

Sistemas de Comunicações I

Eng. de Telecomunicações

Aula – 4: Modulação Analógica

Modulação em Amplitude

"A modulação em amplitude é definida como o processo pelo qual a amplitude da onda portadora $c(t)$ é variada em torno de um valor médio, linearmente com o sinal da banda base" [Sistemas de Comunicação - S. Haykin e M. Moher]

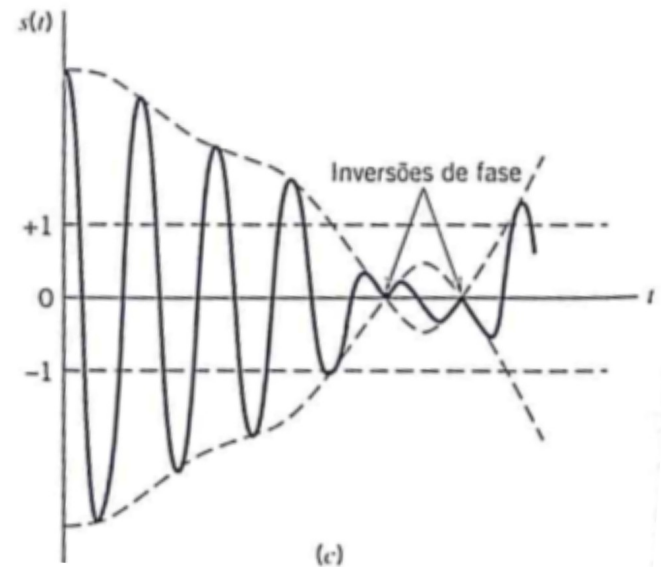
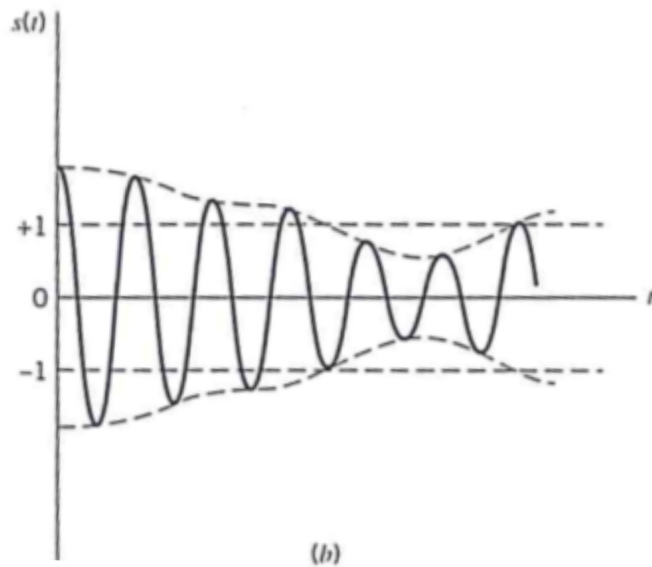
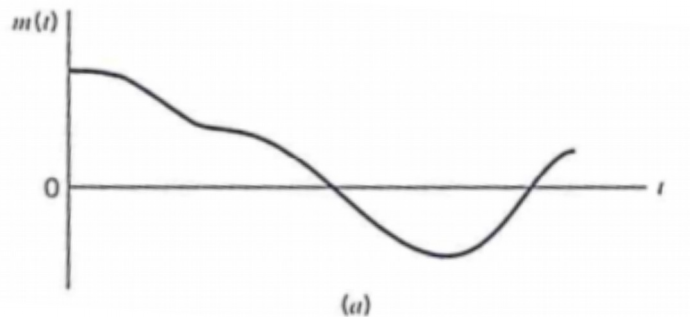
Considere uma portadora senoidal

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$$

Sinal modulado

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

Processo de modulação em amplitude



(a) sinal banda base $m(t)$

(b) Onda AM para $|k_a m(t)| < 1$ para todo t

(c) Onda AM para $|k_a m(t)| > 1$ para algum t

k_a : sensibilidade à amplitude do modulator

Análise da modulação AM - Domínio da Frequência

$$s(t) = A_c[1 + k_a m(t)]\cos(2\pi f_c t)$$

$$S(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \\ + \frac{k_a A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$

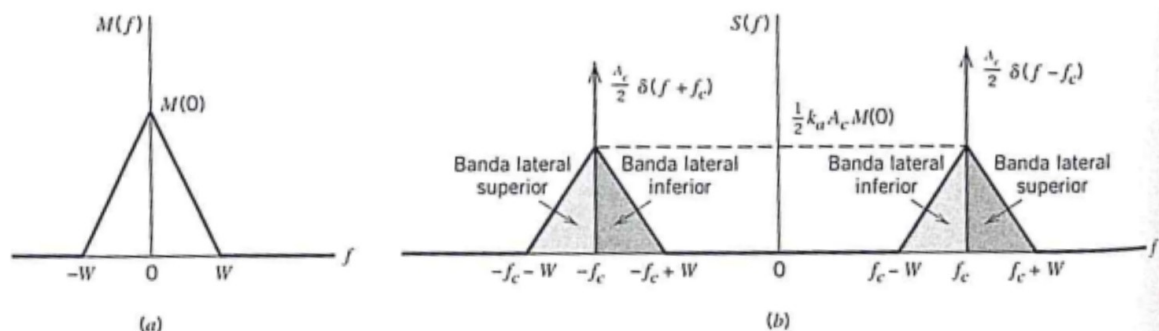


Figura 3.2 (a) Espectro do sinal de banda base. (b) Espectro da onda AM.

Modulação de tom único

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

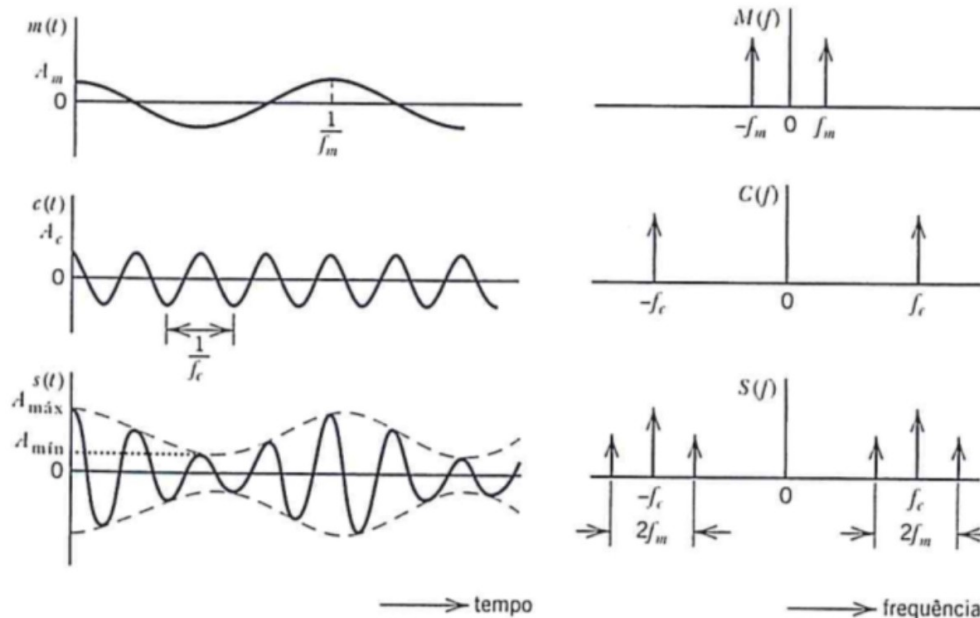
$$s(t) = A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$\mu = k_a A_m$$

μ : Fator modulante

$$\frac{A_{\text{máx}}}{A_{\text{mín}}} = \frac{A_c(1 + \mu)}{A_c(1 - \mu)}$$

$$\mu = \frac{A_{\text{máx}} - A_{\text{mín}}}{A_{\text{máx}} + A_{\text{mín}}}$$



Modulação de tom único

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2}\mu A_c \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{1}{2}\mu A_c \cos[2\pi(f_c - f_m)t]$$

$$\begin{aligned} S(f) = & \frac{1}{2} A_c [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \\ & + \frac{1}{4} \mu A_c [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)] \\ & + \frac{1}{4} \mu A_c [\delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)] \end{aligned}$$

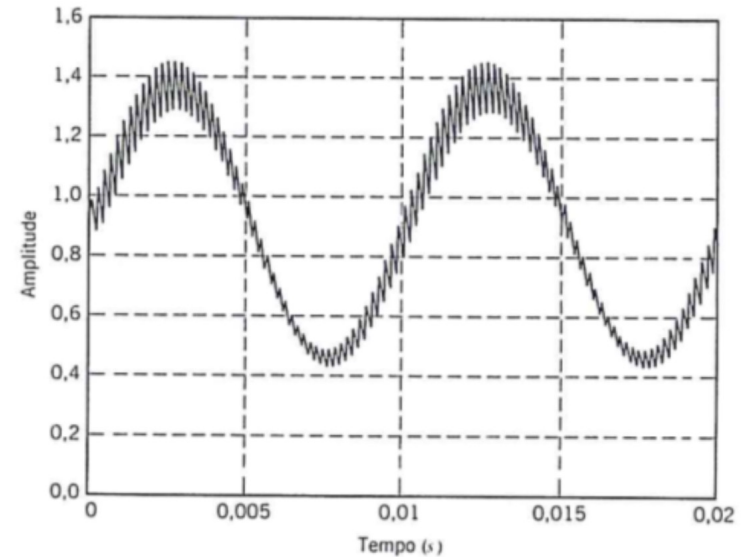
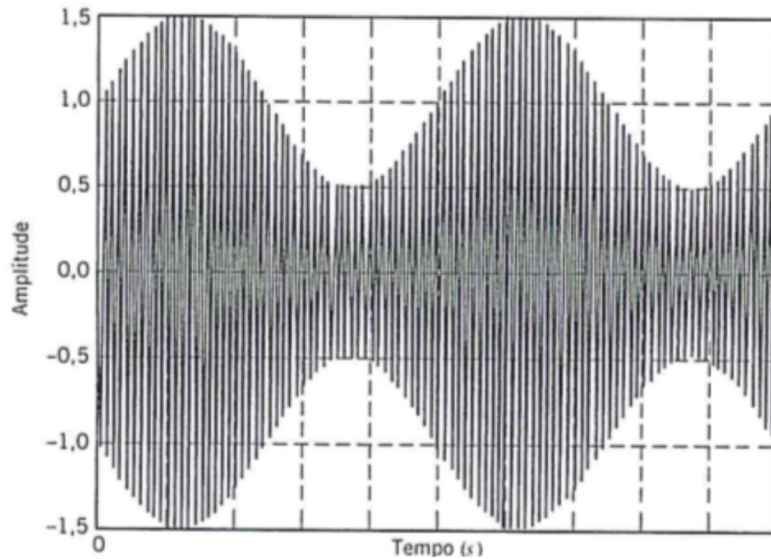
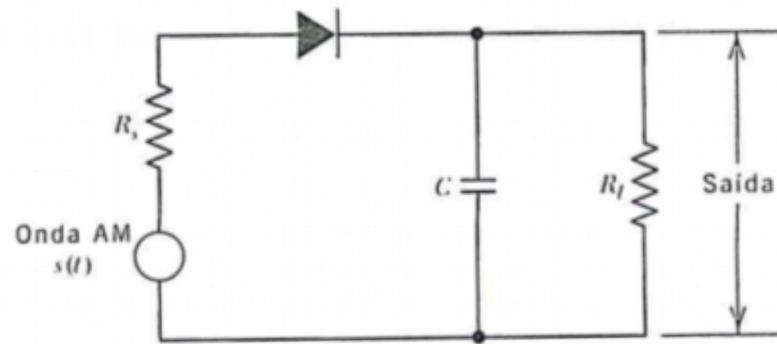
$$\text{Potência da portadora} = \frac{1}{2} A_c^2$$

$$\text{Potência da banda lateral superior} = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$$

$$\text{Potência da banda lateral inferior} = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$$

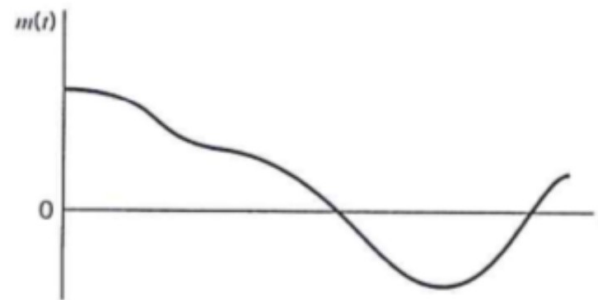
Se $\mu = 1$, a potência total nas duas bandas laterais será apenas de 1/3 da potência total do sinal modulado

Detector de envoltória

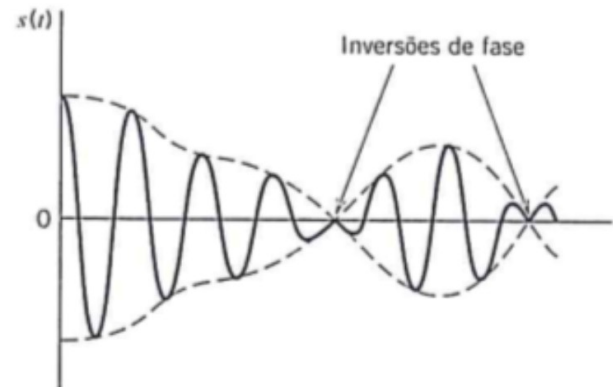


Modulação de Banda Lateral Dupla e Portadora Suprimida – DSB-SC

$$\begin{aligned}s(t) &= c(t) m(t) \\ &= A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)\end{aligned}$$

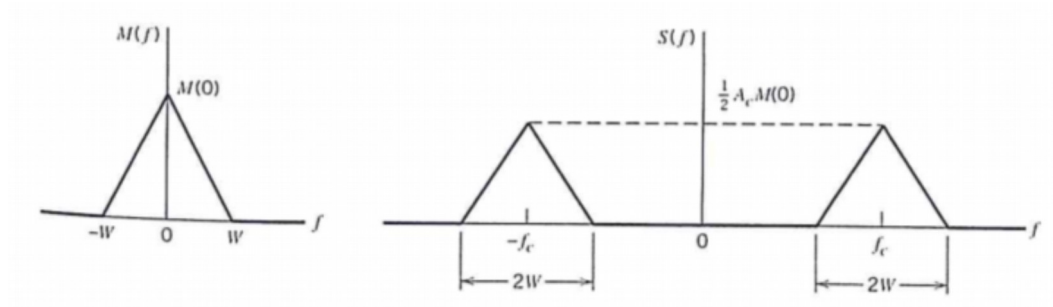


(a)



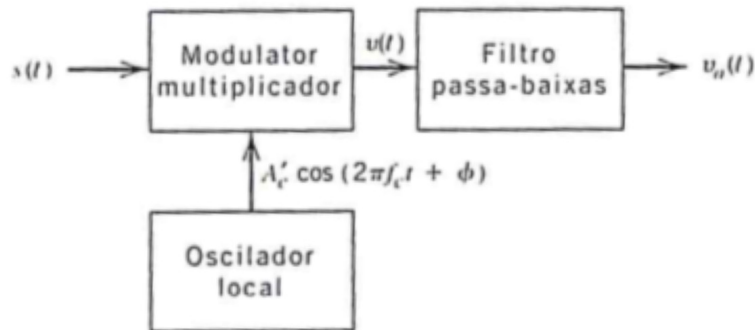
Modulação de Banda Lateral Dupla e Portadora Suprimida – DSB-SC

$$S(f) = \frac{1}{2}A_c[M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$



Detecção Coerente

$$\begin{aligned}
 v(t) &= A'_c \cos(2\pi f_c t + \phi) s(t) \\
 &= A_c A'_c \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t + \phi) m(t) \\
 &= \frac{1}{2} A_c A'_c \cos(4\pi f_c t + \phi) m(t) + \frac{1}{2} A_c A'_c \cos \phi m(t)
 \end{aligned}$$



$$v_o(t) = \frac{1}{2} A_c A'_c \cos \phi m(t)$$

Figura 3.13 Detecção coerente da onda modulada DSB-SC.

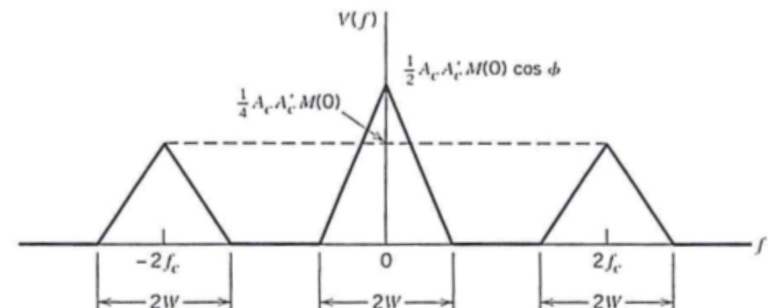


Figura 3.14 Ilustração do espectro da saída de um modulator multiplicador com uma onda modulada DSB-SC como entrada.

Modulação de Banda Latetal Única (SSB) e Banda Lateral Vestigial (VSB)

SSB

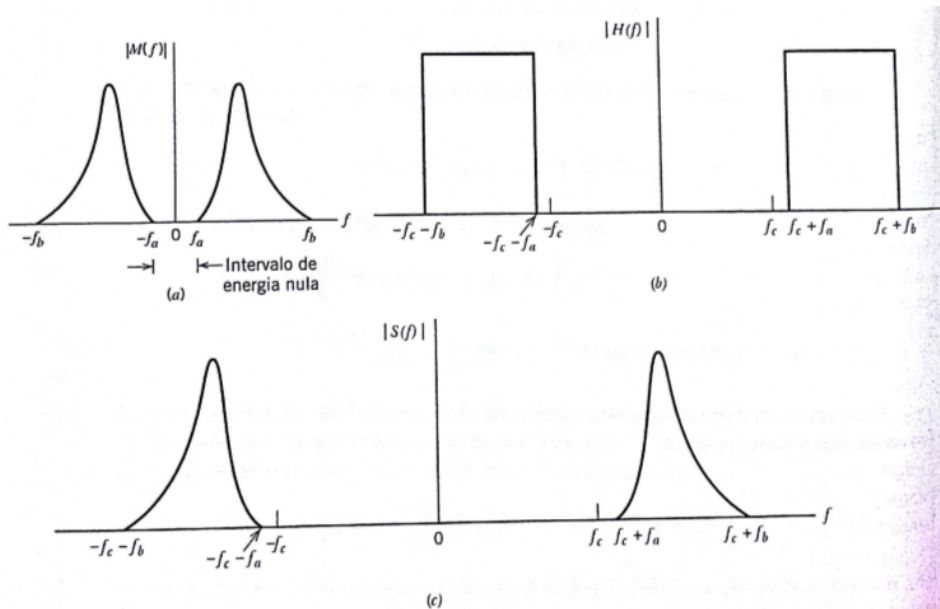


Figura 3.17 (a) Espectro de um sinal de mensagem $m(t)$ com um espaço de energia nula centrado em torno da origem. (b) Resposta em frequência idealizada do filtro passa-faixa. (c) Espectro do sinal SSB que contém a banda lateral superior.

VSB

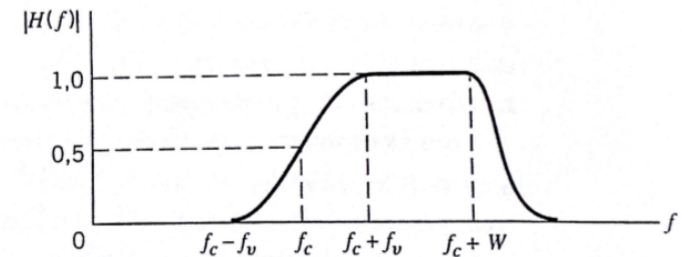


Figura 3.18 Resposta em magnitude do filtro VSB; apenas a porção de frequências positivas é mostrada.

Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM)

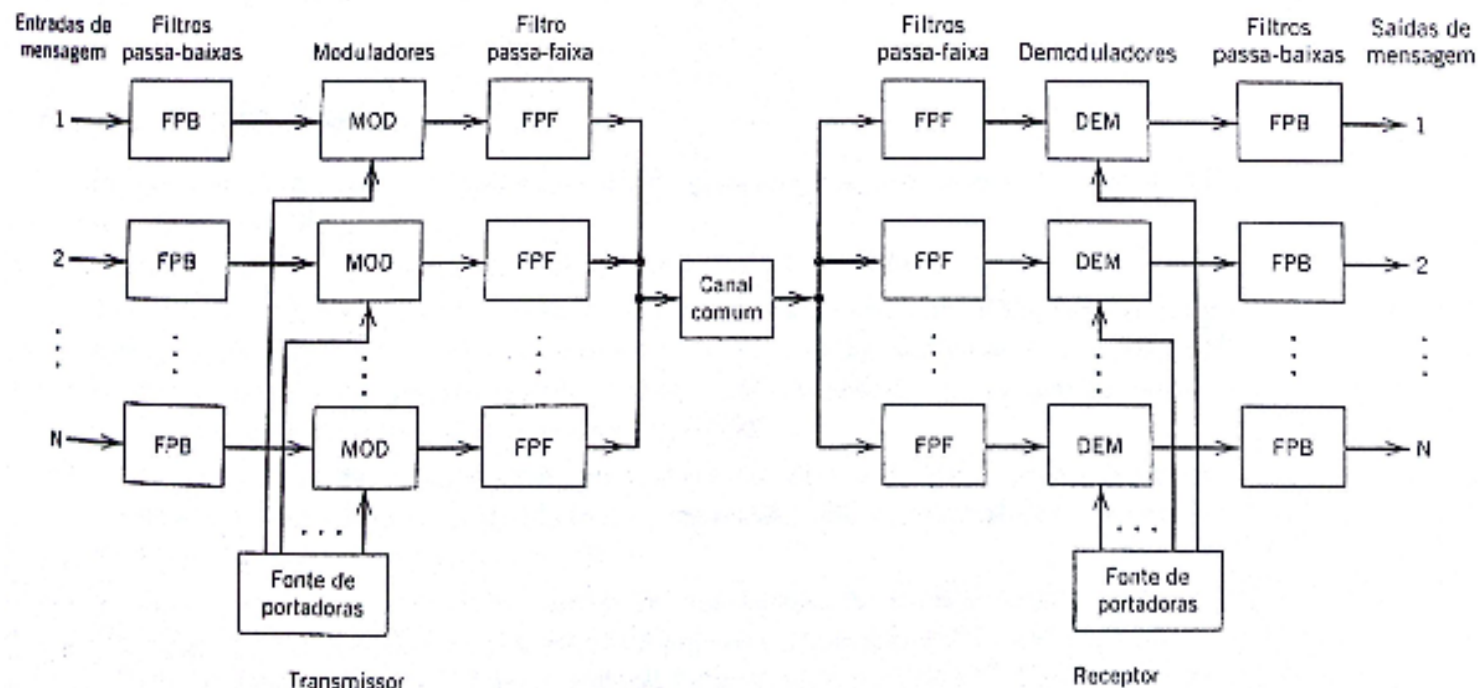


Figura 3.23 Diagrama de blocos do sistema FDM.

Receptor Superheteródino

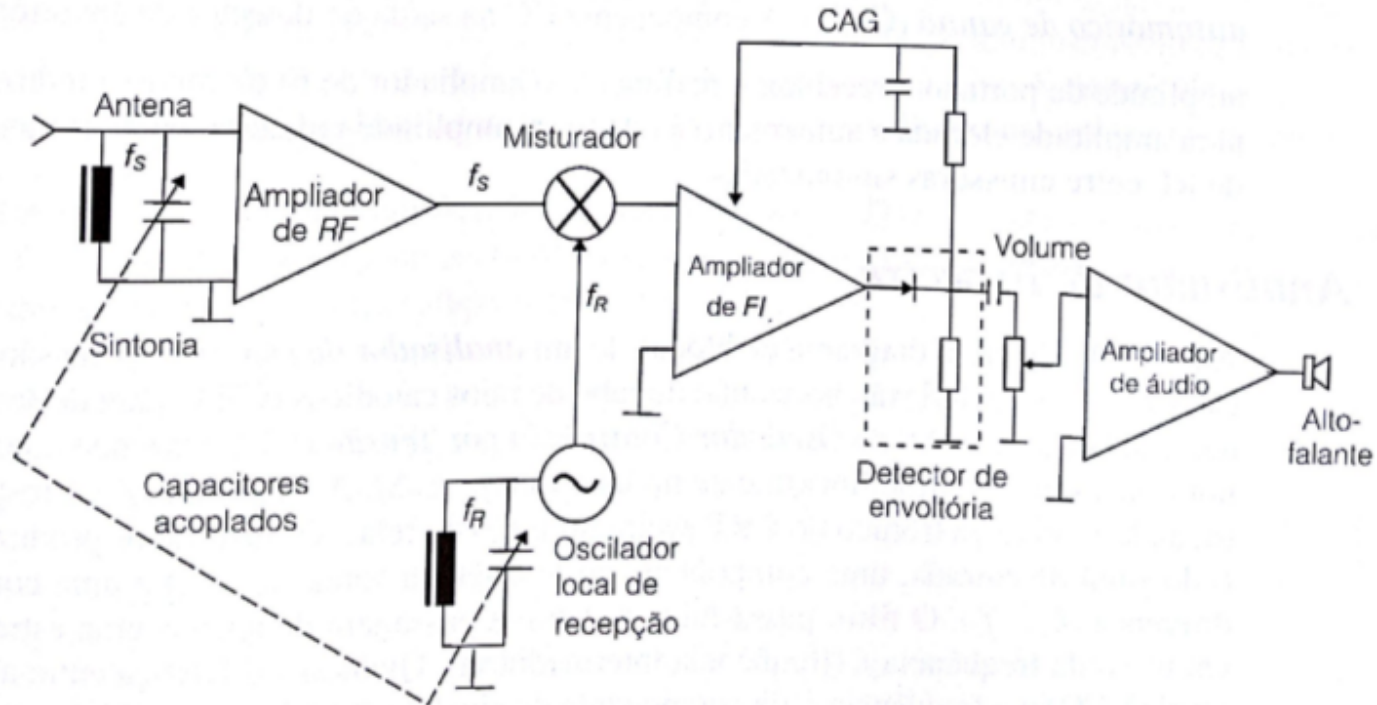


Fig. 5.39 Receptor de radiodifusão AM.

Referência e Leitura: S. Hayki e M. Moher

Cap. 3

- Simon Haykin e Michael Moher. Sistemas de Comunicação; Quinta edição: Bookman Companhia Editora, 2011
- Fazer leitura das páginas 99-127

Exercícios Matlab

Ex. 1:

- Realizar um processo de modulação AM DSB e AM DSB-SC
- Para o caso da modulação AM DSB-SC, realizar o processo de demodulação utilizando a função 'fir1'
- Para o caso da modulação AM DSB, variar o 'fator de modulação' (0.25; 0.5; 0.75 e 1 e 1.5) e observar os efeitos no sinal modulado

Exercícios Matlab

Ex. 2:

- Gerar 3 sinais (cosenos) nas frequências 1k, 2k e 3k
- Realizar a multiplexação dos sinais para as frequências 10k, 12k e 14k para a transmissão em um canal de comunicação
- Recuperar os sinais originais