



II-4

# Transmissão em banda canal

## Comunicações

(16 Dezembro de 2008)



# Sumário

1. Transmissão em banda canal (passa-banda)
2. Modulações
  1. Binárias
  2. M-árias
3. Receptores
4. Aplicações



# Modulações Banda Canal

- Um sinal modulador vai modular uma portadora sinusoidal.
- O sinal modulador é uma sequência binária de 0's e 1's
- Os parâmetros da portadora são modificados assumindo um número de estados discretos
- Transmite-se informação na forma dum símbolo durante um intervalo de tempo, mas na recepção só importa decidir no instante de amostragem qual o símbolo

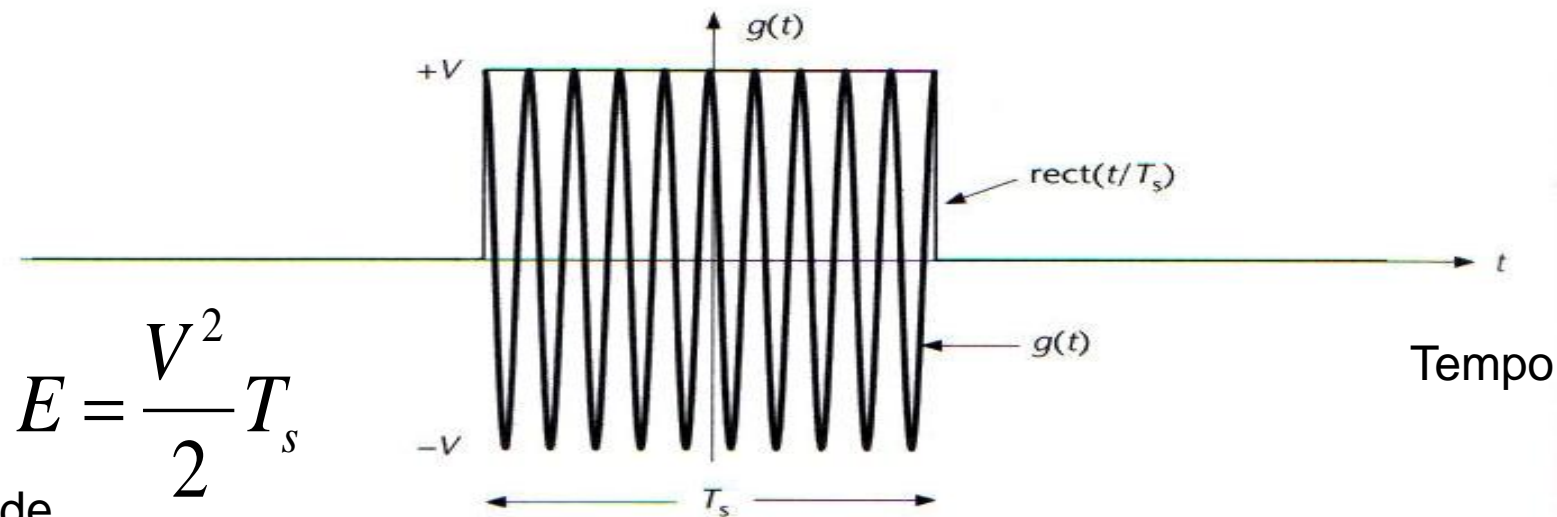


# Modulações Banda Canal

- Variando um dos três parâmetros duma sinusóide temos
  - **ASK (Amplitude Shift Keying)**
    - **OOK (On-Off Keying)** é um caso particular de ASK
  - **PSK (Phase Shift Keying)**
  - **FSK (FrequencyShift Keying)**
- Temos um espectro do tipo **passa-banda** (banda canal)

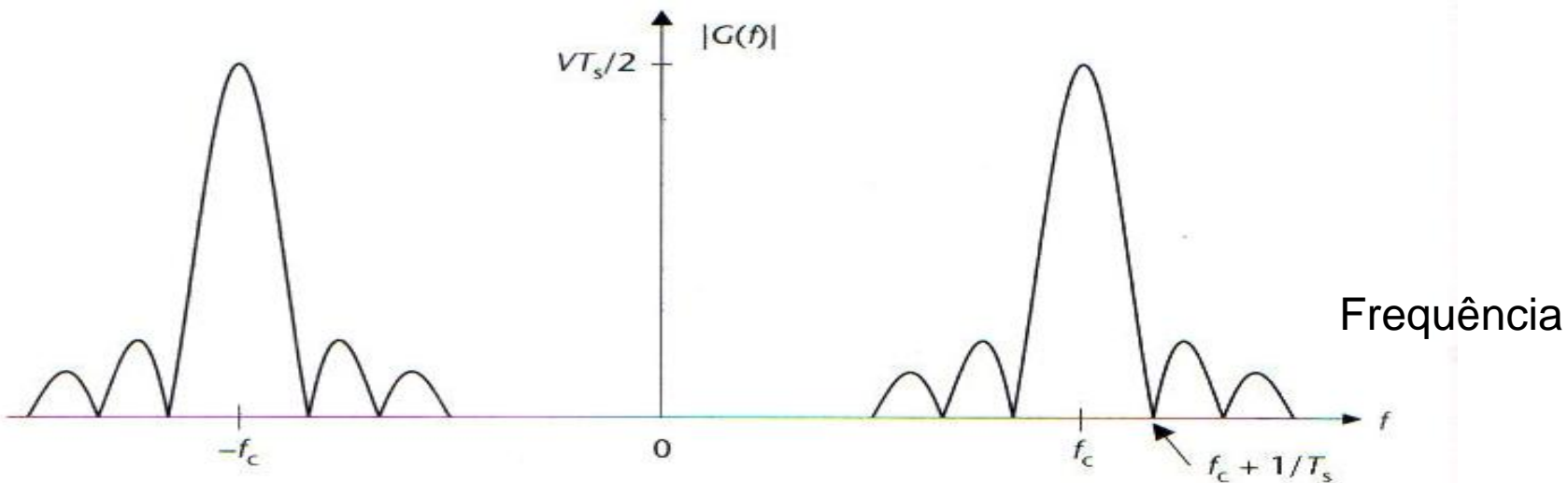


# Sinais com espectro passa-banda



$$E = \frac{V^2}{2} T_s$$

Energia de símbolo

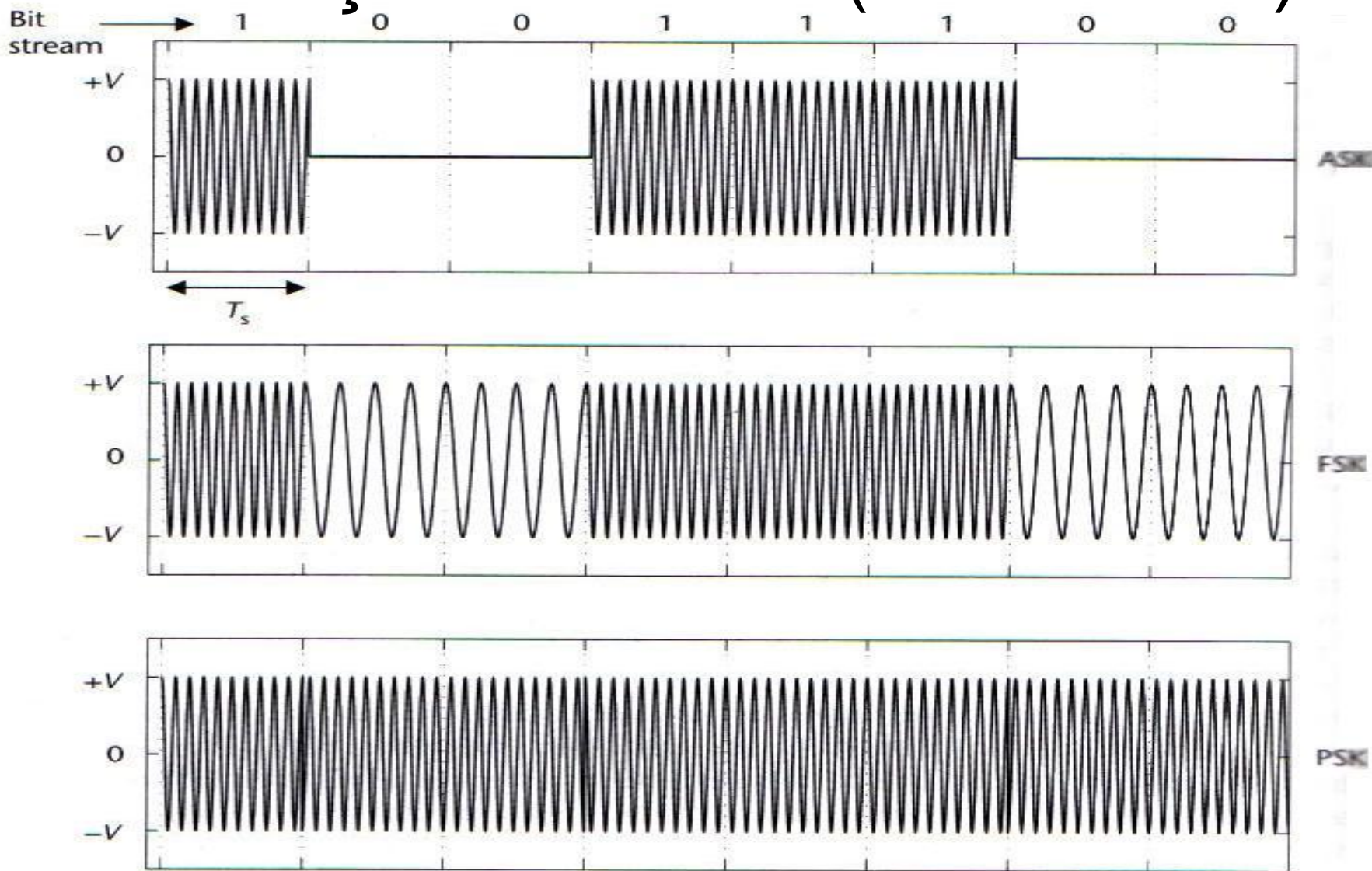


# Modulações Banda Canal

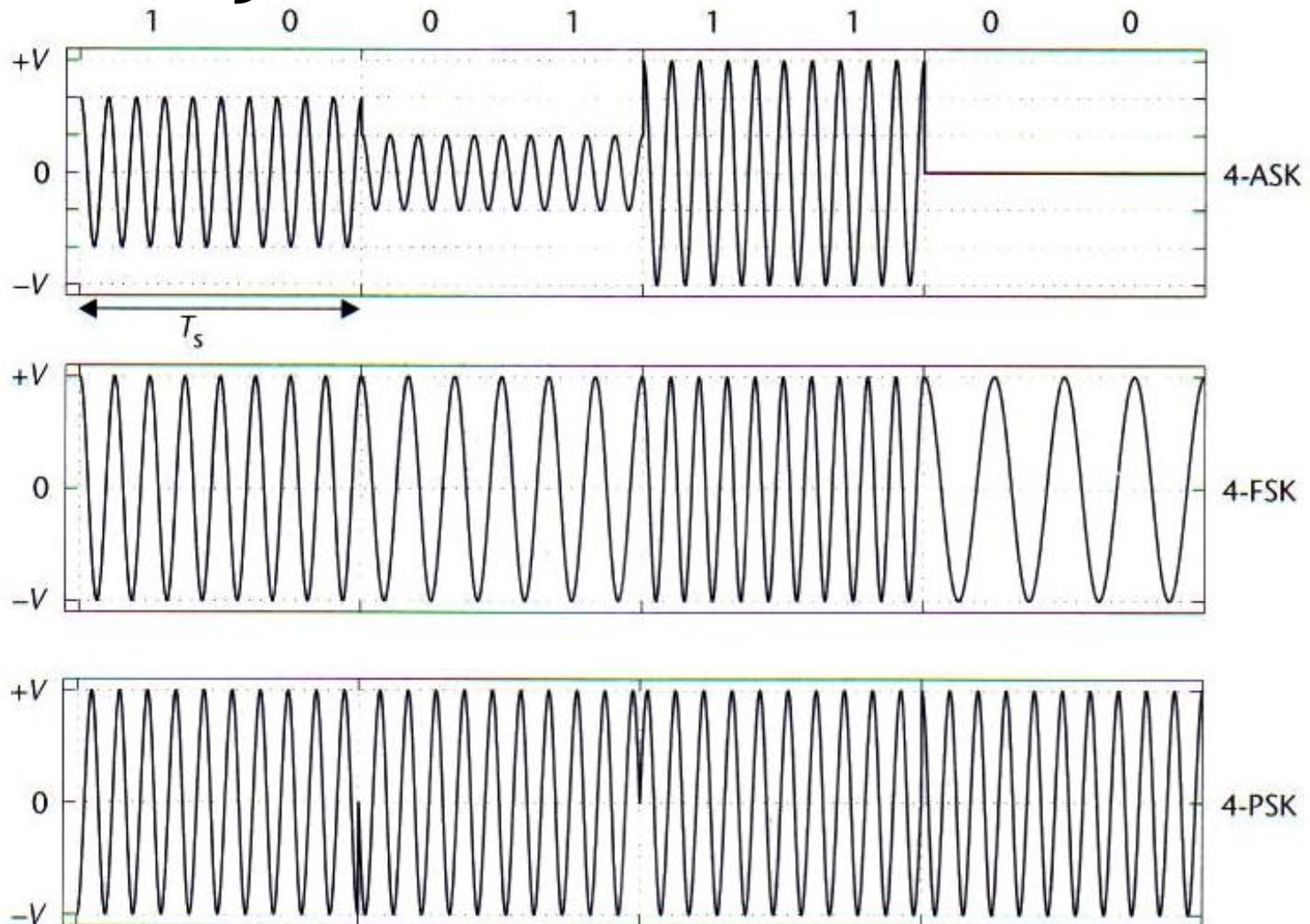
- Modulações a considerar
  - ASK (e OOK) binária e M-ária
  - PSK binária e M-ária
    - (QPSK – Quaternary PSK,  $M=4$ )
    - M-PSK,  $M = 8, 16, \dots$
  - FSK binária e M-ária
  - QAM – Quadrature Amplitude Modulation
    - Também designado de APK – Amplitude Phase Keying



# Modulações binárias (M=2 níveis)



# Modulações M-árias (M=4)



# Modulações M-árias

- Aumentam o ritmo de transmissão, face às modulações binárias
- Usam  $M > 2$  níveis e transmitem

$$\log_2(M) \text{ bit/símbolo}$$

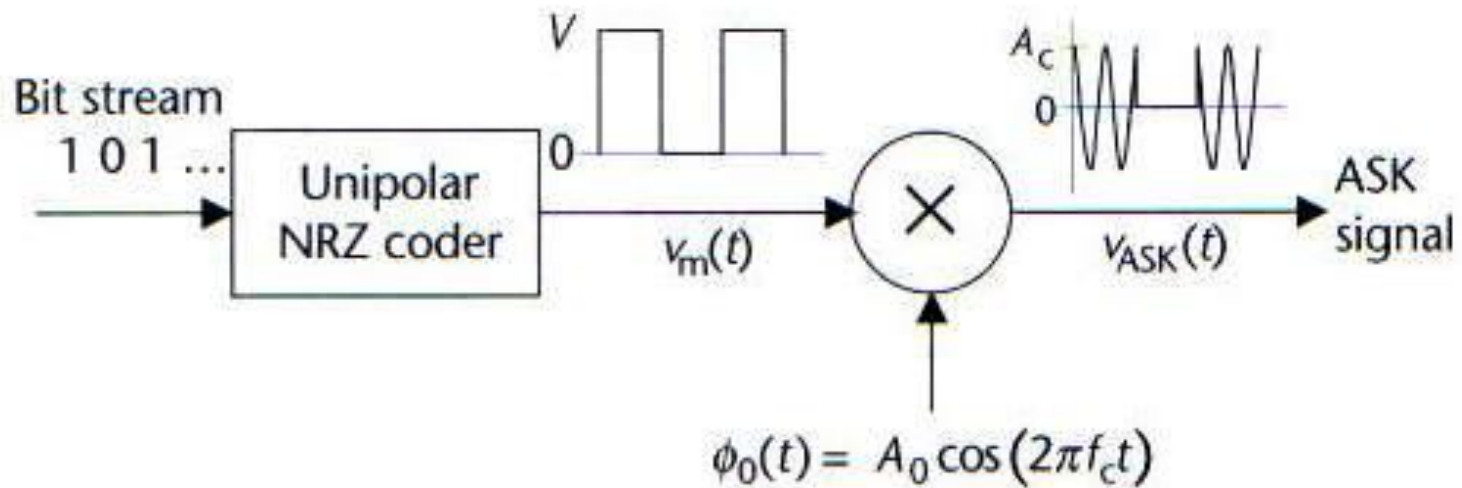
- O ritmo binário é

$$R_b = R_s \log_2(M) \text{ bit/segundo}$$

$R_s$  é o número de símbolos enviados por segundo



# On-Off Keying (OOK)



$$v_{ask}(t) = \begin{cases} g_1(t), & \text{Binary 1} \\ 0, & \text{Binary 0} \end{cases}$$

$$v_{ask}(t) = \frac{A_c}{2} [1 \pm m] \cos(2\pi f_c t)$$

$m = 1$

$$g_1(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t), & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

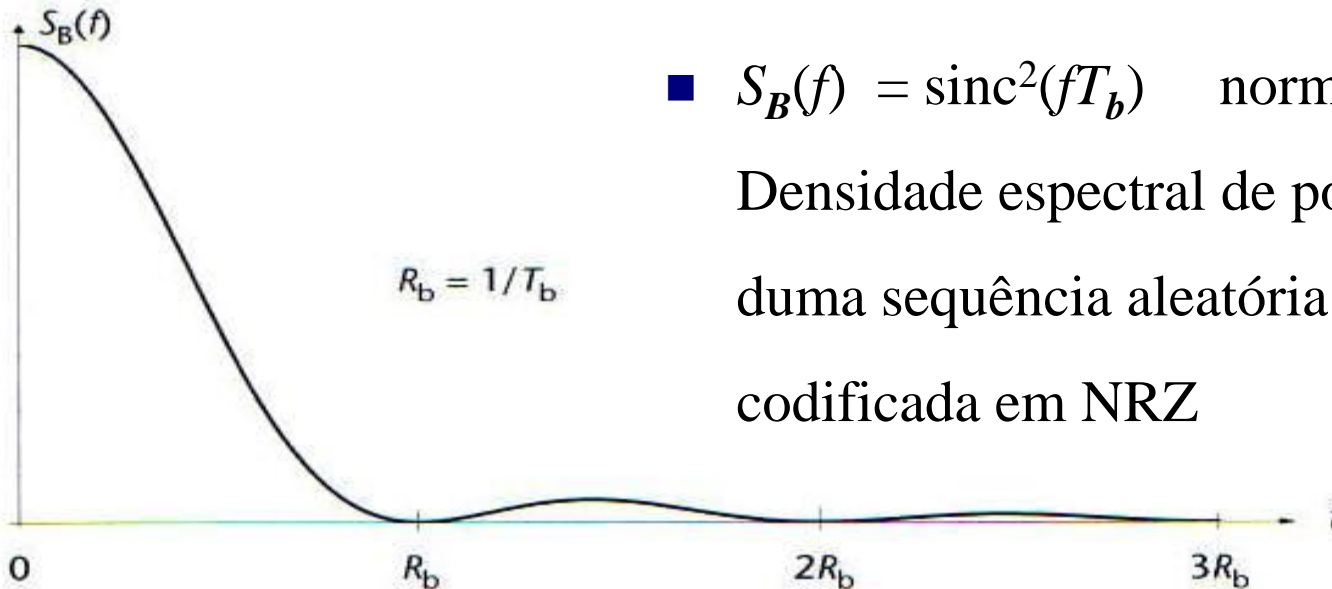
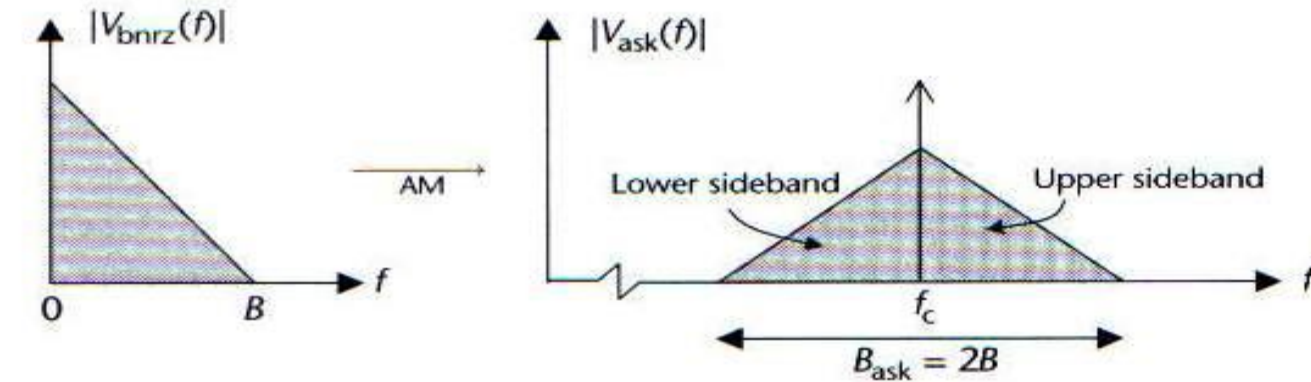
$$f_c = n/T_b = nR_b, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_b = \frac{1}{2} \left( \frac{A_c^2}{2} T_b + 0 \right) = \frac{A_c^2 T_b}{4}$$

$$A_c = 2\sqrt{E_b/T_b}$$

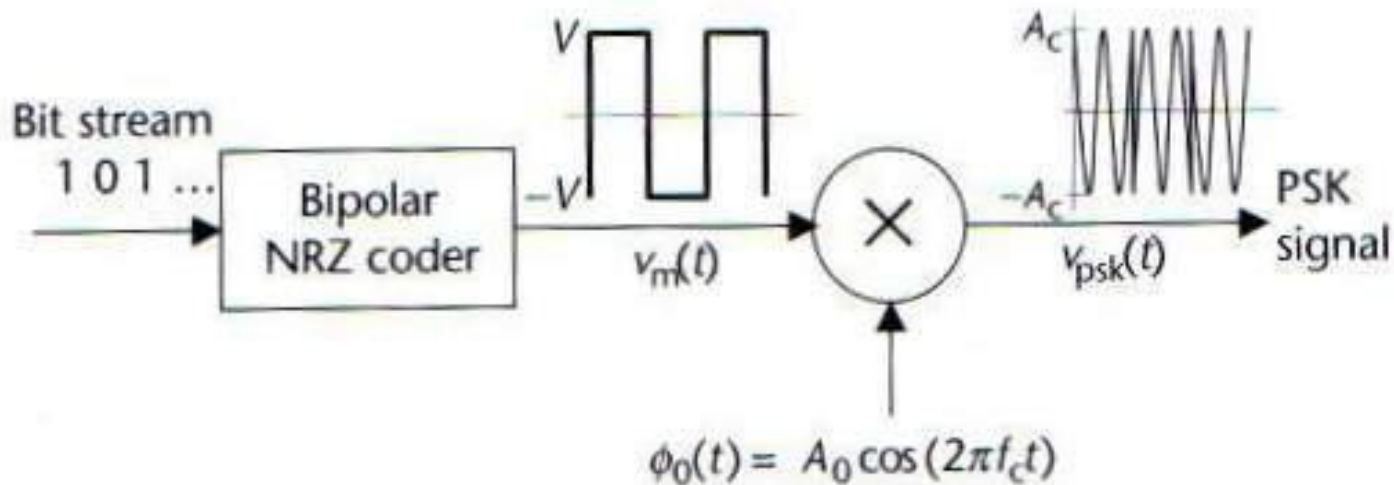


# Espectro do OOK



- $S_B(f) = \text{sinc}^2(fT_b)$  normalizada  
Densidade espectral de potência  
duma sequência aleatória de bits  
codificada em NRZ

# Phase Shift Keying (PSK)



$$v_{psk}(t) = \begin{cases} g_1(t), & \text{Binary 1} \\ -g_1(t), & \text{Binary 0} \end{cases}$$

$$g_1(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t), & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

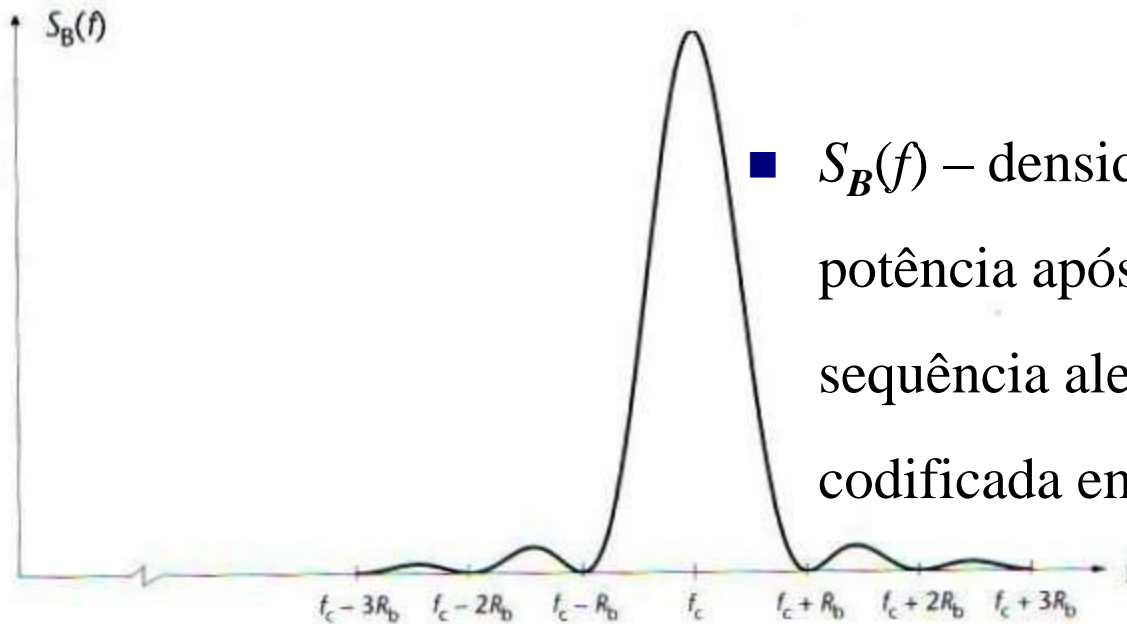
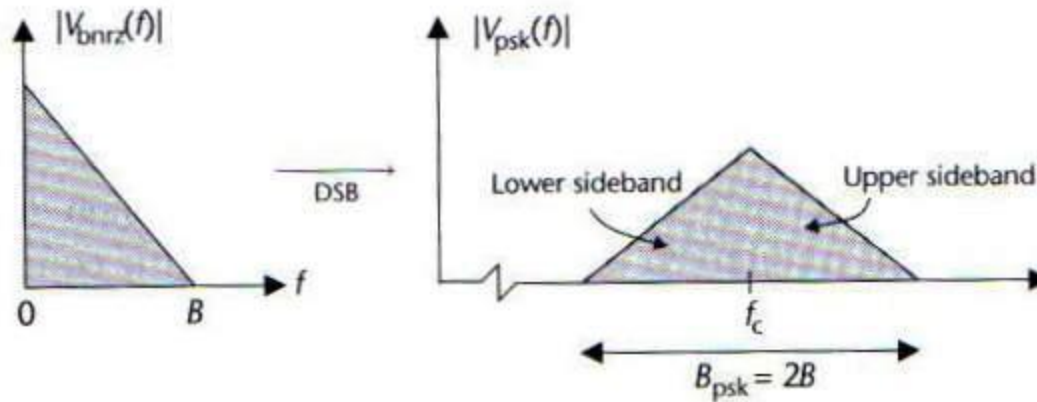
$$f_c = n/T_b = nR_b, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_b = A_c^2 T_b / 2$$

$$\text{or } A_c = \sqrt{2E_b / T_b}$$



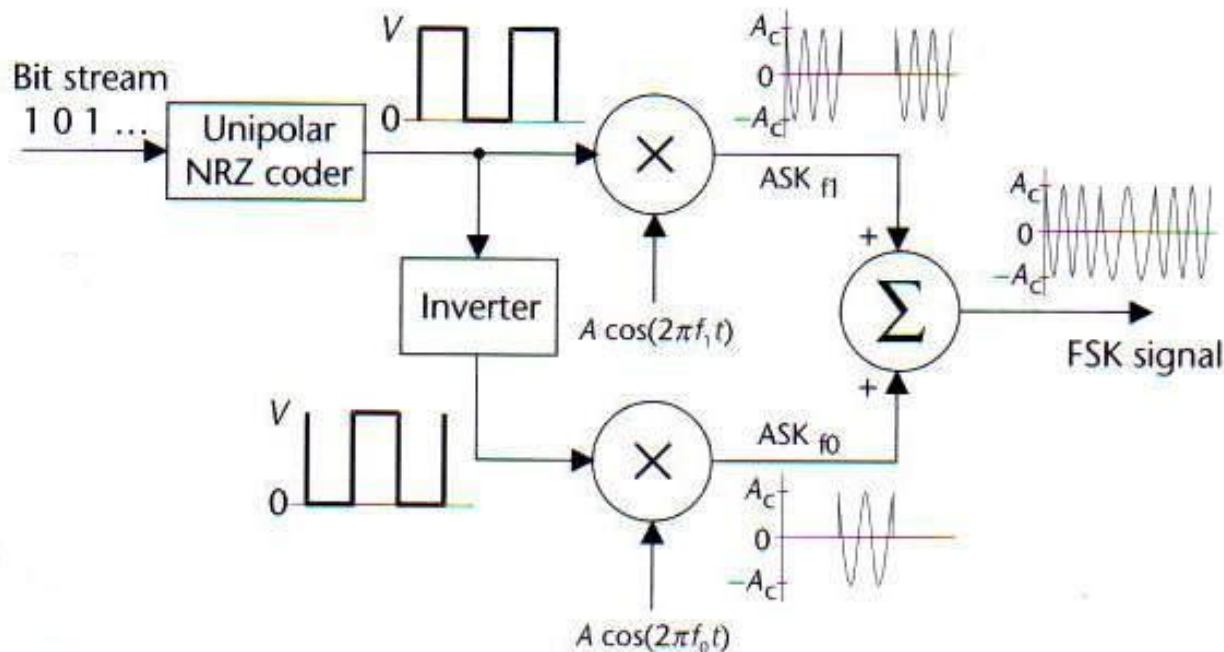
# Espectro do PSK



- $S_B(f)$  – densidade espectral de potência após modulação PSK duma sequência aleatória de bits codificada em NRZ



# Frequency Shift Keying (FSK)



$$v_{\text{fsk}}(t) = \begin{cases} g_1(t), & \text{Binary 1} \\ g_0(t), & \text{Binary 0} \end{cases}$$

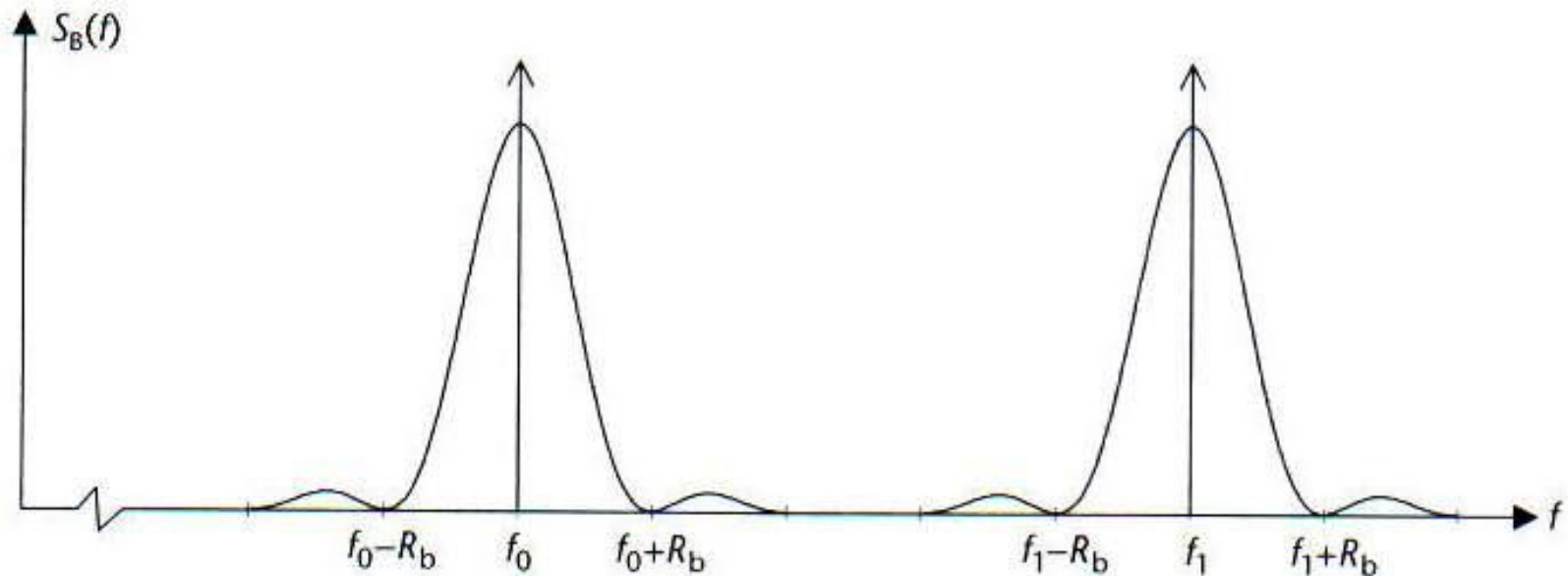
$$g_1(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_1 t), & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$g_0(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_0 t), & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$f_1 = n_1/T_b; \quad f_0 = n_0/T_b; \quad n_1 \neq n_0 = 1, 2, 3, \dots$$



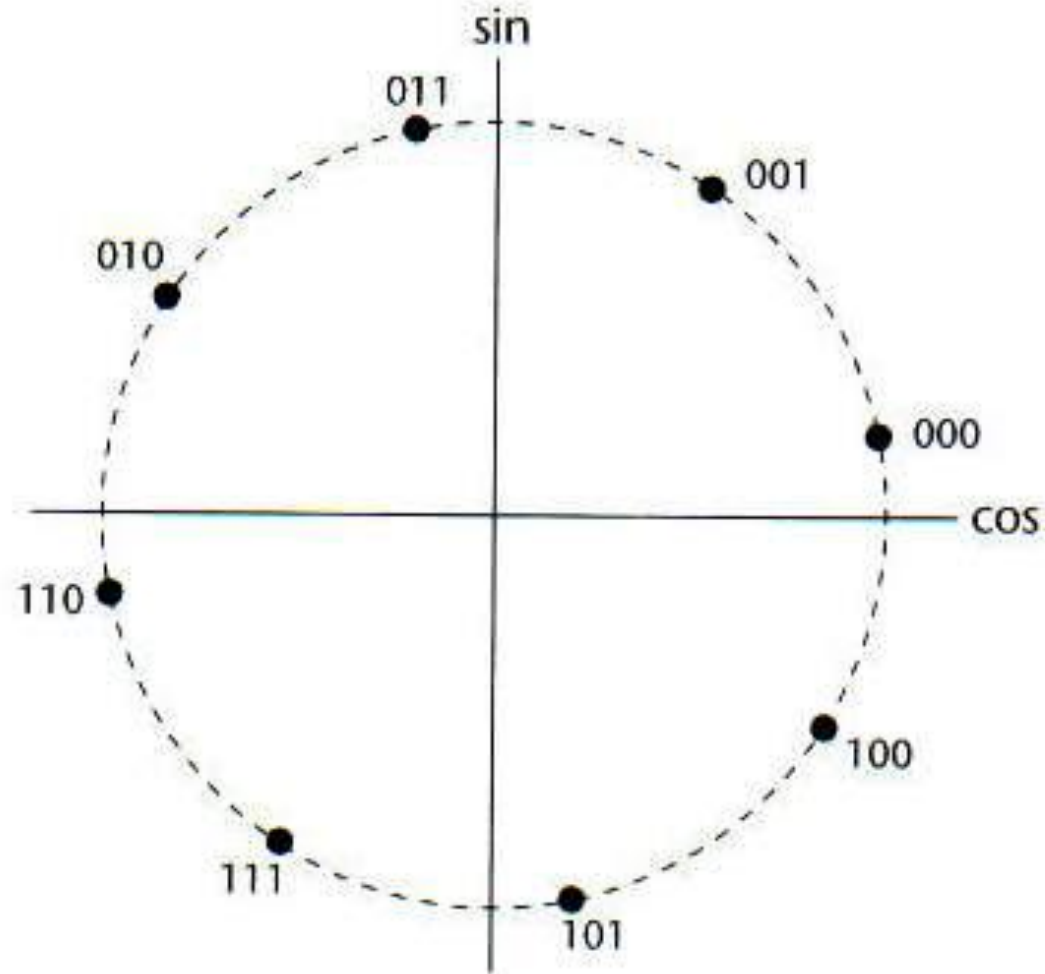
# Espectro do FSK



- $S_B(f)$  – densidade espectral de potência após modulação FSK  
duma sequência aleatória de bits codificada em BNRZ

# Exemplo M-PSK: constelação 8-PSK

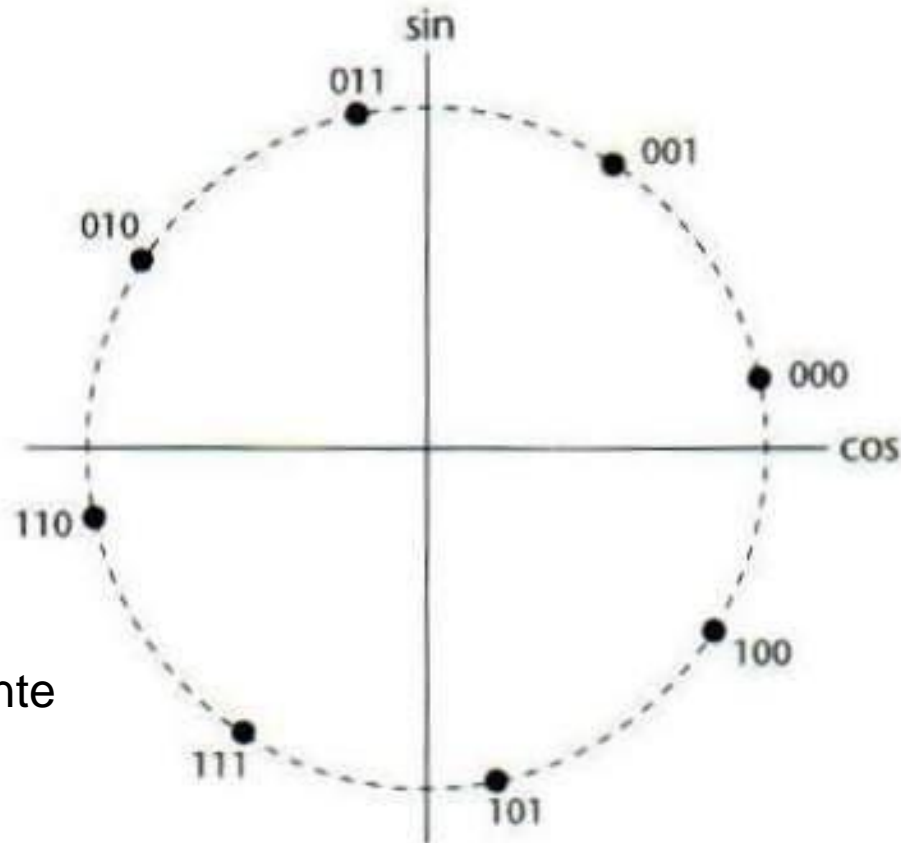
Codificação de Gray -  
entre símbolos  
consecutivos, muda  
apenas um bit.



# PSK M-ário

## ■ Constelação 8-PSK

Todos os sinais têm a mesma energia



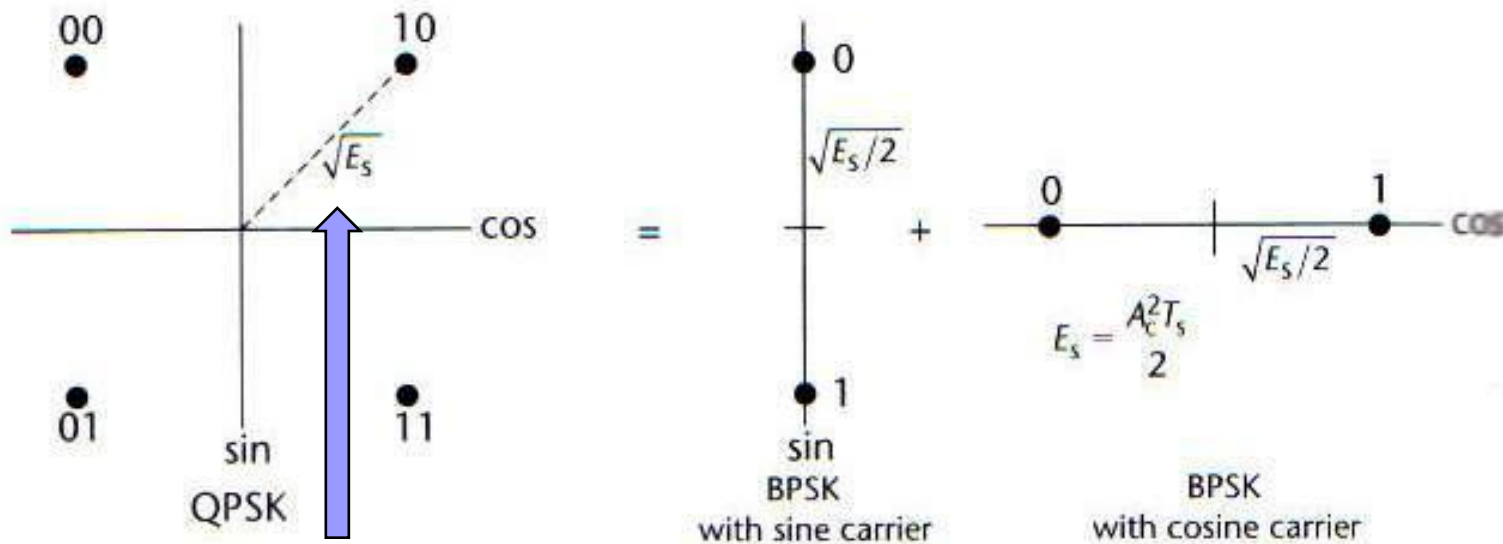
Amplitude constante

## ■ Genericamente

$$g_i(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \alpha i + \phi), \quad i = 0, 1, 2, \dots, M-1$$
$$\alpha = 2\pi/M; \quad f_c = n/2T_s, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

A fase depende da sequência binária

# Espaço de sinais do QPSK (M=4)

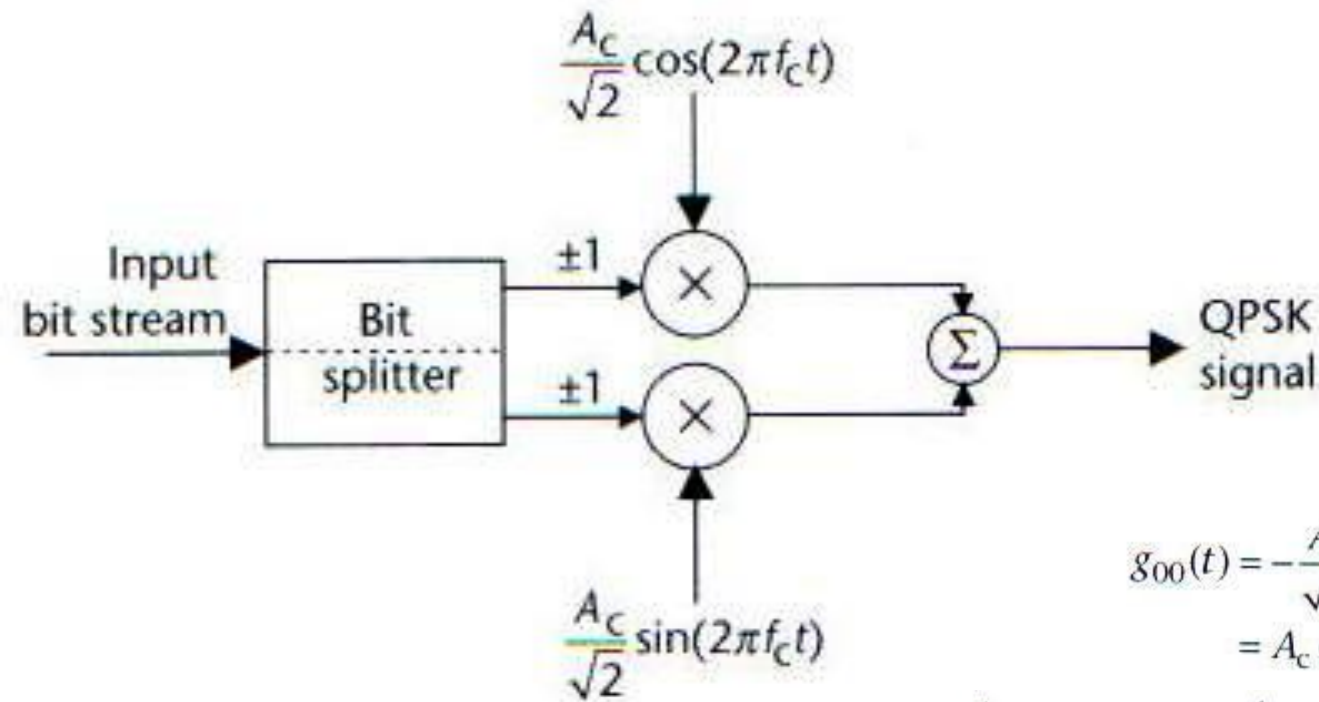


A norma do vector corresponde à raiz quadrada da energia do sinal utilizado na codificação.

$$\begin{aligned}
 g_{00}(t) &= -\frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) \\
 &= A_c \cos(2\pi f_c t + 135^\circ) \\
 g_{01}(t) &= -\frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) + \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 225^\circ) \\
 g_{10}(t) &= \frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 45^\circ) \\
 g_{11}(t) &= \frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) + \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 315^\circ)
 \end{aligned}$$



# QPSK - Quaternary PSK (M=4)



$$g_{00}(t) = -\frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 135^\circ)$$

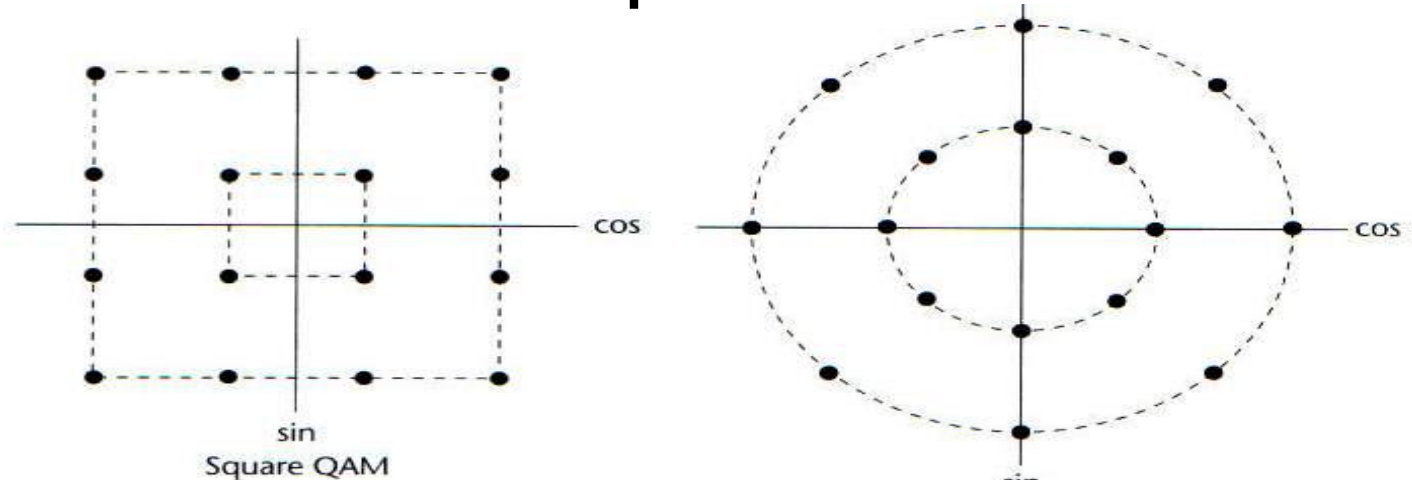
$$g_{01}(t) = -\frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) + \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 225^\circ)$$

$$g_{10}(t) = \frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) - \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 45^\circ)$$

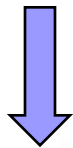
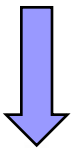
$$g_{11}(t) = \frac{A_c}{\sqrt{2}} \cos(2\pi f_c t) + \frac{A_c}{\sqrt{2}} \sin(2\pi f_c t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 315^\circ)$$



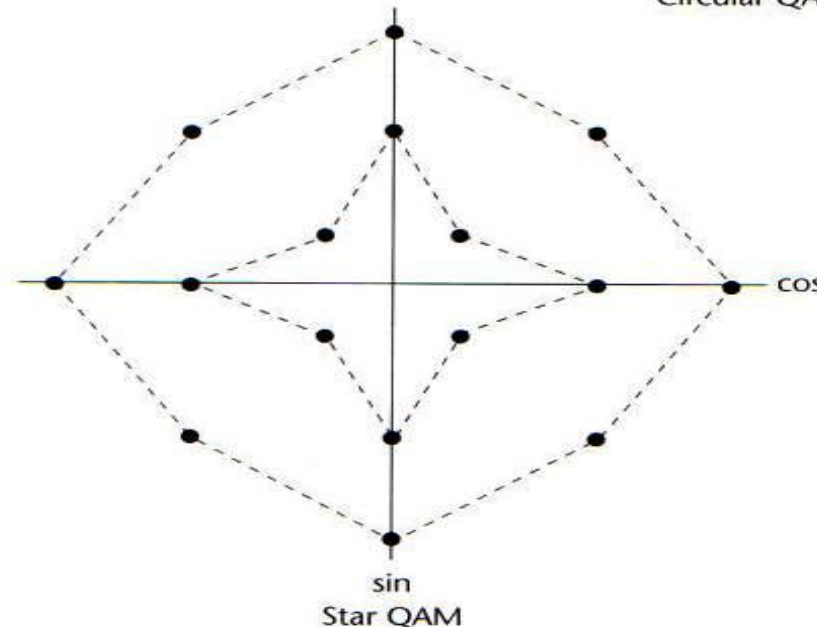
# QAM - Quadrature Amplitude Modulation



Amplitude e fase dependem da sequência binária



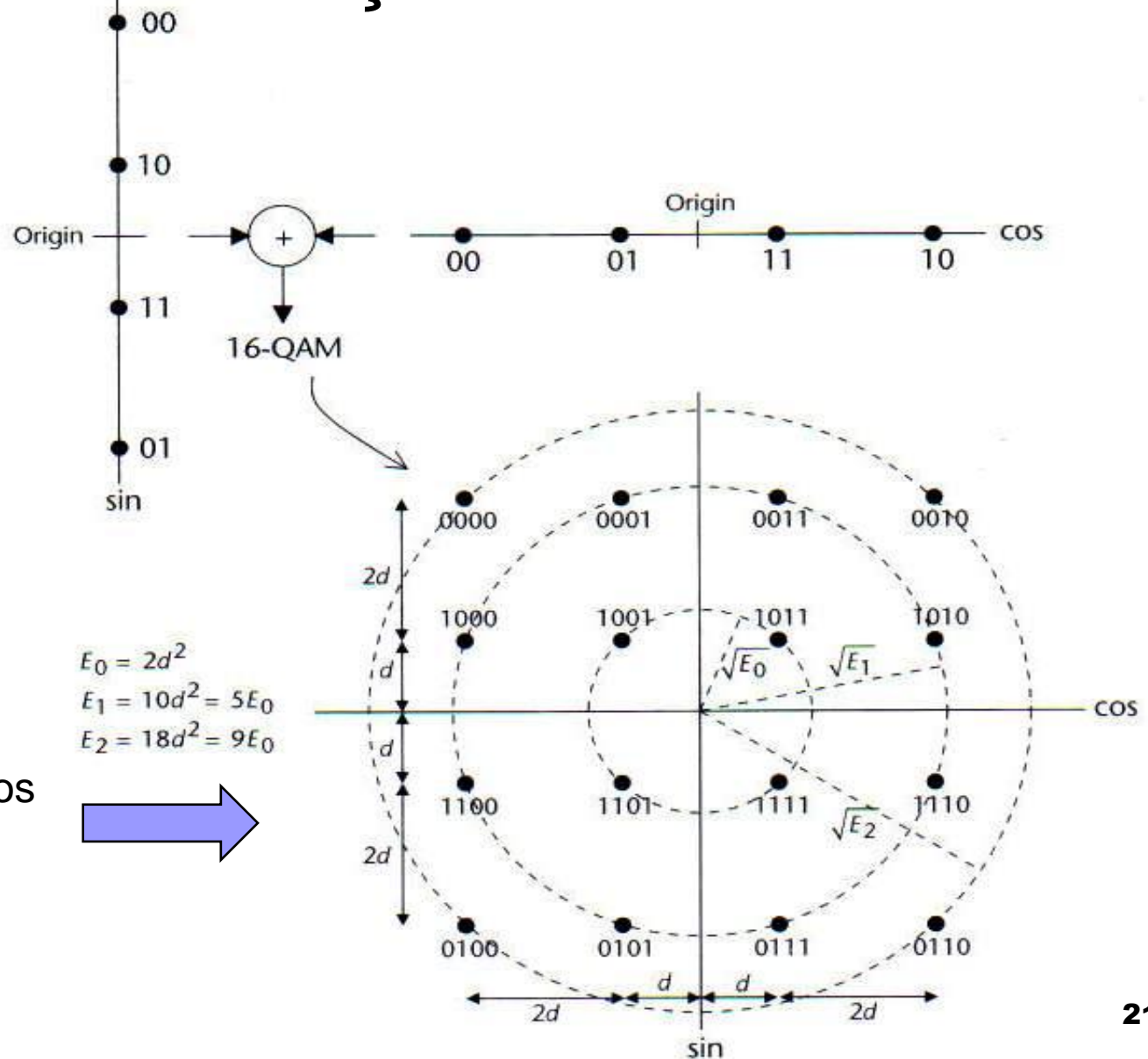
$$g_i(t) = A_i \cos(2\pi f_c t + \phi_i)$$



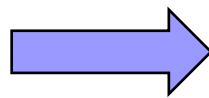
Diferentes constelações



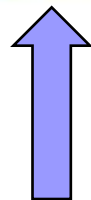
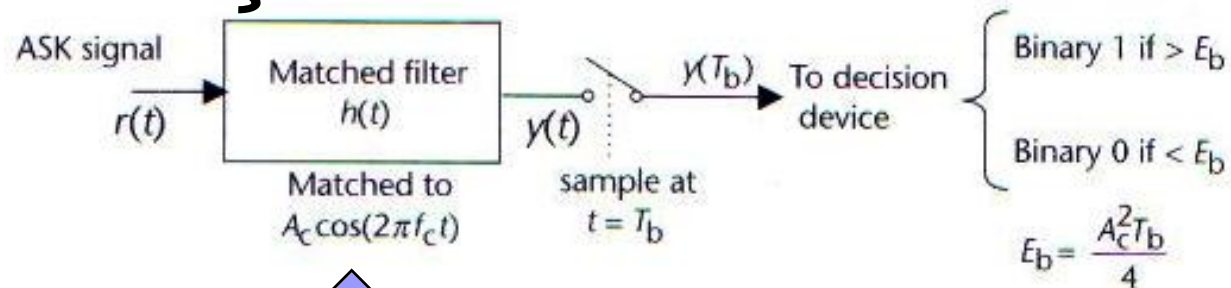
# 16-QAM: constelação QAM com M=16



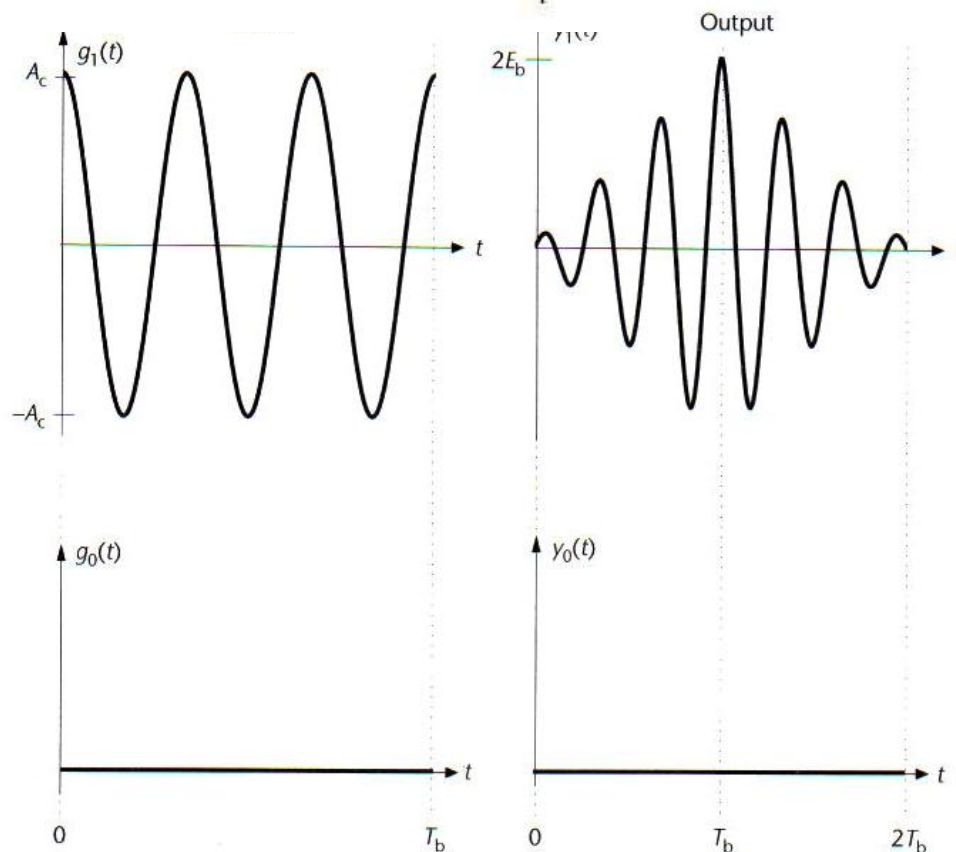
Os sinais utilizados têm diferentes energias



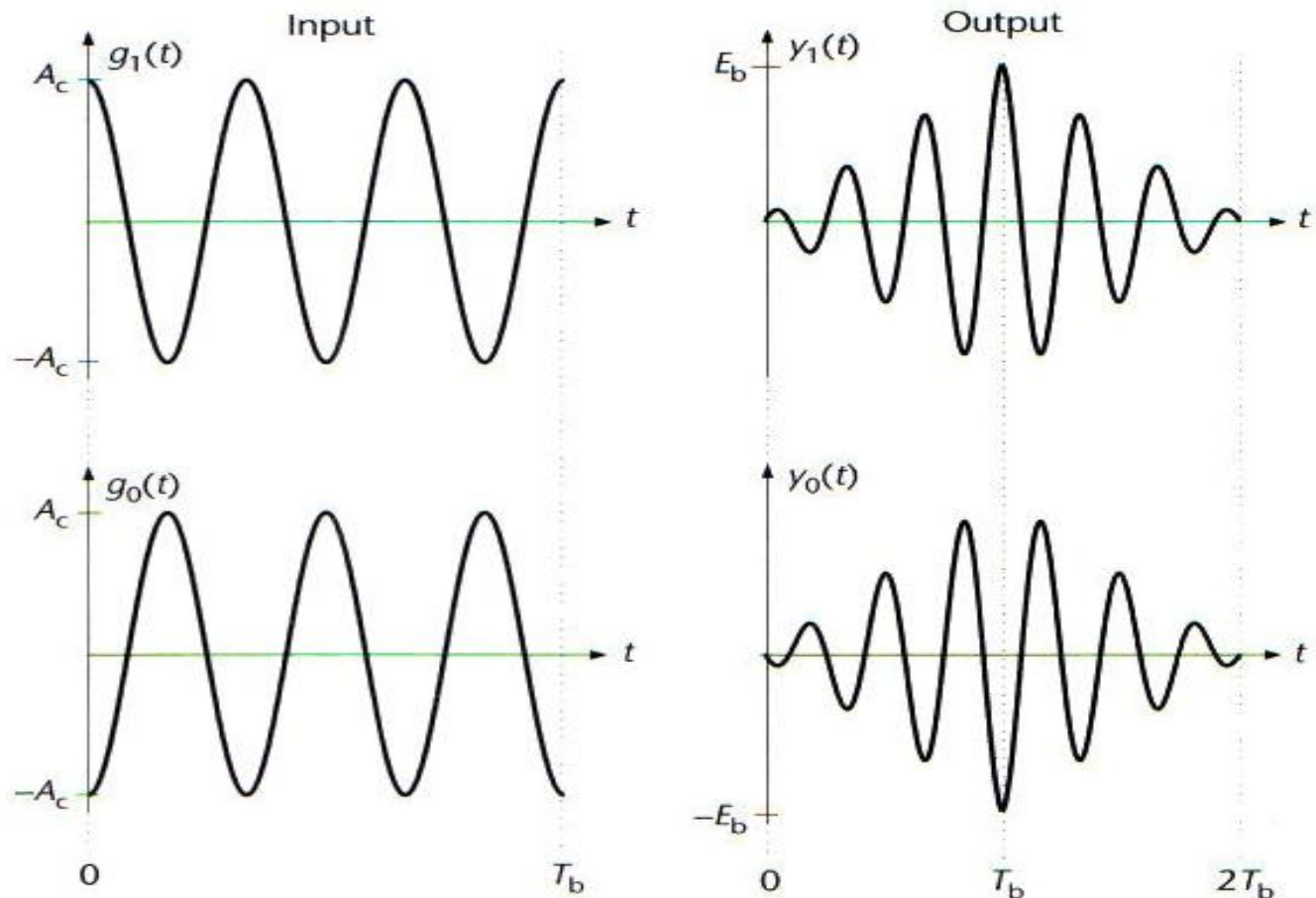
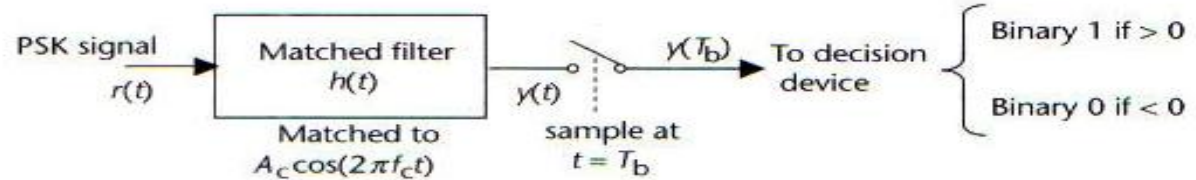
# Detecção coerente do OOK



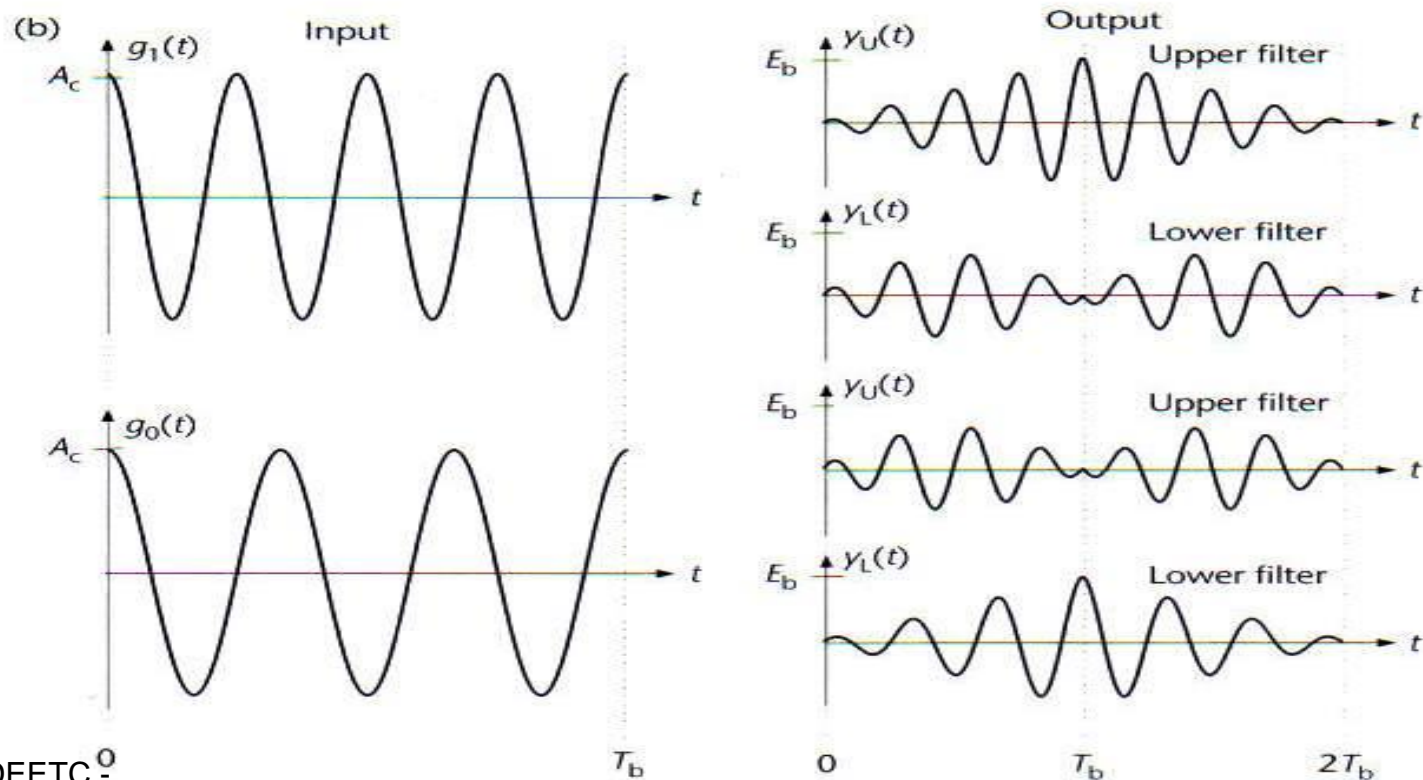
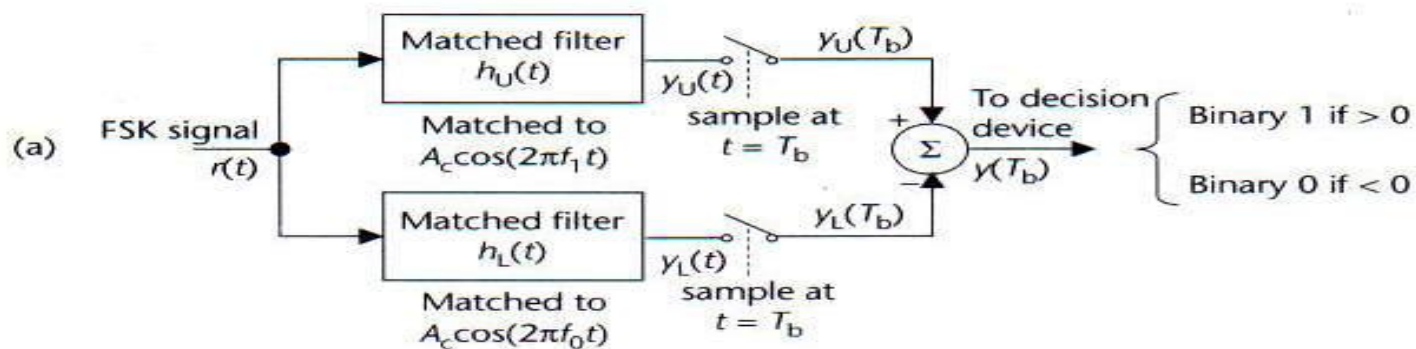
Filtro Adaptado  
(Matched Filter)



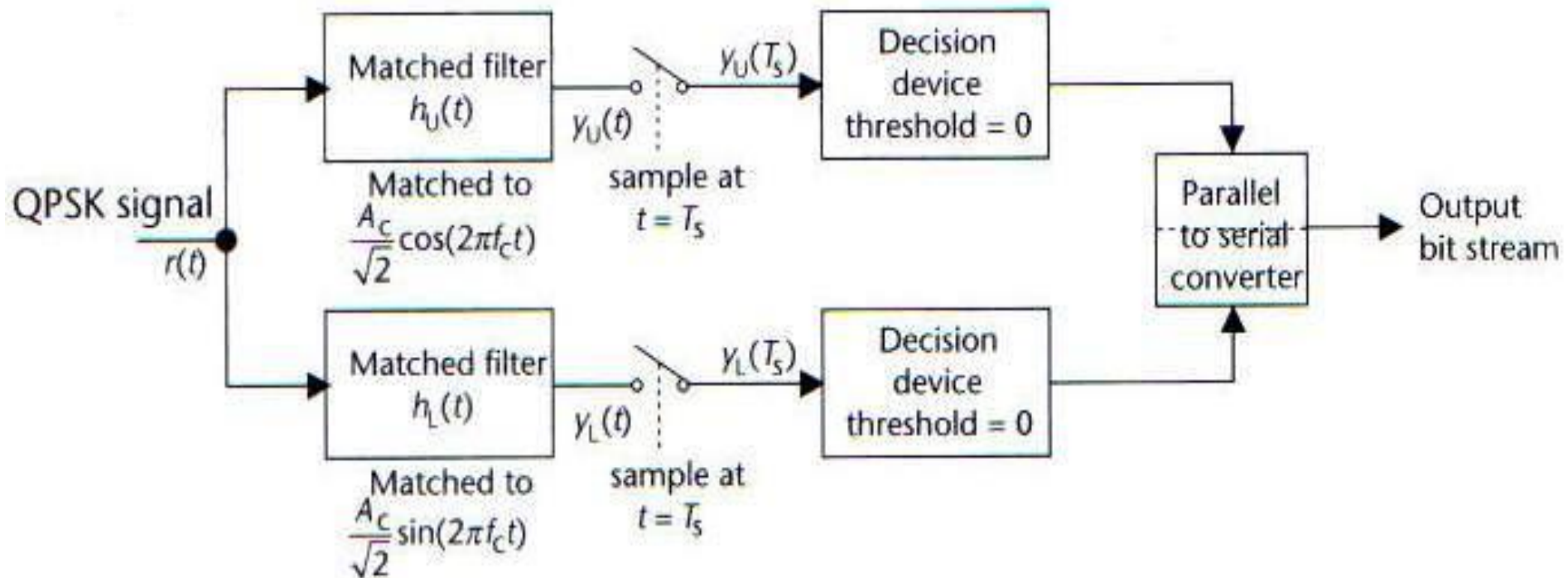
# Detecção coerente do PSK



# Detecção coerente do FSK

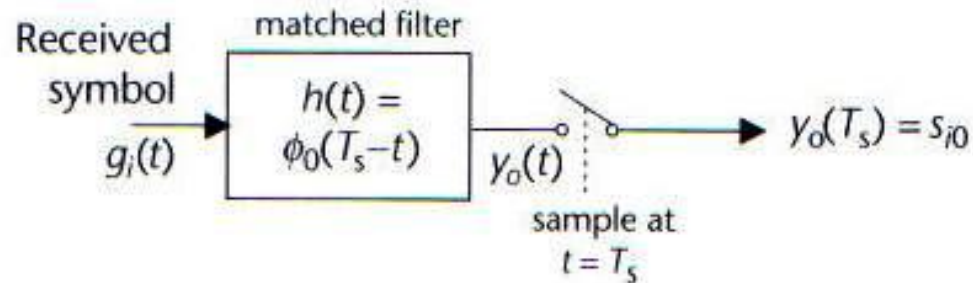
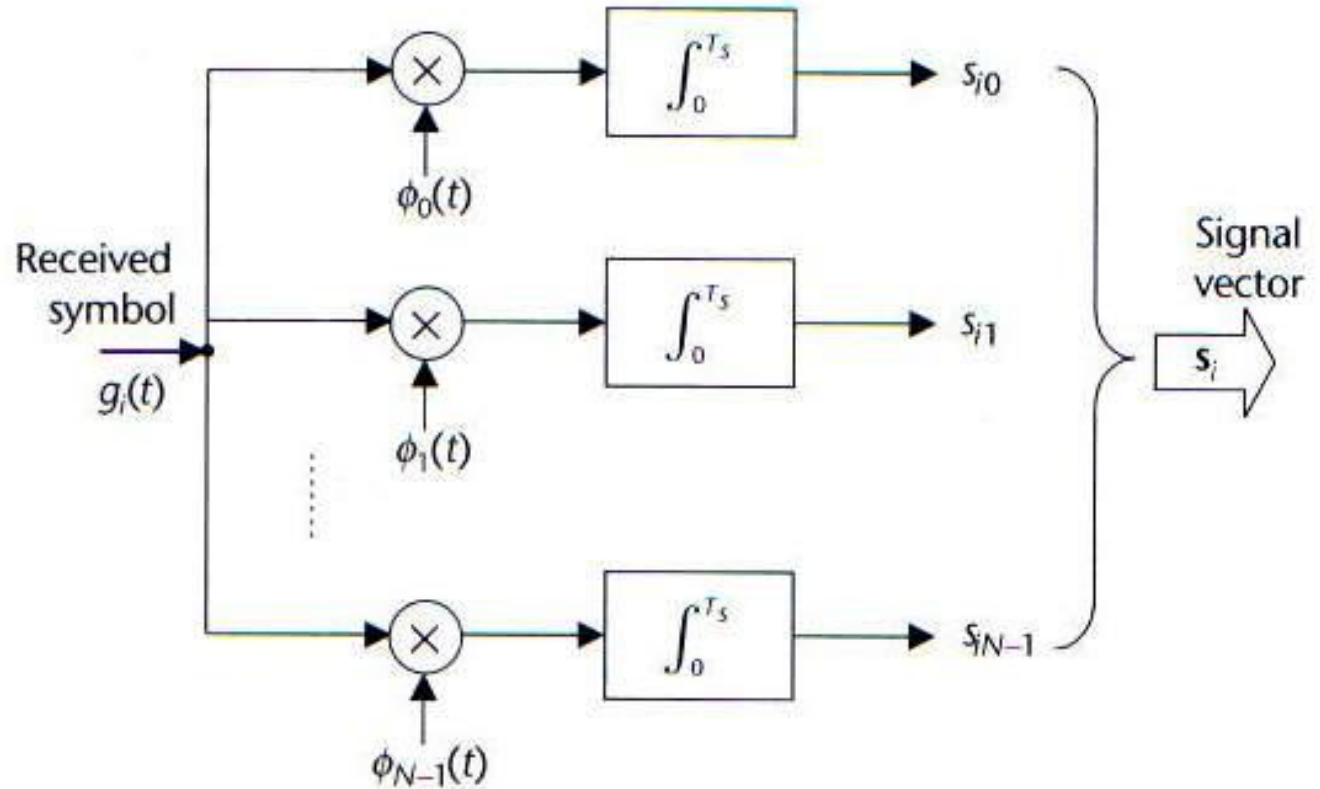


# Detecção coerente do QPSK



# Banco de correladores

- O correlador é equivalente ao filtro adaptado
- Para realizar a decodificação de QAM, basta usar dois correladores



# Utilização das modulações digitais

## ■ ADSL

- Carrierless Amplitude Phase (CAP) modulation
- Discrete Multi-Tone (DMT) modulation
  - ambas variantes do QAM
  - [http://members.tripod.com/e99ie/ADSL\\_Tutorial/Modulation.htm](http://members.tripod.com/e99ie/ADSL_Tutorial/Modulation.htm)

## ■ Wireless

- BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
  - [http://sss-mag.com/pdf/1mod\\_intro.pdf](http://sss-mag.com/pdf/1mod_intro.pdf)

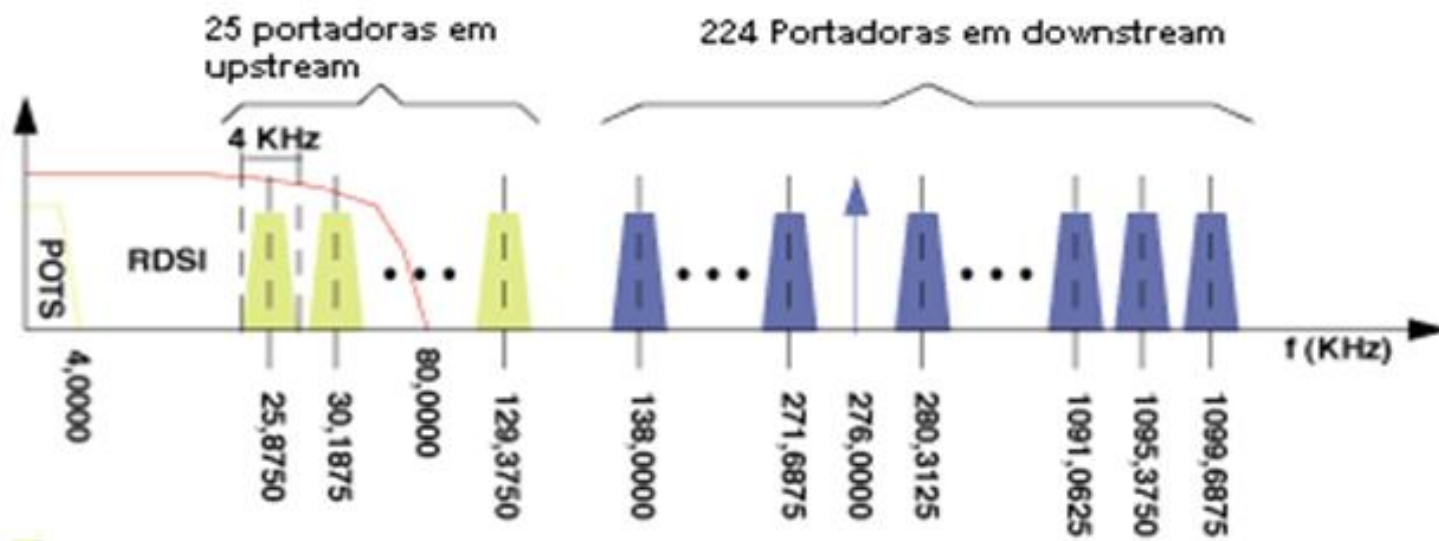
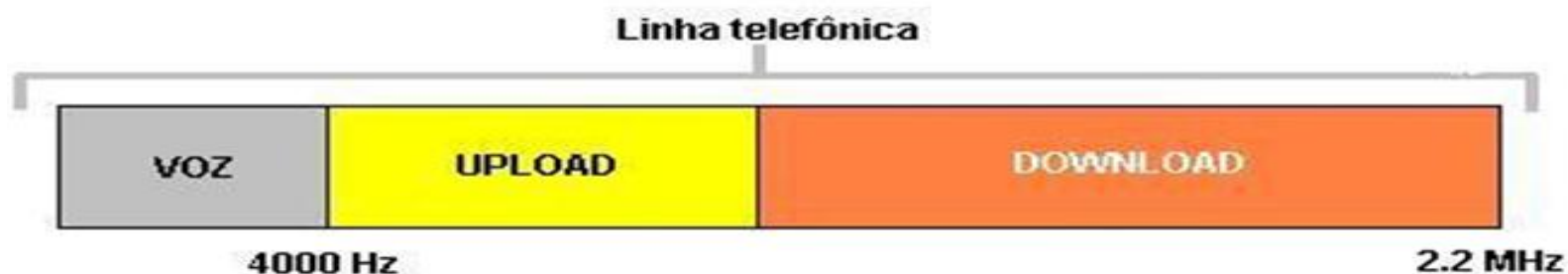
## ■ GSM

- Gaussian MSK (variante do FSK) <http://www.cwt.vt.edu/faq/gsm.htm>



# Aplicações

## ■ ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

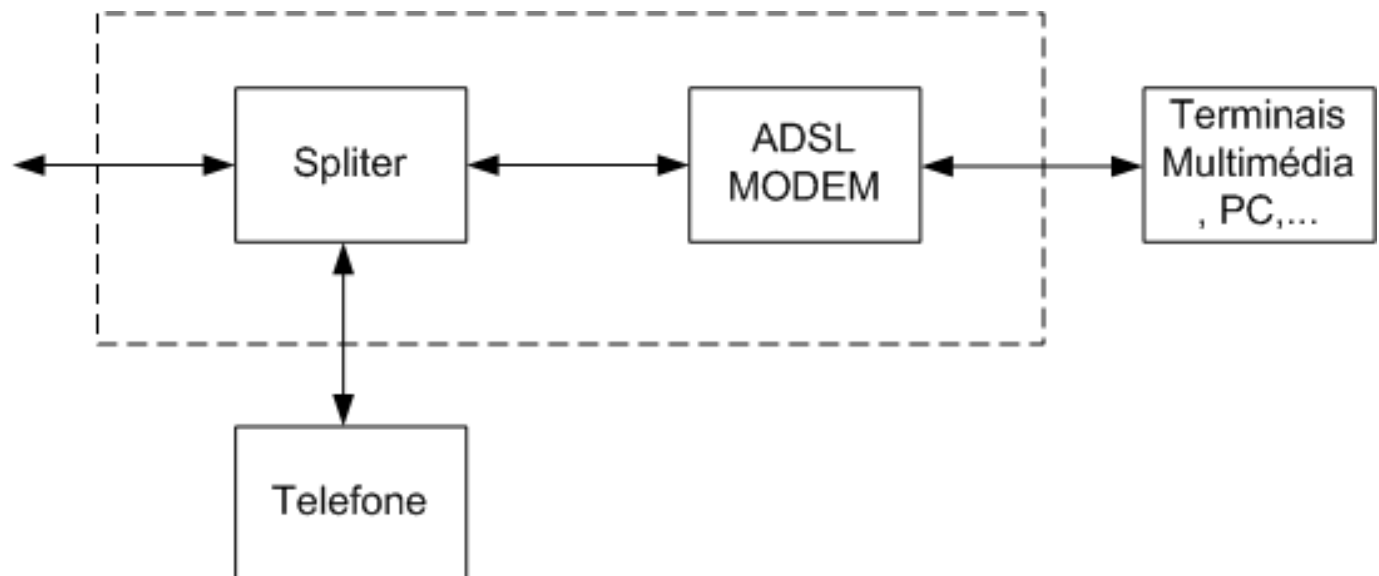


# Aplicações

- ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

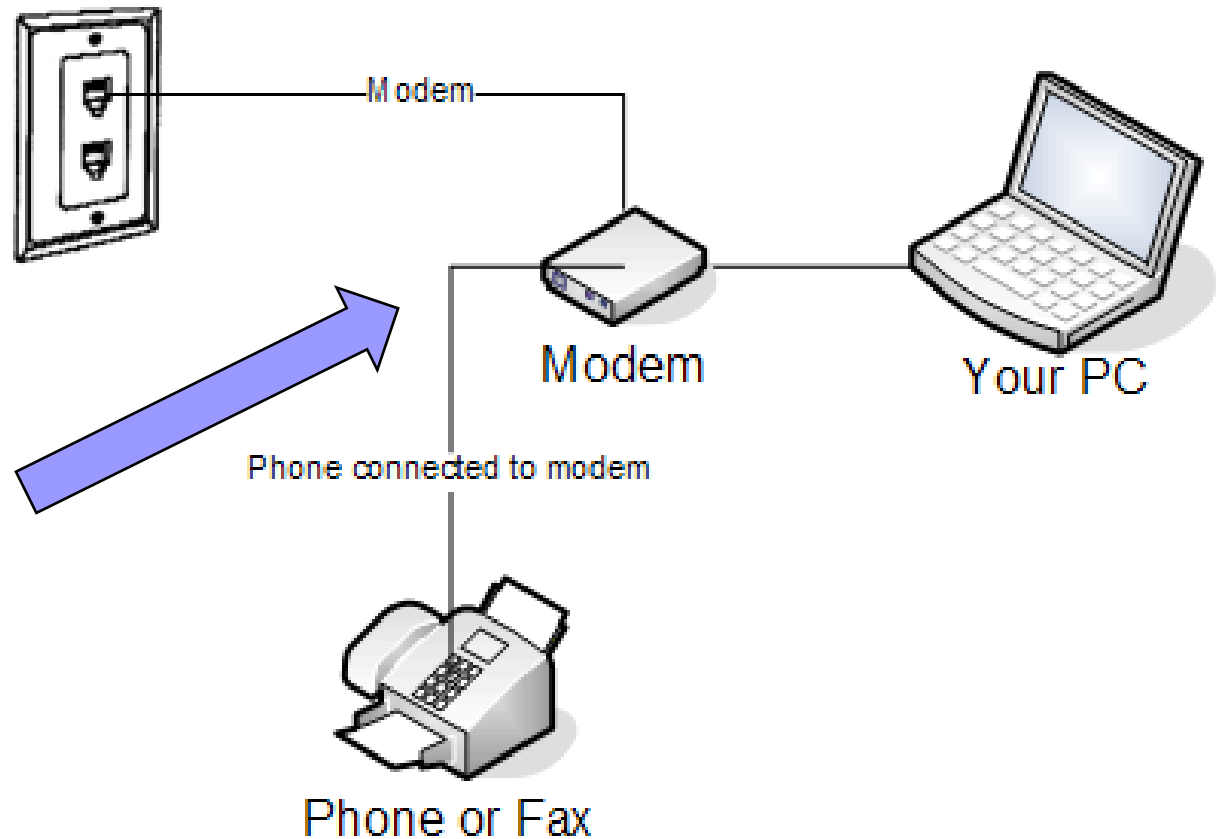


**Modem = Modulator/Demodulator**



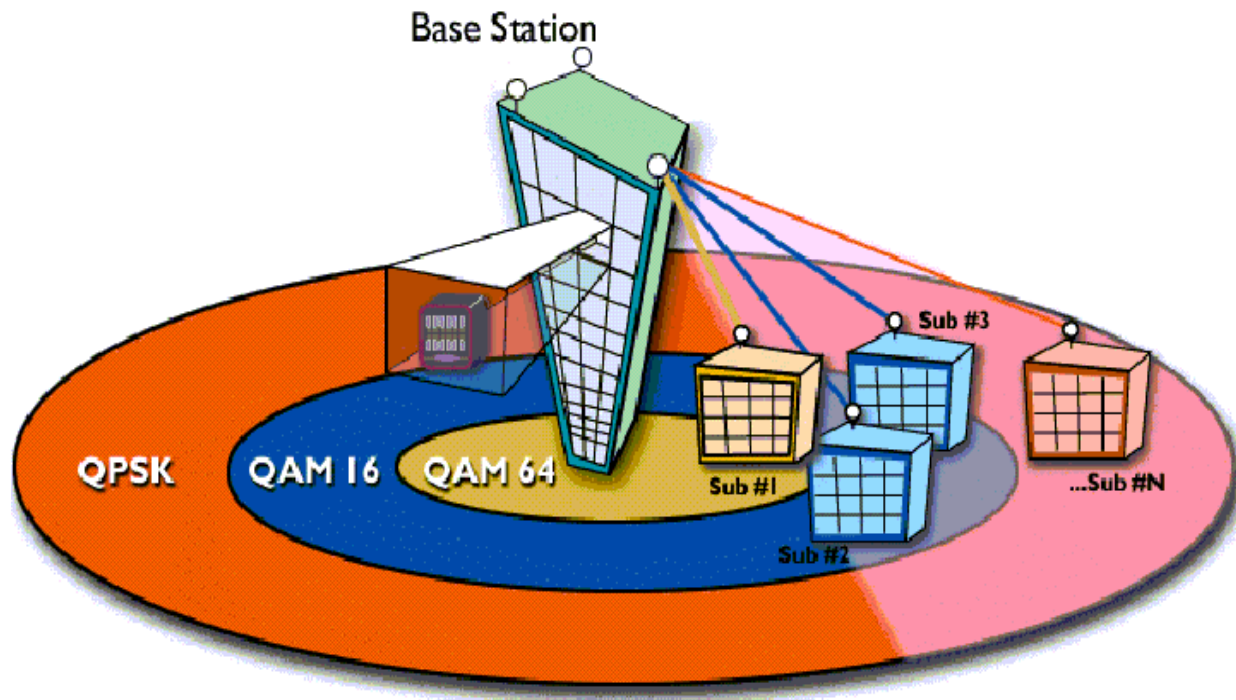
# Aplicações

- ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line



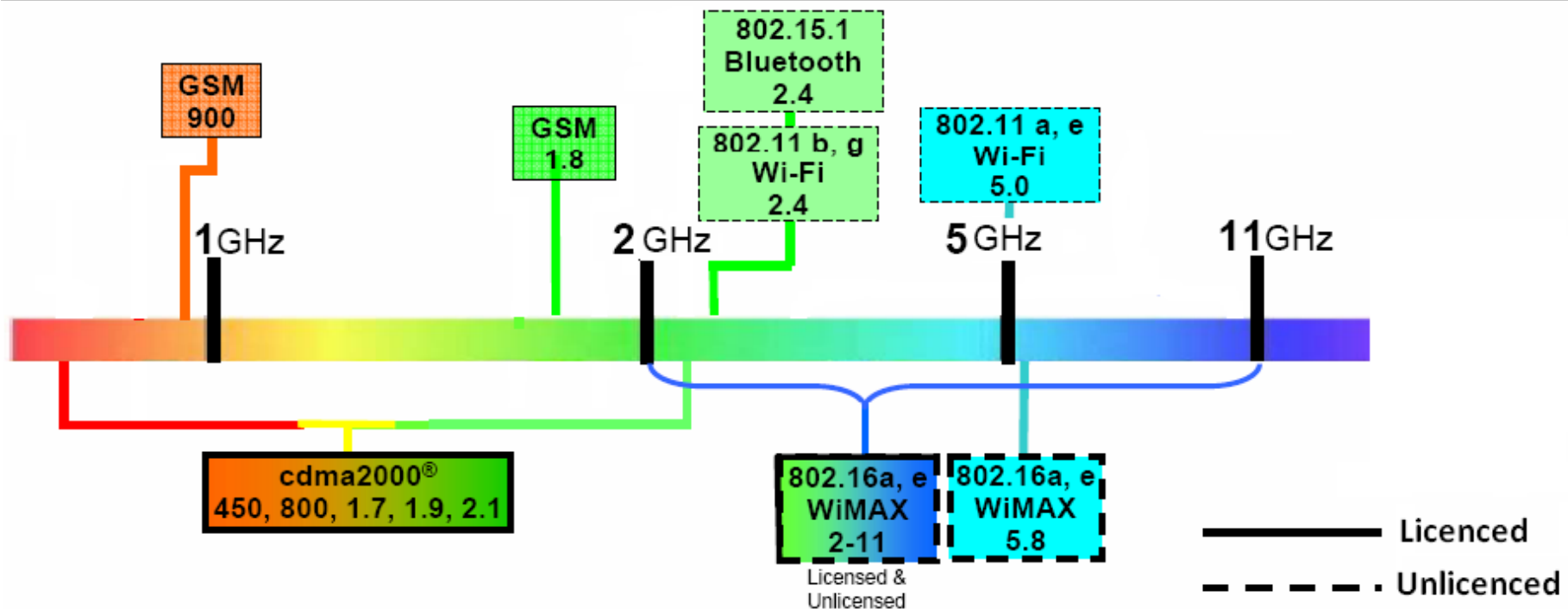
# Aplicações

- GSM – Global System Mobile



# Aplicações

- Comparação de normas e serviços  
Ocupação do espectro de frequência



# Aplicações

## ■ Comparação de normas e serviços

