

**Universidade Federal do Rio Grande do Norte**  
**Departamento de Engenharia de Computação e Automação**

**Exercícios sobre Modulação e Demodulação**

As atividades abaixo podem ser implementadas em qualquer simulador ou linguagem de programação. Os códigos fornecidos em MATLAB são apenas referências.

1. Suponha que duas portadoras são separadas em frequência por 1 kHz. Desenhe o espectro de magnitudes dos seguintes cenários: (a) as portadoras modulam mensagens com largura de banda igual a 200 Hz, (b) as portadoras modulam mensagens com largura de banda igual a 2 kHz. Comente sobre a possibilidade do filtro passa-faixa, no receptor, separar os dois sinais.
2. A partir do código em *filternoise.m* crie um filtro que: (a) passe todas as frequências acima de 500 Hz, (b) passe todas as frequências abaixo de 3 kHz, (c) rejeite todas as frequências entre 1.5 kHz e 2.5 kHz, (d) reprojete os três filtros anteriores considerando que a frequência de amostragem foi alterada para  $F_s = 20$  kHz.
3. Seja  $x_1(t)$  um coseno com frequência  $f_1 = 800$  Hz,  $x_2(t)$  um coseno com frequência  $f_2 = 2000$  Hz, e  $x_3(t)$  um coseno com frequência  $f_3 = 4500$  Hz. Seja  $x(t) = x_1(t) + 0.5x_2(t) + 2x_3(t)$ . Use  $x(t)$  como sinal de entrada a cada um dos três filtros projetados no item anterior. Faça o gráfico dos espectros e explique o que ocorreu.
4. Justifique porque o processo de modulação deve ser utilizado em sistemas de transmissão via rádio.
5. A partir do código *modulate.m* encontre o espectro da saída  $y(t)$  de um modulador (com frequência de portadora  $f_c = 1$  kHz) considerando que a entrada é um sinal de ruído com largura de banda limitada entre 2 kHz e 2.3 kHz. Dica: Esse ruído pode ser obtido a partir da filtragem de um ruído branco por um filtro passa-faixa.
6. A partir de *AMlarge.m* mostre o gráfico do espectro da mensagem  $w(t)$ , o espectro da portadora  $c(t)$ , e o espectro do sinal recebido  $v(t)$ . Qual é o espectro do envelope? Quão próximo estão os resultados experimentais obtidos, dos resultados teóricos?
7. Uma das vantagens da transmissão usando AM com portadora incluída é que não é necessário se conhecer na recepção o valor exato da fase ou frequência da portadora recebida. Verifique isso a partir de *AMlarge.m*, como segue: (a) Altere a fase do sinal transmitido; por exemplo, faça  $c = \cos(2\pi f_c t + \phi)$  com  $\phi = 0.1, 0.5, \pi/3, \pi/2, \pi$ , e verifique que o envelope recuperado mantém-se inalterado; (b) Altere a frequência do sinal transmitido; por exemplo, faça  $c = \cos(2\pi(f_c + g)t)$  com  $g = 10, -10, 100, -100$ , e verifique que o envelope recuperado mantém-se inalterado. Pode  $g$  ser muito grande?
8. A partir de *AM.m*, faça os espectros de  $w(t)$ ,  $v(t)$ ,  $x(t)$ , e  $m(t)$ . Suponha agora diferentes desvios de fase  $\phi = [-\pi, -\pi/2, -\pi/3, -\pi/6, 0, \pi/6, \pi/3, \pi/2, \pi]$ . Quão bem a mensagem recuperada  $m(t)$  se aproxima da mensagem real  $w(t)$ ? Para cada caso, qual é o espectro de  $m(t)$ ?
9. A partir de *AM.m*, suponha diferentes desvios de frequência  $\gamma = [0.01, 0.1, 1.0, 10]$ . Quão bem a mensagem recuperada  $m(t)$  se aproxima da mensagem real  $w(t)$ ? Para cada caso, qual é o espectro de  $m(t)$ ?

10. Implemente um código para o modulador da Figura abaixo. Considerando esse modulador:
- Crie um sinal  $w(t)$  que tem largura de banda de 100 Hz;
  - Module o sinal a 1 kHz;
  - Demodule utilizando como referência o demodulador  $AM.m$ , de forma a recuperar o sinal  $w(t)$ .

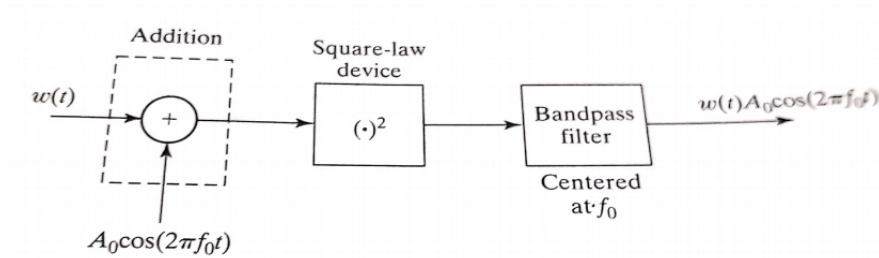


Figura 1: Modulação por Lei-Quadrática.

- Use o modulador do problema anterior para analisar as seguintes questões: (a) quão sensível é o sistema a erros na frequência da portadora? (b) quão sensível é o sistema a desvios de fase desconhecidos na portadora?
- A partir do código  $AM.m$ , projete um modulador em quadratura que implementa o diagrama da Figura abaixo. (a) Examine o efeito de um desvio de fase nas portadoras locais (no receptor) considerando diferentes valores de desvios; (b) Examine o efeito de um desvio de frequência nas portadoras locais (no receptor) considerando diferentes valores de desvios.

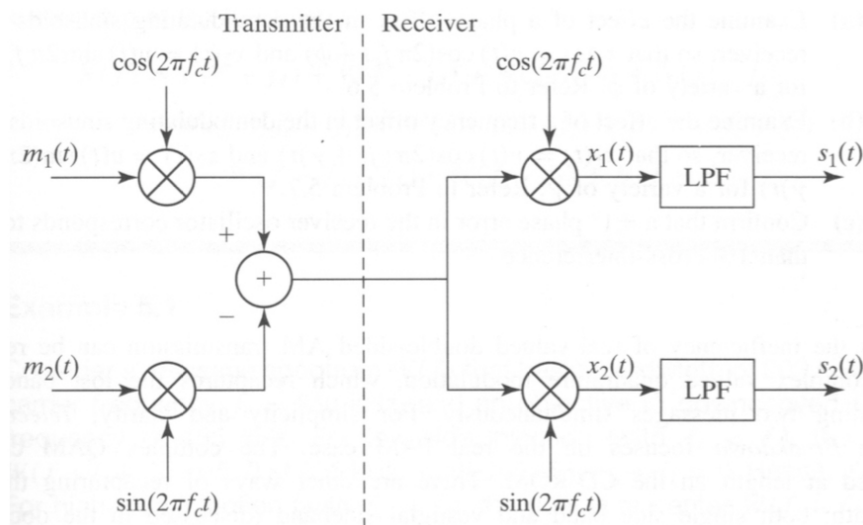


Figura 2: Modulação por Lei-Quadrática.