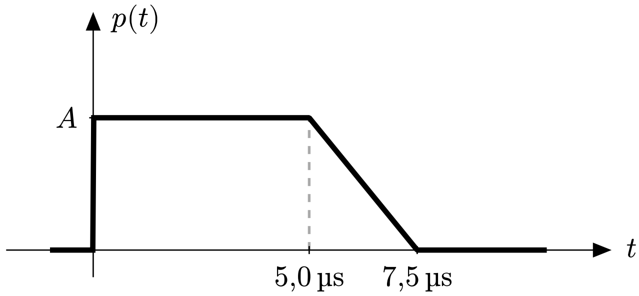
Sistemas de Comunicação I
Engenharia de Telecomunicações

Professor: Roberto Wanderley da Nóbrega — Semestre: 2026.1

Lista de exercícios 2

1. Considere o pulso de transmissão $p(t)$ abaixo.



(a) Determine uma expressão analítica para $p(t)$.

(b) Determine o valor da constante A de modo que $p(t)$ tenha energia unitária.

(c) Assumindo uma taxa de símbolos de 100 kbaud, esboce o sinal PAM $x(t)$ correspondente à sequência de entrada $\mathbf{u}[n] = [+0.4, -0.1, -0.5, +0.8, -0.2]$.

2. Determine e esboce a densidade espectral de potência de um sinal PAM resultante considerando:

(a) Entrada $\mathbf{u}[n]$ de média $\mu_{\mathbf{u}} = 0$ e função autocovariância $C_{\mathbf{u}}[\ell] = 6\delta[\ell]$;
Pulso $p(t)$ retangular RZ de energia unitária.

(b) Entrada $\mathbf{u}[n]$ de média $\mu_{\mathbf{u}} = 0$ e função autocovariância $C_{\mathbf{u}}[\ell] = 2\delta[\ell] - \delta[\ell \pm 1]$;
Pulso $p(t)$ retangular NRZ de energia unitária.

(c) Entrada $\mathbf{u}[n]$ de média $\mu_{\mathbf{u}} = 1$ e função autocovariância $C_{\mathbf{u}}[\ell] = 5\delta[\ell]$;
Pulso $p(t)$ sinc de energia unitária.

3. Considere novamente o pulso de transmissão $p(t)$ da Questão 1. Esboce o pulso de recepção $q(t)$ casado ao pulso de transmissão $p(t)$. Aplique um atraso em $q(t)$ para torná-lo causal.

4. Considere os pulsos de transmissão retangular NRZ,

$$p(t) = A\,\mathrm{rect}\left(\frac{t - T_\mathrm{s}/2}{T_\mathrm{s}}\right),$$

e retangular RZ,

$$p(t) = A\,\mathrm{rect}\left(\frac{t - T_\mathrm{s}/4}{T_\mathrm{s}/2}\right).$$

Para cada um desses pulsos, supondo a sequência de entrada $\mathbf{u}[n] = [-0.6, +1.5, +0.8, -0.4]$:

(a) Determine o valor da constante A de modo que $p(t)$ tenha energia unitária.

(b) Esboce o sinal $x(t)$ transmitido.

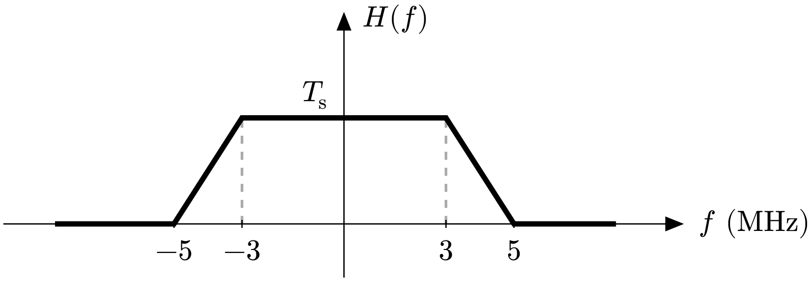
(c) Determine e esboce o pulso de recepção $q(t)$ casado ao pulso de transmissão $p(t)$. Aplique um atraso em $q(t)$ para torná-lo causal.

(d) Determine e esboce o pulso equivalente $h(t)$. Este pulso satisfaz a condição para ISI nula?

(e) Esboce o sinal $v(t)$ na saída do filtro de recepção assumindo ausência de ruído.

(f) Determine a sequência de saída $\mathbf{v}[n]$.

5. Considere o espectro $H(f)$ de um pulso equivalente mostrado abaixo.



(a) Para qual taxa de símbolos o pulso satisfaz o critério de Nyquist para ISI nula? Nesse caso, qual é o fator de rolloff?

(b) *(Opcional.)* Sejam a e b reais positivos, com $a < b$. Mostre que a convolução

$$\mathrm{rect}(x/a) \star \mathrm{rect}(x/b)$$

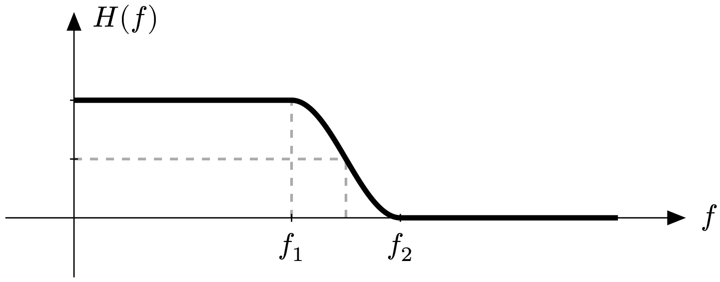
é um trapézio centrado na origem, com altura a, base maior $a + b$ e base menor $b - a$.

(c) Considerando os valores da letra (a) e o resultado da letra (b), conclua que

$$H(f) = \frac{T_\mathrm{s}^2}{\alpha}\,\mathrm{rect}(T_\mathrm{s} f/\alpha) \star \mathrm{rect}(T_\mathrm{s} f).$$

(d) Determine a forma de onda $h(t)$ do pulso equivalente e calcule os valores de $h(nT_\mathrm{s})$ para n inteiro.

6. A parte positiva do espectro $H(f)$ de um pulso cosseno levantado utilizado em um sistema de comunicação é mostrada abaixo.



(a) Deseja-se transmitir dados a uma taxa de 1 Mbaud sem interferência intersimbólica utilizando este pulso. Determine as frequências f_1 e f_2, sabendo que o canal disponível para transmissão tem largura de banda de 700 kHz. Qual é o fator de rolloff?

(b) Suponha agora que $f_1 = 0{,}8\,\mathrm{MHz}$ e $f_2 = 1{,}2\,\mathrm{MHz}$. Determine a máxima taxa na qual símbolos podem ser transmitidos sem interferência intersimbólica. Qual é o fator de rolloff?

Respostas

1. (a) $p(t) = A\,[0\,\mu\mathrm{s} \le t < 5\,\mu\mathrm{s}] + A(7.5 - t)/2.5\,[5\,\mu\mathrm{s} \le t < 7.5\,\mu\mathrm{s}]$.

(b) $A \approx 414\sqrt{\mathrm{Hz}}$.

(c) —

2. (a) $S_x(f) = 3\,\mathrm{sinc}^2(T_\mathrm{s} f/2)$.

(b) $S_x(f) = 4\sin^2(\pi T_\mathrm{s} f)\,\mathrm{sinc}^2(T_\mathrm{s} f)$.

(c) $S_x(f) = 5\,\mathrm{rect}(T_\mathrm{s} f) + (1/T_\mathrm{s})\delta(f)$.

3. —

4.

	NRZ:	RZ:
(a)	$A = \sqrt{1/T_\mathrm{s}}$.	$A = \sqrt{2/T_\mathrm{s}}$.
(b)	—	
(c)	$q(t) = A\,\mathrm{rect}\left(\dfrac{t - T_\mathrm{s}/2}{T_\mathrm{s}}\right)$.	$q(t) = A\,\mathrm{rect}\left(\dfrac{t - 3T_\mathrm{s}/4}{T_\mathrm{s}/2}\right)$.
(d)	$h(t) = \mathrm{tri}\left(\dfrac{t - T_\mathrm{s}}{T_\mathrm{s}}\right)$.	$h(t) = \mathrm{tri}\left(\dfrac{t - T_\mathrm{s}}{T_\mathrm{s}/2}\right)$.
(e)	—	
(g)	$\mathbf{v}[n] = [0.0, -0.6, +1.5, +0.8, -0.4]$.	

5. (a) $R_\mathrm{s} = 8\,\mathrm{Mbaud}$ e $\alpha = 0{,}25$.

(b) $h(t) = \mathrm{sinc}(\alpha t/T_\mathrm{s})\,\mathrm{sinc}(t/T_\mathrm{s})$, com $h(nT_\mathrm{s}) = \delta[n]$.

6. (a) $f_1 = 300\,\mathrm{kHz}$, $f_2 = 700\,\mathrm{kHz}$ e $\alpha = 0{,}4$.

(b) $R_\mathrm{s} = 2\,\mathrm{Mbaud}$ e $\alpha = 0{,}2$.