

O sistema de comunicações digital mostrado na Figura 1 abaixo utiliza um modulador 8-PSK conforme mostra a Figura 2.

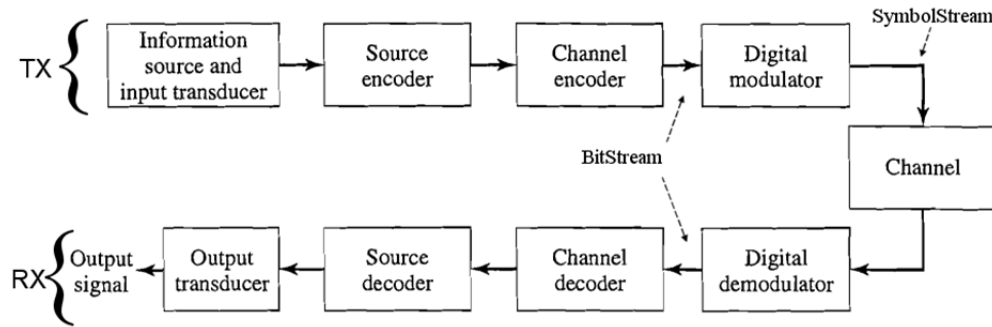
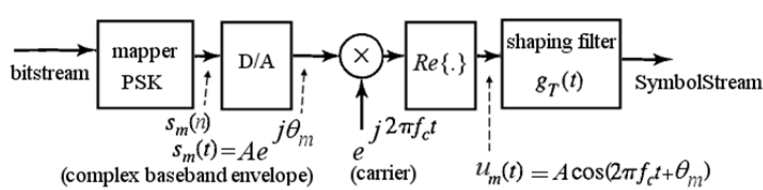
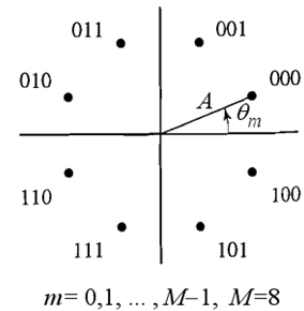


Figura 1: Diagrama geral de um sistema de comunicações digital.



(a) Diagrama do modulador PSK (bloco *Digital modulator* na Figura 1).



(b) Relação entre a  $m$ -ésima palavra binária na entrada do *mapper* e o envelope complexo  $s_m(t) = A e^{j\theta_m}$  (símbolo) resultante na saída do D/A.

Figura 2: Diagrama interno do bloco *Digital modulator* na Figura 1.

Assuma que o demodulador no RX decide qual símbolo é recebido com base em uma região de decisão definida por um círculo de raio  $\frac{d_{\min}}{2}$  em torno de cada ponto da constelação de referência, sendo  $d_{\min}$  a distância Euclidiana mínima entre os símbolos da constelação.

Sabendo que o *symbol rate* do sistema é 14 MHz, que a frequência da portadora é  $f_c = 52$  MHz e que em um determinado instante a sequência de palavras binárias na entrada do *Digital modulator* na Figura 1 é dada por  $\text{BitStream} = \{111001010101\}$ , determine:

- A frequência do *clock* do *BitStream* na entrada do *Digital modulator* na Figura 1 (assuma que os bits sejam transmitidos serialmente).
- A sequência de símbolos da constelação 8-PSK gerados na saída do *Digital modulator* (*SymbolStream*).
- O gráfico do sinal  $u_m(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_m)$  da Figura 2(a) para  $A = 1$ .
- Suponha que a palavra 110 tenha sido transmitida. Qual(Quais) a(s) palavra(s) da constelação que, sendo sucessora da 110 no *SymbolStream* na saída do modulador, geraria o **maior** espalhamento espectral? Justifique.
- Suponha que a palavra 111 tenha sido transmitida. Qual(Quais) a(s) palavra(s) da constelação que, sendo sucessora da 111 no *SymbolStream* na saída do modulador, geraria o **menor** espalhamento espectral? Justifique.
- Qual a SNR (em dB) na entrada do demodulador do RX que faria palavra binária 010 originalmente transmitida ser interpretada como a palavra 011?
- Qual a SNR (em dB) na entrada do demodulador do RX que faria palavra binária 101 originalmente transmitida ser interpretada como a palavra 110?

# Respostas:

a)

SymbolRate := 14 MHz

NBitsPerSymbol := 3

FClock := SymbolRate · NBitsPerSymbol

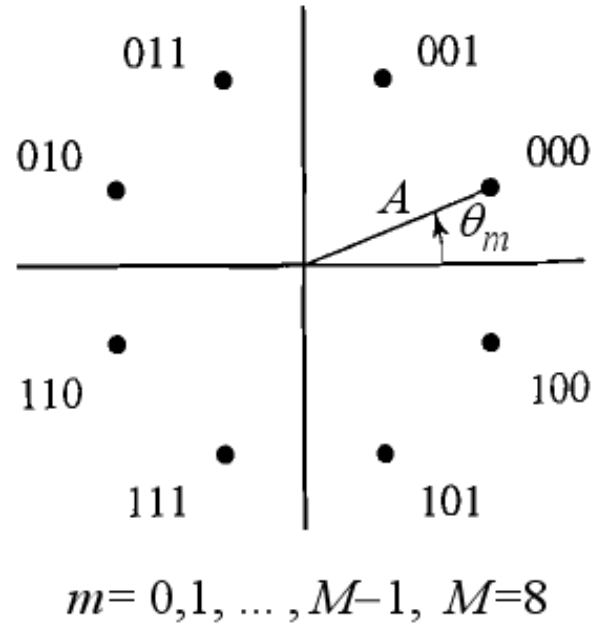
FClock = 42 MHz

b)

Seja  $A := 1$

bitstream :=  $\begin{pmatrix} "111" \\ "001" \\ "010" \\ "101" \end{pmatrix}$

mapper :=  $\begin{pmatrix} "000" & A \cdot e^{j \cdot 22.5 \cdot \text{deg}} \\ "001" & A \cdot e^{j \cdot 67.5 \cdot \text{deg}} \\ "011" & A \cdot e^{j \cdot 112.5 \cdot \text{deg}} \\ "010" & A \cdot e^{j \cdot 157.5 \cdot \text{deg}} \\ "110" & A \cdot e^{-j \cdot 157.5 \cdot \text{deg}} \\ "111" & A \cdot e^{-j \cdot 112.5 \cdot \text{deg}} \\ "101" & A \cdot e^{-j \cdot 67.5 \cdot \text{deg}} \\ "100" & A \cdot e^{-j \cdot 22.5 \cdot \text{deg}} \end{pmatrix}$



SymbolStream := Encoder (bitstream , mapper) → Submetendo o *bitstream* ao *mapper* obtemos o *SymbolStream*

$\overrightarrow{|\text{SymbolStream}|} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

→ Módulo  $A$  de cada símbolo

$\theta_m := \arg(\text{SymbolStream})$

$\theta_m = \begin{pmatrix} -112.5 \\ 67.5 \\ 157.5 \\ -67.5 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$

→ Fase  $\theta_m$  de cada símbolo

c)

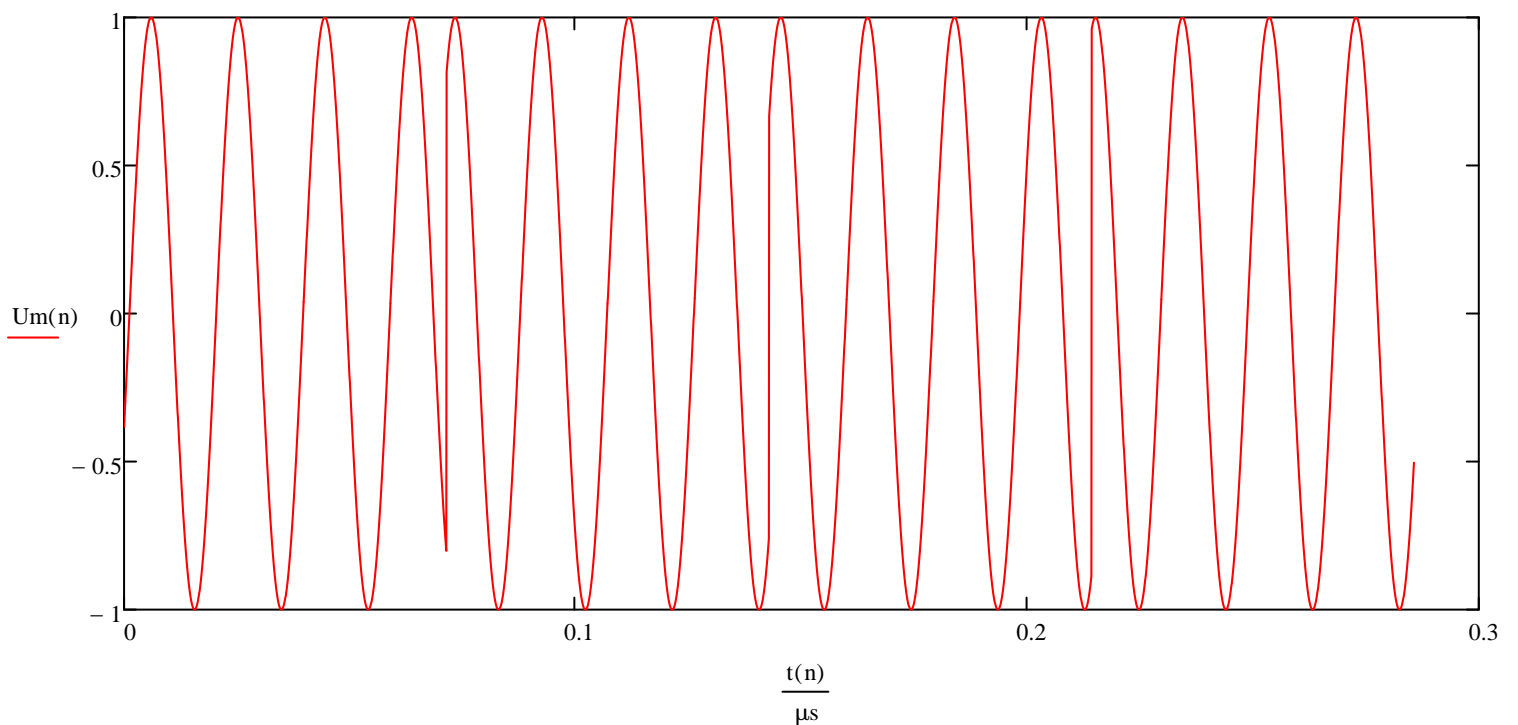
$f_c := 52 \text{ MHz}$

→ Frequência da portadora

$T := \frac{1}{\text{SymbolRate}}$

$T = 0.071 \mu\text{s}$  → Intervalo de um símbolo

$$u_m(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_m)$$



d) A palavra sucessora a 110 que gera o maior espalhamento espectral é 000. Isto ocorre porque 000 é mapeada no símbolo da constelação diametralmente oposto ao símbolo no qual 110 é mapeado. Por estarem em posições antipodais na constelação, a transição entre os símbolos associados a 000 e 110 gera no tempo um degrau instantâneo de maior amplitude comparativa em relação às transições possíveis entre 110 e os demais símbolos.

e) As palavras sucessoras a 111 que geram o menor espalhamento espectral são 110 e 101. Isto ocorre porque 110 e 101 são mapeadas em símbolos da constelação que são adjacentes ao símbolo no qual 111 é mapeado. Por estarem em posições adjacentes na constelação, as transições 111→101 e 111→110 geram no tempo degraus instantâneos de menor amplitude comparativa em relação às transições possíveis entre 111 e os demais símbolos.

f) Da equação (7.3.18) do Cap II da apostila, temos:

$$M := 8$$

$$d(m_1, m_2) := A \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{1 - \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{m_1 - m_2}{M}\right)}$$

dmin é a distância Euclidiana entre dois símbolos adjacentes, isto é:

$$d_{\min} := d(0, 1)$$

010 e 011 mapeiam em dois símbolos adjacentes, daí m1=0 e m2=1, e portanto:

$$m_1 := 0 \quad m_2 := 1$$

$$SNR := 20 \cdot \log\left(\frac{A}{d(m_1, m_2) - \frac{d_{\min}}{2}}\right)$$

$$SNR = 8.343 \quad \text{dB}$$

g) 101 e 110 mapeiam em dois símbolos que distam angularmente 90° entre si no círculo que contém os símbolos. Daí m1=0 e m2=2, e portanto:

$$\underline{m_1} := 0 \quad \underline{m_2} := 2$$

$$\underline{SNR} := 20 \cdot \log\left(\frac{A}{d(m_1, m_2) - \frac{d_{\min}}{2}}\right)$$

$$SNR = -0.27 \quad \text{dB}$$