

## Digitalne modulacije

---

*MSK (Minimum Shift Keying)*

**MSK**

- MSK spada u tzv. modulacije sa kontinualnom promenom faze (CPM – *Continuous Phase Modulation*)
  - Ne postoje skokovite promene faze na prelazima između signalizacionih intervala, već se faza kontinualno menja
- MSK može da se posmatra na dva načina
  1. Kao specijalan slučaj OQPSK modulacije, kod koje modulišući signali umesto NRZ elementarnog impulsa, imaju elementarne impulse polukosinus (*half cosine*) – komponenta u fazi, odnosno polusinus (*half sine*) – komponenta u kvadraturi
  2. Kao specijalan slučaj binarne CPFSK (*Continuous Phase FSK*) modulacije

- Posmatran kao specijalan slučaj CPFSK, analitički oblik MSK modulisanog signala u toku signalizacionog intervala,  $kT \leq t < (k+1)T$ , glasi:

$$s_m(t) = A \cos \left( 2\pi \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) t + x_k \right)$$

gde je:

- $d_k \in \{1, -1\}$
- $x_k \in \{0, \pi\}$
- $d_k$  se nezavisno menja iz intervala u interval, i određuje dve noseće frekvencije:
  - $f_1 = f_0 - \frac{1}{4T}$  i  $f_2 = f_0 + \frac{1}{4T}$
- Razmak između nosećih frekvencija je  $\Delta f = \frac{1}{2T}$  - što je minimalno moguće rastojanje kod koherentne FSK (i uopšte kod FSK), da bi uslov ortogonalnosti bi zadovoljen
  - Odatve i ime MSK – Minimum Shift Keying

- Vrednost  $x_k$  se bira tako da trenutna faza modulisanog signala nema skokovitu promenu na kraju signalizacionog intervala, tj:

$$2\pi \left( f_0 + \frac{d_{k-1}}{4T} \right) kT + x_{k-1} = 2\pi \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) kT + x_k$$

- Lako se pokazuje da je:

$$x_k = \left( x_{k-1} + \frac{\pi k}{2} (d_{k-1} - d_k) \right) \bmod 2\pi$$

- Drugim rečima,  $x_k$  je diferencijalno kodovan simbol u odnosu na  $x_{k-1}$

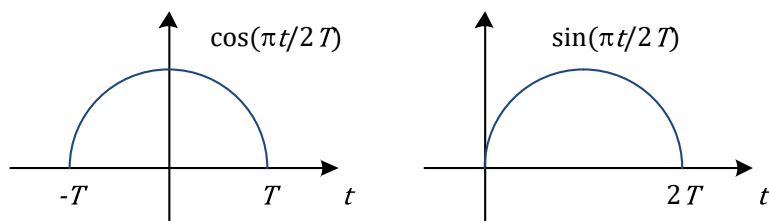
- Važi:

$$\begin{aligned} s_m(t) &= A \cos \left( 2\pi \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) t + x_k \right) \\ &= A \cos x_k \cos \left( 2\pi \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) t \right) - A \sin x_k \sin \left( 2\pi \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) t \right) \\ &= A \cos x_k \cos \left( 2\pi \left( f_0 + \frac{d_k}{4T} \right) t \right) \\ &= A \cos x_k \cos \left( 2\pi \frac{d_k}{4T} t \right) \cos(2\pi f_0 t) - A \cos x_k \sin \left( 2\pi \frac{d_k}{4T} t \right) \sin(2\pi f_0 t) \\ &= A \cos x_k \cos \left( \frac{\pi t}{2T} \right) \cos(2\pi f_0 t) - A d_k \cos x_k \sin \left( \frac{\pi t}{2T} \right) \sin(2\pi f_0 t) \\ &= a_k \cos \left( \frac{\pi t}{2T} \right) \cos(2\pi f_0 t) + b_k \sin \left( \frac{\pi t}{2T} \right) \sin(2\pi f_0 t) \end{aligned}$$

gde je:

$$\begin{aligned} a_k &= A \cos x_k = \pm A \\ b_k &= A d_k \cos x_k = \pm A \end{aligned}$$

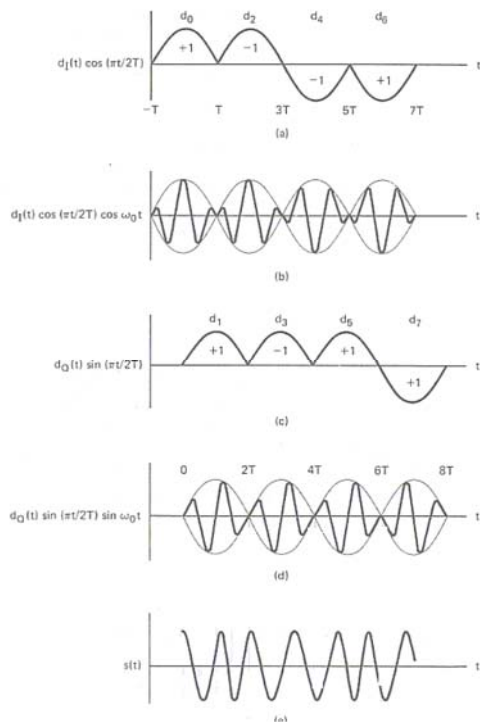
- Iz prethodnog izraza se vidi da su informacioni simboli  $a_k$  i  $b_k$  dodatno modulirani elementarnim impulsima  $\cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right)$  – polukosinus i  $\sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right)$  – polusinus



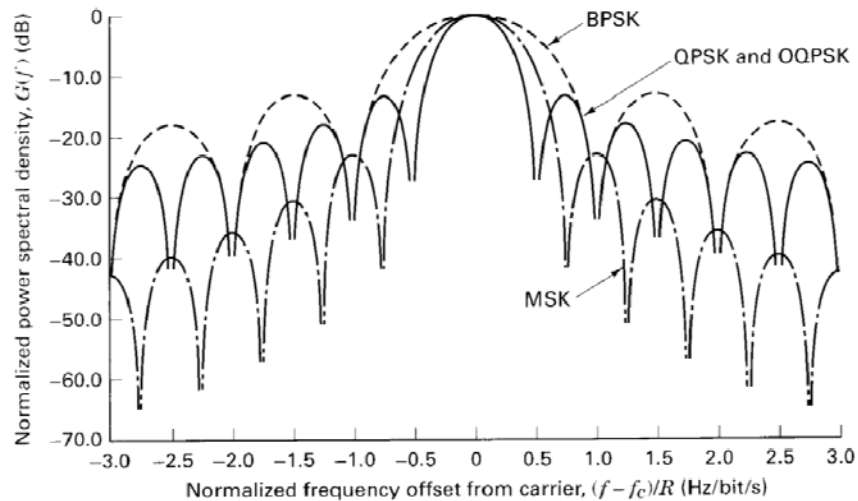
- Trajanja polukosinusa i polusinusa su pomerena za polovinu trajanja svojih signalizacionih intervala
- Vidi se da je modulirani signal u stvari OQPSK signal kod koga su elementarni impulsi polukosinus i polusinus

## Primer

- Sa  $d_I(t)$  je označen informacioni niz  $\{a_k\}$ , a sa  $d_Q(t)$  je označen informacioni niz  $\{b_k\}$



## Poređenje SGSS BPSK, QPSK, OQPSK i MSK



- BPSK ima najširu prvu arkadu
  - Zato što za dati digitalni protok, poseduje duplo veću brzinu signaliziranja nego preostale modulacije
  - SGSS QPSK i OQPSK su identične
    - Ofset modulišićih signala ne utiče na SGSS
  - Prva arkada SGSS kod QPSK/OQPSK je duplo uža nego kod BPSK
    - Brzina signaliziranja je duplo manja
  - Iako imaju istu brzinu signaliziranja, prva arkada SGSS kod MSK je šira nego kod QPSK/OQPSK
    - Posledica elementarnih impulsa polukosinus/polusinus
  - Bočni lobovi kod MSK brže opadaju nego kod QPSK/OQPSK
    - MSK ima najmanju efektivnu širinu spektra

## GMSK (*Gaussian* MSK)

- Kod GMSK, modulišući signali se dodatno uobličavaju tzv. Gausovim filtrom
- U odnosu na MSK, kod GMSK su bočni lobovi u spektru signala dodatno potisnuti
  - Efektivna širina spektra je manja, pa je veća spektralna efikasnost
  - Mana GMSK je ta što obrada Gausovim filtrom uzrokuje pojavu ISI
    - Zahtevaju se komplikovani postupci ekvalizacije radi eliminacije ISI
    - Zahteva se veća snaga za isti kvalitet prenosa

**KRAJ**