



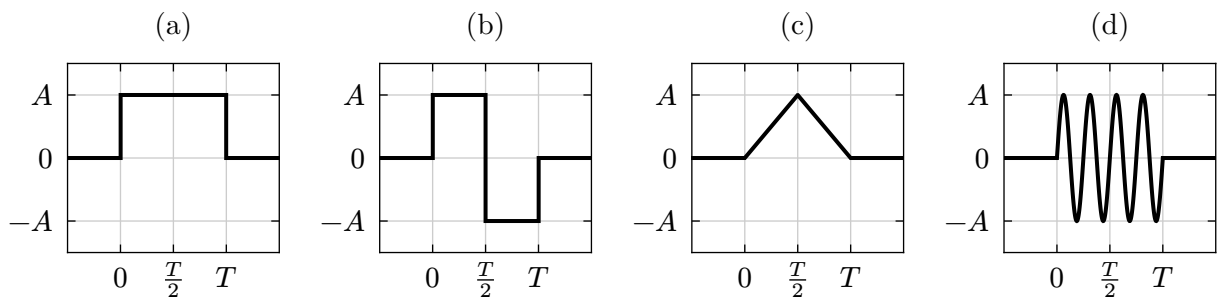
Sistemas de Comunicação I
Engenharia de Telecomunicações

Professor: Roberto Wanderley da Nóbrega

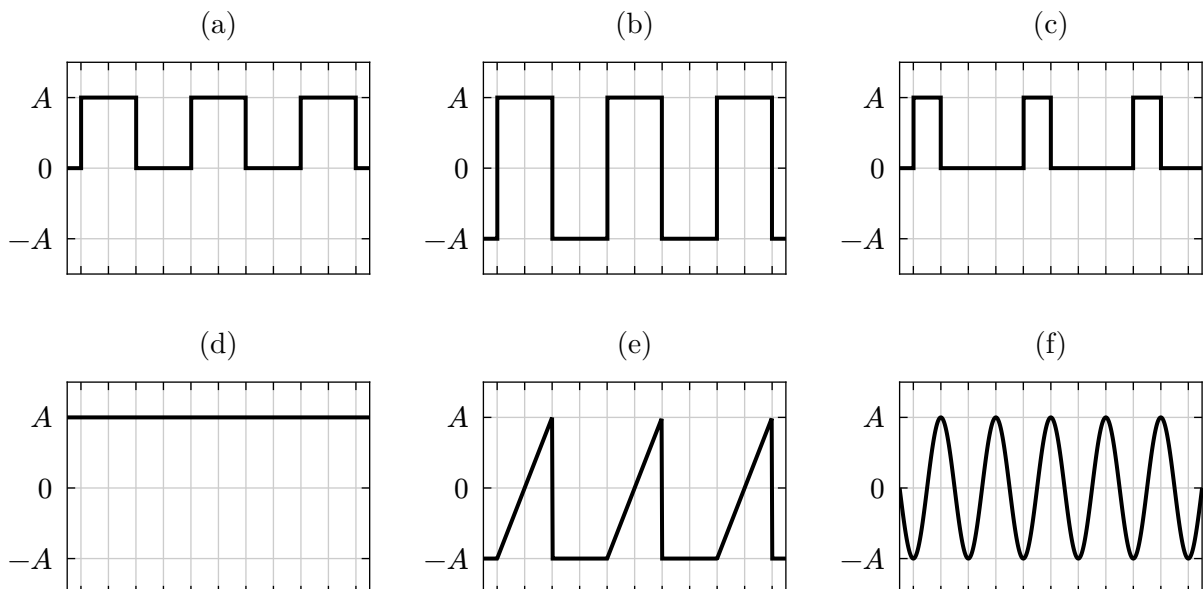
Semestre: 2026.1

Lista de exercícios 1

1. Calcule a energia dos sinais abaixo, mostrando seus cálculos.

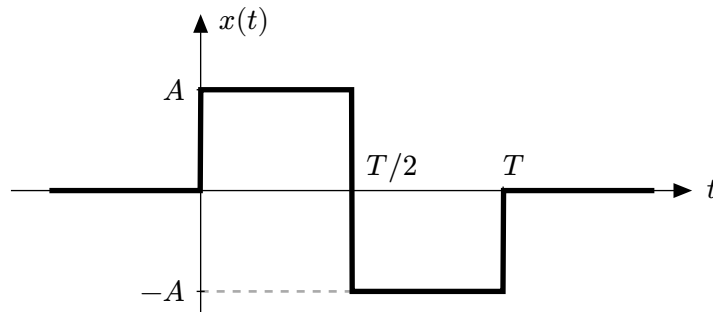


2. Calcule a potência média dos sinais abaixo, mostrando seus cálculos.

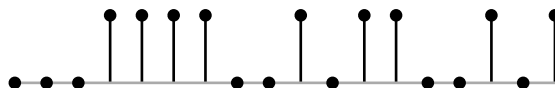




3. Determine a autocorrelação de energia e a densidade espectral de energia do sinal $x(t)$ mostrado abaixo. Em seguida, verifique o teorema de Wiener–Khinchin.

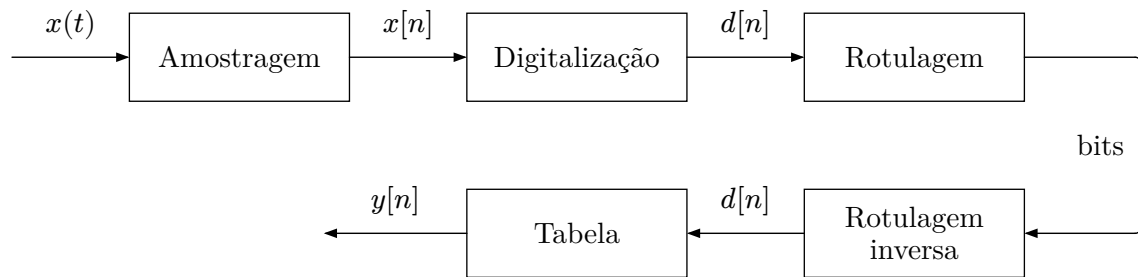


4. [1, 3.3] Esboce o espectro e especifique a taxa de Nyquist e o intervalo de Nyquist para cada um dos sinais abaixo:
- (a) $x(t) = \text{sinc}(200t)$.
 - (b) $x(t) = \text{sinc}^2(200t)$.
 - (c) $x(t) = \text{sinc}(200t) + \text{sinc}^2(200t)$.
 - (d) $x(t) = 1 + 2 \cos(2\pi 200t) + 3 \cos(2\pi 400t)$.
 - (e) $x(t) = 2 + 600 \text{sinc}(200t) + 8 \cos(2\pi 50t)$.
5. [2, 5.19], [3, 6.2-3] Determine a taxa de bits na saída de cada um dos conversores analógico–digital abaixo:
- (a)
 - Entrada: Sinal de vídeo com largura de banda de 4,5 MHz.
 - Amostragem: 15% superior à taxa de Nyquist.
 - Quantização: Uniforme com 1024 níveis.
 - Codificação: Binária.
 - (b)
 - Entrada: Sinal de áudio com largura de banda de 15 kHz.
 - Amostragem: 20% superior à taxa de Nyquist.
 - Quantização: Uniforme, com máximo erro de quantização tolerável de 0.25% do valor de pico do sinal de entrada.
 - Codificação: Binária.
6. A sequência de bits mostrada a seguir foi obtida na saída de um conversor analógico–digital. Esboce a sequência de amostras quantizadas do sinal, sabendo que foi utilizado um quantizador uniforme *mid-tread* de 8 níveis e passo 5 V.



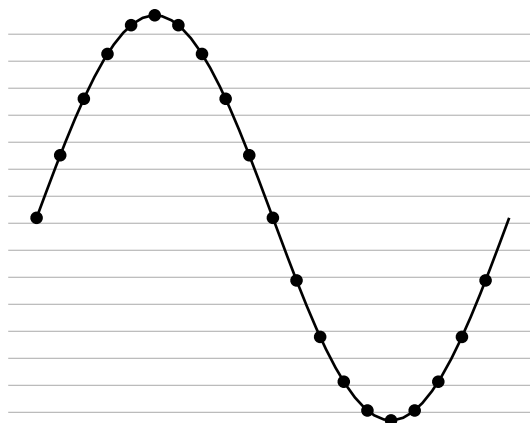
7. Considere o sistema mostrado abaixo, em que:

- Entrada: $x(t) = 8 \sin(2\pi 5t)$, com amplitude em volts e tempo em segundos.
- Amostragem: à taxa de 100 amostra/s.
- Quantização: uniforme *mid-riser* de 8 níveis e passo de 2 V.



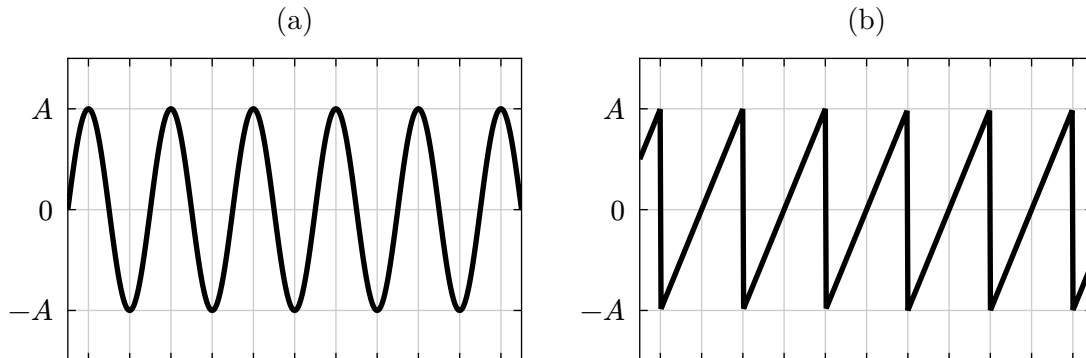
Considerando apenas 1/4 de ciclo da onda e assumindo a primeira amostra em $t = 0$:

- Preencha uma tabela contendo os valores de $x[n]$, $d[n]$ e $y[n]$.
 - Qual a sequência de bits na saída do codificador binário? Assuma rotulagem natural.
 - Determine a taxa de bits, em kbit/s, do codificador de fonte.
8. A onda sinusoidal de 2 kHz da figura a seguir representa um trecho de sinal de áudio que foi amostrado e quantizado uniformemente, com os limiares de quantização finitos indicados pelas linhas horizontais. Assuma que o nível inferior é mapeado em 0000, o seguinte em 0001, e assim sucessivamente.



- Determine os 20 primeiros bits na saída do codificador.
- Calcule a taxa de amostragem, em amostras por segundo.
- Calcule a taxa de bits do codificador, em bits por segundo.

9. Considere os sinais abaixo.



Para cada caso, primeiramente determine a potência do sinal em termos da amplitude A . Em seguida, determine o mínimo número de bits de um quantizador uniforme para que se tenha uma SNR de quantização de no mínimo 43 dB. Qual a SNR de quantização (em dB) de fato obtida com esse número de bits?

10. [3, 6.2-2] Considere um *compact disc* (CD) que armazena sinais de áudio digitalmente. Assuma que a largura de banda do sinal de áudio seja de 15 kHz.
- Determine o número de bits necessários para representar cada amostra, assumindo quantização uniforme com 65 536 níveis.
 - Supondo que o sinal de áudio tenha potência média de $0,1 V^2$ e valor de pico de 1 V, encontre a razão sinal-ruído do quantizador do item (a).
 - Determine o número de dígitos binários por segundo (bit/s) necessários para codificar um sinal de áudio estéreo (canais direito e esquerdo), considerando amostragem à taxa de Nyquist e o quantizador do item (a).
 - Repita o item anterior utilizando uma taxa de amostragem de 44 100 amostra/s.
 - Sabendo que a duração do CD é de 74 minutos, calcule a capacidade de armazenamento em MiB (Obs.: 1 MiB = 2^{20} bytes e 1 byte = 8 bits).

Bibliografia

- [1] S. Haykin, *Communication Systems*, 4^o ed. John Wiley & Sons, 2001.
- [2] S. Haykin e M. Moher, *Introduction to Analog and Digital Communications*, 2^o ed. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] B. P. Lathi e Z. Ding, *Modern Digital and Analog Communication Systems*, 4^o ed. Oxford University Press, 2009.



Respostas

1. (a) A^2T . (b) A^2T . (c) $A^2T/3$. (d) $A^2T/2$.

2. (a) $A^2/2$. (b) A^2 . (c) $A^2/4$. (d) A^2 . (e) $2A^2/3$. (f) $A^2/2$.

3.

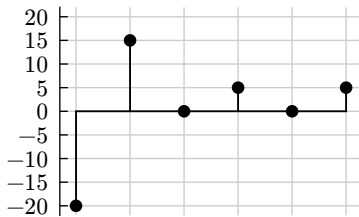
$$\psi_x(\tau) = \begin{cases} A^2(T - 3|\tau|), & \text{se } |\tau| \leq T/2, \\ -A^2(T - |\tau|), & \text{se } T/2 \leq |\tau| \leq T, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$\Psi_x(f) = A^2T^2 \operatorname{sinc}^2\left(\frac{Tf}{2}\right) \sin^2\left(\frac{\pi fT}{2}\right).$$

4. (a) 200 Hz e 5 ms. (b) 400 Hz e 2,5 ms. (c) 400 Hz e 2,5 ms. (d) 800 Hz e 1,25 ms. (e) 200 Hz e 5 ms.

5. (a) 103,5 Mbit/s. (b) 324 kbit/s.

6. Supondo $-20 \text{ V} \leftrightarrow 000$, $-15 \text{ V} \leftrightarrow 001$, $-10 \text{ V} \leftrightarrow 010$, e assim por diante, até $15 \text{ V} \leftrightarrow 111$, obtém-se:



7. (a) 10001010110011101111. (b) 40 kHz. (c) 160 kbit/s.

8. (a) $L \geq 115,3 \Rightarrow 7 \text{ bit} \Rightarrow \text{SNR} = 43,9 \text{ dB}$.

(b) $L \geq 141,3 \Rightarrow 8 \text{ bit} \Rightarrow \text{SNR} = 48,2 \text{ dB}$.

9. (a)

n	0	1	2	3
$x[n]$	2.4721	4.7023	6.4721	7.6085
$d[n]$	5	6	7	7
$y[n]$	3.0	5.0	7.0	7.0

(b) Sequência de bits: 101 110 111 111.

10. (a) 16 bit/amostra. (b) 91,1 dB. (c) 960 kbit/s. (d) 1,411 2 Mbit/s. (e) 746,93 MiB.