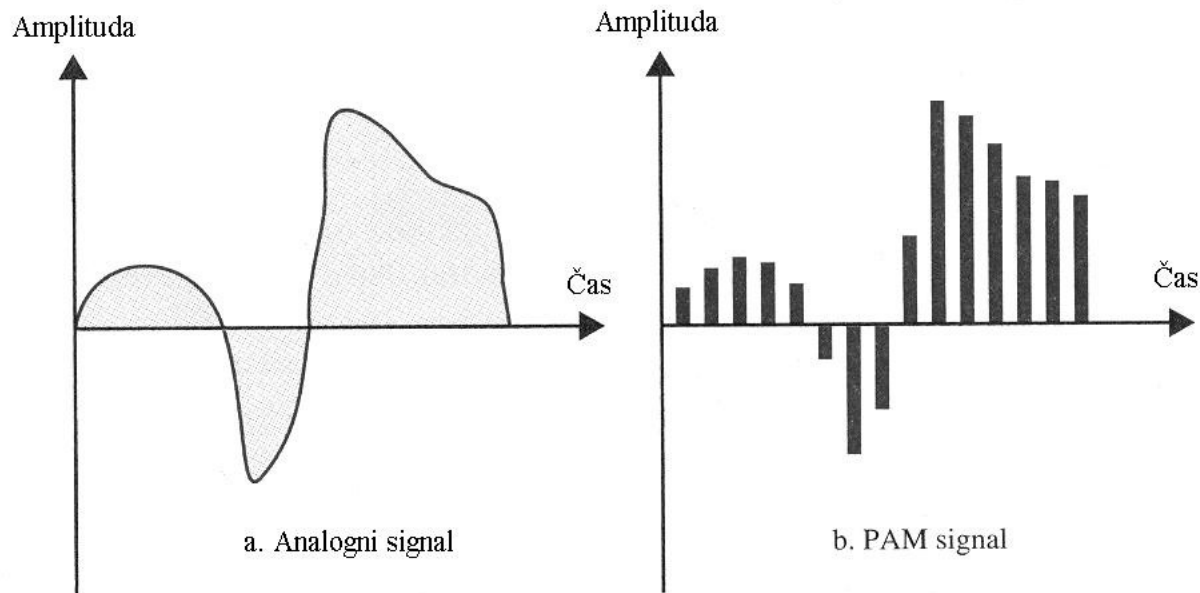
- ✓ Pulzno amplitudno modulacijo (PAM)
- ✓ Pulzno kodno modulacijo (PCM).





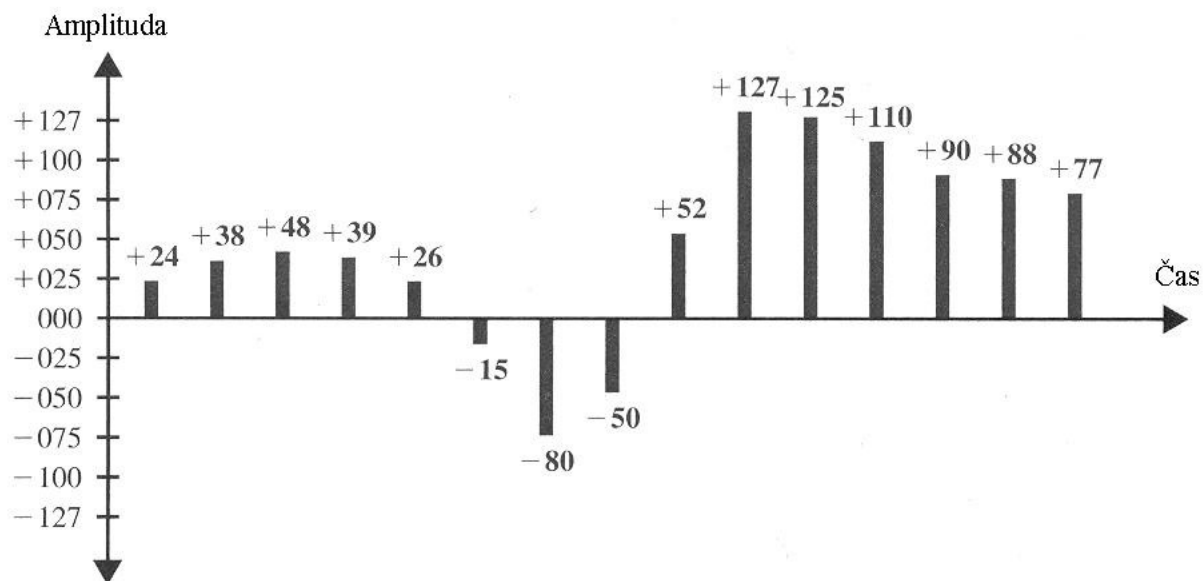
# Pulzno amplitudna modulacija

Pri tej tehniki analogno informacijo *vzorčimo* in rezultat je serija impulzov.



# Pulzno kodna modulacija - PCM

PCM modificira pulze dobljene z PAM, v smislu kreiranja popolnega digitalnega signala. V ta namen PCM najprej *kvantizira* PAM pulze.

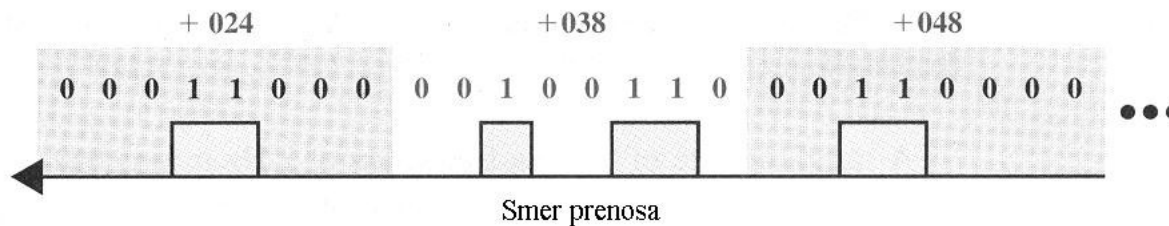


# Pulzno kodna modulacija - PCM

Slika prikazuje preprosto metodo kvantizacije. Vsaka vrednost je prevedena v sedem bitni binarni ekvivalent. Osmi bit je predznak.

+024	00011000	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

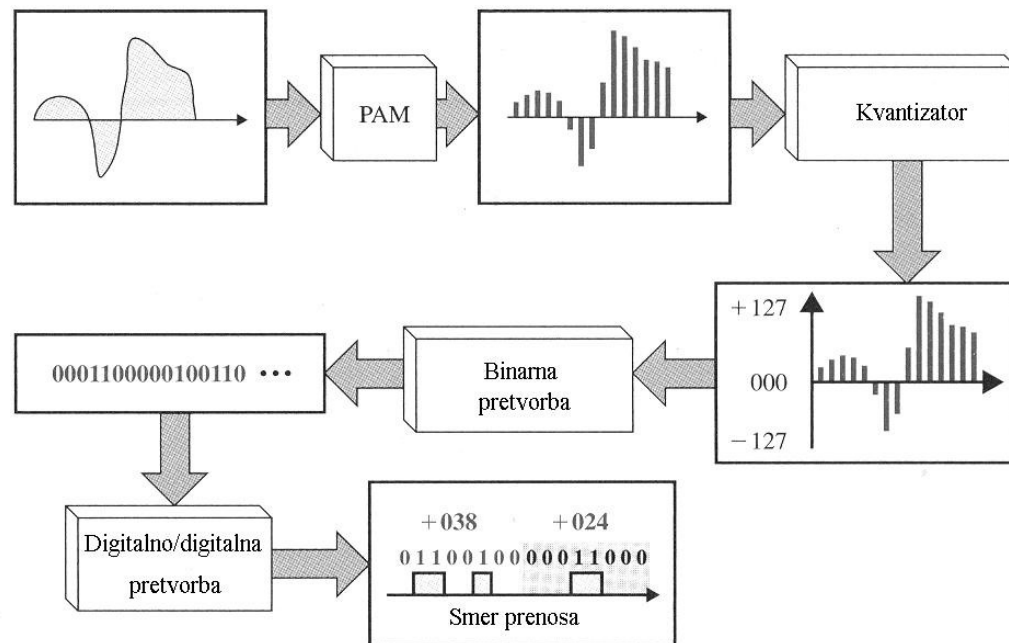
Predznak bita  
+ je 0 - je 1



# Pulzno kodna modulacija - PCM

PCM sestavljajo štiri procesi:

- ✓ PAM
- ✓ Kvantizacija
- ✓ Binarna pretvorba
- ✓ Digitalno digitalna pretvorba





# Pulzno kodna modulacija - PCM

---

## Hitrost vzorčenja ( $S$ )

**Nyquistov teorem:** Hitrost vzorčenja mora biti vsaj dvakrat večja od največje frekvence v signalu.

## Primer:

Telefonska zvočna informacija ima maksimalno frekvenco 3300 Hz.  
Kakšna je frekvenca vzorčenja?

$$S = 2 \times f_{max} = 2 \times 3300 = 6600 \text{ Hz}$$

(v praksi 8000 Hz)



# Pulzno kodna modulacija - PCM

---

## Vaje

Kakšna hitrost vzorčenja je potrebna za signal z pasovno širino 10 kHz (1 kHz do 11 kHz)? Kakšna je bitna hitrost, če je kvantizacija za vsak vzorec osem bitna?

$$S = 2 f_{max} = 2 \times 11000 = 22000 \text{ vzorcev/sek}$$

$$R = S m = 22000 [\text{vzorcev/sek}] \times 8 [\text{bitov/vzorec}] = 176 \text{ kbps}$$