



UFCEG – Universidade Federal de Campina Grande
CEEI – Centro de Engenharia Elétrica e Informática
DEE – Departamento de Engenharia Elétrica
Disciplina: Princípios de Comunicações
Professor: Waslon Terllizzie Araújo Lopes

4ª Lista de Exercícios: Semestre 2011.1

1. Responda de forma clara e objetiva os itens abaixo:
 - (a) O que é modulação?
 - (b) O que é demodulação?
 - (c) Que procedimento deve ser adotado para obter, a partir de um demodulador AM-DSB síncrono, um demodulador AM-SC síncrono?
 - (d) Qual a principal diferença entre a demodulação coerente e a demodulação não-coerente?
 - (e) Qual a largura de faixa mínima necessária para transmissão de um sinal de voz de 4 kHz considerando como esquema de modulação o AM com banda lateral única (AM-SSB)?
2. Dado o sinal em banda básica $m(t) = \sin(2.000t + \phi)$. Determine o que se pede:
 - (a) Calcule e esboce o espectro de $m(t)$;
 - (b) Esboce o espectro do sinal AM-SC dado por $s(t) = 2m(t) \cos(20.000t + \phi)$;
 - (c) Determine a potência da portadora modulada;
 - (d) Identifique no gráfico a banda lateral superior (USB) e a banda lateral inferior (LSB) do espectro do sinal modulado.

PS: ϕ e φ são variáveis aleatórias uniformemente distribuídas entre zero e 2π .
3. Dois sinais, $m_1(t)$ e $m_2(t)$, ambos limitados à 5.000 rad/s, devem ser transmitidos simultaneamente por um canal utilizando o esquema de multiplexação da Figura 1. O sinal no ponto b é o sinal multiplexado e modula uma portadora com frequência 20.000 rad/s. O sinal no ponto c é transmitido através do canal de comunicações.
 - a) Esboce o espectro dos sinais nos pontos a , b e c .
 - b) Qual deve ser a largura de faixa do canal?
 - c) Projete um receptor para recuperar os sinais $m_1(t)$ e $m_2(t)$ a partir do sinal modulado disponível no ponto c . Esboce os gráficos.
4. Verifique se as afirmativas a seguir são verdadeiras ou falsas. Justifique suas respostas.
 - (a) Qualquer esquema utilizado para demodular um sinal AM-SC pode ser utilizado para demodular um sinal AM-DSB.
 - (b) Se o sinal $m_1(t)$ tem banda passante igual 10 kHz e $m_2(t)$ tem banda passante igual 5 kHz, então $m_1(t)m_2(t)$ tem banda passante 50 kHz.
5. Um sinal AM-SC, dado por $s(t) = m(t) \cos(\omega_c t + \theta)$, é demodulado sincronamente a partir de uma portadora gerada localmente. Após o batimento com a portadora local, o sinal é filtrado para eliminar frequências acima de ω_M , sendo $\omega_M \ll \omega_c$. Analise e esboce o efeito, no espectro do sinal demodulado, das seguintes alterações na portadora local:

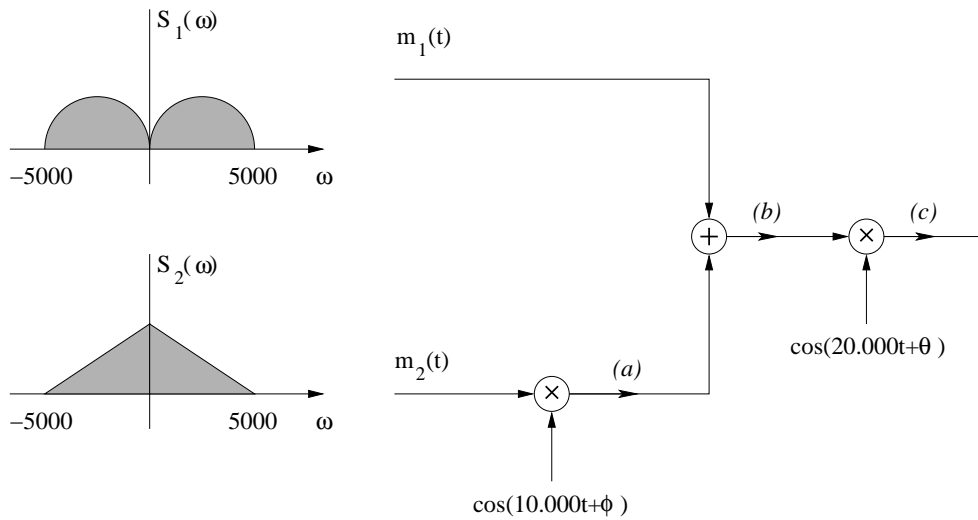


Figura 1: Esquema de multiplexação.

- (a) A portadora local sofre um desvio de frequência para $\omega_c + \Delta\omega$;
- (b) O que ocorre com o sinal se $\Delta\omega = \omega_M$?
6. Um sinal mensagem triangular com amplitude 1 V modula uma portadora de amplitude 1 V em AM-DSB. O sinal modulado é apresentado na Figura 2. Determine:
- (a) O índice de modulação AM;
- (b) A frequência da portadora;
- (c) A potência da portadora modulada;
- (d) Tamanho das antenas para recepção adequada do sinal modulado.
7. Um sinal AM-SC, dado por $s(t) = m(t) \cos(\omega_c t + \phi)$, é demodulado sincronamente. Após o batimento com a portadora local, o sinal sofre uma filtragem passa-baixa. Determine:
- (a) O sinal na saída do demodulador se a portadora gerada localmente apresentar erro em fase $\Delta\phi = 15^\circ$.
- (b) A potência do sinal demodulado dado que a densidade espectral de potência do sinal $m(t)$ é dada por $S_M(\omega) = 0,001 \cdot [u(\omega + 8\pi \cdot 10^3) - u(\omega - 8\pi \cdot 10^3)]$.
8. Num sistema AM sem portadora, a frequência da portadora é $f_c = 500$ kHz e o sinal modulante tem DEP uniforme e limitada a 8 kHz. O sinal modulante é transmitido sem distorção através de um canal com ruído aditivo cuja DEP é dada por $S_n(\omega) = 1/(\omega^2 + a^2)$, sendo $a = 10^6\pi$. A potência útil do sinal na entrada do receptor é $10 \mu\text{W}$. No receptor, o sinal recebido sofre uma filtragem passa-faixa, é multiplicado por $2 \cos(\omega_c t)$ e, por último, sofre uma filtragem passa-baixa para obter o sinal $s_0(t) + n_0(t)$. Determine a relação sinal-ruído de saída em dB.
9. Num esquema de modulação AM-SC, o sinal modulado é dado por

$$s(t) = B m(t) \cos(\omega_c t + \phi),$$

sendo $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = 300$ kHz e $B = 10$. O sinal mensagem $m(t)$ tem DEP dada por $S_m(\omega) = \beta \text{rect}(\omega/2\alpha)$ e $\alpha = 8000\pi$ é transmitido por um canal telefônico com função de transferência $H_c(\omega) = 10^{-1}/(j\omega + \alpha)$. Considere a existência de ruído no receptor com potência igual a $1 \mu\text{W}$. Determine o valor de β para de modo que a relação sinal-ruído no receptor seja igual a 25 dB. Considere $\text{rect}(\omega/2\alpha) = 1$ para $|\omega| \leq \alpha$ e $\text{rect}(\omega/2\alpha) = 0$ para $|\omega| > \alpha$

Dica: A relação sinal-ruído (SNR) é dada por $\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{P_S}{P_N} \right)$, em que P_S é a potência do sinal desejado e P_N é a potência do ruído.

10. Um sinal AM-SC, dado por $s(t) = m(t) \cos(\omega_c t + \phi)$, é demodulado sincronamente a partir de uma portadora gerada localmente. Após o batimento com a portadora local, o sinal sofre uma filtragem passa-baixa. Calcule o sinal na saída do demodulador se a portadora gerada localmente apresentar erro em fase $\Delta\phi = \pi/2$. Explique porque esse é um resultado esperado.
11. Seja $m(t)$ um sinal não-negativo, i.e., $m(t) \geq 0$. Considere a recepção do sinal AM-SC dado por $s(t) = m(t) \cos(\omega_c t + \phi)$ e a existência de um erro de fase igual a $\Delta\phi$ na geração da portadora local. Projete um demodulador que possa recuperar o sinal mensagem utilizando os sinais $\cos(\omega_c t + \phi + \Delta\phi)$ e $\sin(\omega_c t + \phi + \Delta\phi)$, multiplicadores, somadores, filtros passa-baixa além de um dispositivo não-linear cuja saída é a raiz quadrada do sinal de entrada.
 Dica: Quando a fase é desconhecida, existe informação tanto na componente em fase quando na componente em quadratura do sinal modulado.
 Obs: Além do diagrama de blocos, apresente expressões que expliquem o funcionamento do demodulador.
12. Uma grande vantagem dos esquemas de modulação digital é que os sinais podem ser facilmente criptografados usando técnicas padrões de criptografia. A maior parte dos sinais em sistemas de comunicações analógicos podem ser escutados utilizando uma antena e um receptor AM. Esta questão explora uma estratégia de criptografia bastante simples para sinais de voz analógicos. Esse dispositivo (*Voice Scrambler*) embaralha o sinal transmitido com o objetivo de dificultar uma escuta não autorizada. Considere o esquema de criptografia apresentado na Figura 3, em que o sinal de entrada $x(t)$ apresenta espectro $S_X(\omega)$, também ilustrado na figura. O filtro passa-alta $H_1(\omega)$ deixa passar todas as frequências acima de ω_1 e remove todas as componentes de frequência abaixo de ω_1 . O filtro passa-baixas $H_2(\omega)$ deixa passar todas as componentes de frequência no intervalo $[-B, B]$ e remove todas as outras componentes de frequência.
- Esboce o espectro $S_Y(\omega)$ admitindo $\omega_1 \gg B$;
 - Encontre o valor de ω_2 em função de ω_1 e B de modo que o espectro $S_Z(\omega)$ seja o apresentado na figura;
 - Mostre que esta técnica de criptografia pode ser obtida utilizando-se uma estratégia alternativa baseada no uso de um modulador AM-SC com frequência ω_0 em conjunto com um demodulador coerente com frequência local igual a $\omega_0 + \Delta\omega$. Qual o valor de $\Delta\omega$?
 - Qual esquema é mais vantajoso? Explique.

13. Num esquema de modulação AM-DSB, o sinal modulado é dado por

$$s(t) = (1 + B) m(t) \cos(\omega_c t + \phi),$$

sendo $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = 300$ kHz, ϕ uma variável aleatória uniformemente distribuída entre zero e 2π . A Figura 4 representa a densidade espectral de potência do sinal mensagem $m(t)$. Admita que esse sinal é transmitido por um canal de comunicações caracterizado pela equação diferencial

$$\frac{dy(t)}{dt} + \alpha y(t) = \alpha x(t).$$

em que $x(t)$ e $y(t)$ representam a entrada e a saída do canal de comunicações, respectivamente, e $\alpha = 6\pi \times 10^5$. Determine o valor da constante B sabendo que a potência da portadora modulada no receptor é -110 dBm.

14. O esquema de modulação AM com banda lateral independente (AM-ISB – *Amplitude Modulation-Independent Sideband*) transmite dois sinais com banda lateral única (SSB – *Single Sideband*). Considere dois sinais $m_1(t)$ e $m_2(t)$ com os gráficos de densidade espectral de potência dados nas Figuras 5(a) e 5(b), respectivamente. O gráfico apresentado na Figura 14(c) ilustra a densidade espectral de potência do sinal $s(t)$ cuja banda lateral superior (USB – *Upper Sideband*) é função do espectro do sinal $m_1(t)$ e cuja banda lateral inferior (LSB – *Lower Sideband*) é função do espectro do sinal $m_2(t)$. Determine os valores de ω_1 e ω_2 bem como os filtros ideais $H_1(\omega)$, $H_2(\omega)$, $H_3(\omega)$ e $H_4(\omega)$ de modo que a saída do demodulador da Figura 14(d) seja o sinal $m_1(t)$ no ramo superior e o sinal $m_2(t)$ no ramo inferior.

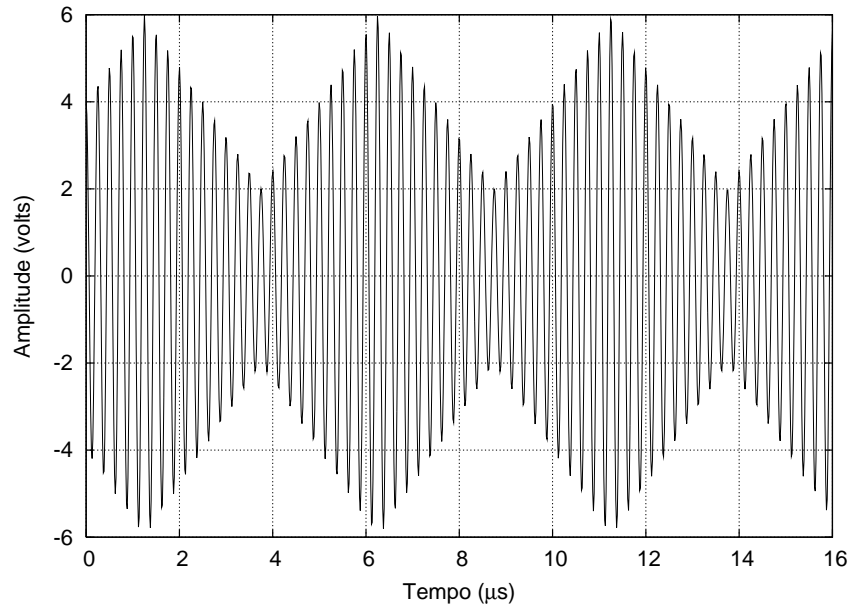


Figura 2: Sinal AM-DSB.

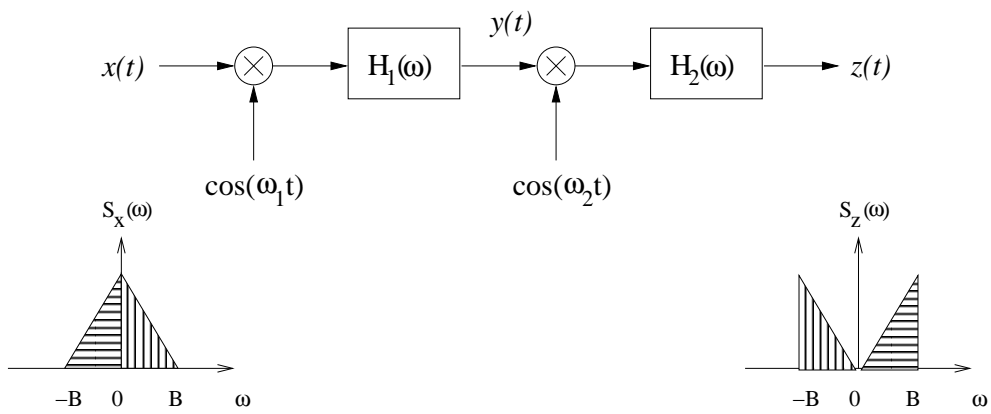


Figura 3: Esquema de criptografia de sinais analógicos (12ª Questão).

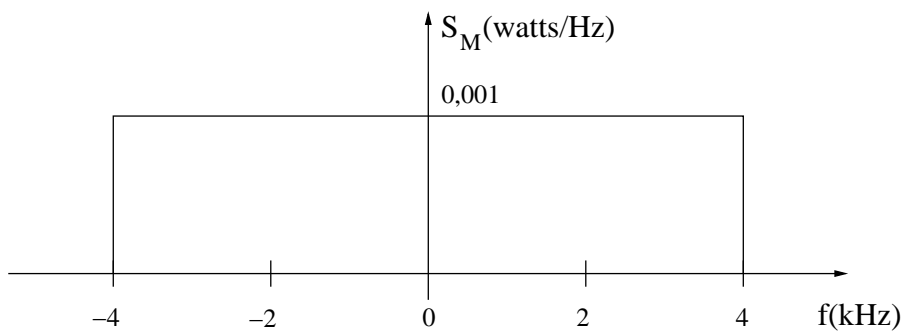


Figura 4: Densidade espectral de potência do sinal $m(t)$.

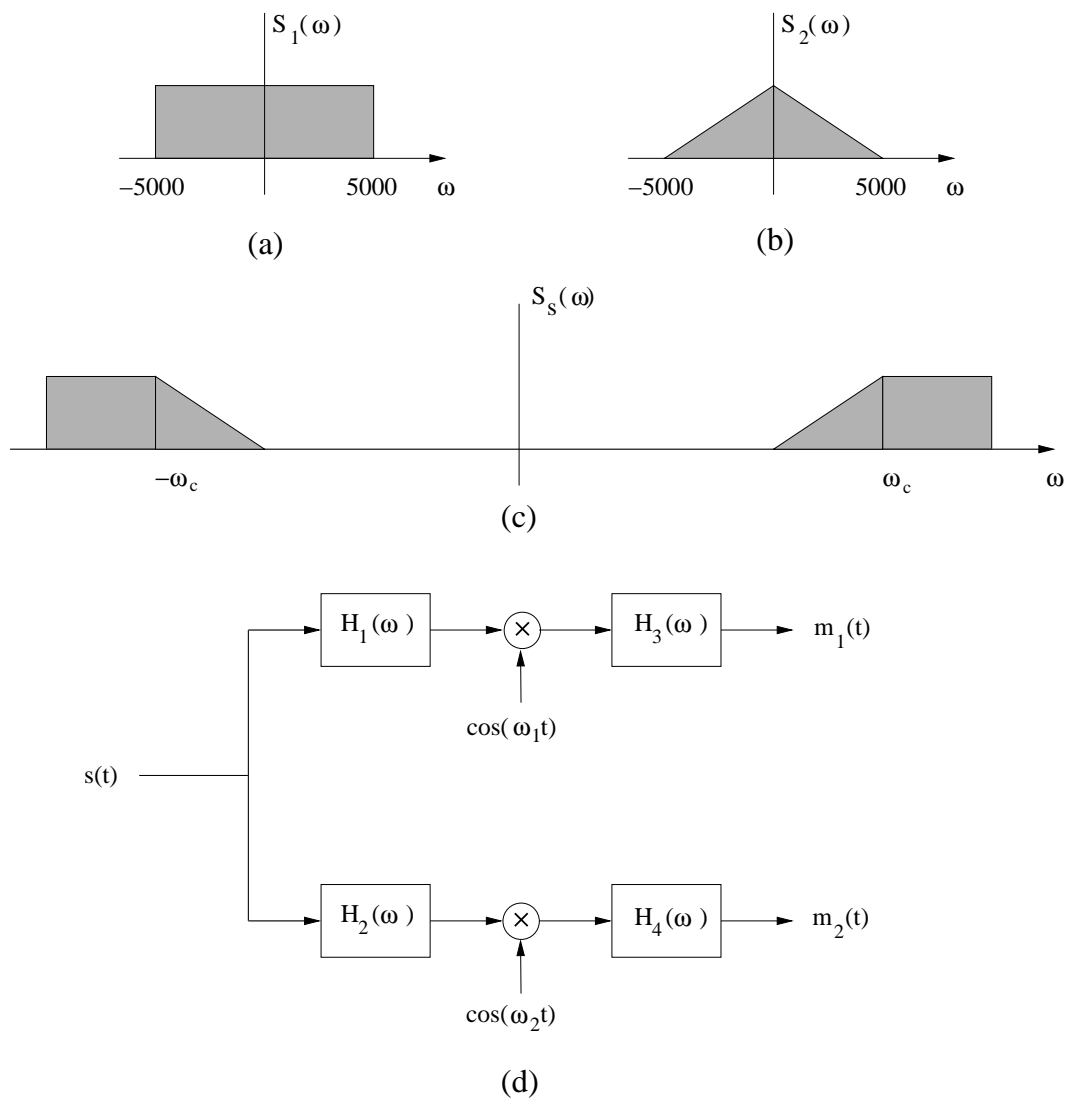


Figura 5: Esquema de modulação AM com banda lateral independente (AM-ISB) (14ª Questão).

15. Considere o esquema de radiodifusão QAM estéreo em que a portadora modulada é dada por

$$s_{\text{SQAM}}(t) = [A + m_l(t) + m_r(t)] \cos(\omega_c t) + [m_l(t) - m_r(t)] \sin(\omega_c t),$$

em que $m_l(t)$ e $m_r(t)$ são os canais de áudio esquerdo e direito, respectivamente.

- Mostre que um demodulador coerente que multiplica $s_{\text{SQAM}}(t)$ por $\cos(\omega_c t + \phi)$ pode ser utilizado para recuperar o sinal $m_l(t) + m_r(t)$. Qual valor de ϕ deve ser utilizado?
- Admitindo que $A \gg |m_l(t)| + |m_r(t)|$ para todo t , mostre que um detector de envoltória pode ser utilizado para obter o sinal $m_l(t) + m_r(t)$.
- Como os sinais $m_l(t)$ e $m_r(t)$ podem ser finalmente obtidos?
- Uma forma alternativa para o envio do sinal QAM estéreo é usar o sinal $v_{\text{SQAM}}(t)$ dado por

$$v_{\text{SQAM}}(t) = [A + m_l(t)] \cos(\omega_c t) + m_r(t) \sin(\omega_c t).$$

Apresente pelo menos um motivo para usar $s_{\text{SQAM}}(t)$ em vez de $v_{\text{SQAM}}(t)$.

16. Uma portadora QAM, dada por

$$s(t) = m_1(t) \cos(\omega_c t + \phi) + m_2(t) \sin(\omega_c t + \phi),$$

pode ser demodulada usando o esquema apresentado na Figura 6. Calcule os sinais nas saídas do demodulador se a portadora gerada localmente apresentar erro de fase igual a $\pi/6$. Sob essa condição, proponha um método para separar os sinais $m_1(t)$ e $m_2(t)$ após a demodulação.

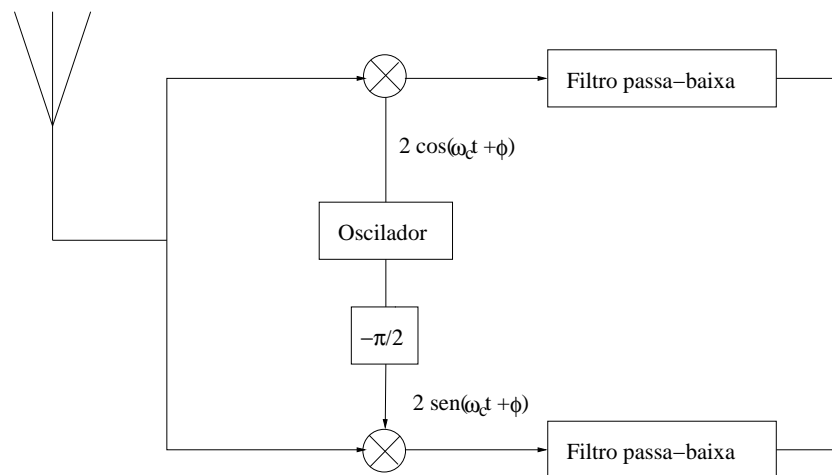


Figura 6: Demodulador QAM (16ª Questão).