

Modulação Digital

➤ ask

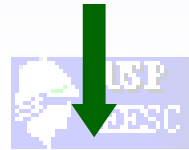
➤ fsk

➤ psk

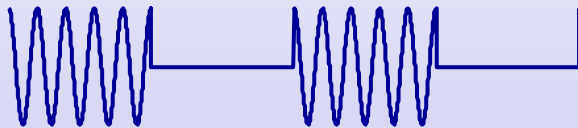
➤ qam

introdução

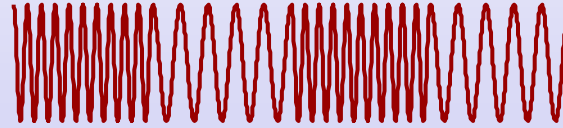
- ❖ estuda a transmissão dos dígitos binários através de um canal passa banda.
- ❖ um trem de pulsos modula (chaveia) algum parâmetro de uma portadora senoidal:



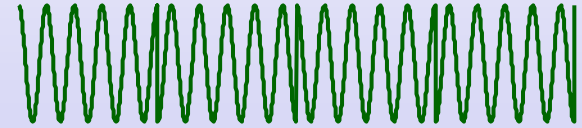
amplitude



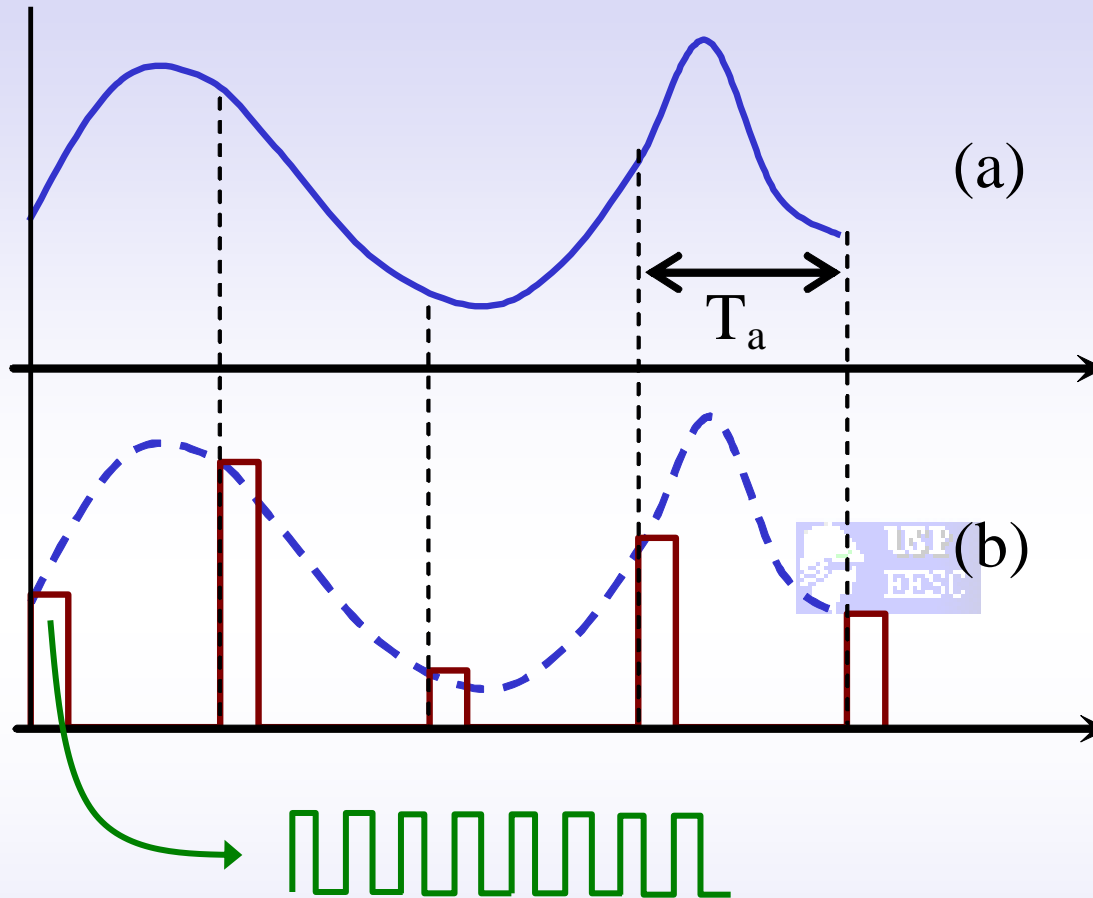
frequência



fase



informação na forma digital



- a) sinal modulante, ou de informação
- b) sinal amostrado,
- c) sinal digital.

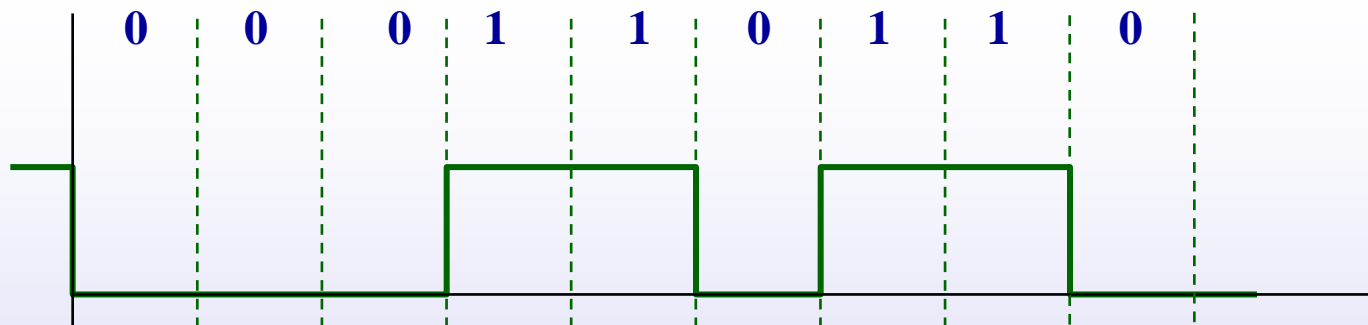
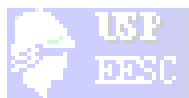
nos sistemas PCM cada pulso é digitalizado por uma palavra código de 8 bits.

❖ as técnicas de modulação digital são empregadas quando se quer transmitir os dados digitais através de canais de comunicação passa-banda.

➤ **canais:**

➤ *link* de micro-ondas, satélite, linha telefônica, cabos, ...

❖ o sinal de informação consiste de um trem de pulsos digitais do tipo NRZ que irá chavear algum parâmetro de um sinal senoidal de alta frequência.



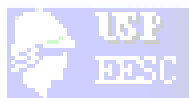
❖ **Taxa de bits:** $f_b = R_b = \text{Nro de bits da palavra} / T_a$



❖ o processo de modulação digital envolve o chaveamento de algum parâmetro de uma portadora senoidal:

➤ amplitude, frequência ou fase.

❖ do mesmo modo que na transmissão analógica tem-se três tipos básicos de modulação digital, identificadas pelas siglas: ASK, FSK e PSK.



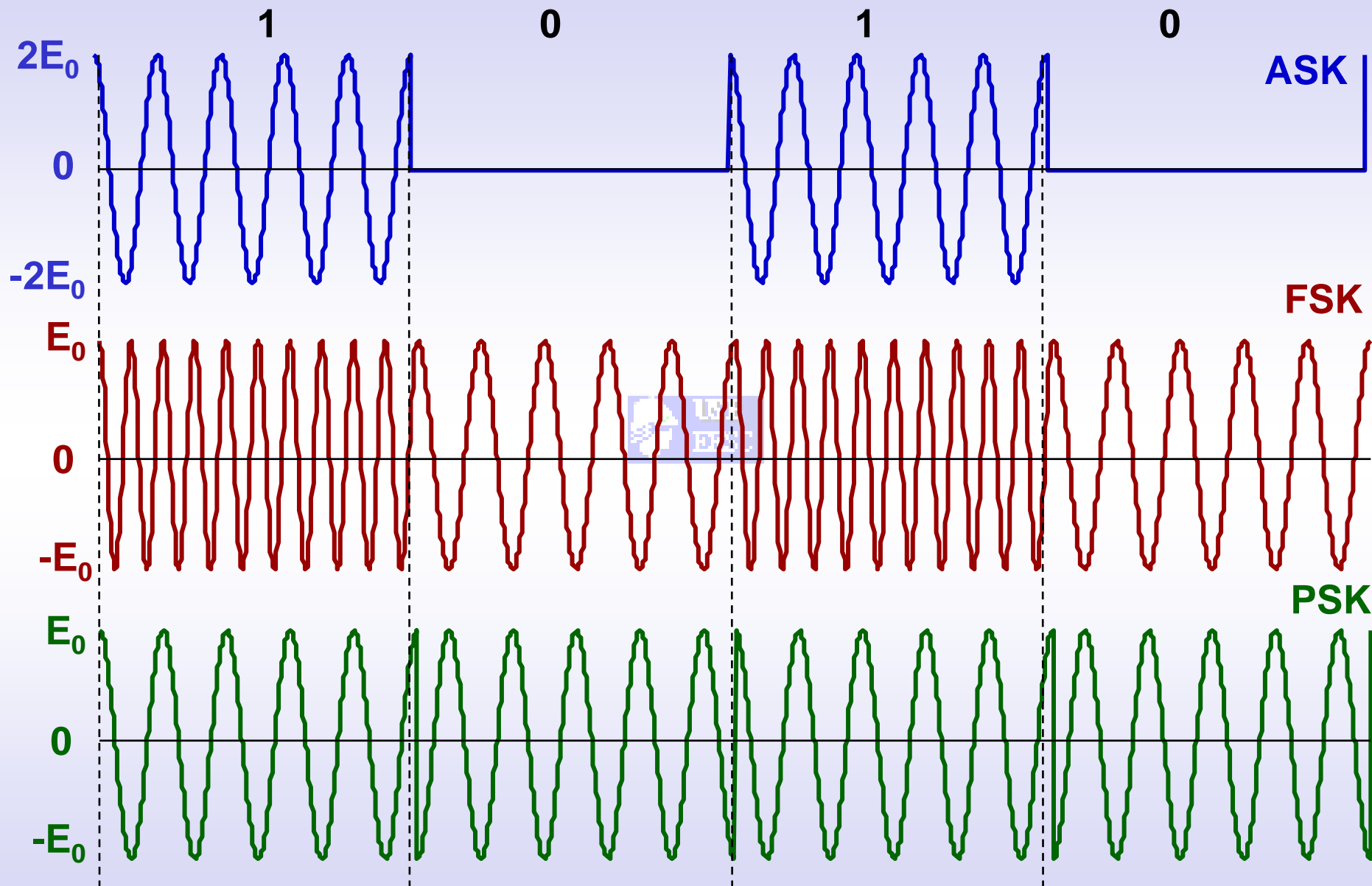
➤ **ASK:** modulação por deslocamento (chaveamento) de amplitude,

➤ **FSK:** modulação por deslocamento (chaveamento) da frequência,

➤ **PSK:** modulação por deslocamento (chaveamento) da fase.

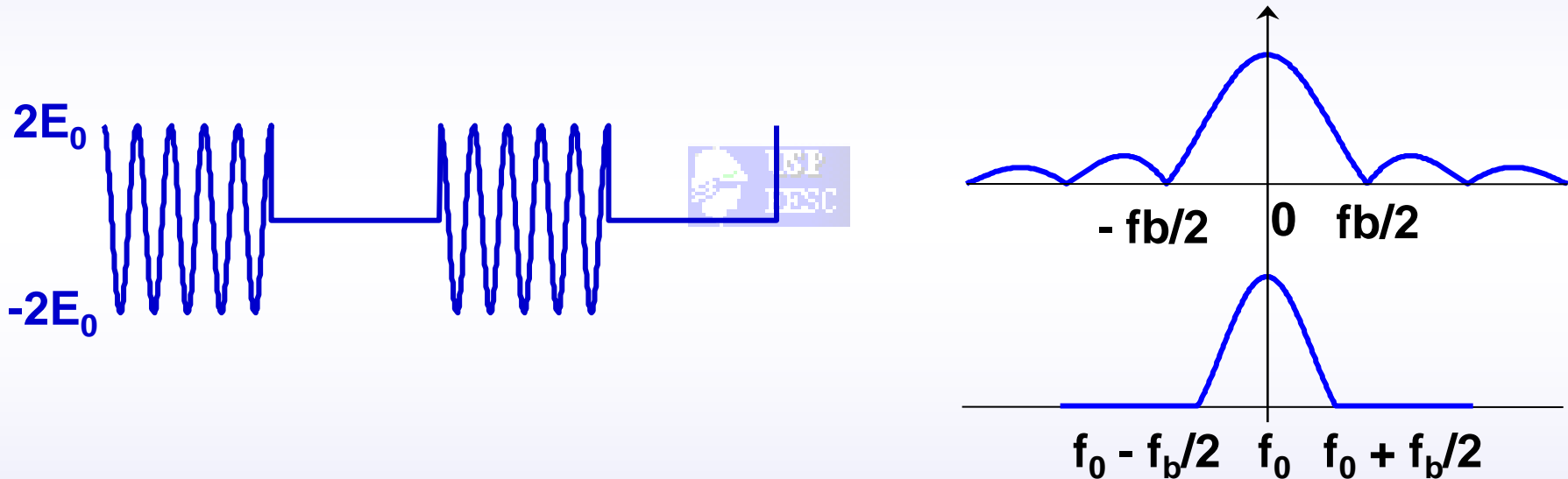


tipos básicos de modulação digital



modulação por chaveamento de amplitude - ASK

- ❖ modula a amplitude da portadora pelo sinal binário na banda básica:
 - amplitudes: $2E_0 \rightarrow$ bit 1 - ou nula \rightarrow bit 0,
 - corresponde à modulação AM com índice de modulação 100%,
- ❖ geração: moduladores AM ou chaveamento do portadora de RF.



- ❖ largura de faixa mínima de transmissão
 - $Bw_{ASK} = 2B_{MIN} = f_b$ em que $B_{MIN} = f_b/2$
- ❖ demodulação:
 - detectores de envoltória ou demodulação coerente.

❖ inconvenientes da modulação ASK:

- 50% da energia do sinal é gasta na transmissão da portadora,
- O detector de envoltória apresenta baixa relação sinal-ruído.

❖ tem-se outros sistemas mais eficientes:

- AMDSB-SC onde não há desperdício da portadora (semelhante ao PSK),
- A detecção coerente melhora a SNR.



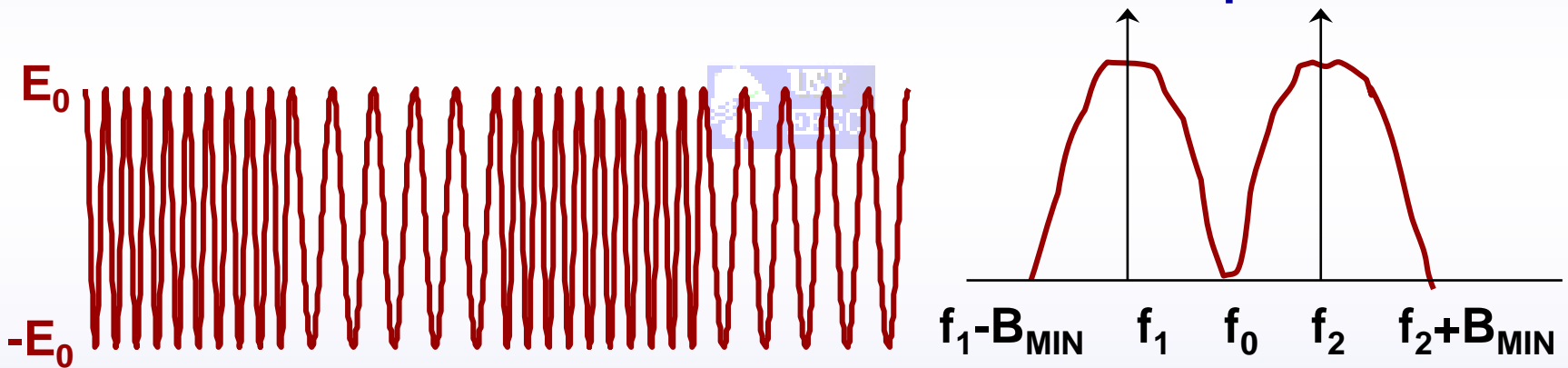
❖ nomenclatura:

- ASK → BASK → transmissão binária,
- MASK → transmissão de M símbolos.

❖ transmissor:

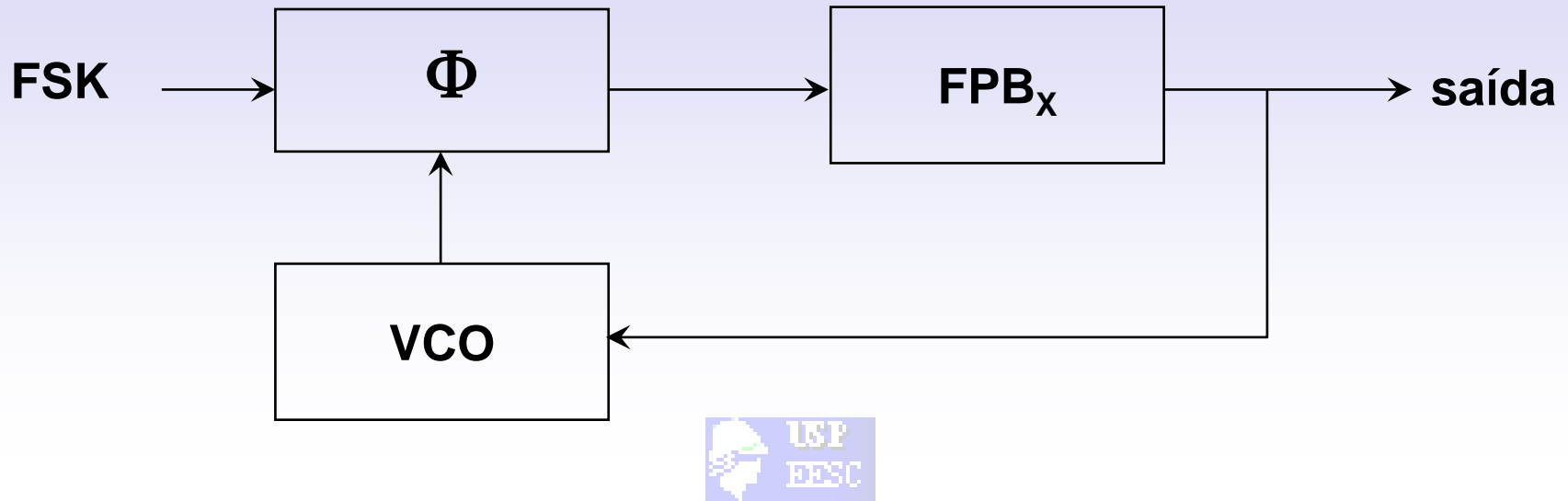
modulação por chaveamento de frequência - FSK

- ❖ duas senóides de mesma amplitude e frequências diferentes transmitem os bits “0” e “1”.
- ❖ corresponde a dois sistemas ASK tal que:
 - $ASK_1 \rightarrow f_1 \rightarrow$ para o sinal digital,
 - $ASK_2 \rightarrow f_2 \rightarrow$ para o complemento do sinal digital.
 - O FSK é encarado como a soma de dois ASK complementares.



- ❖ largura de faixa: $BW_{FSK} = (f_2 + B_{MIN}) - (f_1 - B_{MIN}) = 2 B_{MIN} + f_2 - f_1$
 - admitindo $\Delta f = (f_2 - f_1)/2 \rightarrow BW_{FSK} = 2B_{MIN} + 2\Delta f$
- ❖ desvio de fase: $\Delta\phi = \Delta f / B_{MIN}$
- ❖ a frequência central: $f_o = (f_1 + f_2)/2$

❖ Demodulação - PLL



❖ vantagens da modulação FSK:

- Propriedades da modulação angular (menor sensibilidade ao ruído)

❖ desvantagens:

- Largura de faixa (Bw) é duas vezes a do sistema ASK.
- transmissão das portadoras.

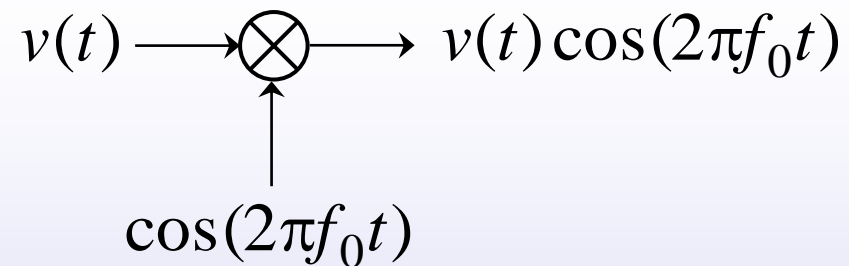
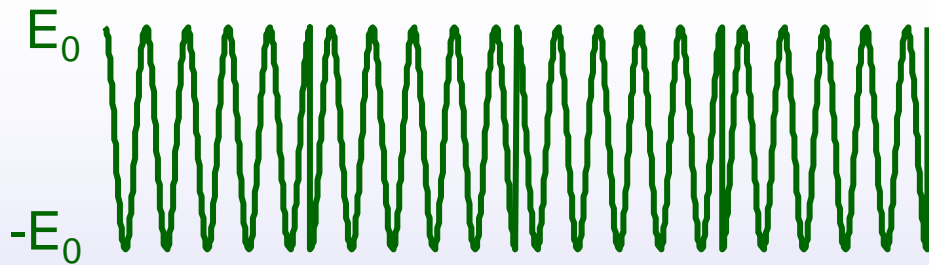


modulação por chaveamento de fase - PSK

- ❖ dois ângulos de fase 0° (0) e 180° (π) são utilizados para representar os estados $-E_0$ (0) e E_0 (1) do sinal digital.
 - observe que um deslocamento de $180^\circ \rightarrow$ produz uma inversão de sinal na portadora.
 - **assim, o sinal PSK pode ser representado pela seguinte equação:**

$$e(t) = v(t) \cos(2\pi f_0 t)$$

em que: $v(t) = \pm E_0 \rightarrow$ sinal digital NRZ



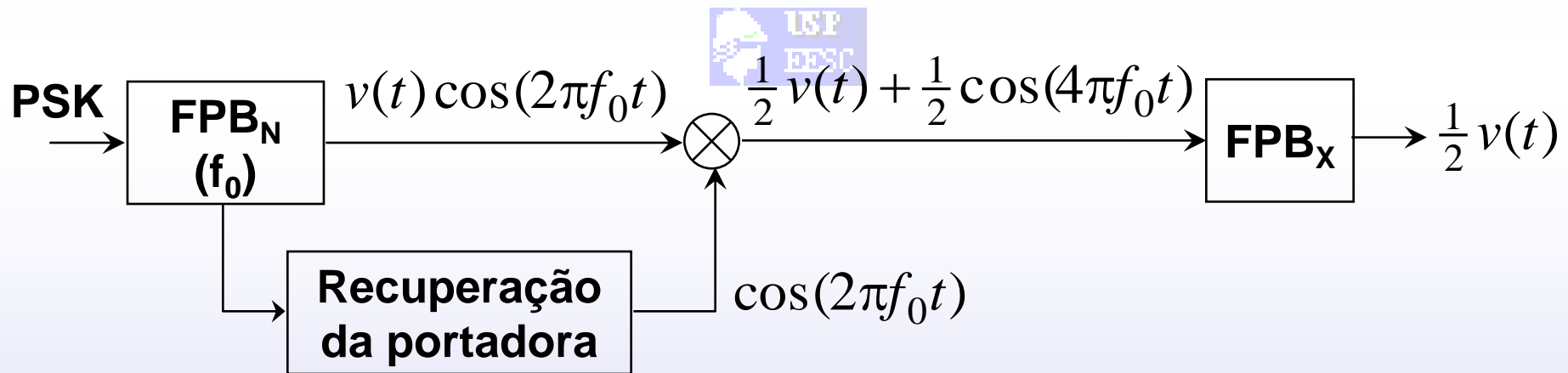
- ❖ o sistema PSK corresponde a uma modulação **AMDSB-SC**.
- ❖ largura de faixa $B_w = 2B_{\text{MIN}}$ - igual à do sistema ASK.



❖ vantagens:

- apresenta as propriedades da modulação angular.
- largura de faixa menor do que o sistema FSK.
- economia de 50% de potência na transmissão.

❖ demodulação do sinal PSK - detector coerente



❖ problemas:

- deve-se recuperar a portadora com sincronismo de frequência e fase
- necessidade de se transmitir um pequeno nível da portadora.
- passo contrário recuperação com ambiguidade de fase: 0° ou 180°
 - pode-se detectar o complemento do sinal.



❖ nomenclaturas:

- BPSK → PSK → transmissão binária.
- QPSK → 4 níveis (fases).
- MPSK → transmissão de M símbolos.

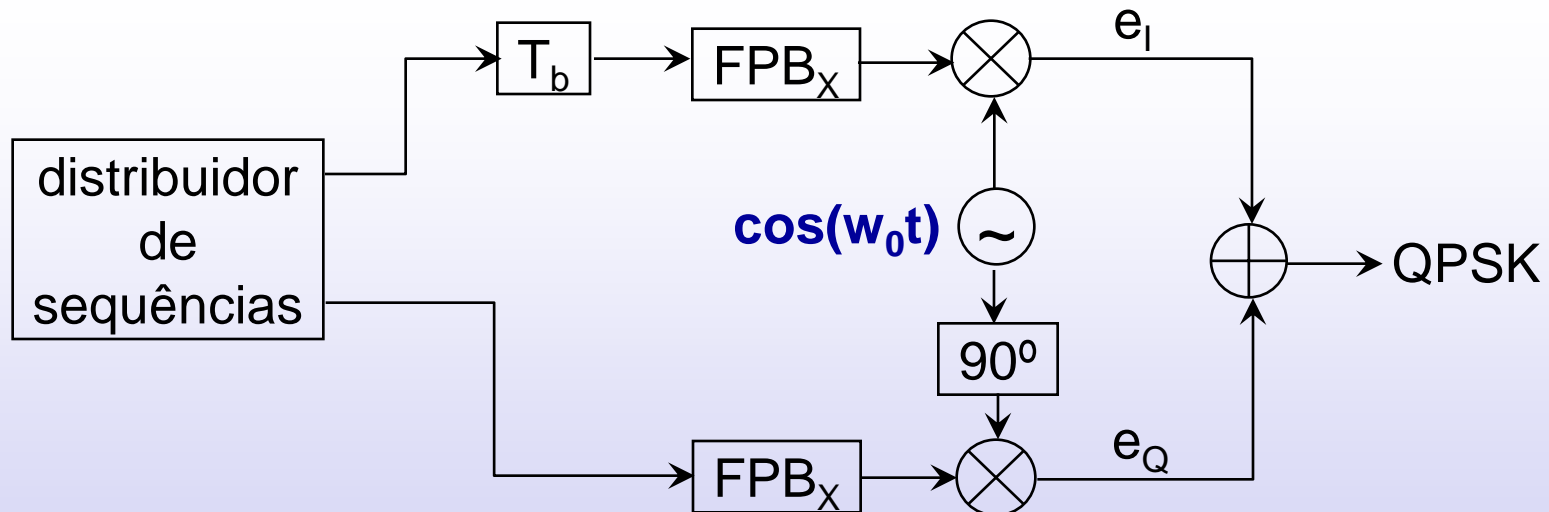


modulação QPSK - PSK em quadratura ou 4-PSK

- ❖ quatro fases (45° , 135° , -45° e -135°) são utilizadas para codificar os bits.
- ❖ A cada dois bits consecutivos (DBIT) associa-se uma das fases).
- ❖ vantagem
 - redução na taxa de transmissão de símbolos pela metade.

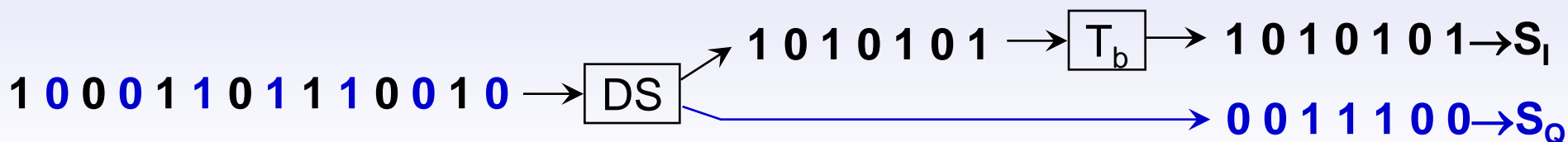
Dbit	fase
00	135°
01	45°
10	-135°
11	-45°

- ❖ esquema de geração:



❖ distribuidor de sequências:

- coloca alternadamente nas duas saídas os bits do sinal digital.
- Uma das saídas é atrasada de T_b segundos.
- Tem-se duas sequências, S_I e S_Q , que formam os dbits.



- ❖ observe que a taxa de símbolos destas sequências foi reduzida para a metade.
- ❖ a sequência S_I modula uma portadora com fase nula e a S_Q modula a portadora com fase 90° .
- ❖ tem-se dois sinais BPSK: $e_I(t)$ e $e_Q(t)$

$$e_I(t) = V_I \cos(2\pi f_0 t) \quad e \quad e_Q(t) = V_Q \sin(2\pi f_0 t)$$

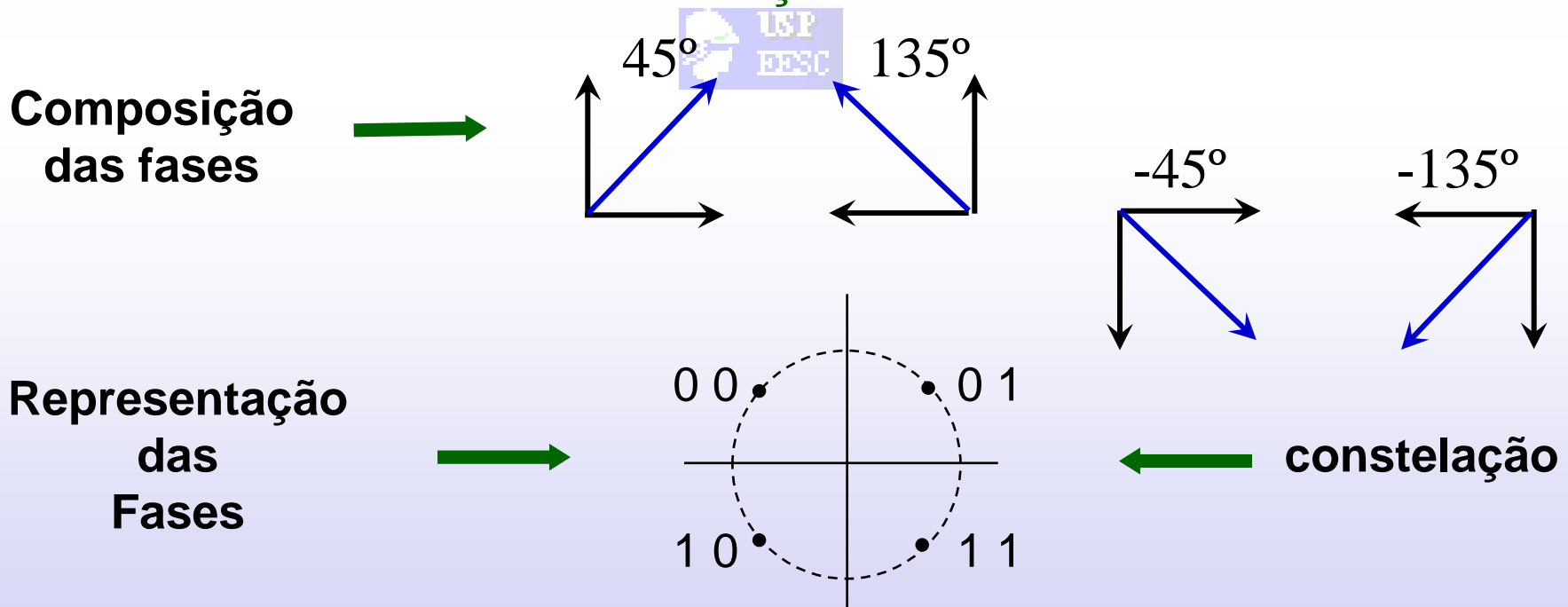
- ❖ estes dois sinais são somados para gerar o sinal QPSK.

$$e_{QPSK}(t) = V_I \cos(2\pi f_0 t) + V_Q \sin(2\pi f_0 t)$$

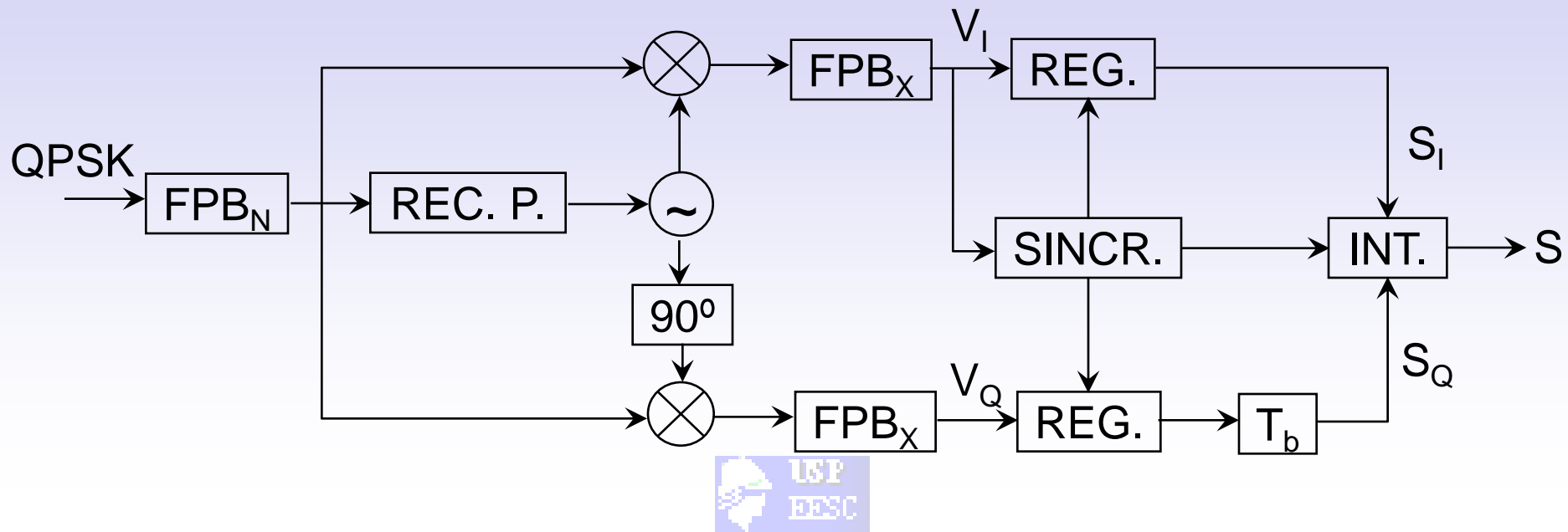


$$e_{QPSK}(t) = V_I \cos(2\pi f_0 t) + V_Q \sin(2\pi f_0 t)$$

- ❖ observe que e_I tem fases 0° e 180° e e_Q tem fases 90° e -90° .
- ❖ A soma: $e_I + e_Q$ apresenta fases 45° , 135° , -45° , e -135° .
- ❖ o intervalo entre símbolos é $2T_b \rightarrow$ a taxa de transmissão é reduzida para a metade.
- ❖ sistemas QPSK com mesma largura de banda que o PSK transmitem o dobro de informação.



demodulação coerente para o sistema QPSK



❖ na entrada: $e_{QPSK}(t) = V_I \cos(2\pi f_0 t) + V_Q \sin(2\pi f_0 t)$

$$e_I = e_{QPSK} \cos(w_0 t) = \frac{1}{2} V_I + \frac{1}{2} V_I \cos(2w_0 t) + \frac{1}{2} V_Q \sin(2w_0 t)$$

$$e_Q = e_{QPSK} \sin(w_0 t) = \frac{1}{2} V_Q - \frac{1}{2} V_Q \cos(2w_0 t) + \frac{1}{2} V_I \sin(2w_0 t)$$

- ❖ eles são filtrados e aplicados nos regeneradores para recuperar S_I e S_Q .
- ❖ o circuito intercalador de sequências recupera a sequência de bits.



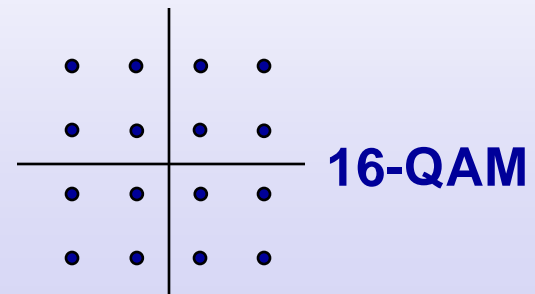
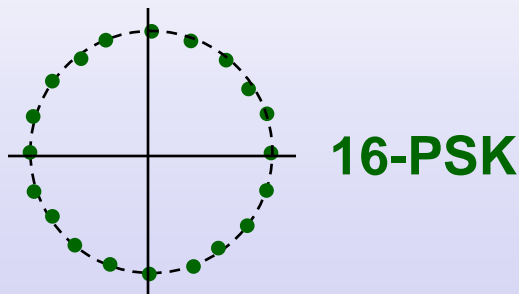
- ❖ QAM → modulação em amplitude e em quadratura.
 - é uma extensão do sistema M-PSK (fases múltiplas),
 - combina deslocamentos amplitude (ASK) e de fase (PSK),
 - representação: M-QAM.
 - em que:

$$M = 2^v \quad : \quad v = 2, \dots, 8$$

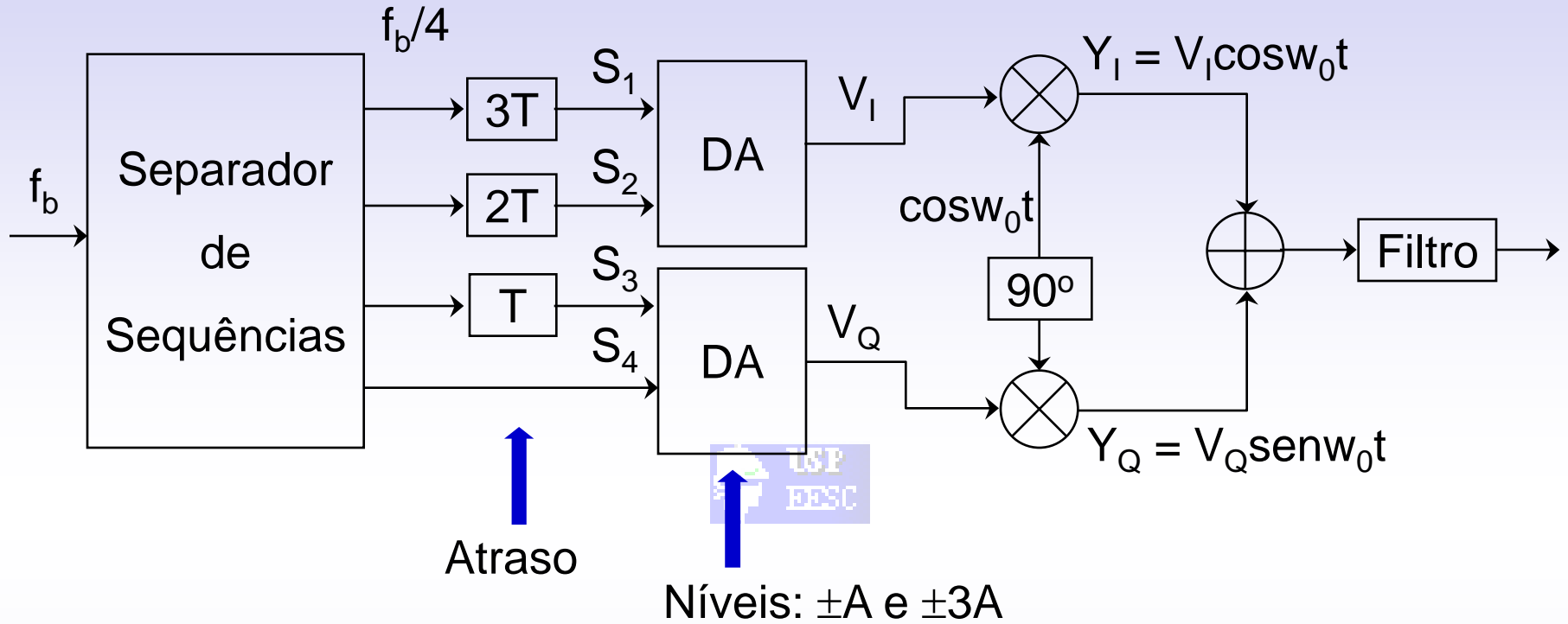
- resultando nos sistemas 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, ... 256-QAM.
- para $v = 2$ tem-se o sistema QPSK.

- ❖ cada estado está relacionado com v bits o que permite uma redução na largura de faixa para $1/v$ em relação ao sistema BPSK.

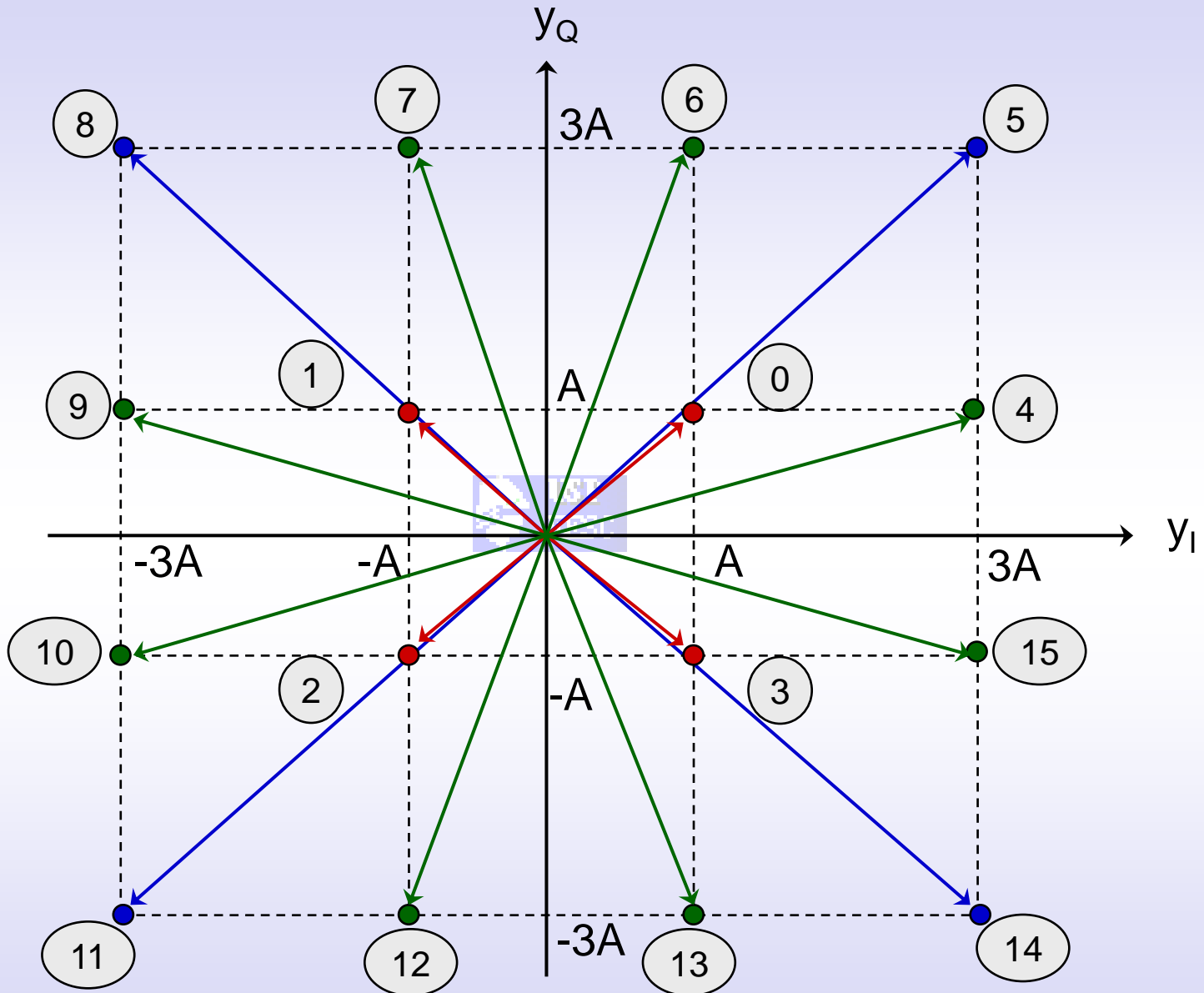
- ❖ **constelação para os sistemas 16-PSK e 16-QAM**



exemplo: sistema 16QAM



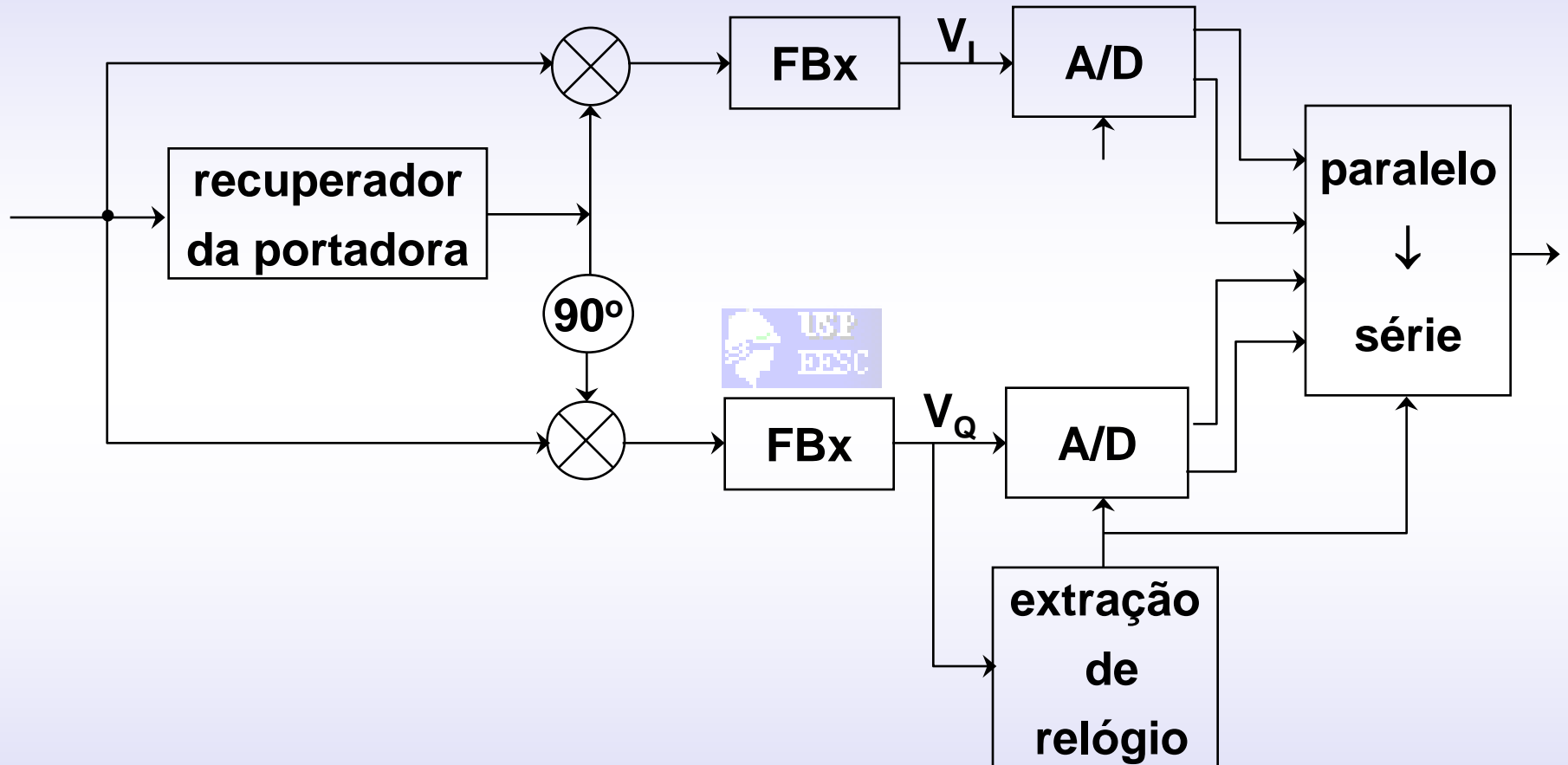
composição dos sinais - 16QAM



$$Y_I = V_I \cos \omega_0 t - Y_Q = V_Q \sin \omega_0 t - V_I \text{ e } V_Q \rightarrow A, -A, 3A, -3A$$

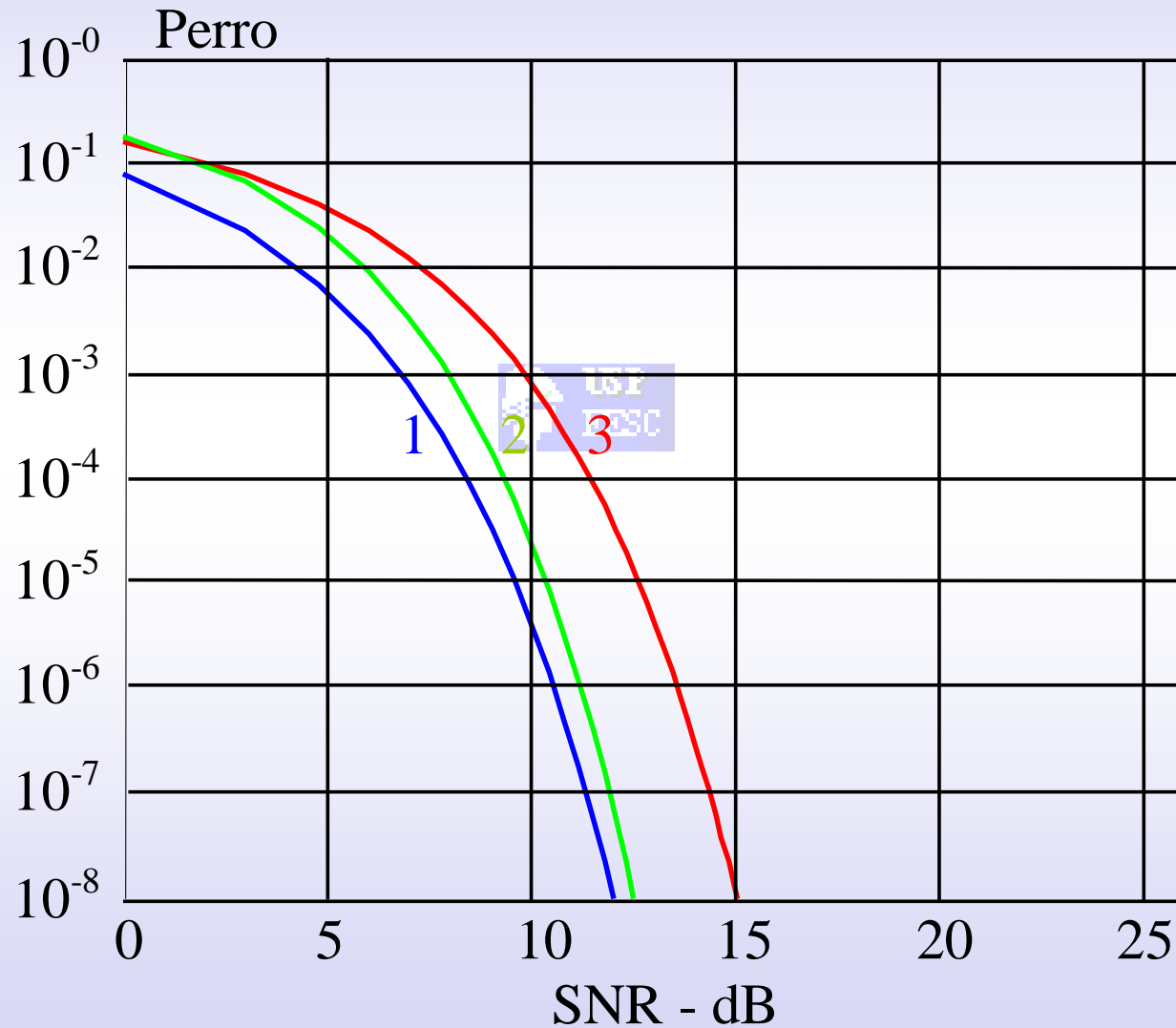


diagrama em blocos do demodulador - 16QAM



probabilidade de erro

❖ 1 - PSK; 2 - FSK e ASK; 3 - DEBPSK.



comparação de sistemas M-PSK e M-QAM

❖ probabilidade de erro : $P_E = 10^{-6}$.

❖ densidade de informação: $\delta = \frac{R_b [bps]}{B_w [Hz]}$

sistema	bps/Hz	
2-PSK	1	10.6
4-PSK / 4-QAM	2	10.6
8-PSK	3	14.0
16-PSK	4	18.3
16-QAM	4	14.5
32-QAM	5	17.4
64-QAM	6	18.8

↑
SNR [dB]

