



Računarske komunikacije

Prof. dr Enis Kočan (enisk@ucg.ac.me)

Saradnik: Dr Slavica Tomović (slavicat@ucg.ac.me)

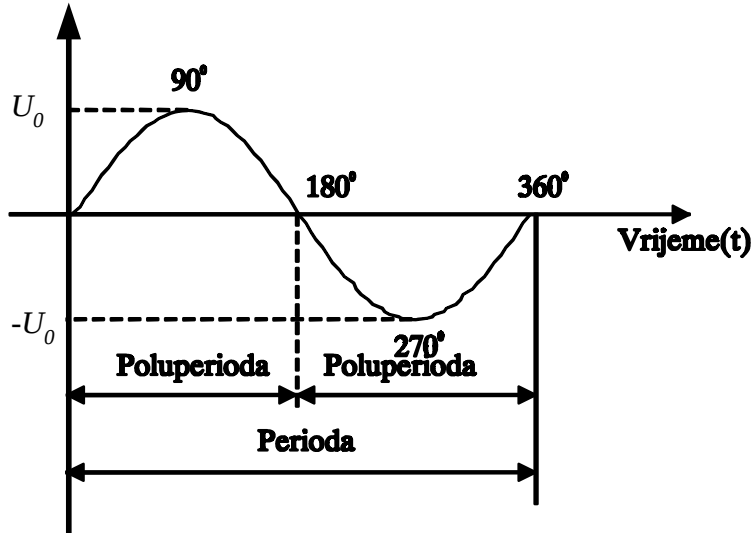
SADRŽAJ KURSA

1. Uvod. Osnovni principi računarskih komunikacija
2. Signali. Vrste prenosa signala. Harmonijska analiza signala
3. Sistemi prenosa. Izobličenja pri prenosu signala
4. Obrada signala kodiranjem. Uticaj šuma na prenos signala
- 5. Obrada signala modulacijom. Osnovni tipovi digitalnih modulacija**
6. Medijumi za prenos
7. Pravila strukturnog kabliranja
8. Tehnike multipleksiranja. Prenos višestrukim nosiocima
9. Detekcija i korekcija greške. Kontrolni protokoli na nivou linka
10. Tehnike za poboljšanje veze na bežičnom linku. Analiza kvaliteta prenosa (BER, PER, kapacitet sistema)
11. Osnovni parametri fizičkog sloja za IEEE 802.11 grupu standarda
12. Komunikaciona rješenja za IoT mreže
13. Trendovi u računarskim komunikacijama

Termin 5 - Sadržaj

- **Pojam modulacije**
- Osnovni tipovi digitalnih modulacija
- Višenivoovske fazne modulacije
- Kvadratura amplitudska modulacija

Osnovni pojmovi



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

U_0 - Amplituda

T – Perioda

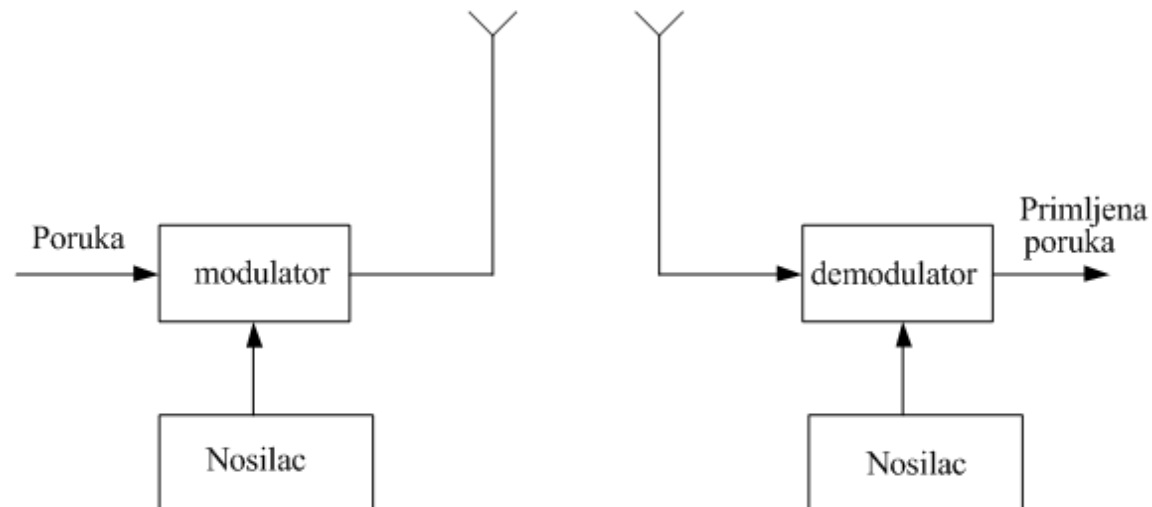
$f_0 = 1/T$ – Frekvencija

φ - faza

- Svaka prenos bežičnim putem se odvija na određenoj nosećoj frekvenciji ili na određenom kanalu
- Frekvencija nosioca je jednaka inverznoj vrijednosti periode nosioca **$f=1/T$**
- Jedinica za frekvenciju je **Hz** (**Herc**). Veće jedinice su **kHz** (kilo-Herc), **MHz** (mega-Herc), **GHz** (giga-Herc)
- Veza frekvencije i talasne dužine: $\lambda = v \cdot T = v/f$
- **λ** – talasna dužina [m]
- **$v=c$** – za slobodni prostor, to je brzina prostiranja svjetlosti (300 000 km/s)

Pojam modulacije

- Modulacija predstavlja postupak obrade signala u cilju što efikasnijeg prenosa, odnosno prilagođenja signala medijumu za prenos.
- Modulacijom se signal poruke (**modulišući signal**) utiskuje u pomoćni signal (**nosilac**), tako da se neki od parametara nosioca mijenja u skladu sa promjenama poruke
 - Kao pomoćni signal se najčešće koristi prostoperiodična (sinusna) funkcija, a u nekim slučajevima povorka pravougaonih impulsa
 - Signal na izlazu modulatora se označava kao **modulisani signal**



Pojam modulacije

- Na mjestu prijema obavlja se inverzan proces: **iz modulisanog signala treba izvući originalan signal koji nosi poruku**. Takav postupak obrade modulisanog signala naziva se **demodulacija**, a na prijemu dobijeni originalan signal **demodulisani (detektovani) signal**.
- Modulacija i demodulacija predstavljaju dva nerazdvojiva postupka u prenosu signala. Prvi je vezan za predajnik, a drugi za prijemnik.
- Sklop kojim se obavlja modulacija naziva se **modulator**, a sklop u kome se obavlja demodulacija **demodulator**.
- U opštem modelu komunikacionog sistema, modulator je sastavni dio kanalnog koda, a demodulator kanalnog dekodera. Zajedničkim imenom, modulator i demodulator nazivaju se **modem**

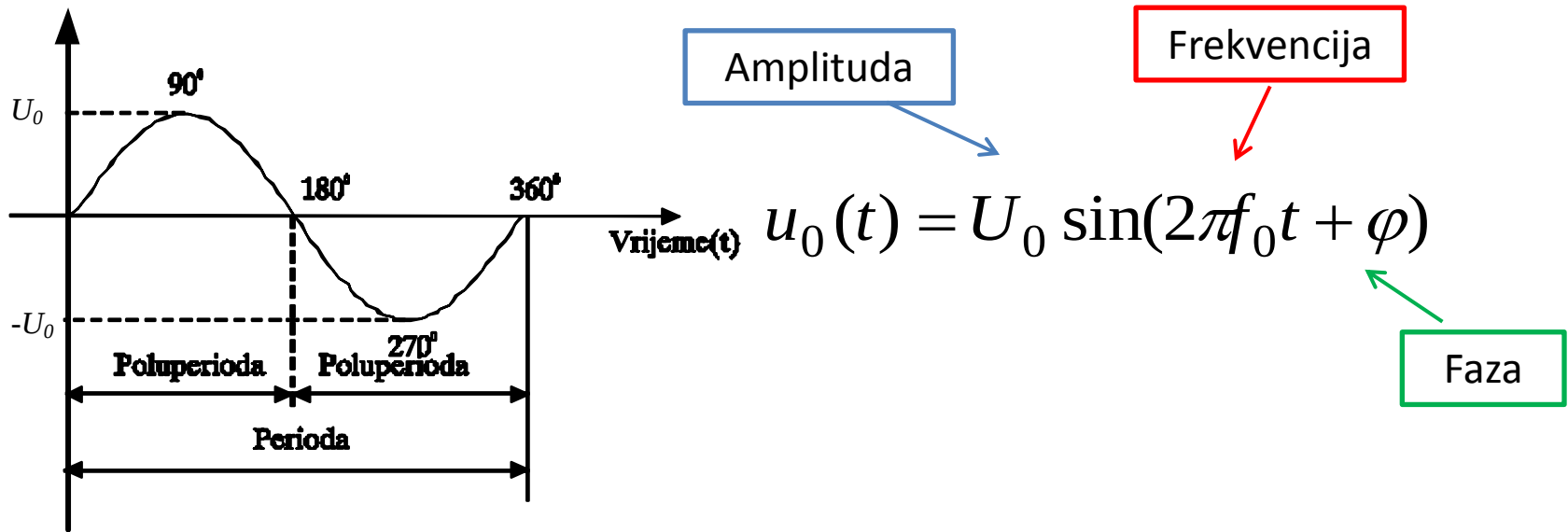
Pojam modulacije

- Postupak modulacije može da se analizira u vremenskom i u frekvencijskom domenu
- Rezultati obrade signala postupkom modulacije mnogo jasnije se uočavaju u domenu učestanosti
- Različiti postupci modulacije imaju različite efekte na oblik signala u domenu učestanosti, kao što su:
 - Pomjeranje spektra signala na više učestanosti
 - Proširenje spektra signala
 - Proširenje i pomjeranje spektra signala.
- Ukoliko se u sistemu ne primjenjuje modulacija, onda kažemo da se signal prenosi u **osnovnom opsegu**
 - Ovakav tip prenosa nedovoljno koristi frekvencijski opseg koji ima na raspolaganju
 - Imaju mnogo manju primjenu nego sistemi prenosa sa modulacijom.

Pojam modulacije

- Obrada signala ima veliki značaj. Neke mogućnosti koje pruža modulacija su:
 - ✓ Radioprenos poruka
 - ✓ Frekvencijski multipleksni ili višekanalni sistemi prenosa
 - ✓ Veća zaštita prenošenog signala od uticaja smetnji u vidu šumova.
 - ✓ Specijalnim postupcima modulacije signali se mogu zabilježiti i uskladištiti, što ima poseban značaj za njihovu reprodukciju u bilo kom vremenu.
- Danas postoji mnogo načina za modulisanje nosilaca koji se mogu klasifikovati u nekoliko grupa. Podjela se može izvršiti prema talasnom obliku modulisanog signala:
 - 1) postupci u kojima je modulisani signal kontinualan
 - 2) postupci kojima se kao rezultat modulacije dobija signal impulsnog talasnog oblik.

Pojam modulacije

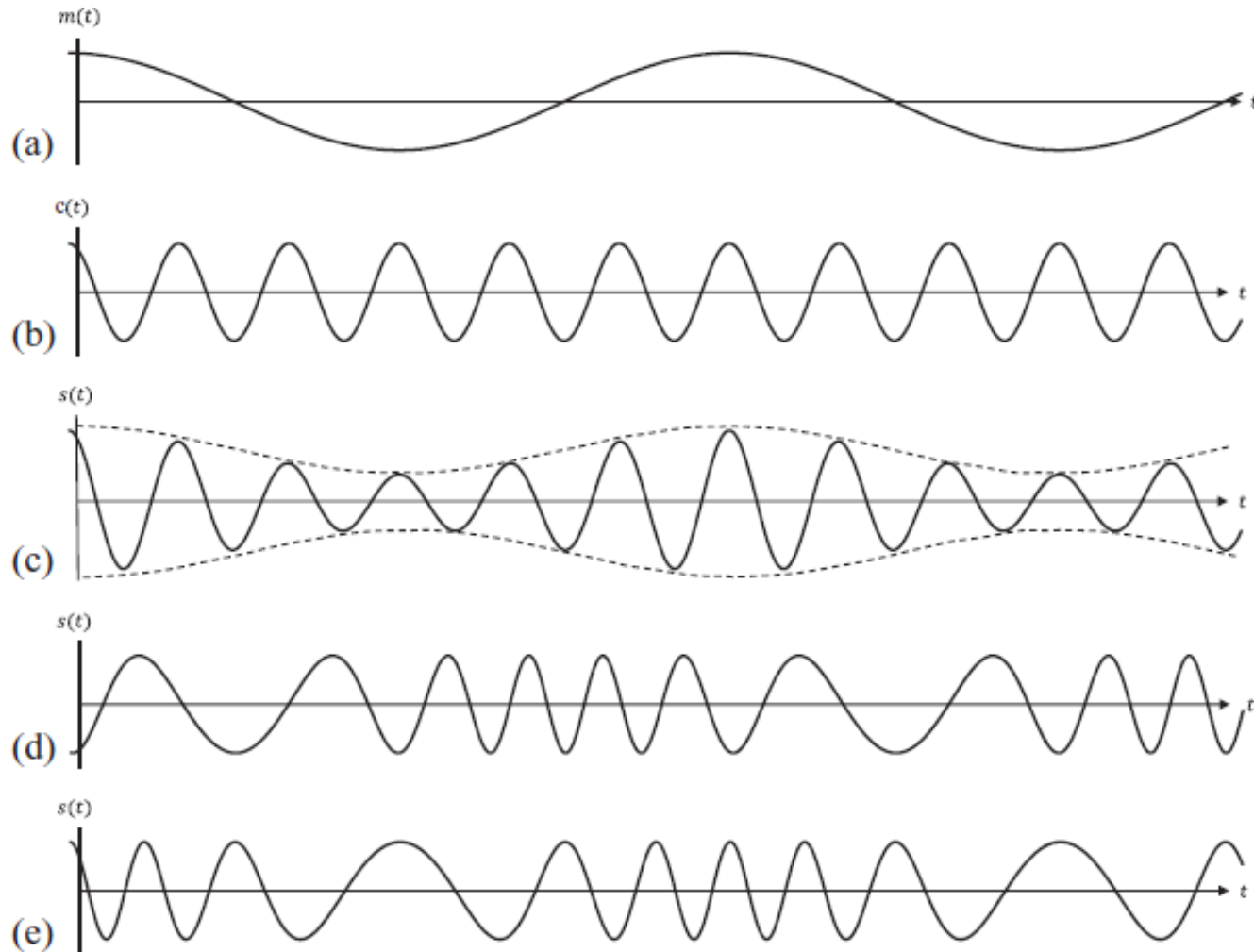


- Kod postupaka u kojima se dobija ***kontinualan*** modulisani signal kao nosilac se koristi signal ***sinusoidalnog talasnog oblika***. On ima tri karakteristična parametra: **amplitudu, učestanost i fazu**.
- Na svaki od ovih parametara se može posebno uticati, tako što se izabrani parametar mijenja direktno srazmjerno modulišućem signalu.

Pojam modulacije

- U skladu sa prethodnim, razlikuju se sledeći osnovni tipovi modulacija:
 - a) **Amplitudska modulacija (AM)** - amplituda nosioca je direktno proporcionalna modulišućem signalu;
 - b) **Frekvencijska modulacija (FM)** - učestanost nosioca je direktno proporcionalna modulišućem signalu;
 - c) **Fazna modulacija (Φ M)** - faza nosioca je direktno proporcionalna modulišućem signalu.
- Poslednja dva modulaciona postupka se nazivaju zajedničkim imenom **ugaona modulacija (UM)**.
- Kada je modulišućí signal kontinualan, onda se ove modulacije označavaju kao **analogne modulacije**.

Analogne modulacije



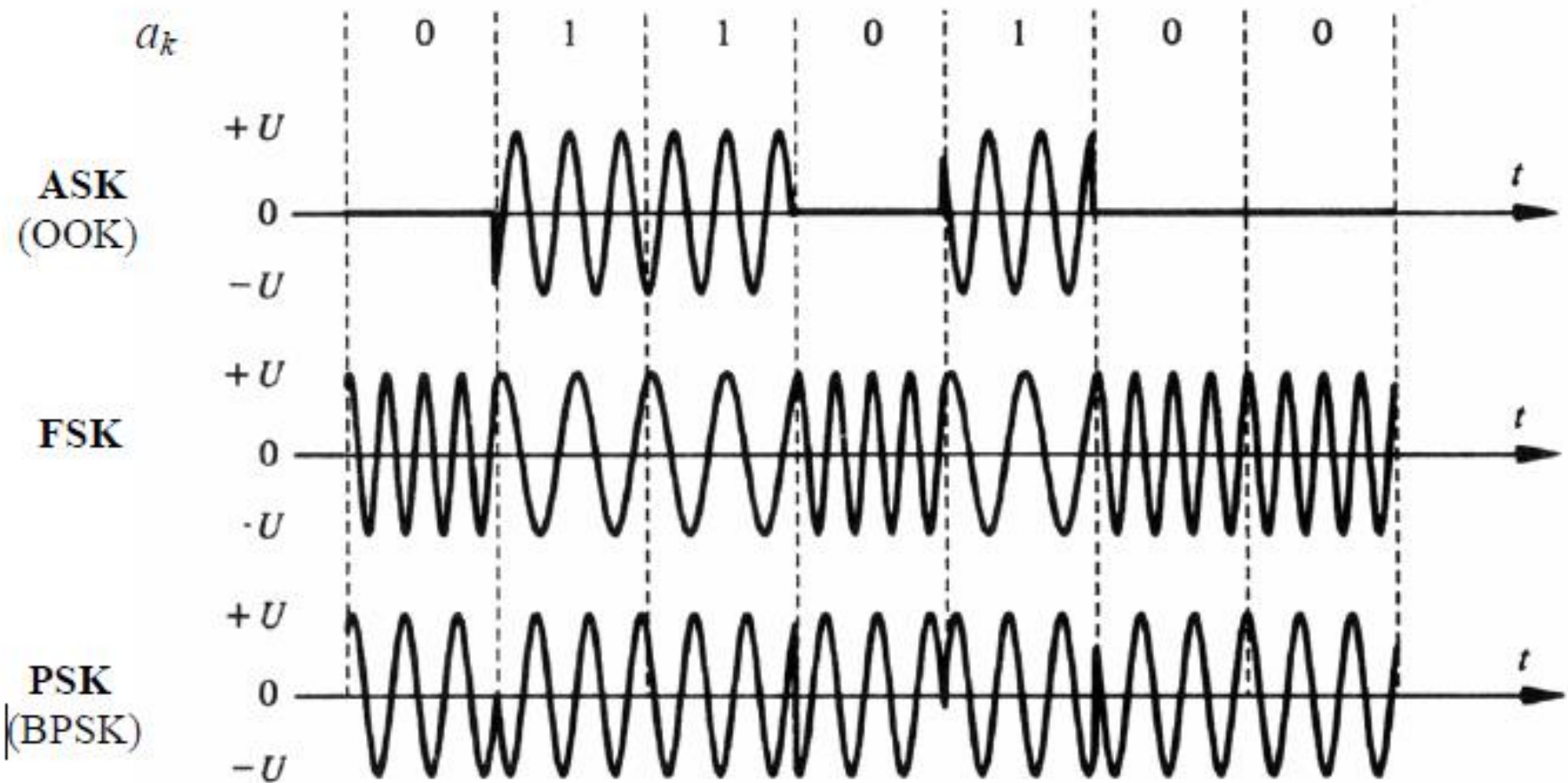
a) Modulišući signal, b) Nosilac, c) AM signal, d) PM signal, e) FM signal

Digitalne modulacije

- Ako je modulišući signal (poruka) digitalni, onda govorimo o digitalnim modulacijama .
- Postoje različite vrste digitalnih modulacija, a osnovni tipovi su:
 - ASK – Amplitude Shift Keying
 - FSK – Frequency Shift Keying
 - PSK – Phase Shift Keying
- U praksi, poseban značaj danas imaju **višenivoovske amplitudsko-fazne** digitalne modulacije (M-QAM – *M-ary Quadrature Amplitude Modulation*)

Digitalne modulacije

- Naprostiji slučajevi su kada je modulišući signal povorka binarnih signala



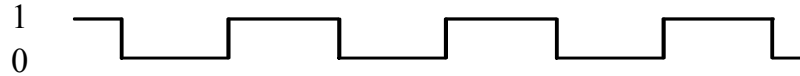
Termin 5 - Sadržaj

- Pojam modulacije
- **Osnovni tipovi digitalnih modulacija**
- Višenivoovske fazne modulacije
- Kvadratura amplitudska modulacija

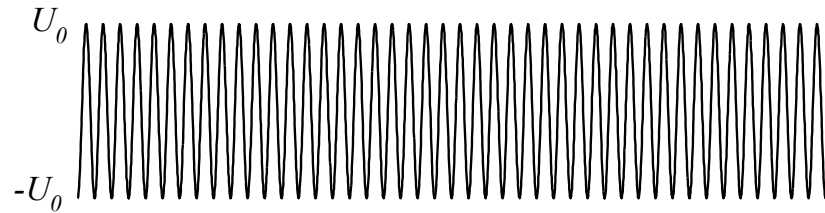
ASK

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

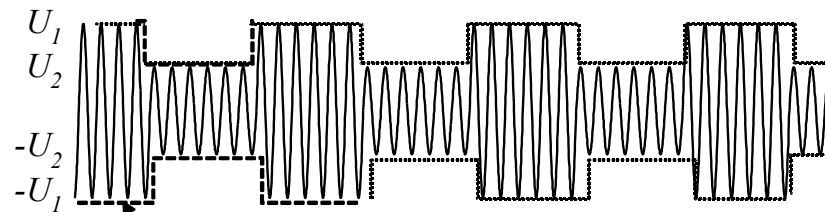
Binarni
modulišući
signal



Nosilac



ASK
signal



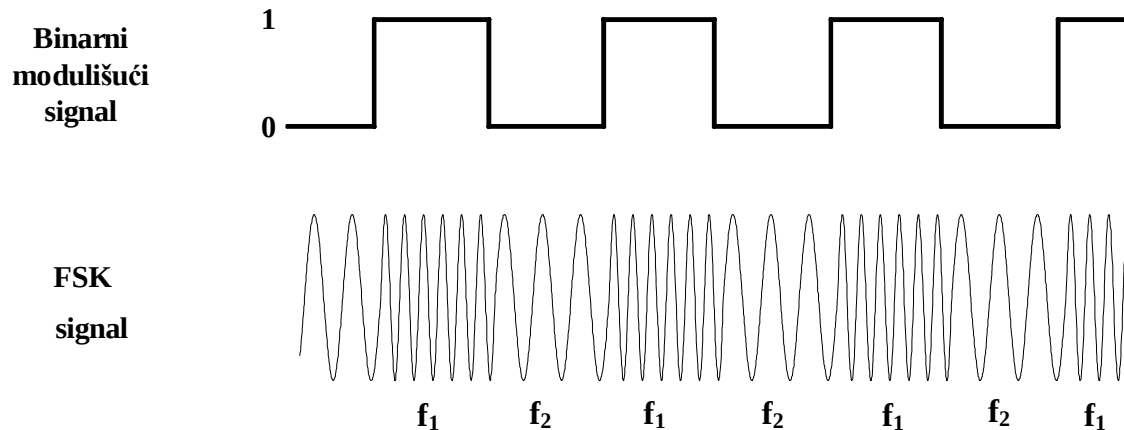
Anvelopa modulisanog
signala

ASK

- Spada u linearne modulacione postupke.
- Može biti realizovana kao:
 - ASK-2BO (DSB PAM),
 - ASK-1BO (SSB PAM),
 - ASK-NBO (VSB PAM).
- Od svih digitalnih modulacionih postupaka **najosjetljivija na uticaj šuma, nelinearnosti primijenjenih elemenata**
 - zbog toga nije našla značajniju primjenu
- Da bi se izbjegli takvi problemi, svi elementi sistema moraju funkcionisati u linearnom režimu, daleko od oblasti maksimalne snage.
- Primjena u prenosu Morse-ovog koda radio signalima (OOK – *On-Off Keying*, signal tipa “sve ili ništa”).

FSK

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



Prelaz sa jedne učestanosti na drugu se dešava u onim trenucima u kojima postoji fazni sinhronizam oba nosioca, tj. kada učestanosti nosioca f_1 i f_2 zadovoljavaju uslov:

$$T = \frac{m}{f_1} = \frac{n}{f_2}, \quad m, n \text{ cijeli pozitivni brojevi}$$

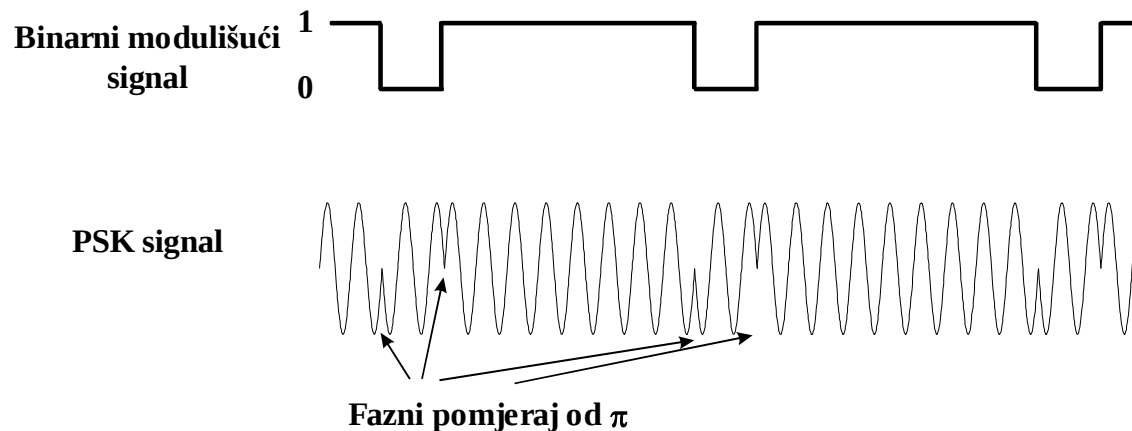
U slučaju da modulišući signal ima M nivoa, dobija se **MFSK**

FSK

- Sistemi sa FSK su našli dosta široku primjenu u prenosu digitalnih signala iz više razloga:
 - sama realizacija sistema je jednostavna,
 - postupak demodulacije nije komplikovan, jer se primjenjuje nekoherentna demodulacija tako da nema potrebe za lokalnim nosiocem,
 - zbog svoje konstantne amplitude, FSK signal je dosta otporan prema uticaju nelinearnosti sklopova kroz koje se prenosi,
 - FSK signal je izuzetno podesan u radio vezama koje su izložene uticaju fedinga, jer on u njima ne utiče na položaj praga odlučivanja.
- Međutim, **širina opsega učestanosti potrebna za prenos FSK signala je relativno velika** što predstavlja ozbiljan nedostatak, naročito kada su u pitanju veliki digitalni protoci.
- **Primjena:** pejdžing sistemi, AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), bežični telefonski sistemi (DECT - *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*)... U formi GMSK primijenjena je u GSM900 i DCS1800 mobilnim celularnim sistemima.

PSK

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



- BPSK modulacija je našla primjenu u modemskim vezama, kao i u kod nekih bežičnih komunikacionih sistema.
- Mnogo značajniju primjenu su našle **višenovoovske PSK modulacije**

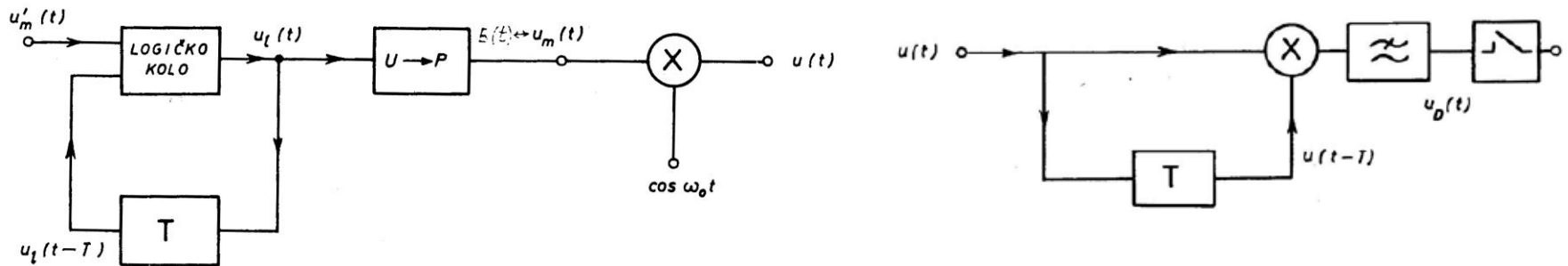
PSK

Ovaj tip modulacije pod određenim uslovima ima osobine koje ga stavljaju ispred ostalih tipova modulacije:

- zahtijevana vršna snaga u njemu je manja od snage u M -arnom ASK sistemu,
- širina potrebnog opsega učestanosti za prenos može biti manja od one koja se traži u FSK sistemima,
- sama realizacija je često jednostavna,
- sistemi sa faznom modulacijom mogu da budu manje osjetljivi na izobličenja nastala u prenosu.

DPSK

- U mnogim sistemima se koriste diferencijalne fazne modulacije, gdje je informaciona sekvenca najprije diferencijalno kodirana.
- Kod DPSK sistema **poruka je sadržana u promjeni, odnosno, zadržavanju faze iz prethodnog signalizacionog intervala.**



Šeme DPSK predajnika i prijemnika

- Glavna **prednost ovog sistema je jednostavnija demodulacija** (nije potreban lokalni nosilac)
- **Nedostatak je to što su lošije performanse** (obično za 3dB), jer se greške javljaju u parovima.

PSK

Ovaj tip modulacije pod određenim uslovima ima osobine koje ga stavljaju ispred ostalih tipova modulacije:

- zahtijevana vršna snaga u njemu je manja od snage u M -arnom ASK sistemu,
- širina potrebnog opsega učestanosti za prenos može biti manja od one koja se traži u FSK sistemima,
- sama realizacija je često jednostavna,
- sistemi sa faznom modulacijom mogu da budu manje osjetljivi na izobličenja nastala u prenosu.

Primjeri

1. Dat je binarni niz 001101 (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.
2. 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.

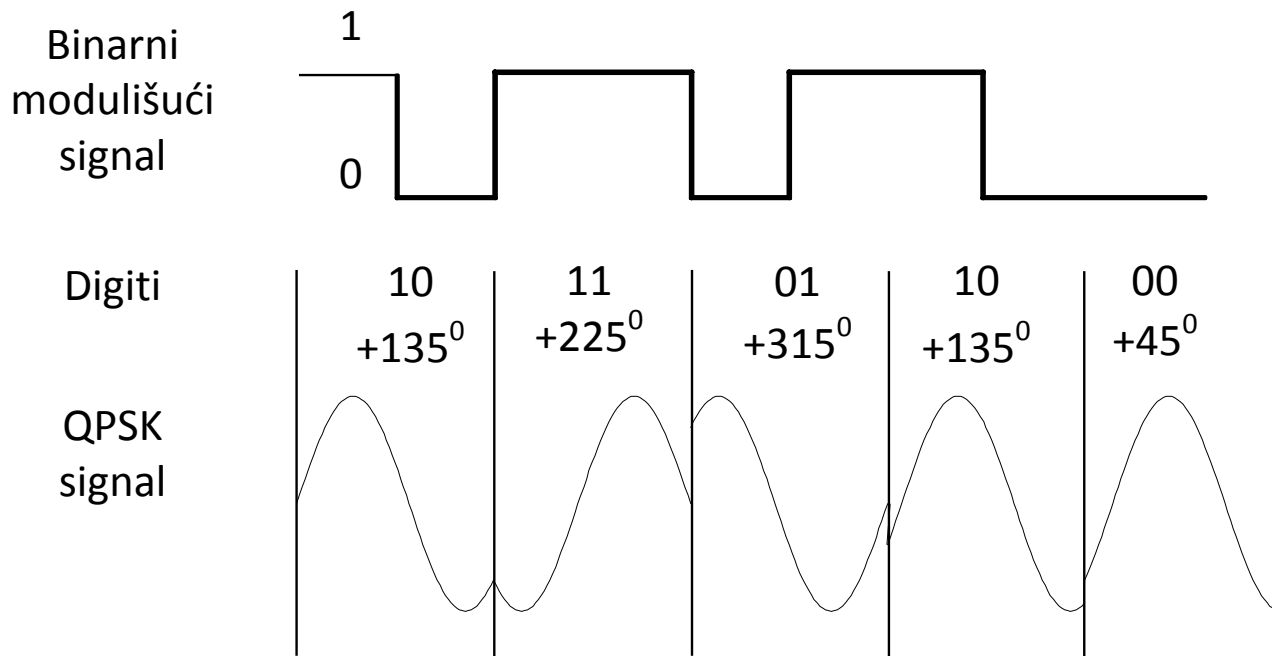
Termin 5 - Sadržaj

- Pojam modulacije
- Osnovni tipovi digitalnih modulacija
- **Višenivoovske fazne modulacije**
- Kvadratura amplitudska modulacija

Višenivoovkse PSK modulacije

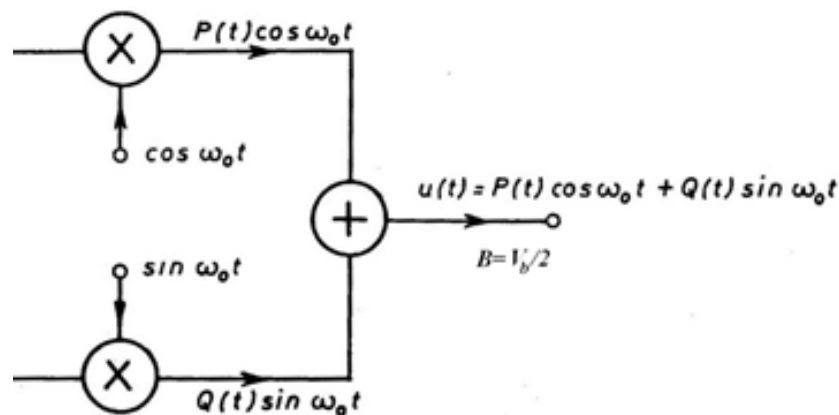
Postupak kvadrature faze modulacije (QPSK)

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



Koncept I - Q modulacije, konstalacioni dijagram

- **Konstalacioni dijagram** je način predstavljanja digitalnih modulacija u ravni, u pravouglom koordinatnom sistemu, na kojem se predstavljaju amplitude i faze signala.
- Višenivoovske modulacije se realizuju tako što se koriste 2 prostoperiodična nosioca koji su u kvadraturi (npr. sinusna i kosinusna funkcija)



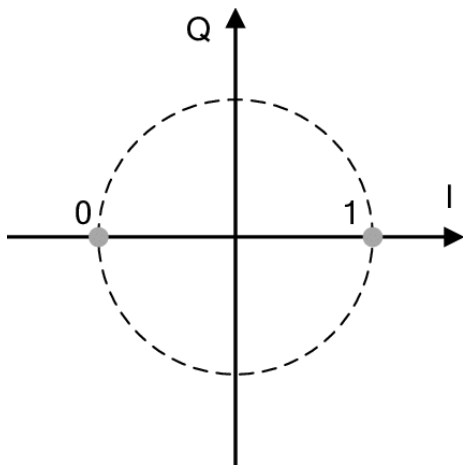
$$s(t) = A(t) \cos(\omega_f t + \phi(t))$$

$$A(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)}$$

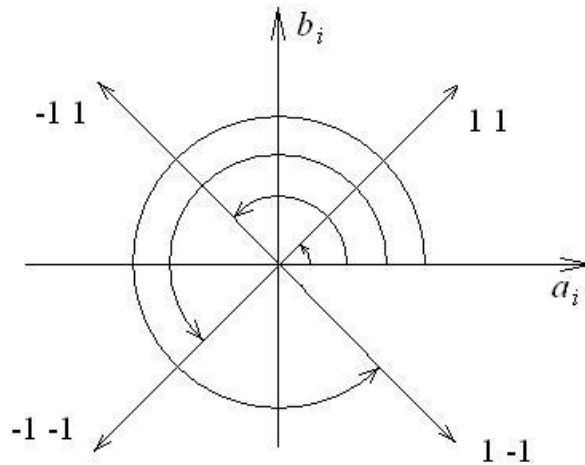
$$\phi(t) = \tan^{-1} \frac{Q(t)}{I(t)}$$

Koncept I - Q modulacije, konstalacioni dijagram

- Primjer konstalacionog dijagrama, za slučaj kada na I i Q granu dolaze binarni polarni signali.
- Kao rezultat se dobija modulacija kod koje imamo 4 tačke na konstalacionom dijagramu.
- Svi modulisani signali imaju istu amplitudu, a međusobno se razlikuju po fazama



BPSK konstalacioni dijagram



QPSK konstalacioni dijagram

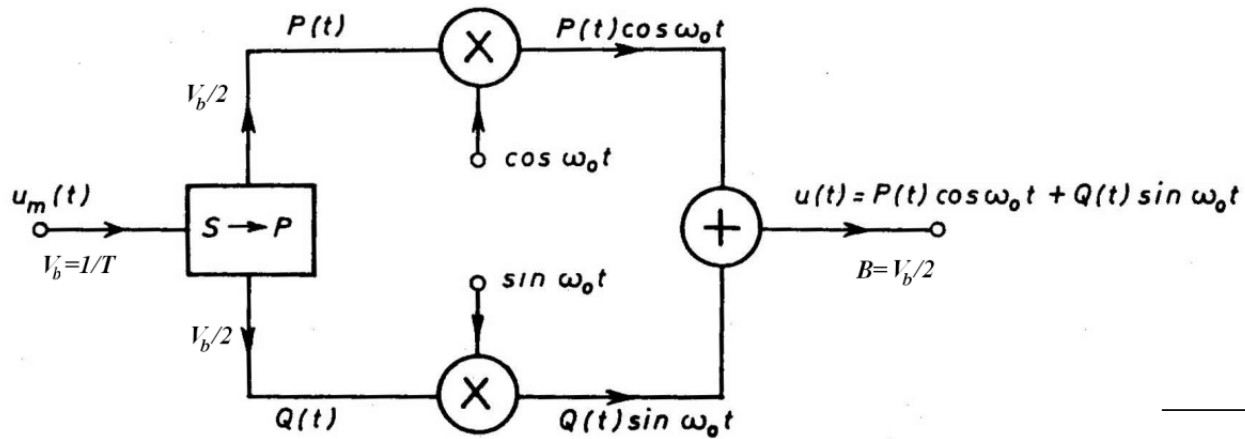
Amplituda
modulisanog signala

$$V_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} = U_0 \sqrt{2}$$

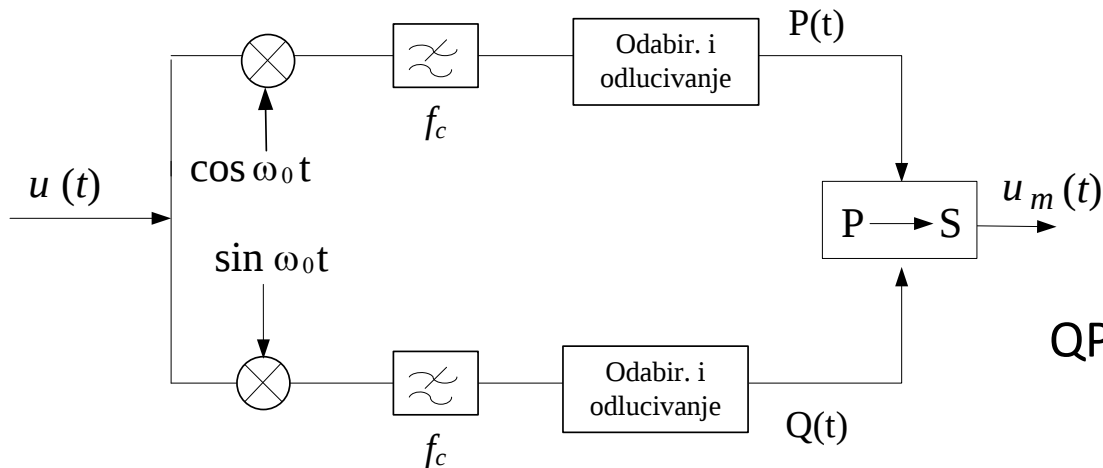
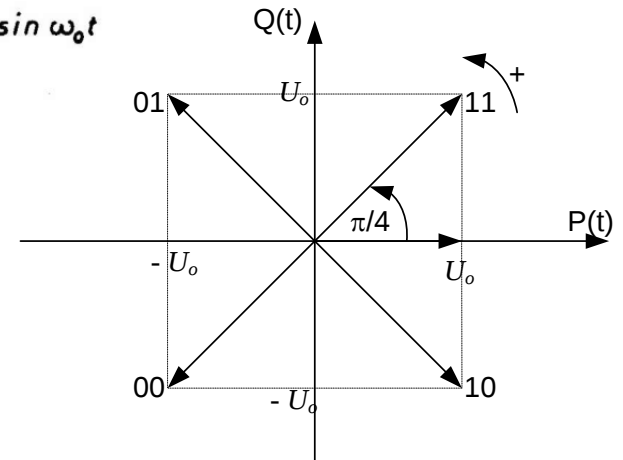
Moguće vrijednosti faze
modulisanog signala

$$\theta_i = \left\{ \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \right\}$$

Kvadratura PSK - QPSK



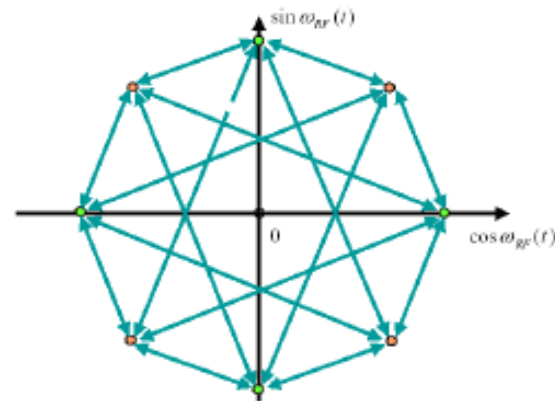
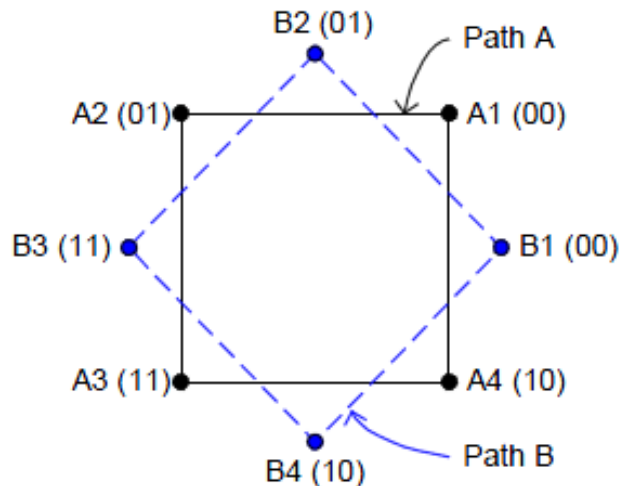
QPSK predajnik



QPSK prijemnik

$\pi/4$ -QPSK

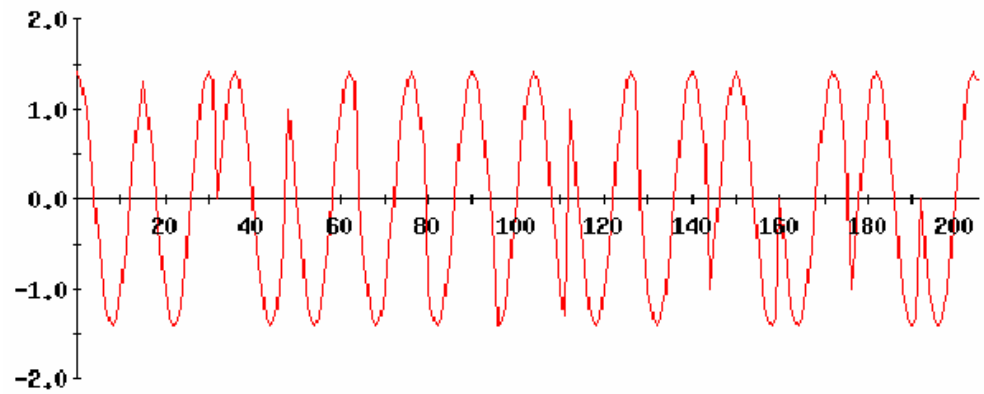
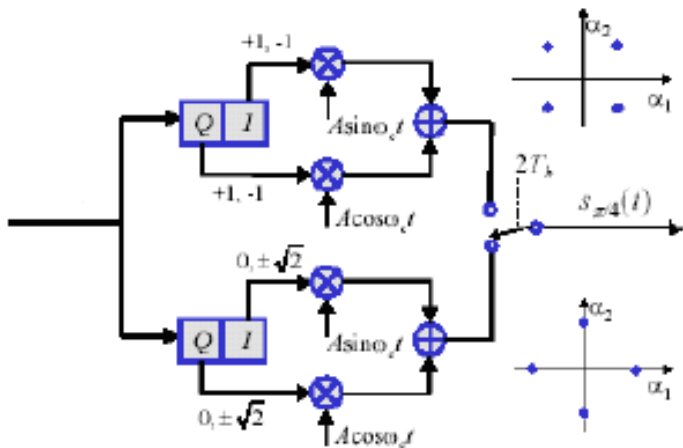
- Konstalacioni dijagram čine **dva QPSK konstalaciona dijagrama** (A i B), **međusobno zarotirana za 45°** .
 - Tranzicije se uvijek vrše sa jednog konstalacionog dijagrama na drugi (sa A na B, i obratno).
 - I kada se uzastopno jave dva ista simbola, dolazi do tranzicije, što na prijemu olakšava otkrivanje takta signala.
 - Jednostavna je implementacija diferencijalnog kodiranja.



Konstalacioni dijagram i moguće tranzicije kod $\pi/4$ -QPSK modulacije

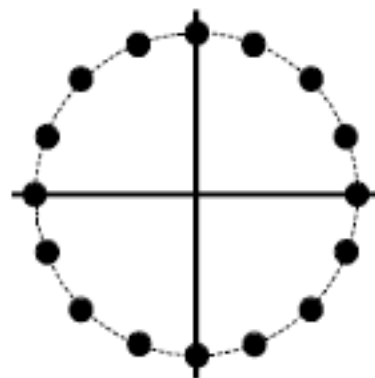
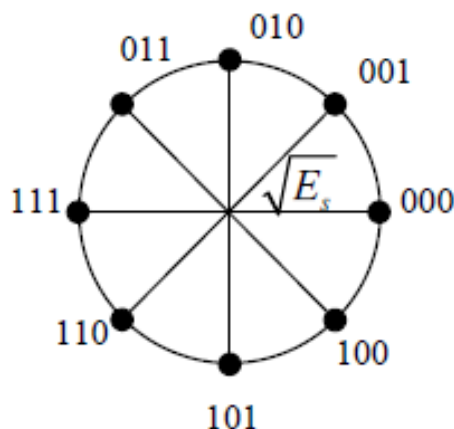
$\pi/4$ -QPSK

- Smanjene su varijacije anvelope, jer ne postoje tranzicije kroz nulu.
- Sa primijenjenim RRC filtrom zauzima manji opseg od GMSK, što znači i manju vjerovatnoću pojave ICI.
 - Primjenjuje se u 2G mobilnim komunikacionim sistemima, a posebno njena varijanta $\pi/4$ -DQPSK



Realizacija $\pi/4$ -QPSK modulacije i vremenski oblik signala

Višenivoovske PSK modulacije



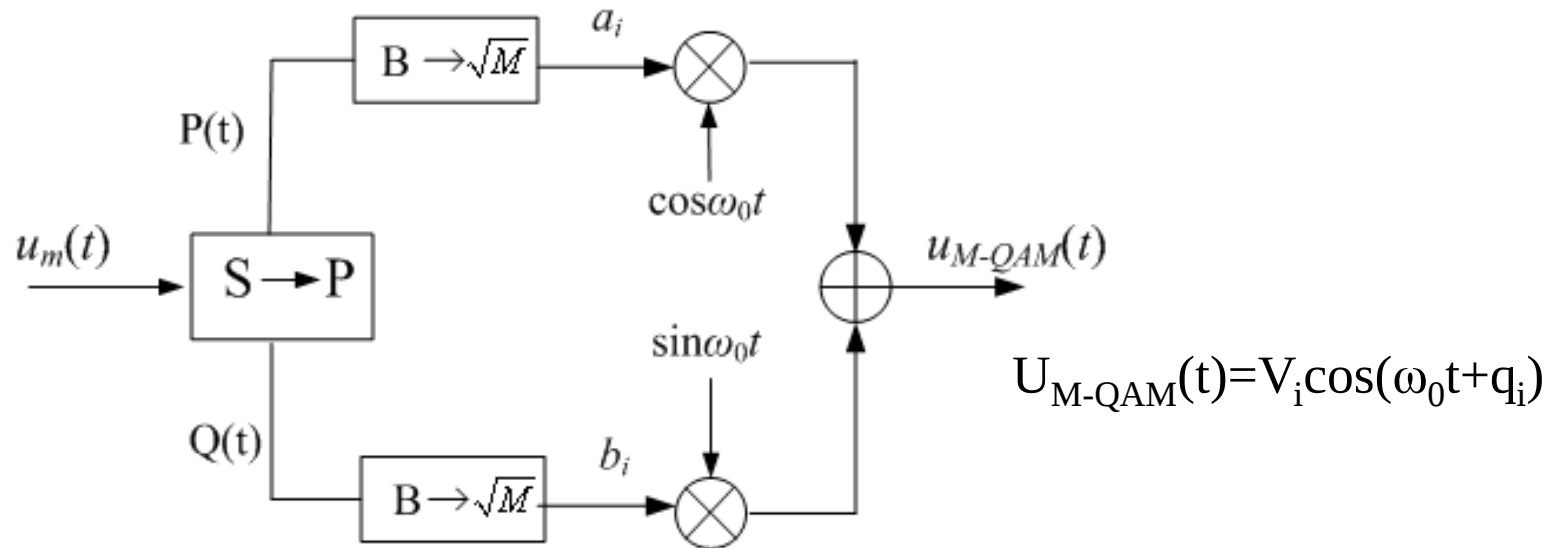
Konstalacioni dijagrami 8PSK i 16PSK modulacija

- **8-PSK** modulacija ima manje promjene faze u odnosu na QPSK.
 - Našla je primjenu u satelitskim komunikacijama, avio-komunikacijama, za pilot tonove pri monitoringu DVB sistema.
- **16-PSK** nema značajniju primjenu, jer je **oblast odlučivanja znatno manja u odnosu na 16-QAM sisteme**, a samim tim, **veća je i vjerovatnoća greške**.
 - Za istu vrijednost SER (Symbol Error Rate), u 16QAM sistemima je potreban 4,19dB manji odnos E_s/N_0 , jer je **Euclid-ovo rastojanje** između tačaka na konstalacionom dijagramu 1,6 puta veće nego kod 16-PSK sistema.

Termin 5 - Sadržaj

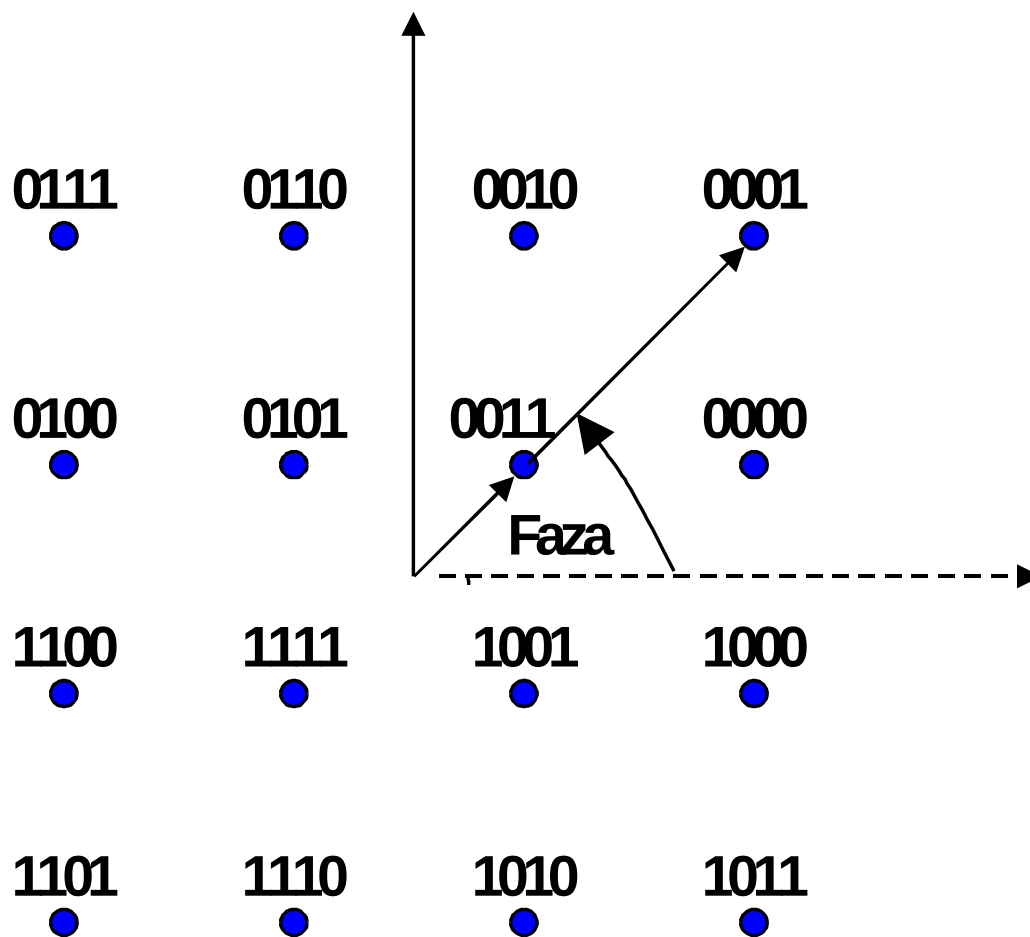
- Pojam modulacije
- Osnovni tipovi digitalnih modulacija
- Višenivoovske fazne modulacije
- **Kvadratura amplitudska modulacija**

Kvadratura amplitudsko-fazna modulacija



Principska šema M -QAM predajnika

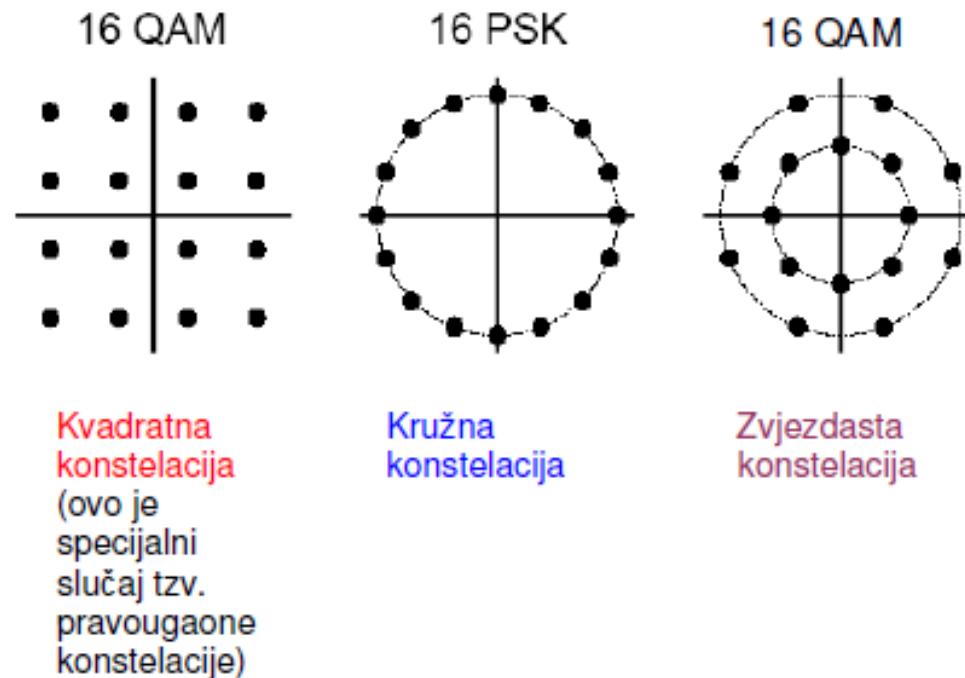
Kvadratura amplitudsko-fazna modulacija



Fazorski dijagram 16-QAM signala

Višenivoovske modulacije

- Predstavljaju spektralno efikasne modulacije
- Omogućavaju ostvarenje većih brzina prenosa podataka, pri istom zauzetom opsegu, ili
 - Štede zauzeti opseg, pri konstantnoj brzini prenosa podataka
- Nedostatak je veća vjerovatnoća greške po bitu, u odnosu na osnovne tipove digitalnih modulacija



Digitalne modulacije u različitim sistemima

Second Generation

GSM:	GMSK
IS136:	$\pi/4$DQPSK
IS-95	BPSK/QPSK
PDC	$\pi/4$DQPSK

Third Generation

CDMA2000:	QPSK (DL), BPSK (UL) Phase I
	MPSK (DL), QPSK (UL) Phase II
W-CDMA:	QPSK (DL), BPSK (UL)

Wireless LAN

802.11:	BPSK, QPSK
802.11a:	BPSK, QPSK, MQAM
802.11b	BPSK, QPSK
802.11g	BPSK, QPSK, MQAM

Short Range Wireless Network

ZigBee (802.15.4):	BPSK, OQPSK
Bluetooth(802.15.1):	GFSK
UWB (802.15.3) (proposal)	BPSK, QPSK