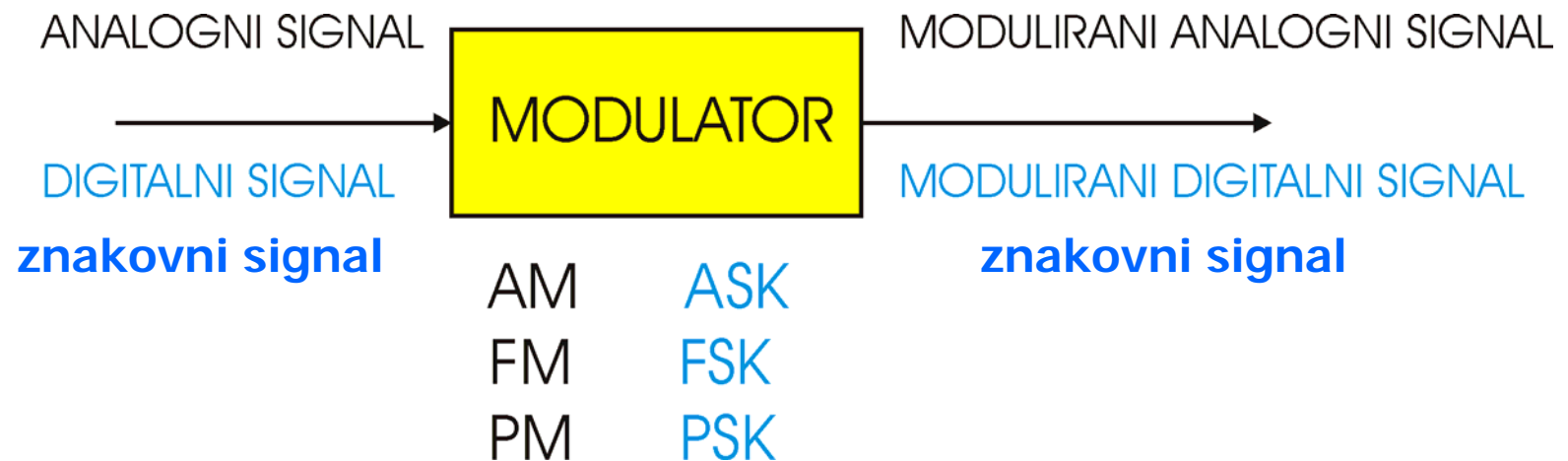


Digitalne modulacije

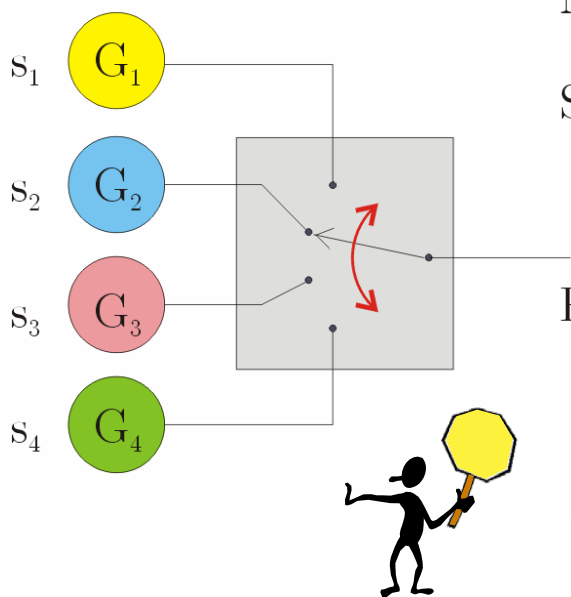
- Osnovni digitalni modulatorski postopki so podobni analognim modulatorskim postopkom.
- Razlika med analogno modulacijo in digitalno modulacijo je v signalu na vhodu modulatorja:



Nelinearni modulator

- Vsak znak predstavlja električni signal.
- Izberemo M različnih signalov, ki se lahko razlikujejo po obliki.
- Izberemo M harmoničnih signalov, ki se razlikujejo po amplitudi, fazi ali frekvenci !

GENERATORJI
SIGNALOV

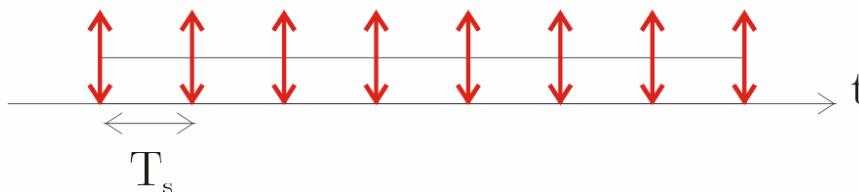


NIZ SIMBOLOV: ... $s_2, s_4, s_3, s_1, s_1, s_3, s_2, \dots$

SIGNALI:

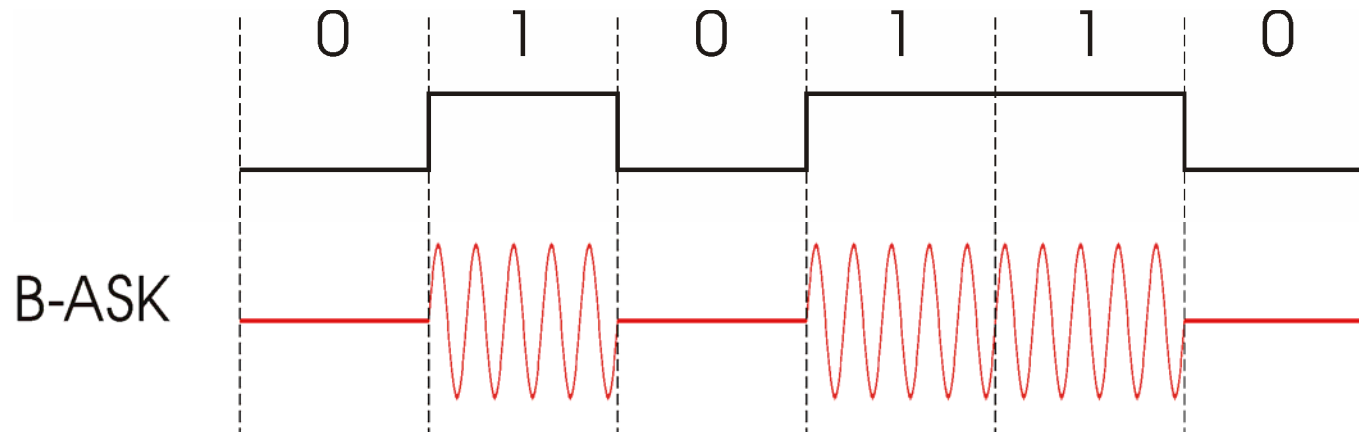


PREKLOP STIKALA:



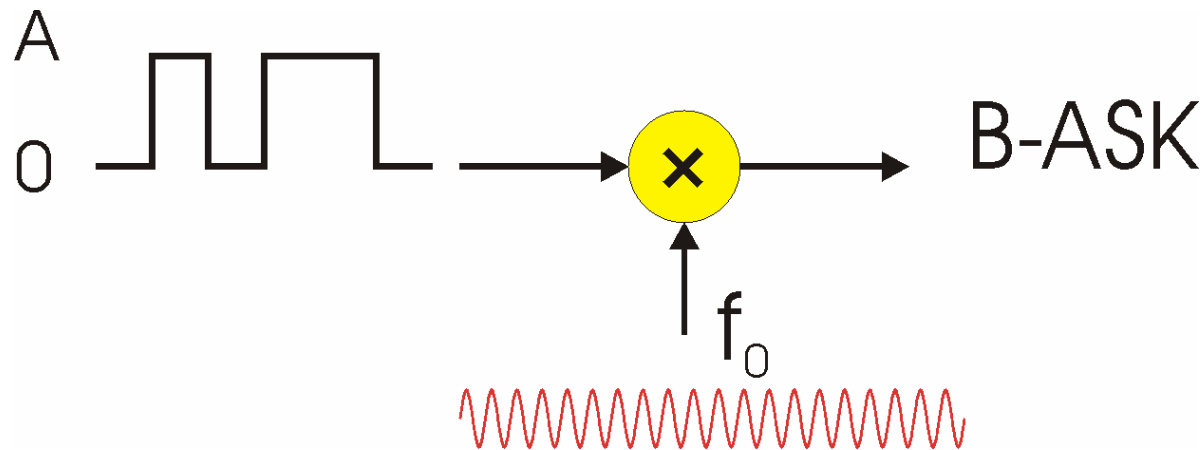
Amplitudna modulacija ASK

- Najbolj enostaven modulacijski postopek je **ASK** (Amplitude-Shift Keying).
- ASK signal dobimo preprosto z množenjem M- nivojskega digitalnega signala s harmoničnim nosilcem. Najbolj preprost primer ASK je binarni ASK:



Amplitudna modulacija B-ASK

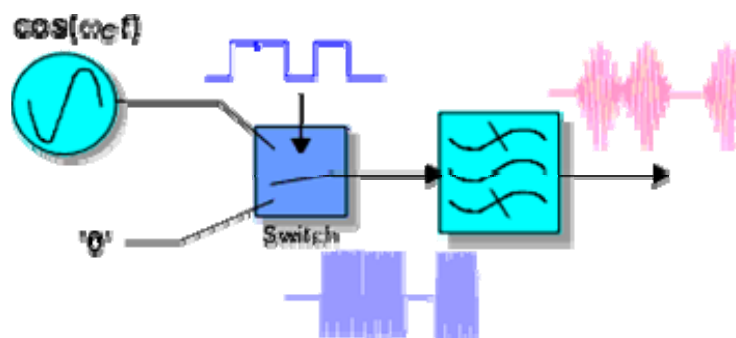
- ASK signal dobimo preprosto z množenjem binarnega digitalnega signala s harmoničnim nosilcem:



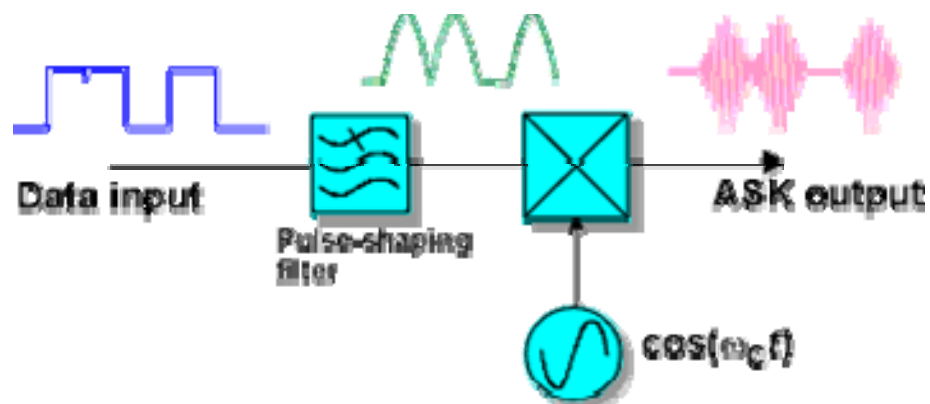
- Binarni ASK signal imenujemo tudi OOK - dobimo ga s preprostim prižiganjem in ugašanjem nosilca (ON-OFF Keying)

Omejevanje (oblikovanje) spektra

- Oblikovanje spektra po modulaciji:

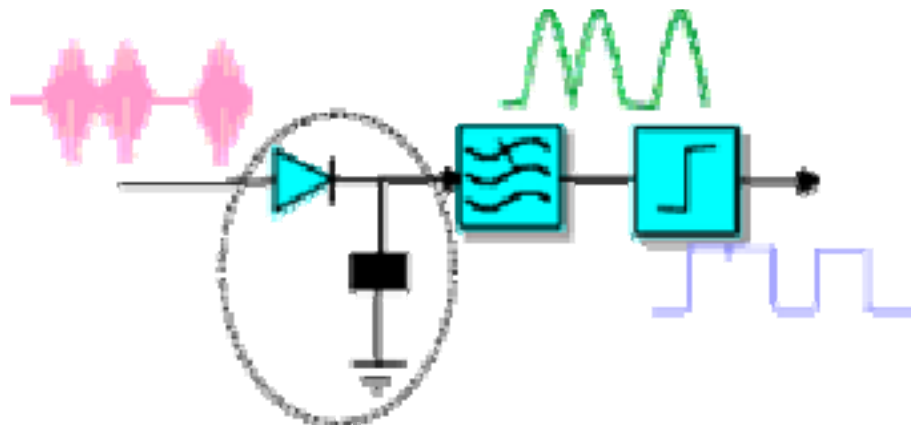


- Oblikovanje spektra signala pred modulacijo

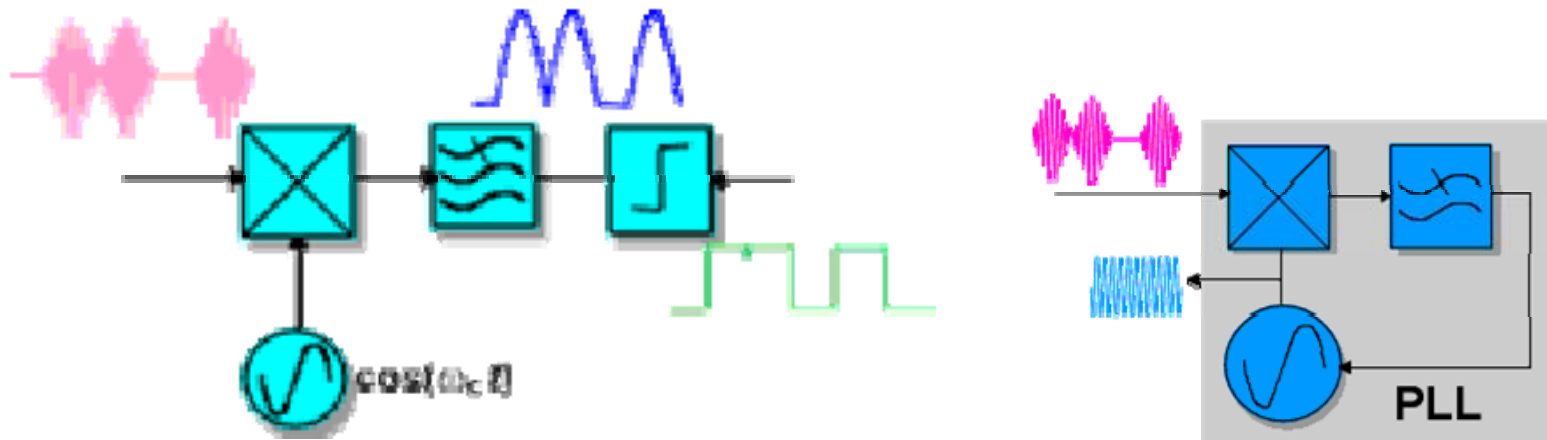


Demodulator ASK

- detektor ovojnice:



- koherentni detektor - sinhroni demodulator in regeneracija nosilca



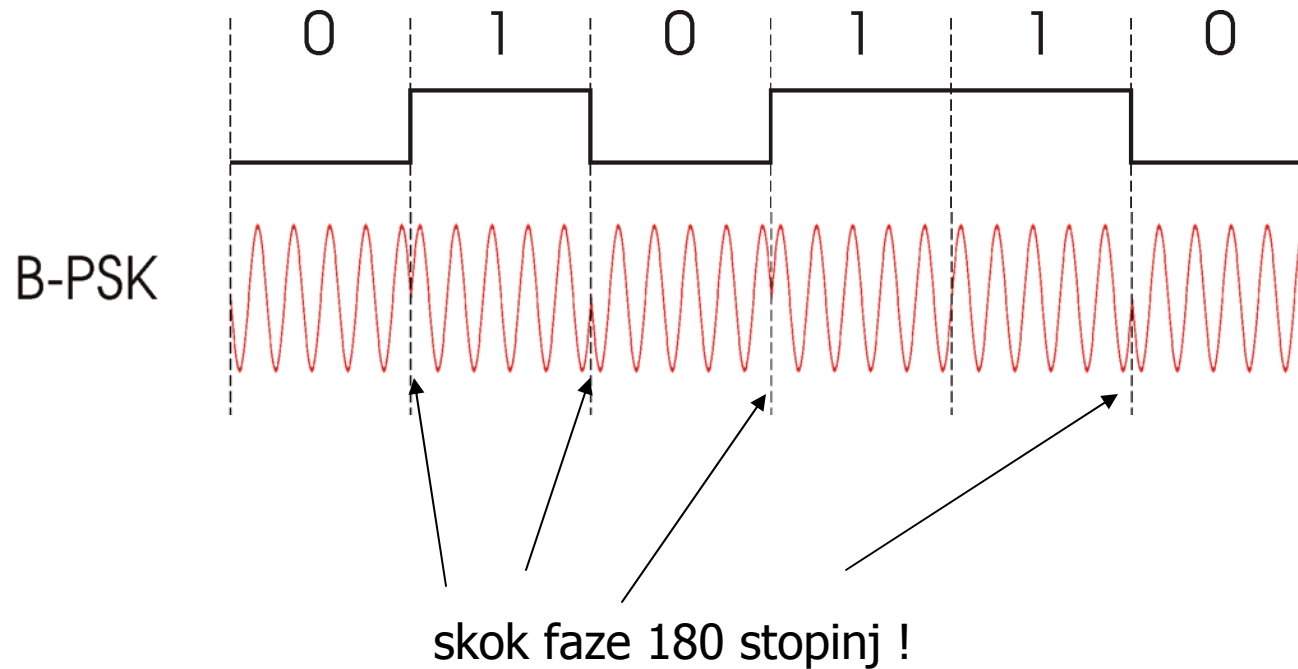


Lastnosti ASK

- ASK demodulator lahko deluje brez poznavanja informacije o frekvenci in fazi nosilca.
- Spektralna učinkovitost ASK je polovico manjša kot pri prenosu signala v osnovnem pasu, ker prenašamo oba bočna pasova.
- Ker je informacija v amplitudi, je ASK signal zelo občutljiv na šum in nelinearna popačenja.

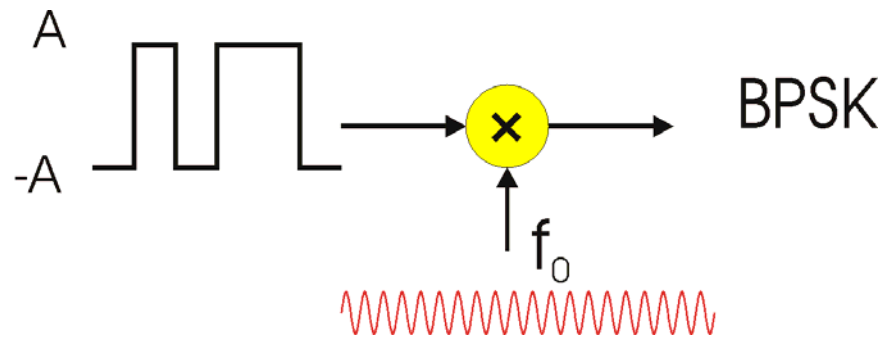
Fazna modulacija PSK

- Pri PSK (Phase Shift Keying) modulaciji se različni simboli ločijo med seboj po fazi nosilca. Najbolj enostaven primer PSK je binarni PSK:

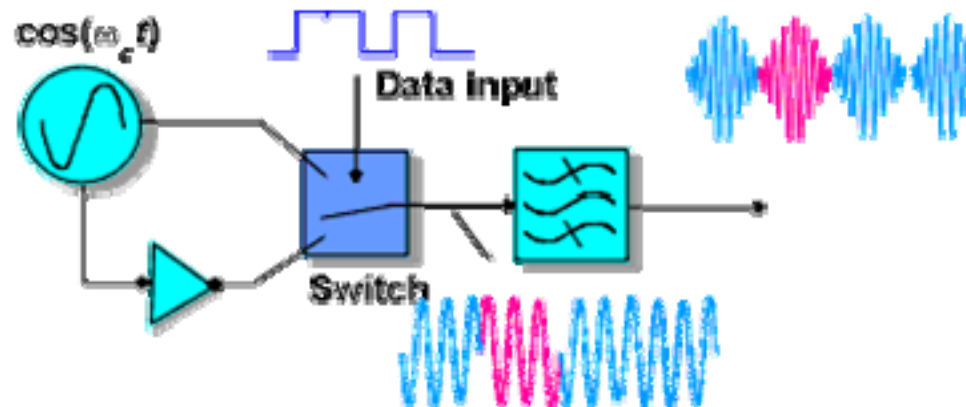


Binarna fazna modulacija BPSK

- BPSK signal dobimo z množenjem bipolarnega digitalnega signala s harmoničnim nosilcem:

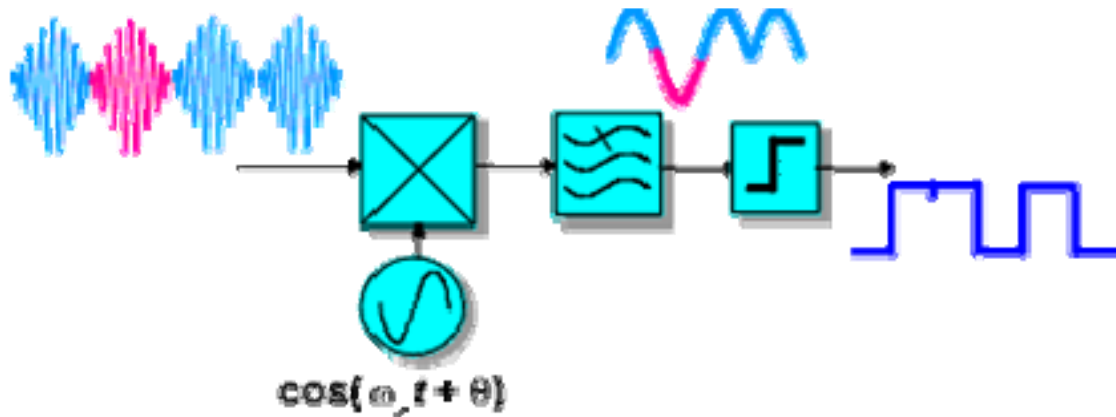


- nelinearni modulator:

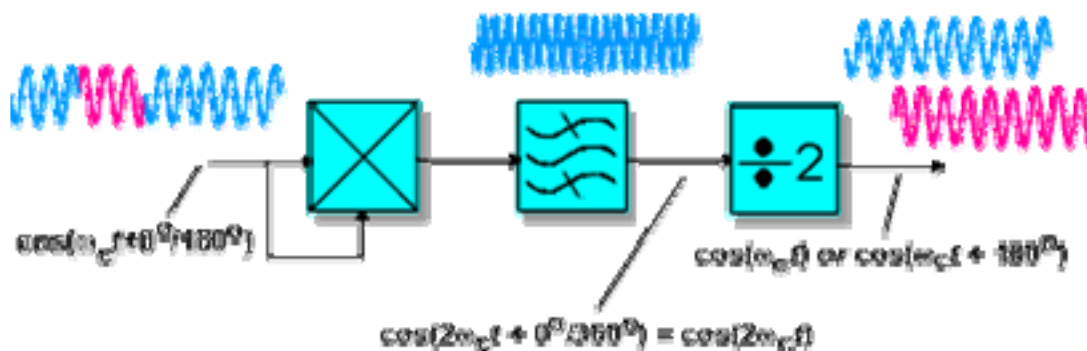


PSK demodulator

- PSK signal demoduliramo s sinhronim (koherentnim) detektorjem



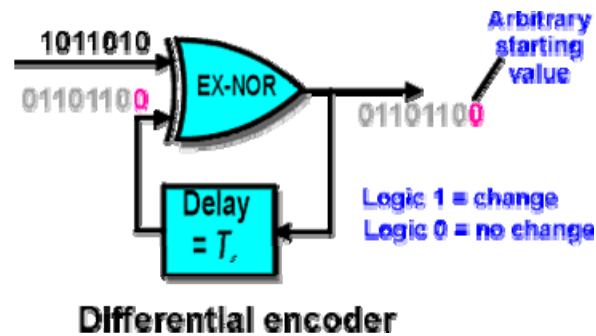
- regeneracija nosilca iz PSK signala: s kvadriranjem dobimo tudi nemoduliran signal z dvojno frekvenco !



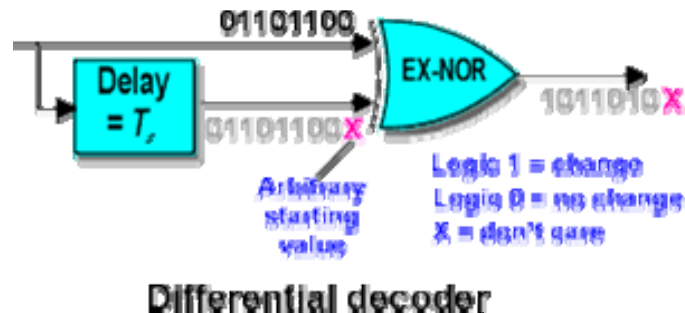
Faza ni določena!

Diferencialni PSK

- Absolutna faza ni pomembna, informacijo nosi sprememba faze !
- Signal na vhodu modulator najprej diferencialno kodiramo:

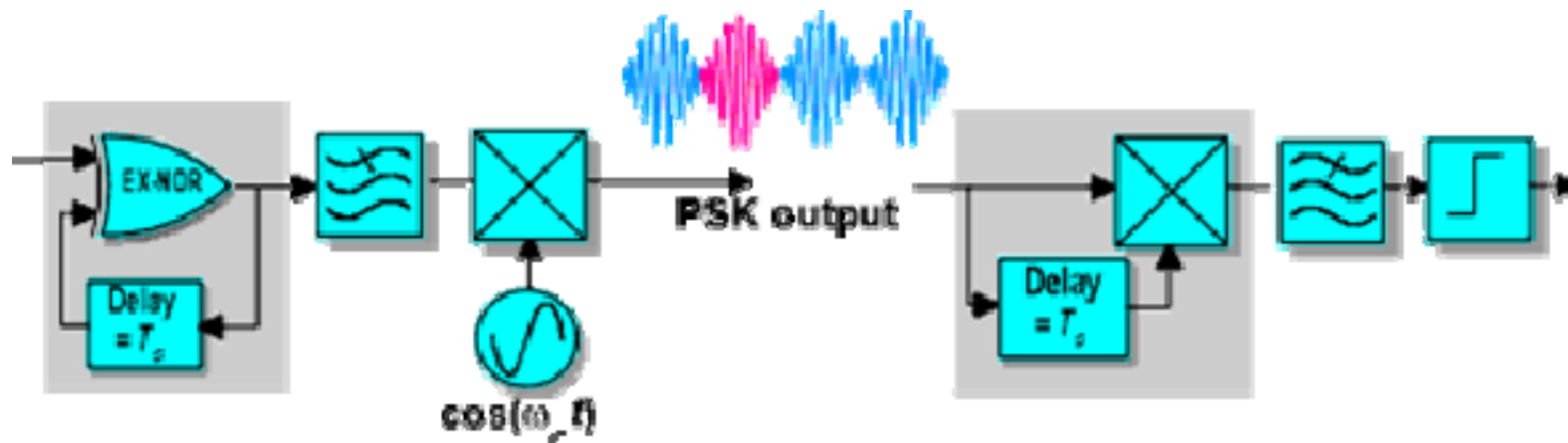


- Na izhodu demodulatorja lahko signal diferencialno dekodiramo:



DPSK

- Uporabimo diferencialni kodirnik pred modulacijo, v demodulatorju pa primerjamo fazo signala z zakasnjanim signalom:



- prednost DPSK : ne potrebujemo pomožnega signala nosilca !!



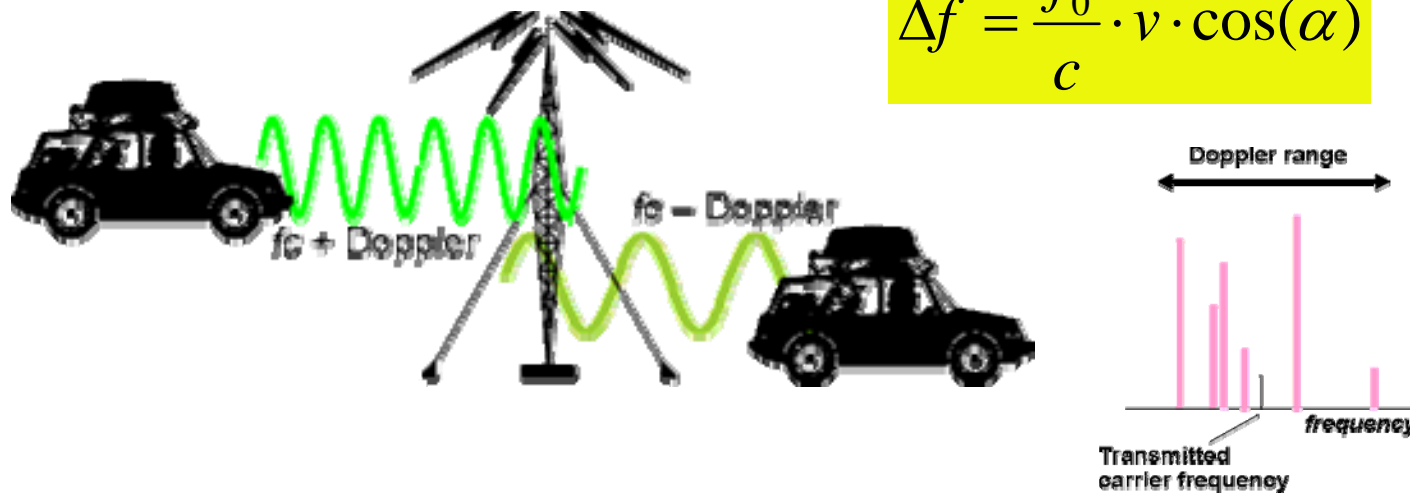
Lastnosti PSK

- PSK ni občutljiv na amplitudne motnje - signal v sprejemniku lahko limitiramo,
- PSK ni občutljiva na nelinearna popačenja: nelinearnost ojačevalnikov ne moti,
- Za demodulacijo PSK signala moramo v sprejemniku pridobiti informacijo o frekvenci in fazi nosilca. Obstaja rešitev: DPSK
- DPSK (Differential PSK): če uporabimo diferenčno kodiranje, zadošča , da je faza nosilca stalna, ne potrebujemo pa informacije o absolutni fazi. Informacije o nosilcu niti ne potrebujemo!

Dopplerjev pojav

- Če se razdalja med sprejemnikom in oddajnikom spreminja nastopi premik frekvenc:

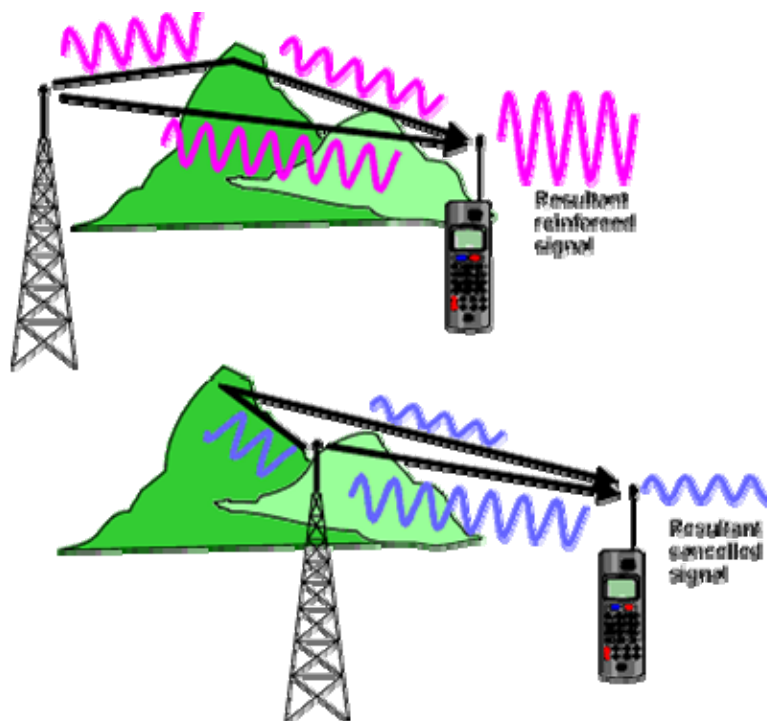
$$\Delta f = \frac{f_0}{c} \cdot v \cdot \cos(\alpha)$$



- Primer: Pri frekvenci nosilca $f_0=1\text{GHz}$ in relativni hitrosti premikanja 100km/h je odmik 92.6Hz

Razširjanje signala po več poteh

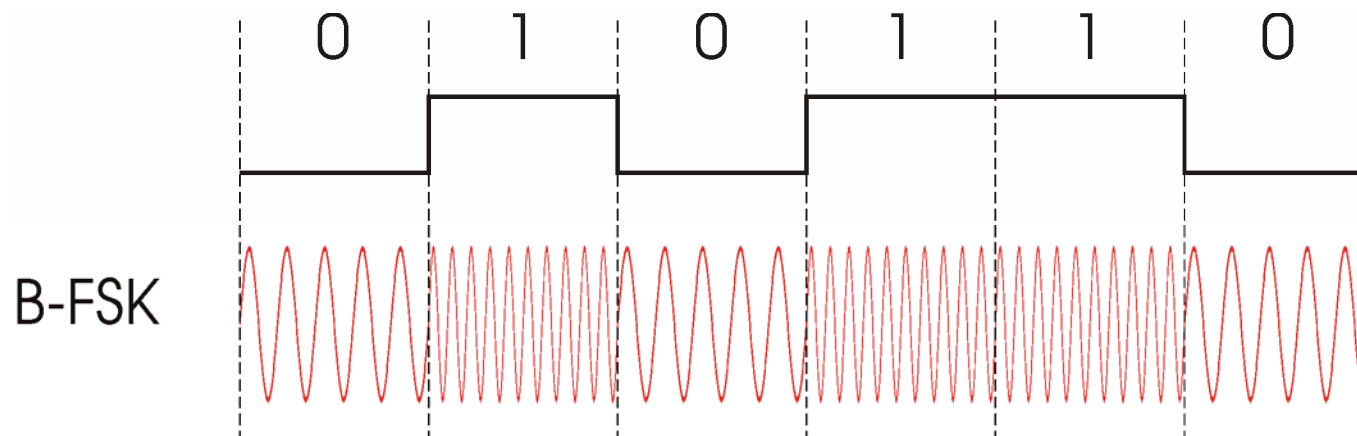
- Signal v sprejemniku je vsota različno zakasnenih komponent:



- Če se uporabnik premika, nastopi še Dopplerjev pojav. Za signale ki prihajajo iz različnih smeri so frekvenčni premiki različni !!!

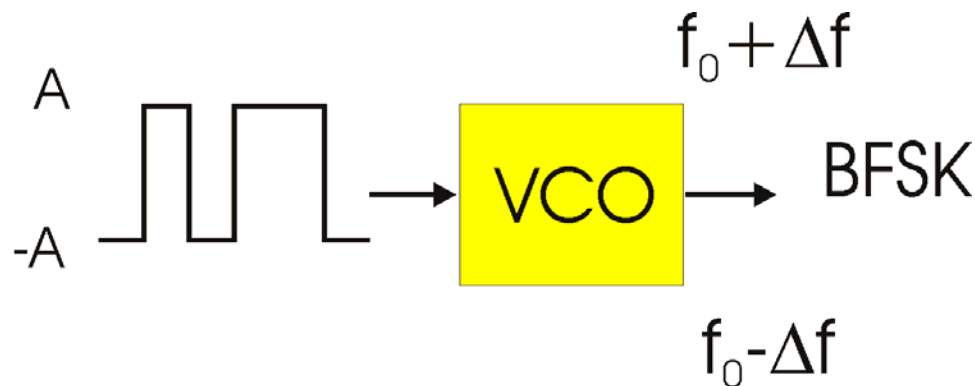
Frekvenčna modulacija FSK

- Pri FSK (Frequency Shift Keying) modulaciji se simboli razlikujejo po frekvenci harmoničnega signala.
- Najbolj enostaven primer FSK je binarni FSK:

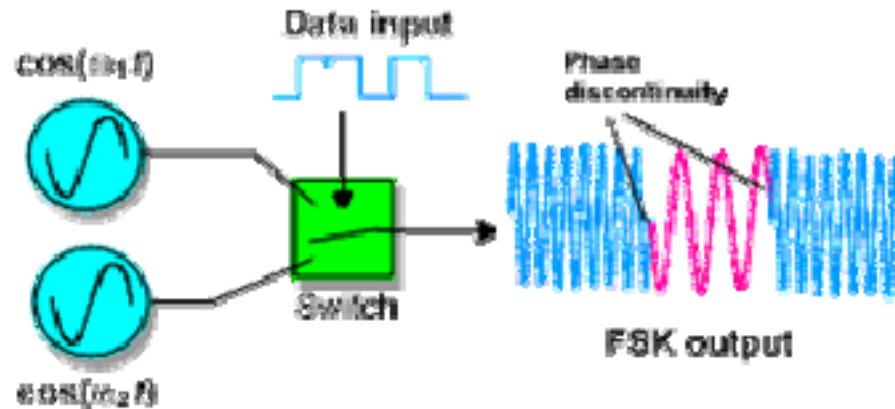


Binarna frekvenčna modulacija = BFSK

- BFSK signal dobimo na izhodu napetostno krmiljenega oscilatorja, če mu na vhod priključimo binarni digitalni signal:

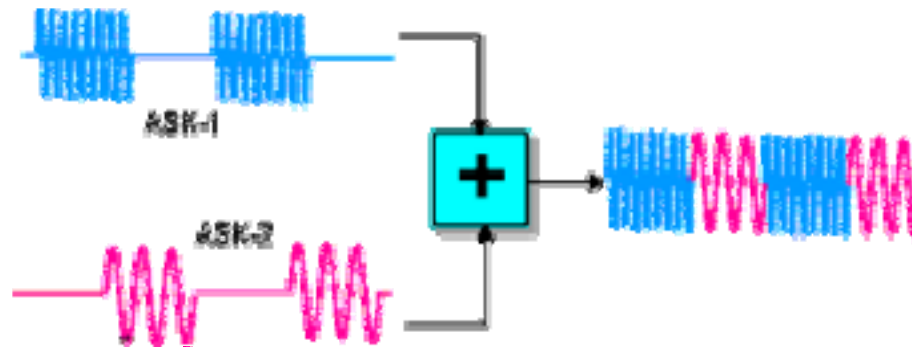


- Nelinearni modulator:

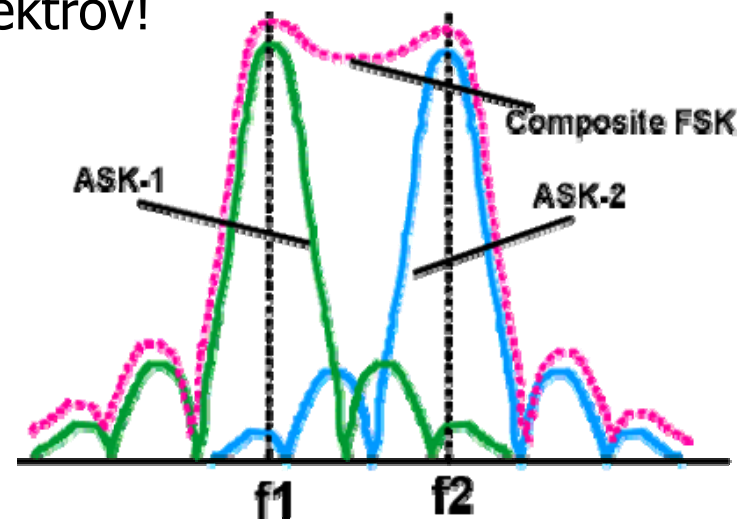


Spekter FSK

- Binarni FSK lahko predstavimo z vsoto dveh B-ASK signalov:



- Ker sta ASK signala soodvisna spekter vsote v območju prekrivanja ni enak vsoti spektrov!





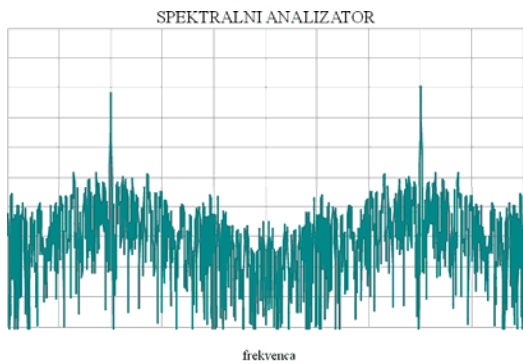
Lastnosti FSK

- FSK modulacijo odlikuje velika odpornosti na motnje.
- Ker je informacija vsebovana v frekvenci, FSK signal ni občutljiv na nelinearna popačenja
- Demodulacija FSK signala dopušča frekvenčne premike signala, ki nastopajo zaradi Dopplerjevega pojava !!
- Glavno slabost predstavlja majhna spektralna učinkovitost, kar lahko izboljšamo z MSK.

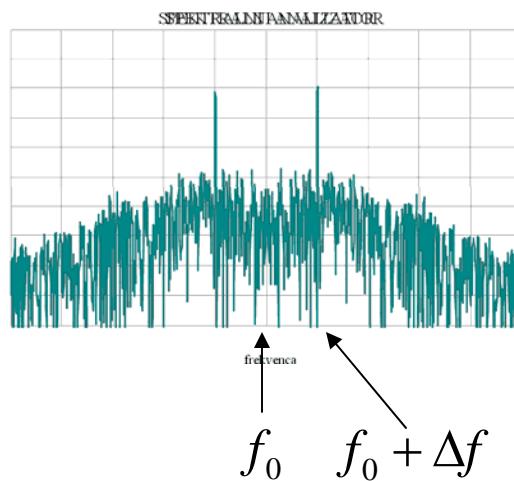
Spekter FSK

- Širina spektra je odvisna od frekvenčne deviacije:

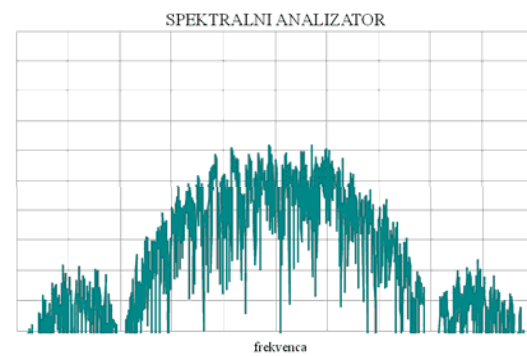
$$\Delta f = 3 \frac{f_s}{4}$$



$$\Delta f = \frac{f_s}{4}$$

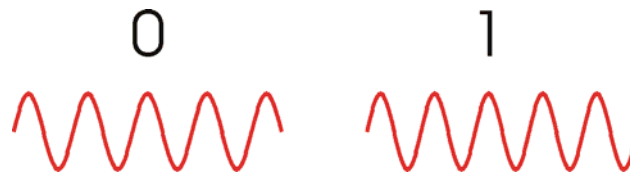


$$\Delta f = \frac{f_s}{4} \text{ MSK !}$$

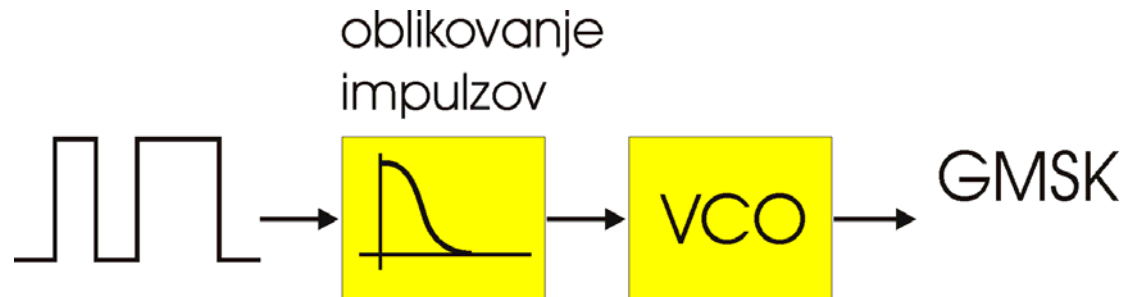


MSK in GMSK

- Širina spektra BFSK signala je odvisna predvsem od frekvenčne deviacije Δf . Širino spektra močno zmanjšamo, če uporabimo minimalni frekvenčni skok MFSK (Minimum Frequency Shift Keying):

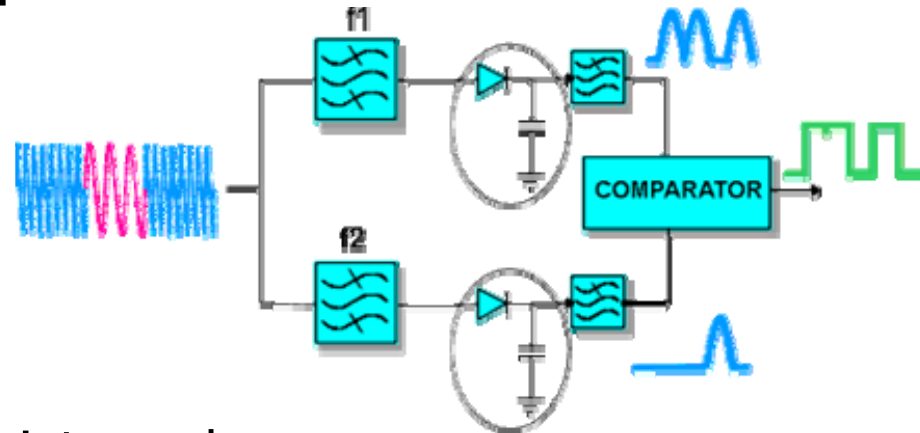


- V sistemu mobilnih komunikacij GSM se uporablja modulacija GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), pri kateri pravokotne impulze na vhodu VCO najprej oblikujemo z Gaussovimi sitom:

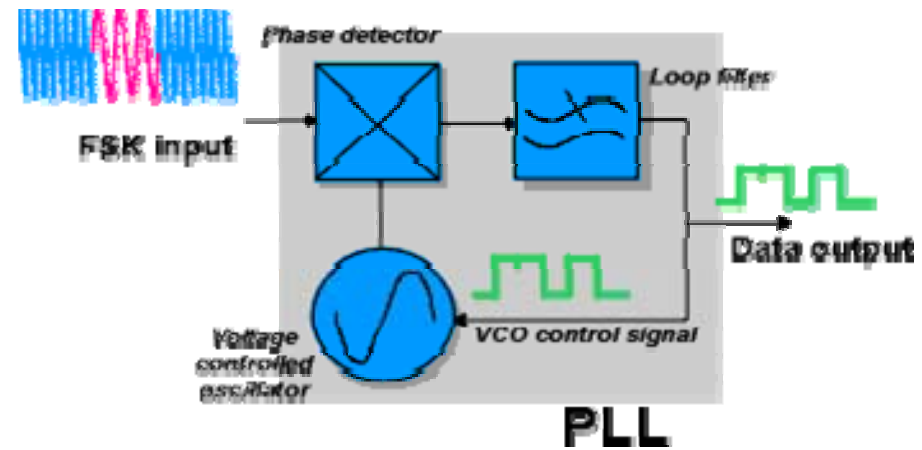


FSK demodulator

- Nekoherentni detektor:

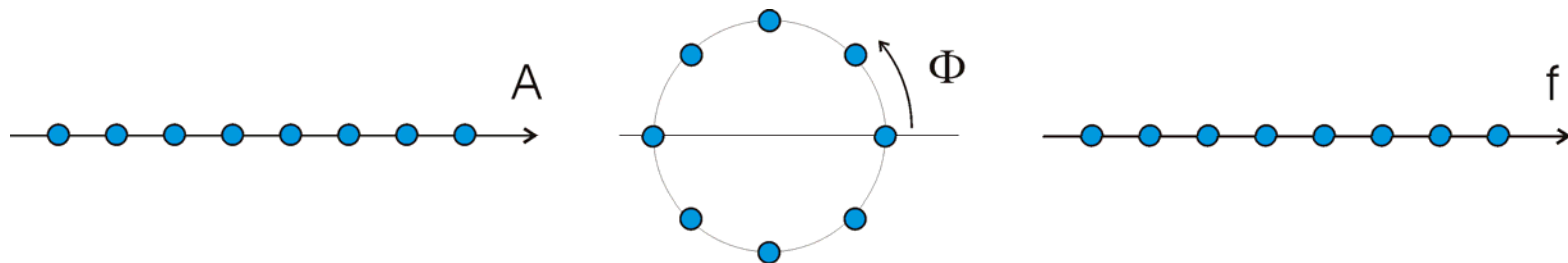


- Demodulator s fazno ujeto zanko:



Večnivojski ASK, PSK in FSK

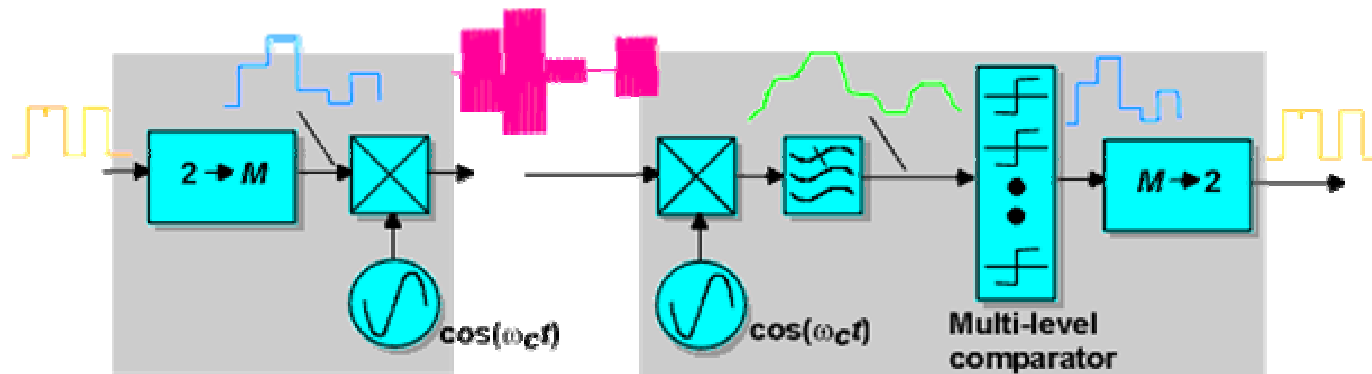
- Preproste binarne modulacije omogočajo prenos enega bita na simbol. Če želimo povečati učinkovitost modulatorskega postopka, moramo povečati:
 - M = število različnih amplitud nosilca pri ASK modulaciji: **M-ASK**
 - M = število različnih faz nosilca pri PSK modulaciji: **M-PSK**
 - M = število različnih frekvenc pri FSK modulaciji: **M-FSK**.



- Kakšne so posledice povečanja števila simbolov iz 2 na M ?
 - informacijski pretok je večji za faktor $\log_2(M)$,
 - razlike med simboli se zmanjšajo, zato je večja občutljivost na šum in s tem več napak pri prenosu,
 - poveča se kompleksnost modema .

Večnivojski ASK

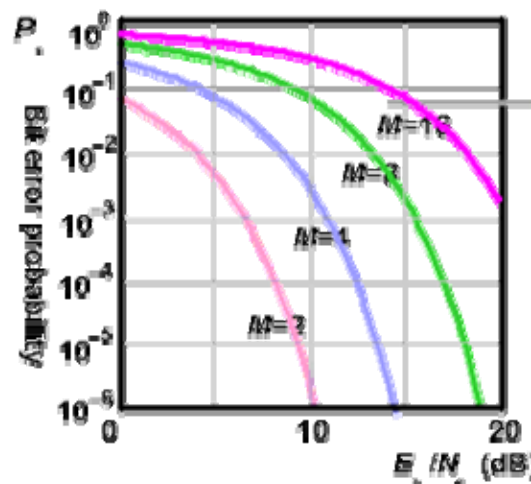
- M različnih amplitud nosilca: **M-ASK**



- Pri nespremenjeni moči se zmanjša razlika med simboli, zato je prenos bolj občutljiv na šum:

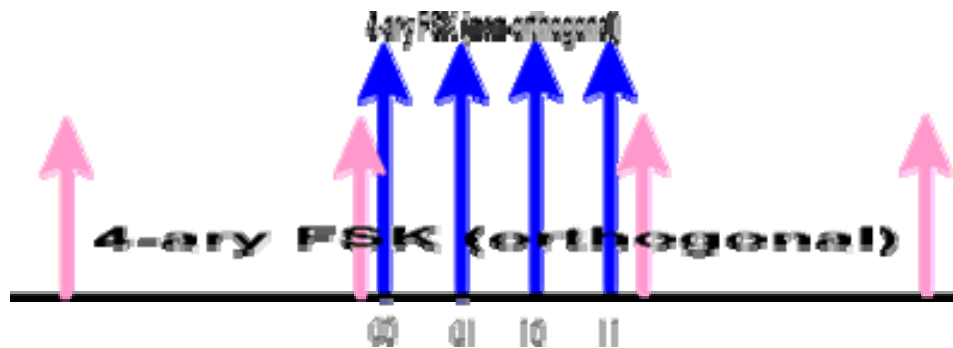
$$M\text{-ASK(symbol)}: P_b = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \sqrt{\frac{M^2 - 1}{2M}} \right) \right]$$

$$M\text{-ASK(bit)}: P_b = M \text{-ASK(symbol)} \log_2 M$$

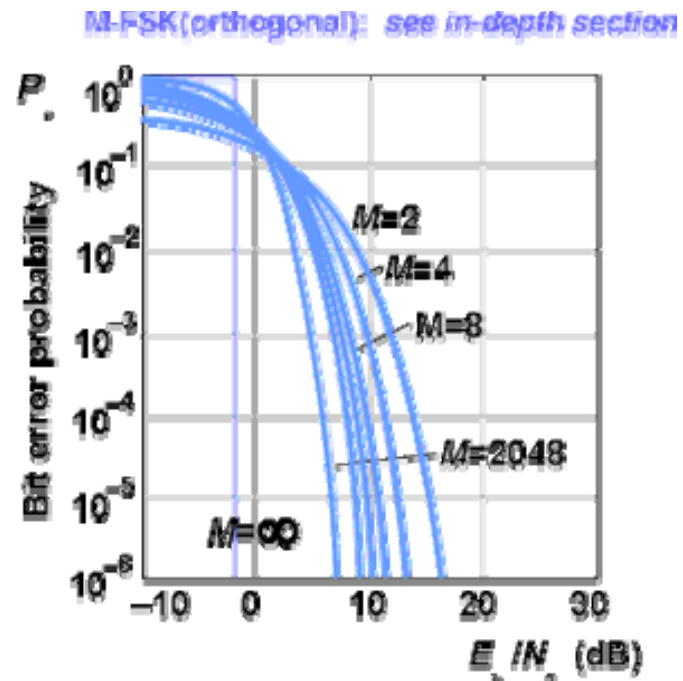


Večfrekvenčni FSK

- M različnih frekvenc nosilca: **M-FSK**

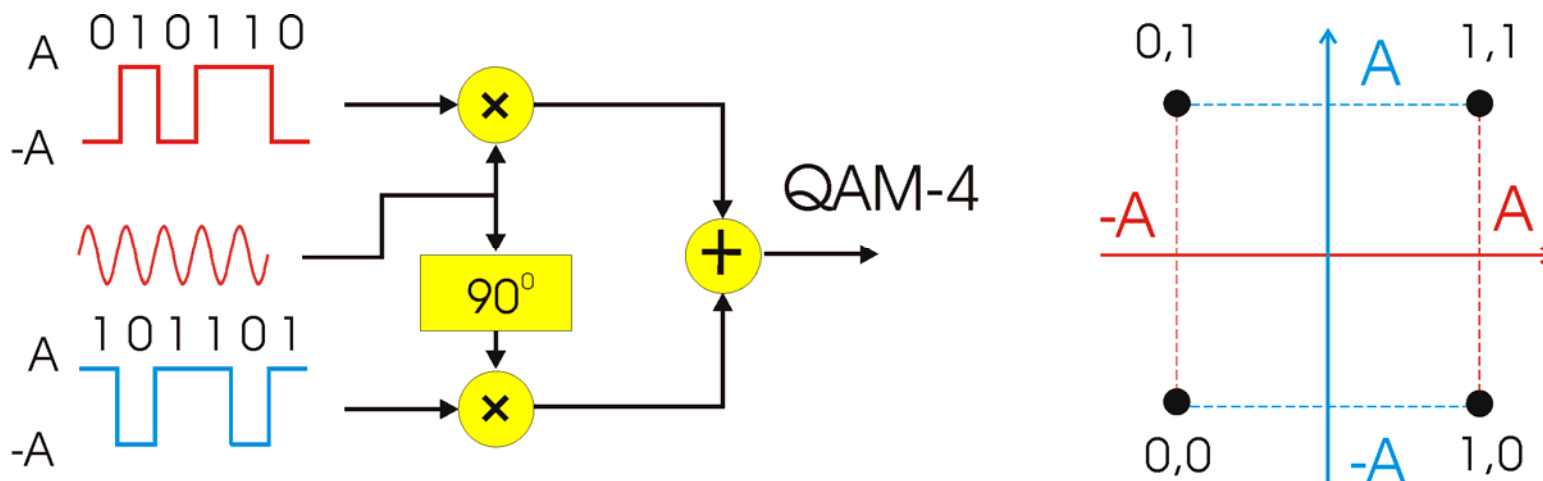


- Na račun povečanja pasovne širine se kvaliteta prenosa ob nespremenjeni moči povečuje s številom nosilcev !



Kvadratura amplitudna modulacija QAM

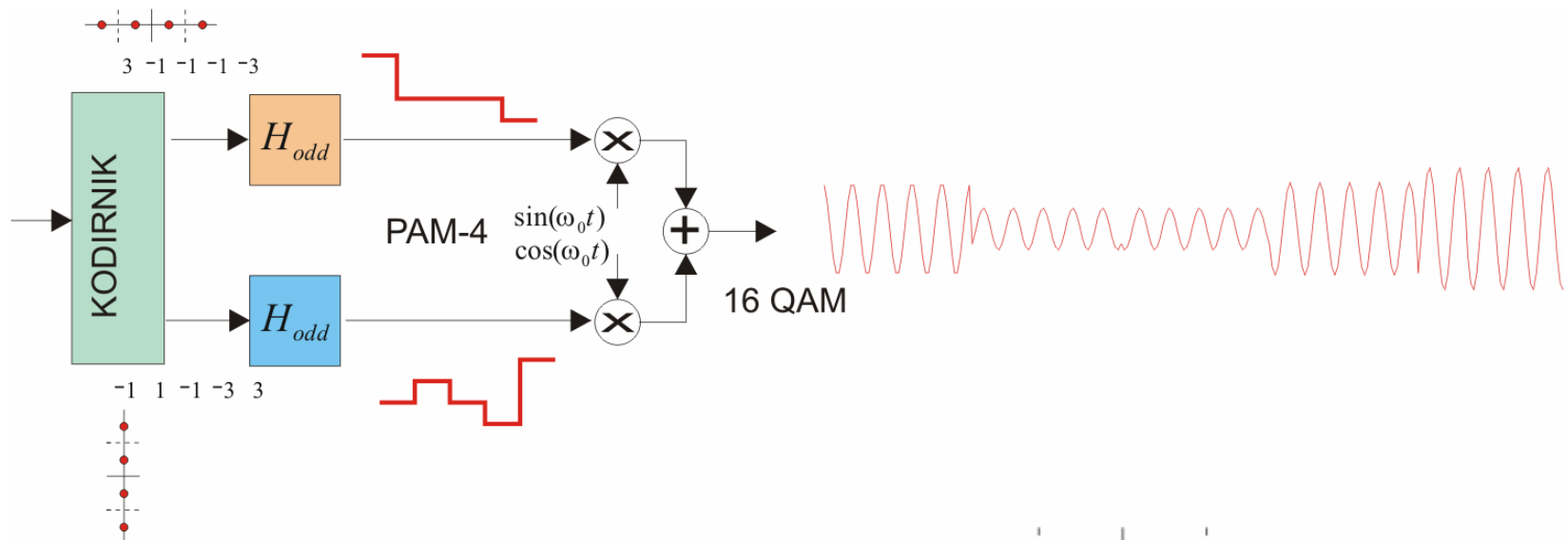
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation) signal je vsota dveh amplitudno moduliranih signalov. Ločitev obeh komponent v sprejemniku je mogoča zaradi ortogonalnosti nosilcev:



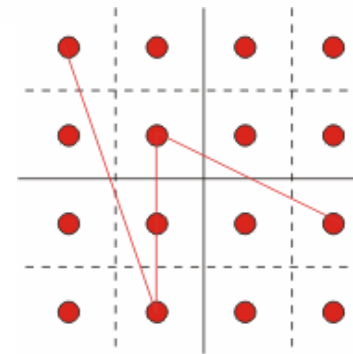
- Minimalna širina spektra QAM signala je f_s !
- Digitalna signala na vходу obeh amplitudnih modulatorjev dobimo s časovno razdelitvijo informacijskega signala.

16 QAM

- 16 QAM signal je vsota dveh amplituno moduliranih 4-PAM signalov, nosilca sta ortogonalna

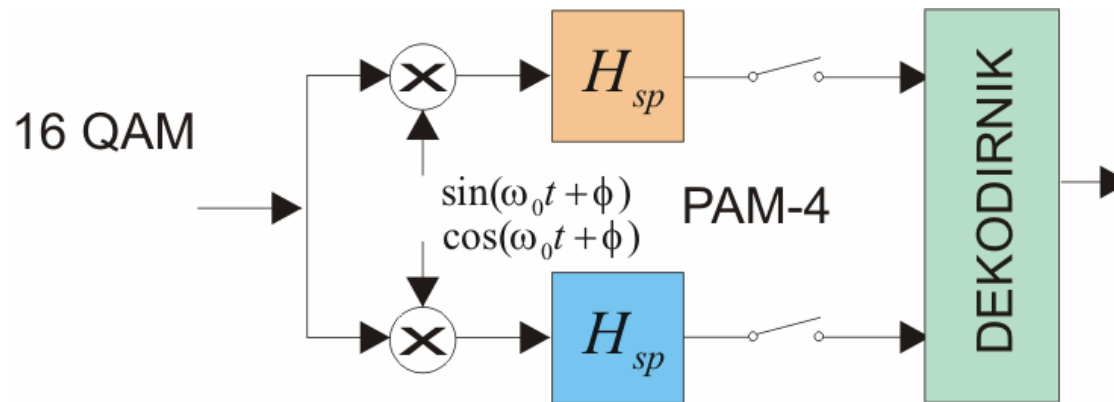


- Konstalcijski diagram ponazarja 16 kombinacij amplitud in faz nosilca:

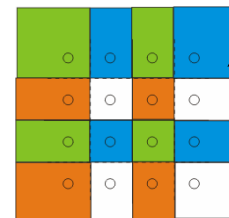
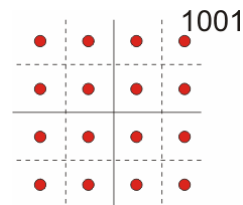


QAM demoulator

- Za QAM demodulacijo potrebujemo koherentni sprejemnik. Z ortogonalnima nosilcema demoduliramo dva PAM signala:



- Detekcija znakov temelji na prepoznavi parov vzorcev PAM signalov iz obeh vej

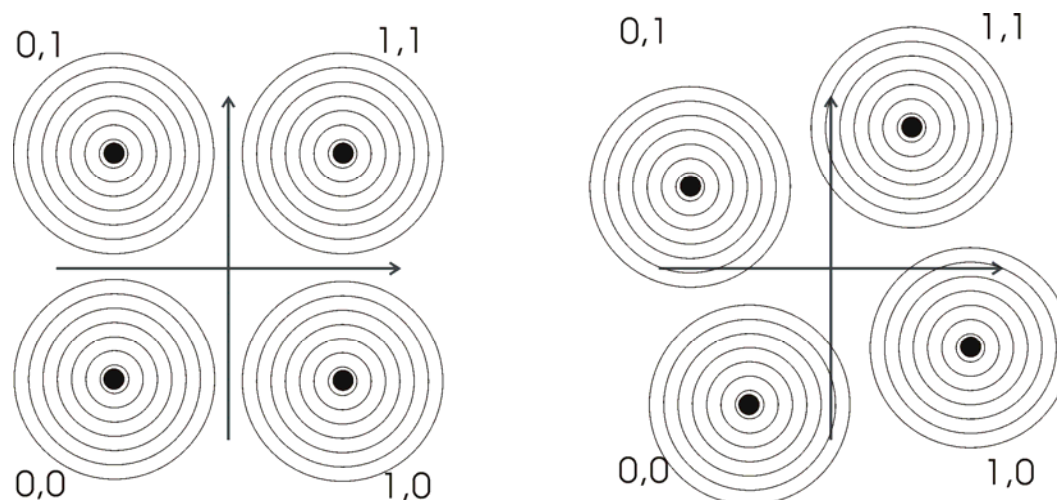


vrednosti vzorcev: 2.1 ,2.9

→ koda=1001

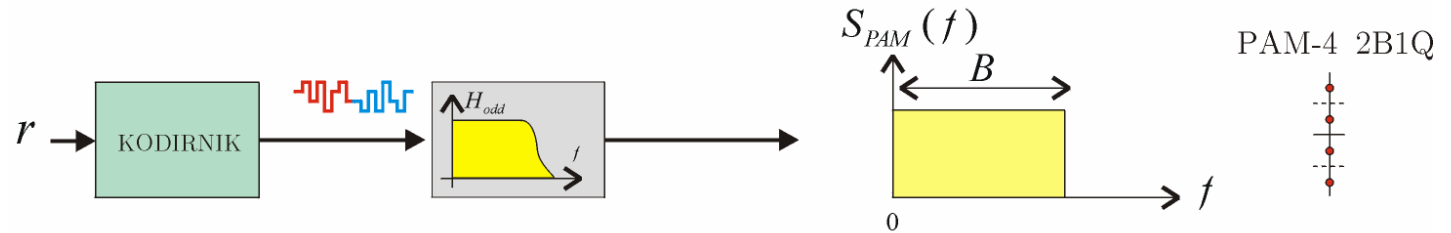
Lastnosti QAM

- M-QAM ima veliko spektralno učinkovitost: na kanalu s pasovno širino B lahko odvisno od velikosti šuma prenašamo največ $B \cdot \log_2(M)$ bitov v sekundi.
- QAM je občutljiva na nelinearna popačenja !!
- Pri demodulaciji potrebujemo natančno informacijo o frekvenci in fazi nosilca !
- Zasuk faze pomožnega nosilca povzroči napake pri sprejemu:

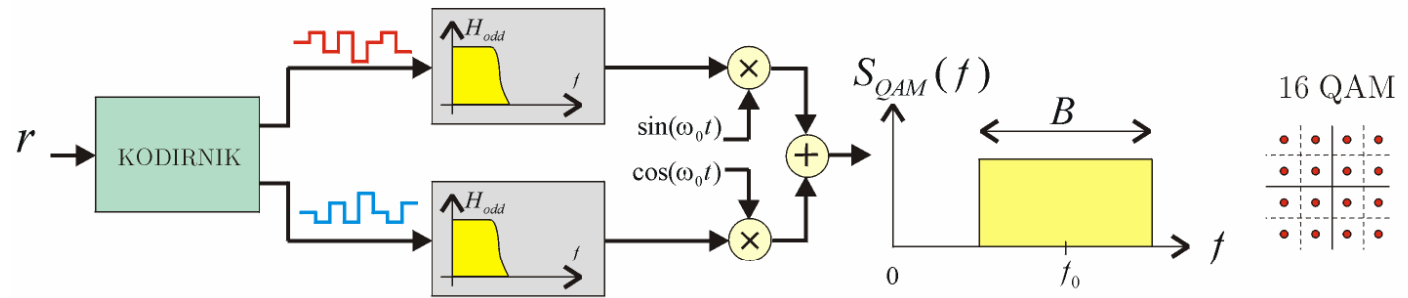


Spektralno učinkoviti prenosni sistemi

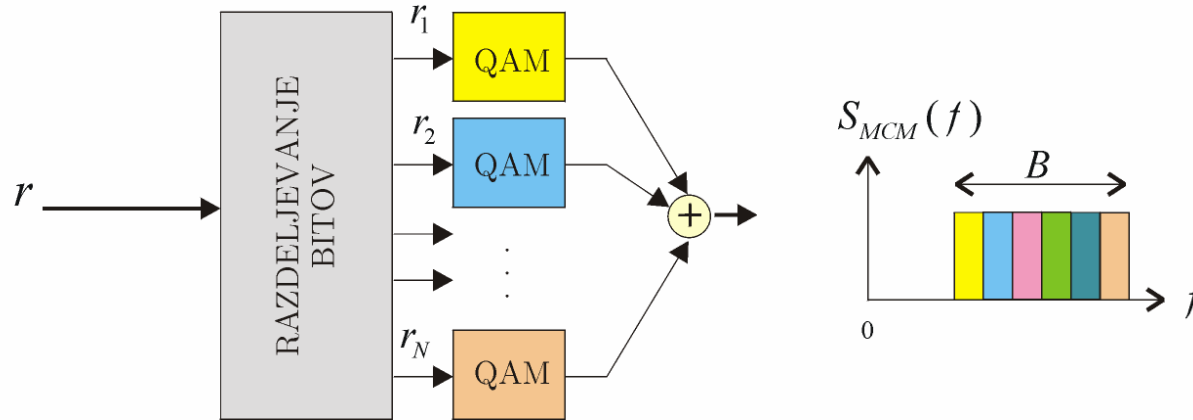
- PAM



- QAM



- MCM
DMT
OFDM





Katera modulacija je najboljša ?

- Izbira modulatorskega postopka je odvisna od razmer na prenosnem kanalu:

žični prenosni kanal:

- če je na razpolago osnovni pas od 0Hz dalje, modulacija ni potrebna!
- sodobni telefonskih modemi uporabljajo kodirani QAM = TCM,
- nekatere xDSL tehnologije uporabljajo CAP (QAM) in DMT (večkanalni QAM),

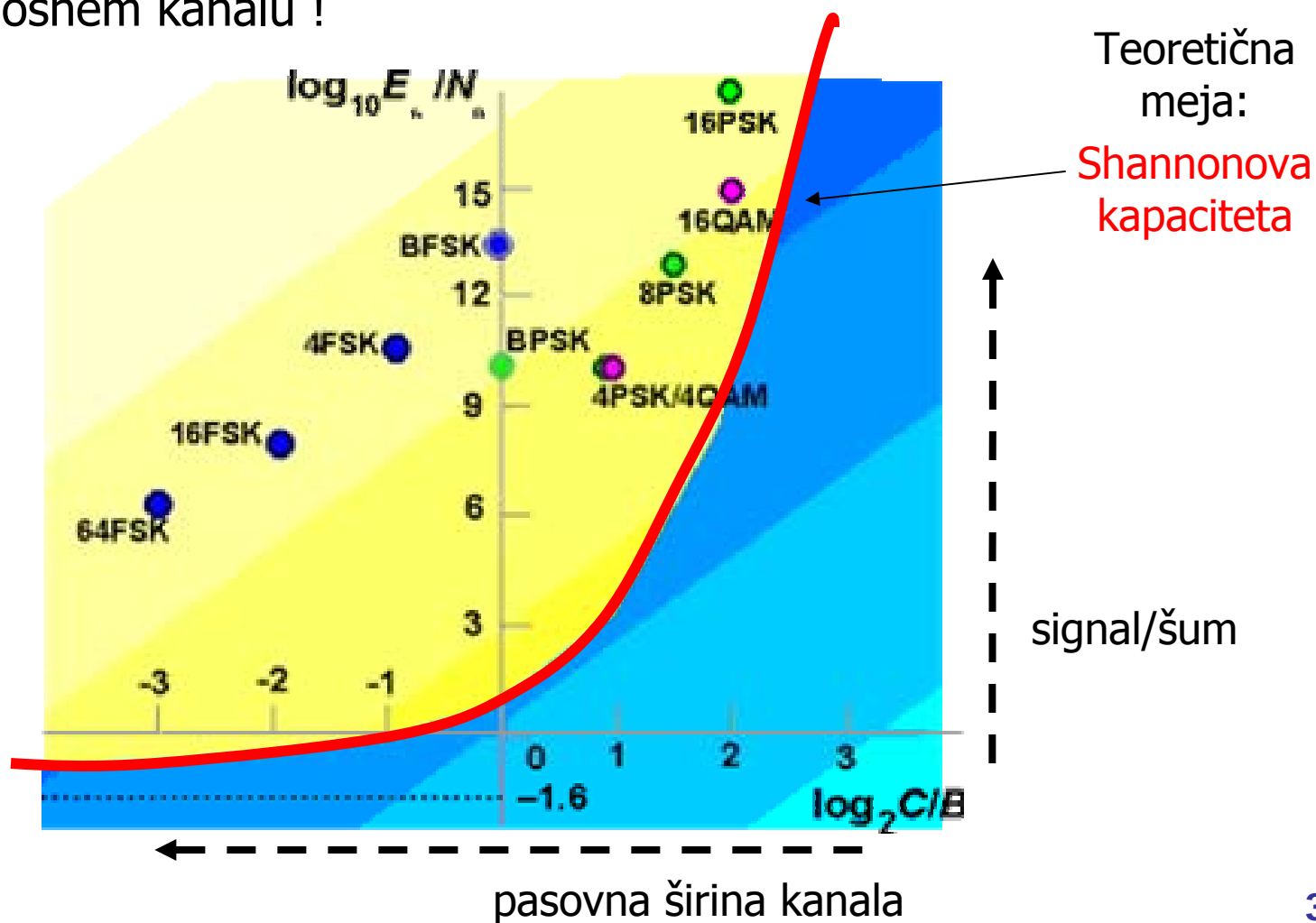
radijski prenosni kanal:

- na mobilnem kanalu se uporablja FSK, PSK, (QAM)
- digitalni radio in TV (DAB in DVB) uporabljata OFDM (večkanalni DQPSK in QAM)
- zmožljive fiksne radijske povezave uporabljajo QAM

katera modulacija je najboljša ?

Katera modulacijo izberemo ?

- Izbira modulatorskega postopka je odvisna od razmer na prenosnem kanalu !





Digitalni modulacijski postopki

- Nelinearni digitalni modulator
- Digitalne modulacije
 - ASK
 - PSK
 - FSK
 - QAM
- Izbira modulacije ?