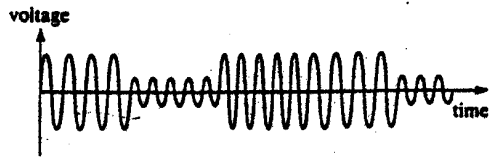


Modulações digitais

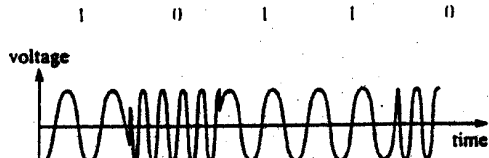
2

Apresentação das modulações digitais
PSK, FSK, ASK e QAM

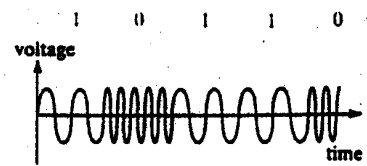
Modulações digitais ASK, PSK e FSK



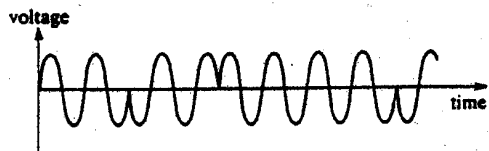
amplitude shift keying (ASK)



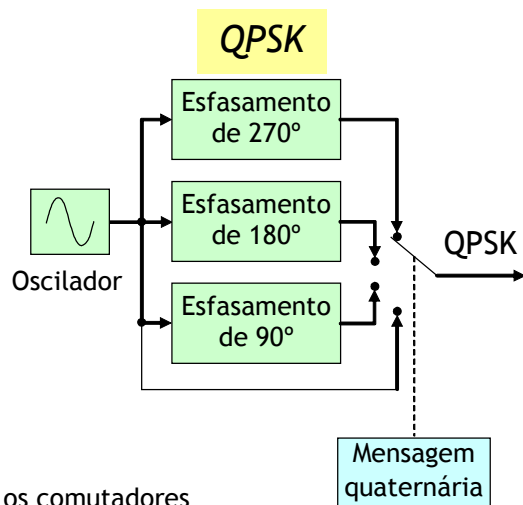
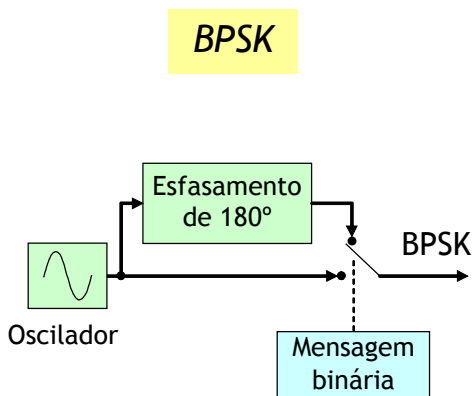
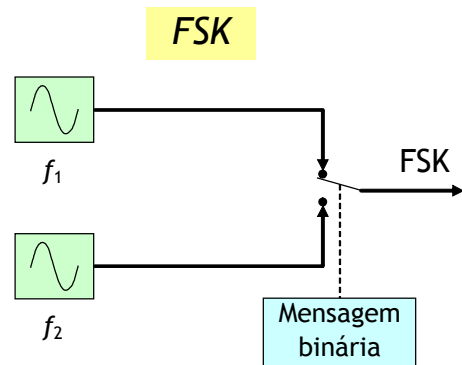
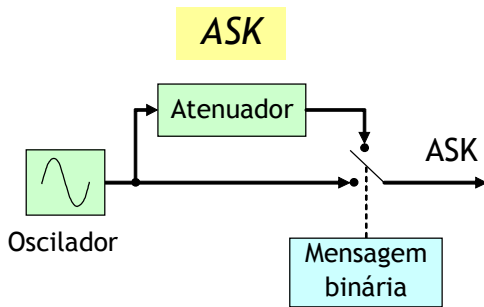
frequency shift keying (FSK)



Continuous phase frequency shift keying (CPFSK)



phase shift keying (PSK)



A mensagem comanda os comutadores

Modulações digitais não-binárias

- Nas modulações não-binárias grupos de k bits (chamados *símbolos*) dão origem a uma de $M = 2^k$ formas de onda. Passamos a ter:
 - MPSK — M fases diferentes
 - MFSK — M frequências diferentes
 - M-QAM — M diferentes combinações de amplitude e fase
- EM MPSK, para a mesma relação E_b/N_0 as probabilidades de símbolo e bit errado (P_e e P_B , respectivamente) degradam-se com o aumento do número M de fases.
- Em MFSK, para a mesma relação E_b/N_0 as probabilidades de símbolo e bit errado melhoram com o aumento do número M de frequências.
- Se o único “critério de qualidade” fosse P_B seria desaconselhável usar PSK com muitas fases. Mas... não é esse o único critério de escolha. Outros há, como, por exemplo:
 - Largura de banda
 - Potência
 - Eficiência
 - Complexidade
- Com sinalização ortogonal (MFSK, por exemplo) a largura de banda aumenta com M.
- Com sinalização de fase múltipla (MPSK) a largura de banda não aumenta com M; logo, para a mesma largura de banda o débito binário aumenta se se aumentar o número de fases do sinal.

Espectro de um sinal modulado

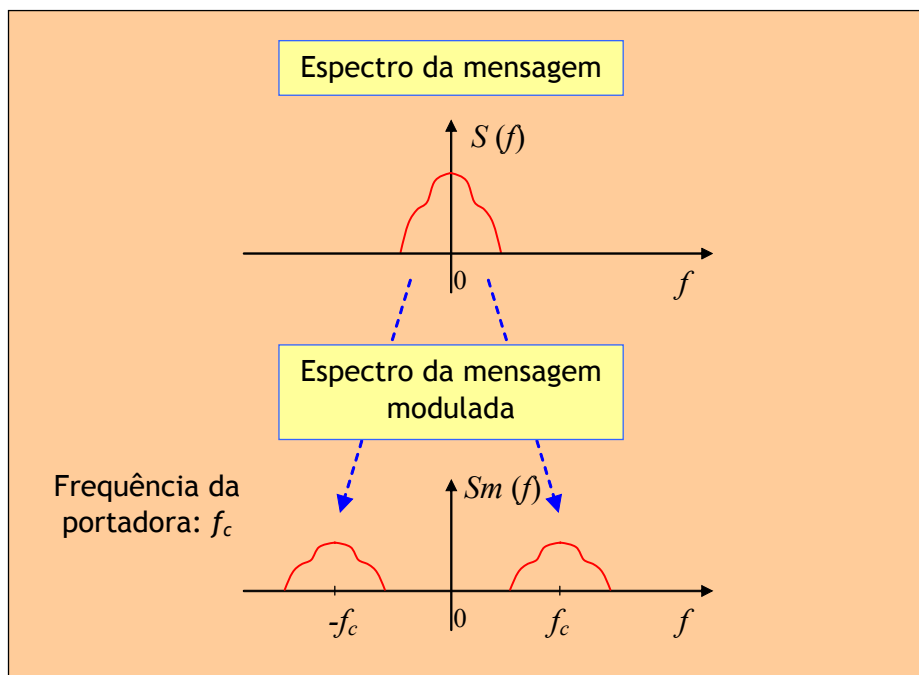
É sabido que se tivermos uma sinusóide $\cos \omega_m t$ e a multiplicarmos por outra, $\cos \omega_c t$, obtemos

$$\cos \omega_m t \cos \omega_c t = \frac{1}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{1}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

Banda lateral superior

Banda lateral inferior

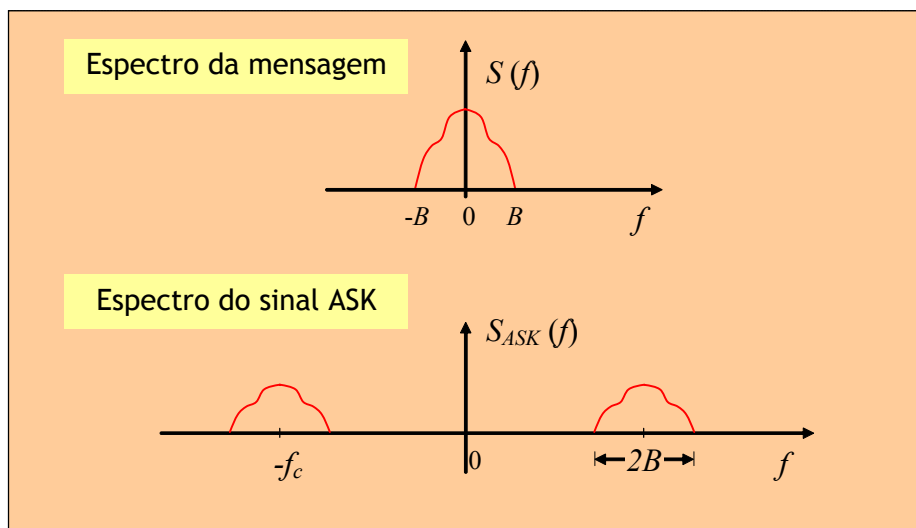
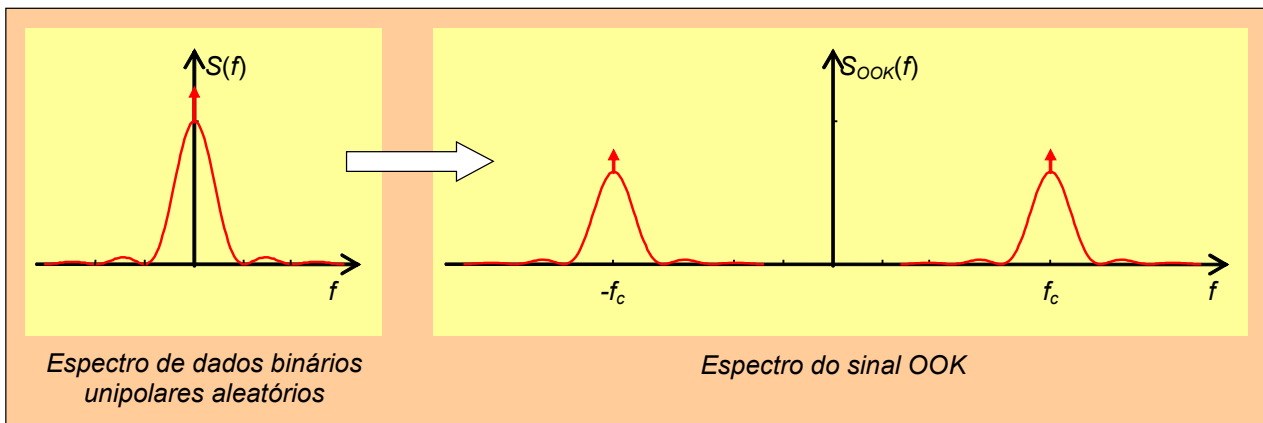
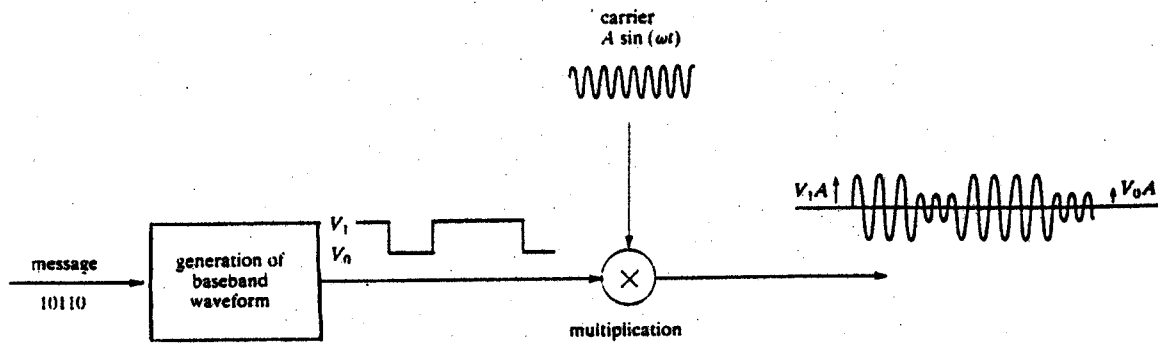
Assim, ao multiplicarmos qualquer forma de onda (uma mensagem, por exemplo) por uma sinusóide (uma portadora), a forma de onda resultante tem um espectro que é igual ao espectro bilateral da mensagem mas centrado na frequência da portadora e com uma cópia centrada na frequência negativa dessa portadora:



Note-se a diminuição da amplitude do espectro da modulação.

Espectro de ASK ("Amplitude Shift Keying")

Geração de ASK: multiplicação de uma portadora por uma forma de onda em banda-base.



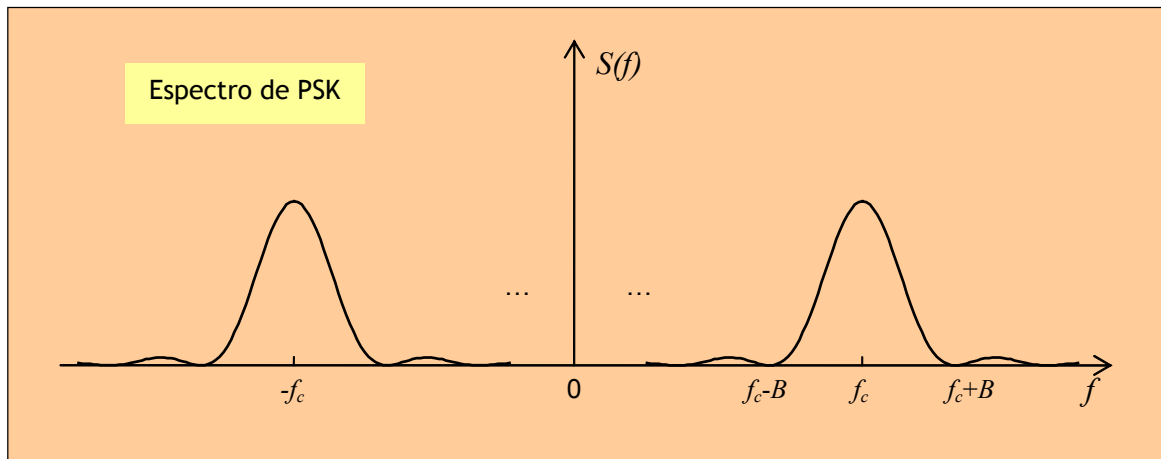
A largura de banda de sinais ASK é o dobro da largura de banda do sinal em banda-base.

Espectro de PSK (“Phase Shift Keying”)

As duas fases de um sinal de PSK binário são 0° e 180° . Esta última corresponde a inverter o sinal, isto é, a multiplicá-lo por -1 .

Isto significa que ASK com *amplitudes de sinalização* $+1$ e -1 é o mesmo que PSK binário com *fases de sinalização* 0° e 180° .

Assim, usando NRZ polar (*que não tem componente contínua*) como forma de onda de sinalização, obtemos um espectro de PSK que é idêntico ao de ASK:



Portanto, tal como em ASK:

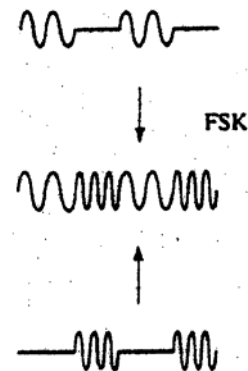
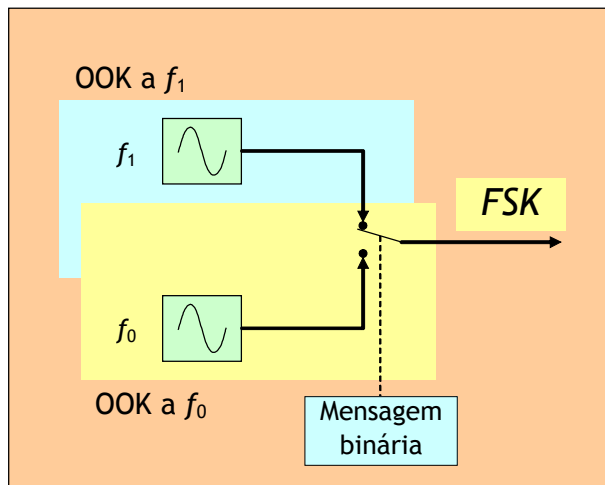
a largura de banda de um sinal PSK é o dobro da largura de banda do sinal em banda-base.

A largura de banda de impulsos de cosseno elevado é $B = (1 + \alpha)/2T$ para não ocorrer ISI. Se $\alpha = 1$ então $B = 1/T$ (ritmo de transmissão, taxa de símbolos ou *baud rate*). Logo, com impulsos de cosseno elevado e $\alpha = 1$:

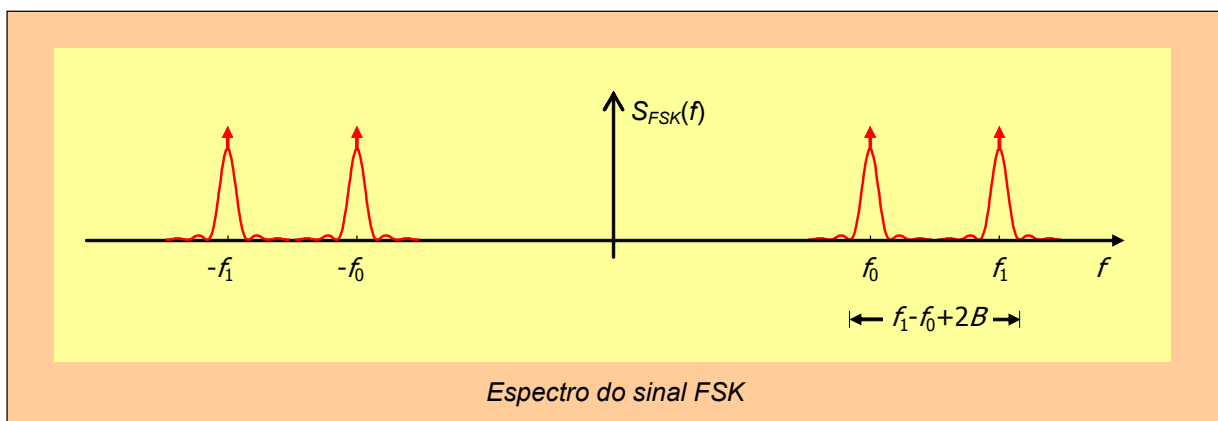
$$B_{\text{PSK}} = 2 \times \text{taxa de símbolos} \quad (\text{se } \alpha = 1)$$

Espectro de FSK binário ("Frequency Shift Keying")

FSK pode ser visto como OOK "entrelaçado":



Espectro



f_0 e f_1 — frequências associadas a cada bit

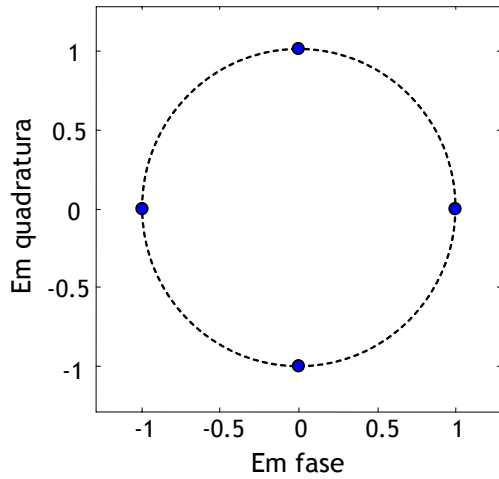
B — largura de banda do sinal em banda-base

Se f_0 e f_1 estiverem suficientemente afastados:

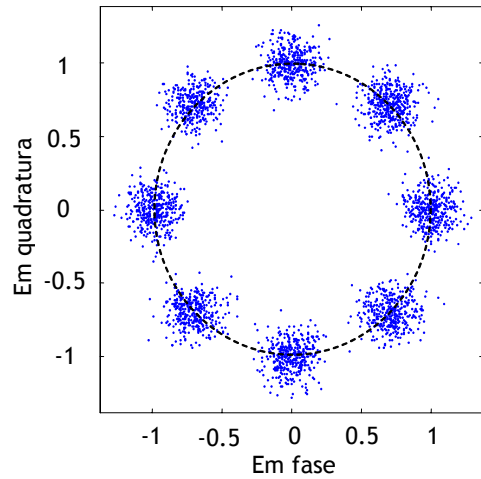
A largura de banda em FSK binário vale $f_1 - f_0 + 2B$

Constelações no espaço de sinal

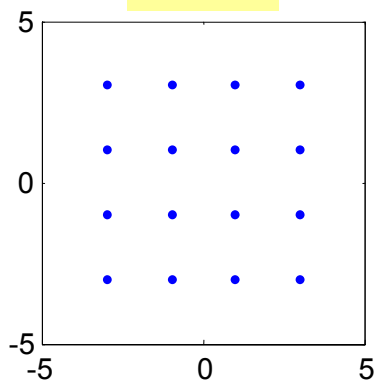
Sinal QPSK



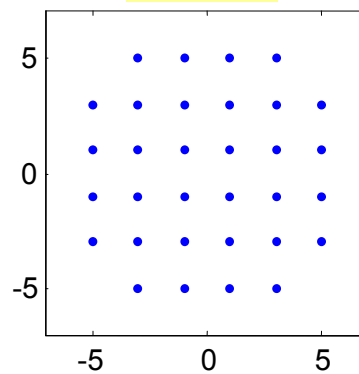
Sinal 8PSK com ruído



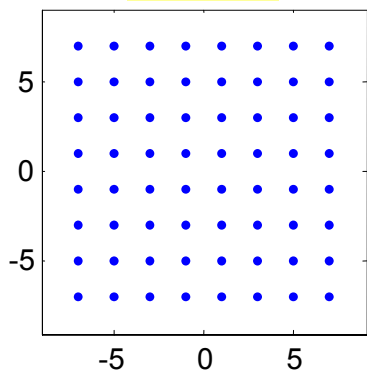
16 QAM



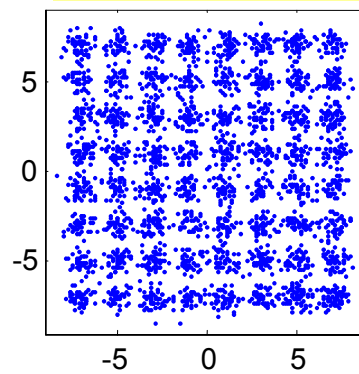
32 QAM



64 QAM



64 QAM com ruído



Constelações no espaço de sinal: QAM

Formas de onda para 8-QAM

