

Teoria das Comunicações

3.3

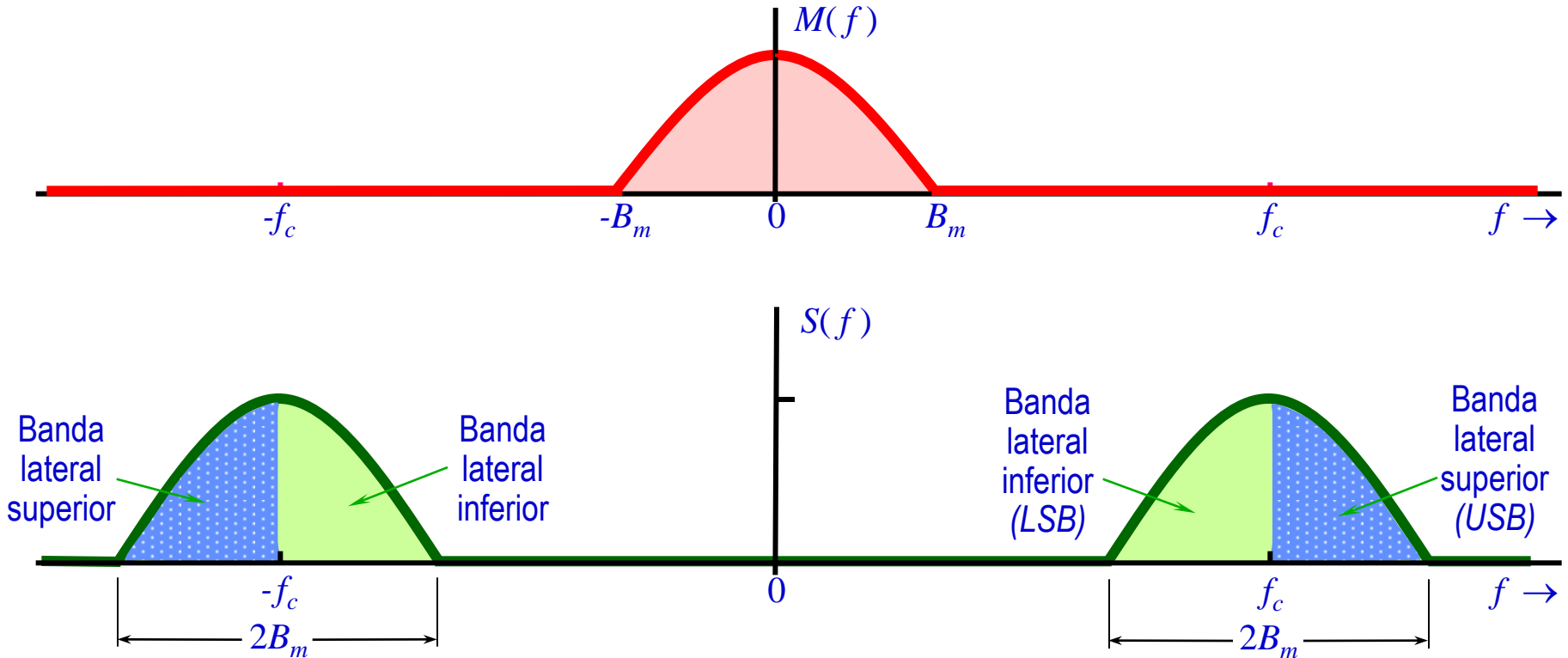
Modulação em Amplitude

Single Side Band (SSB)

Vestigial Side Band (VSB)

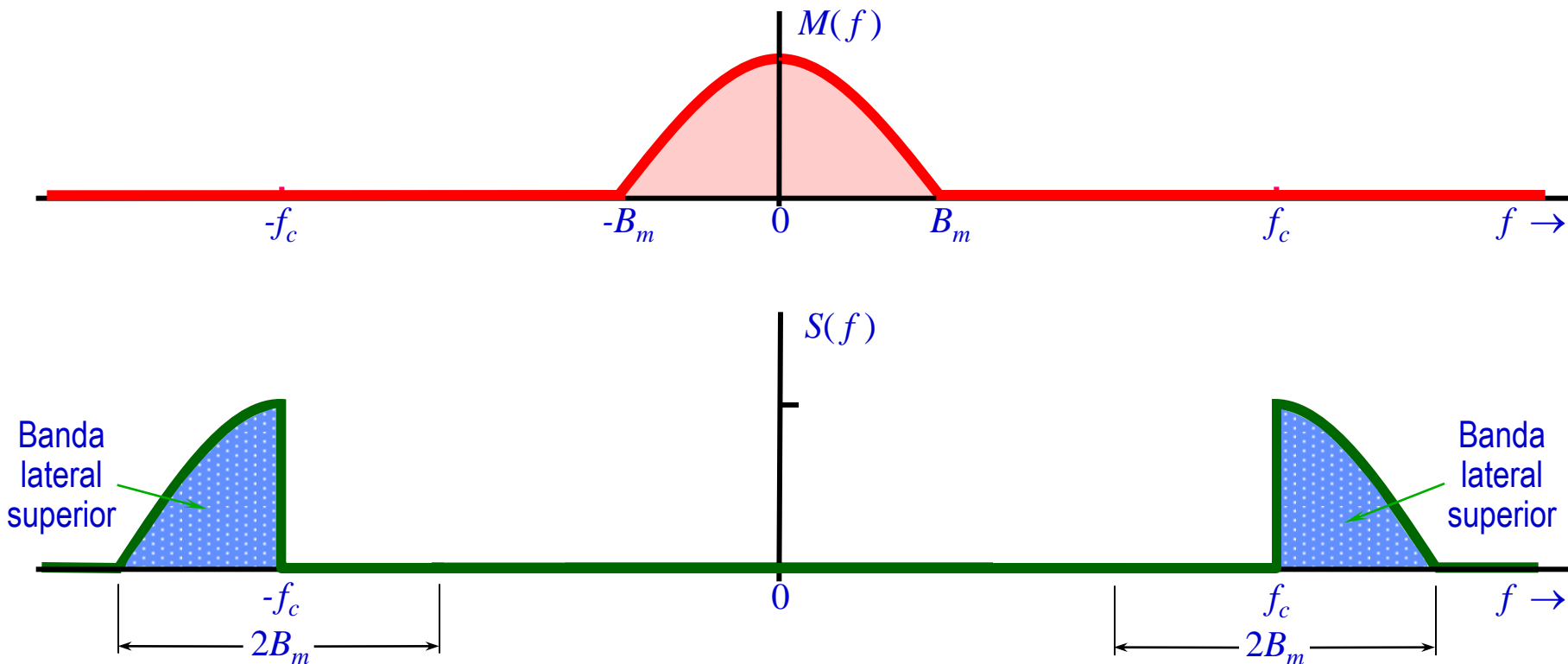
AM - SSB

Sinal DSB (Double Side Band)



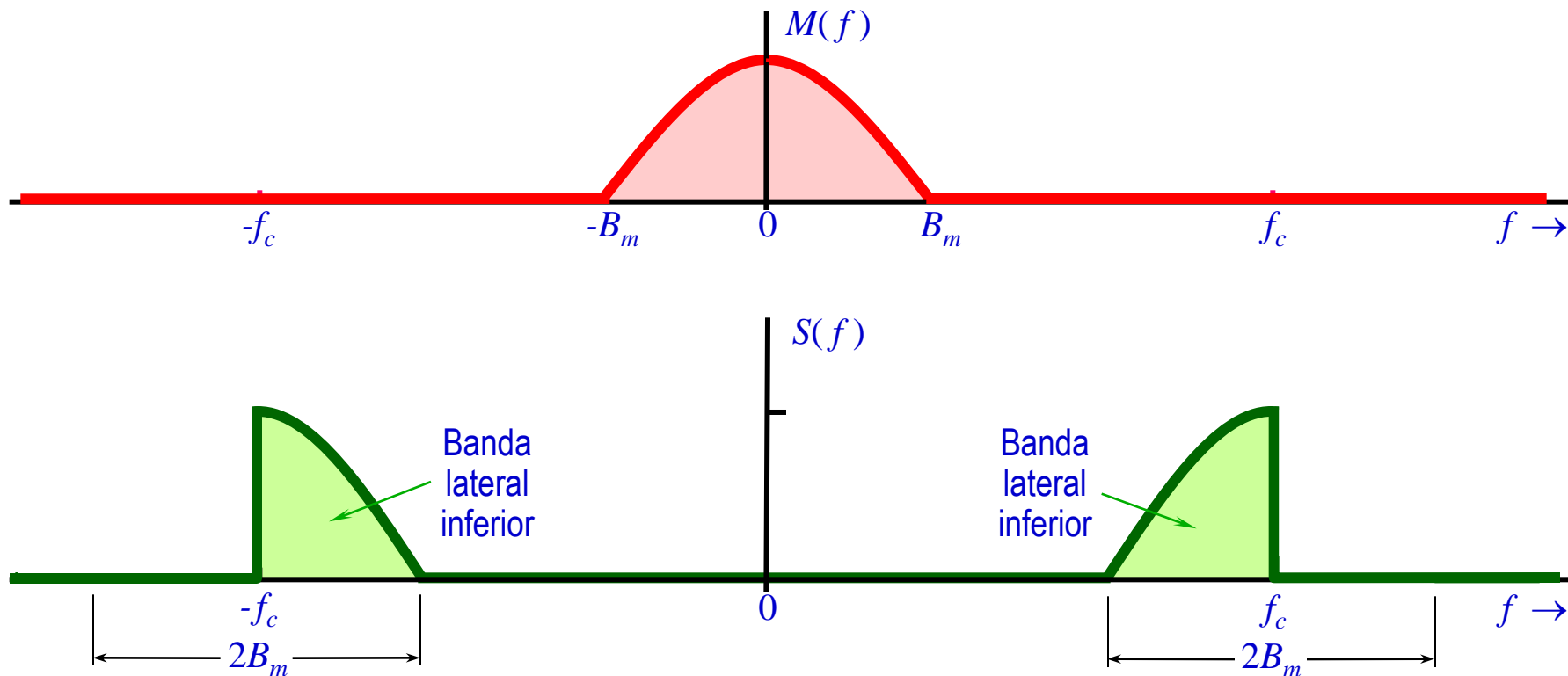
Largura de banda de transmissão DSB = $B_T = 2B_m$

Sinal SSB (Single Side Band) USB (Upper Side Band)



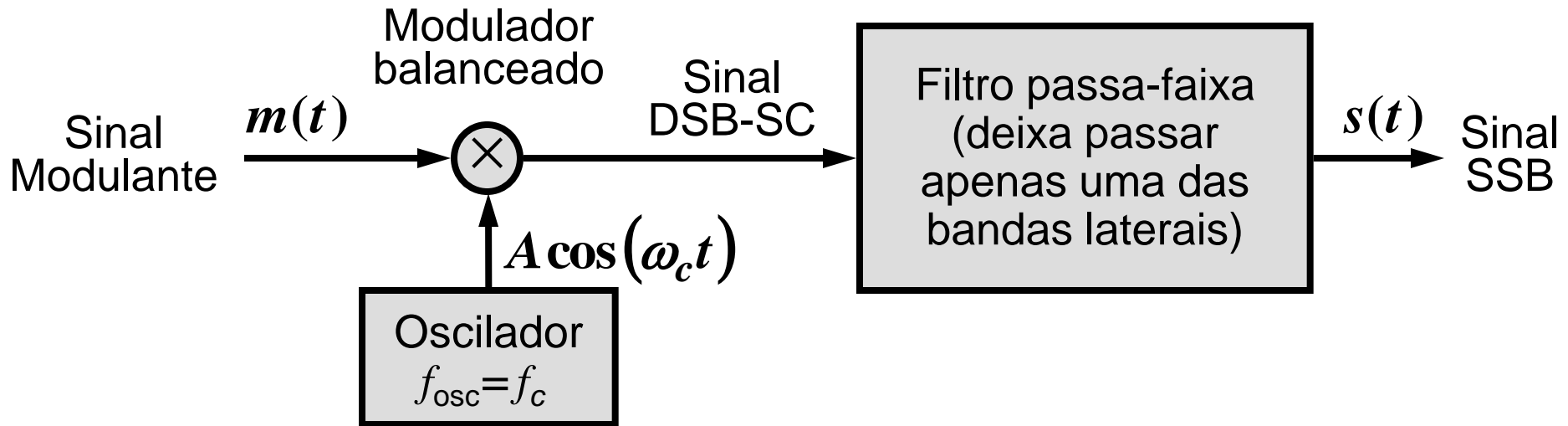
Largura de banda de transmissão SSB = $B_T = B_m$

Sinal SSB (Single Side Band) LSB (Lower Side Band)



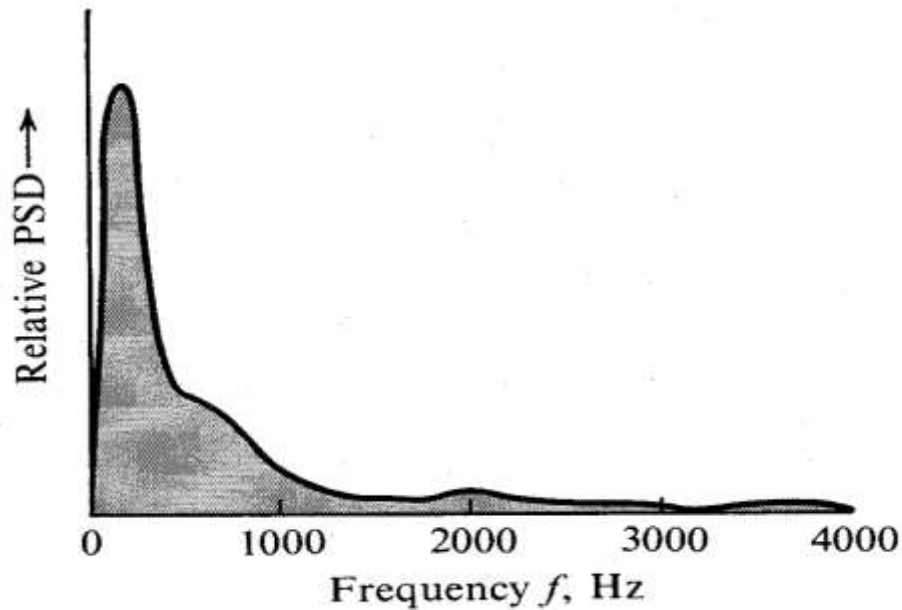
Largura de banda de transmissão SSB = $B_T = B_m$

Geração de sinais SSB: método da filtragem seletiva

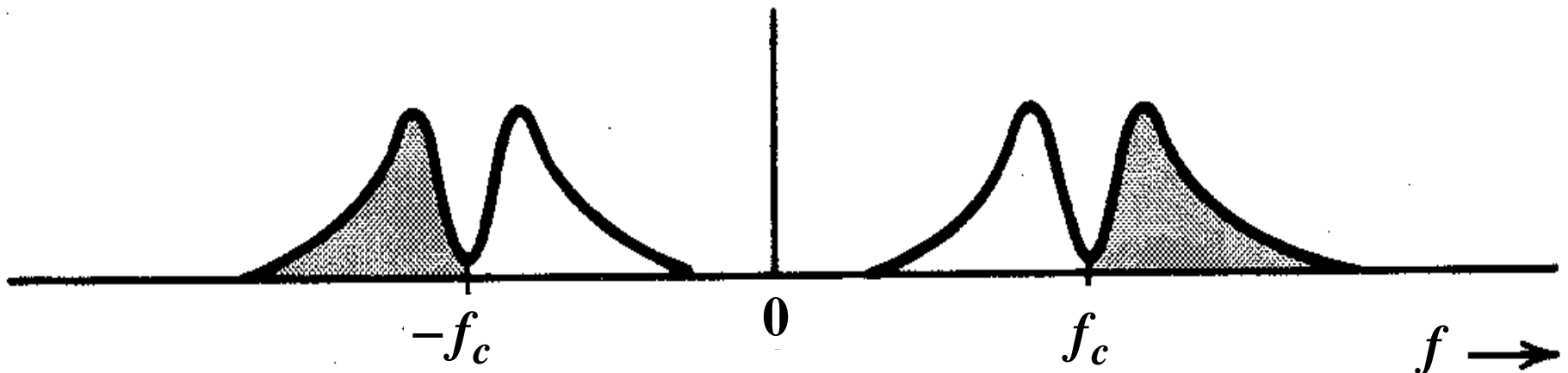


Para essa geração do sinal SSB ser possível, o sinal modulante deve ter uma lacuna espectral centrada em 0 Hz.

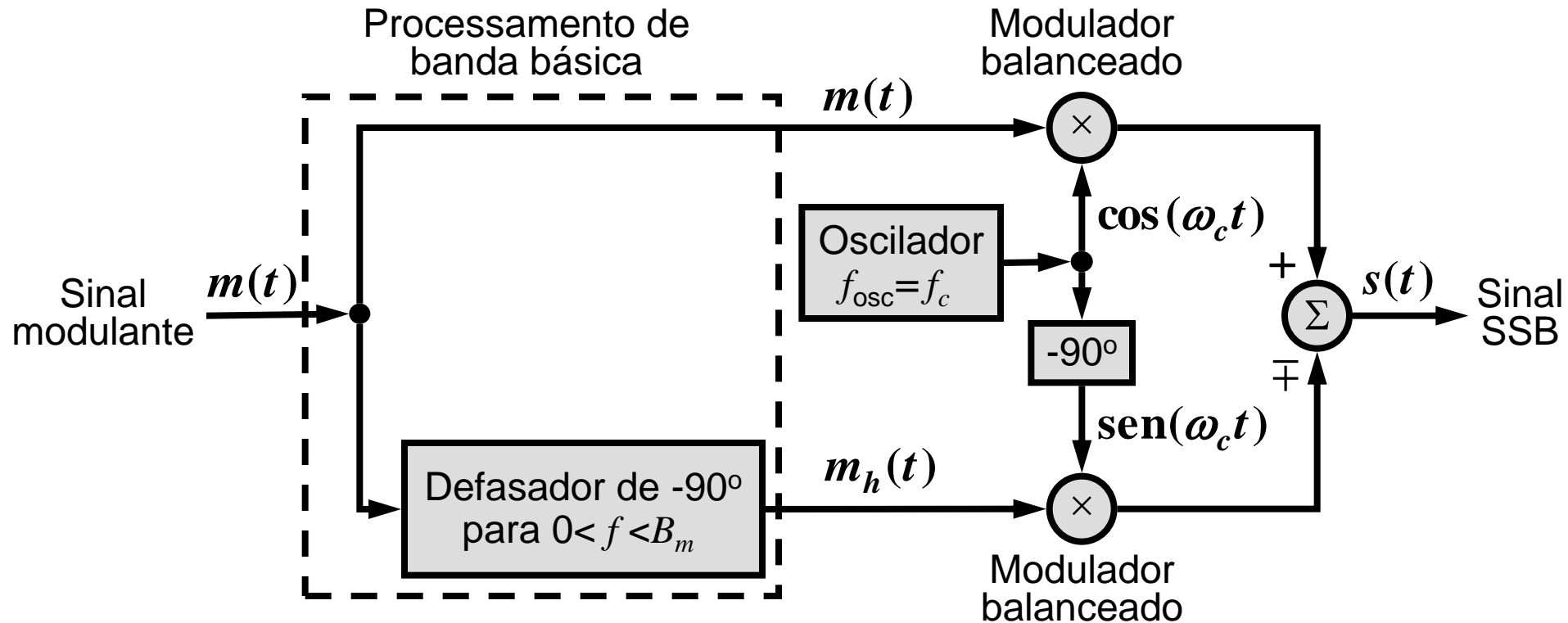
Geração de sinais SSB para sinais de voz



Sinais de voz com banda telefônica (300 - 3200 Hz) produzem um sinal DSB-SC com uma lacuna de 600 Hz entre as bandas laterais



Geração de sinais SSB: método da defasagem



$$s_{\text{SSB}}(t) = m(t)\cos(\omega_c t) \mp m_h(t)\text{sen}(\omega_c t)$$

Geração de sinais SSB: dificuldades

método da filtragem seletiva

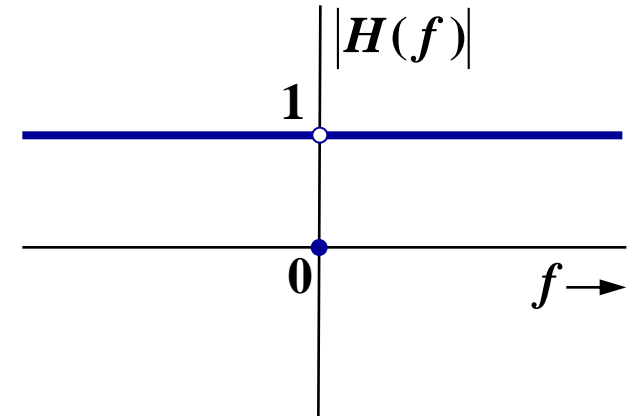
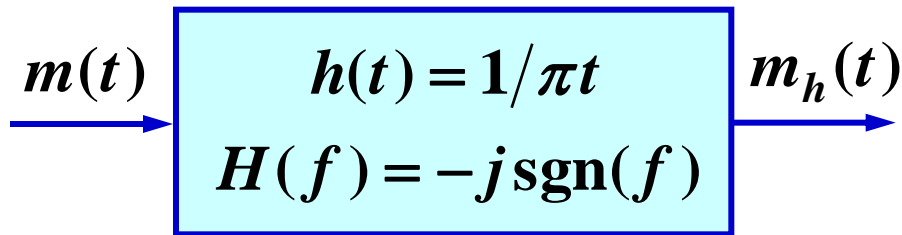
Requer uma separação entre as duas bandas laterais, isto é, uma faixa de frequência desocupada, na qual possa se dar o decaimento da resposta de frequência do filtro

método da defasagem

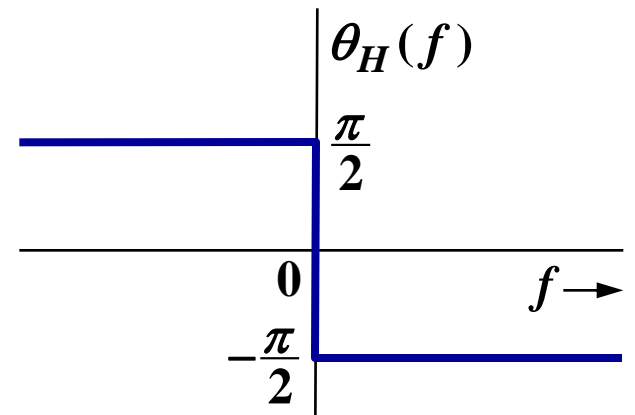
Um defasador como o que é requerido é irrealizável, sendo possível apenas aproximá-lo na prática.

Transformada de Hilbert

$$m_h(t) = \frac{1}{\pi t} * m(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{m(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad \Rightarrow \quad M_h(f) = -j \operatorname{sgn}(f) M(f)$$



$$H(f) = -j \operatorname{sgn}(f) = \begin{cases} -j = e^{-j\pi/2}, & f > 0 \\ 0, & f = 0 \\ +j = e^{+j\pi/2} & f < 0 \end{cases}$$



Método da defasagem para geração de sinais SSB

$$s(t) = m(t)\cos(\omega_c t) \mp m_h(t)\text{sen}(\omega_c t)$$



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



$$M_h(f) = -j\text{sgn}(f)M(f)$$

$$S(f) = \frac{1}{2}[1 \pm \text{sgn}(f-f_c)]M(f-f_c) + \frac{1}{2}[1 \mp \text{sgn}(f+f_c)]M(f+f_c)$$

Espectro do sinal de banda básica

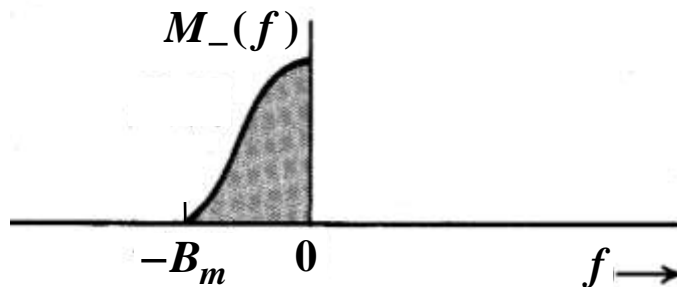
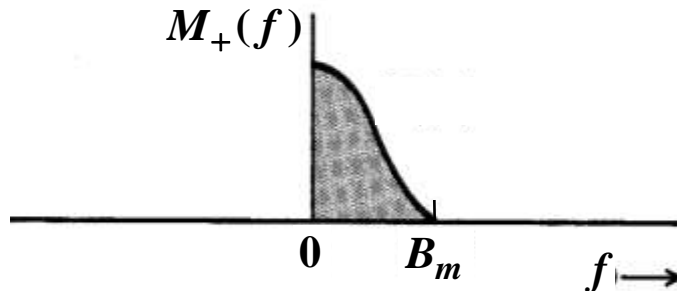
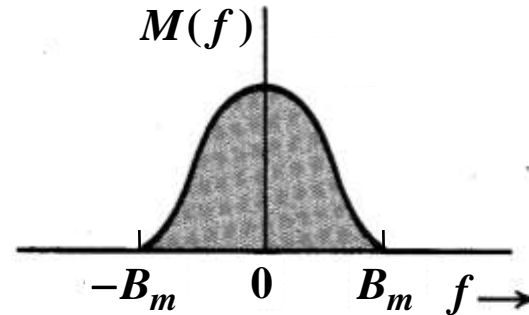
Definições:

$$M(f) = M_+(f) + M_-(f)$$

onde

$$M_+(f) = M(f)u(f)$$

$$M_-(f) = M(f)u(-f)$$

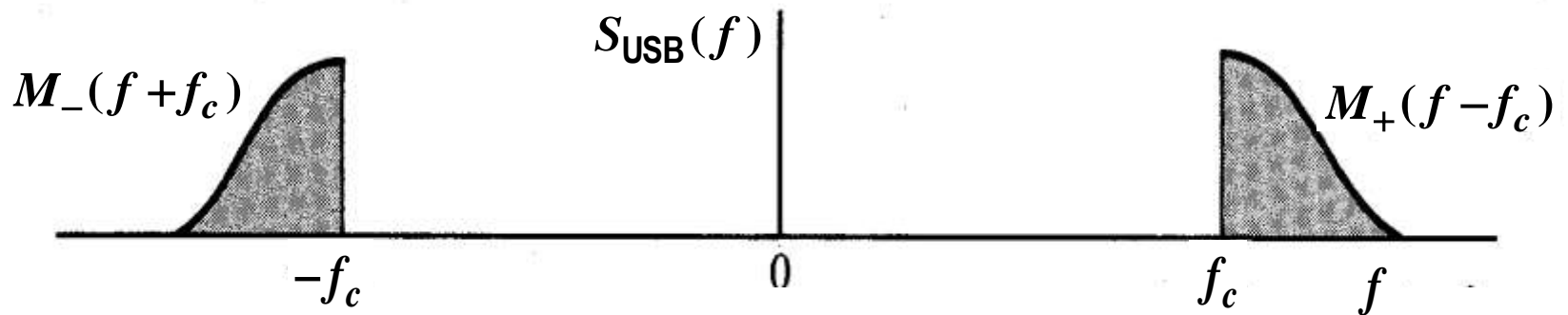


Sinal USB (*upper sideband*)

$$s_{\text{USB}}(t) = m(t)\cos(\omega_c t) - m_h(t)\text{sen}(\omega_c t)$$

$$S_{\text{USB}}(f) = \frac{1}{2}[1 + \text{sgn}(f - f_c)]M(f - f_c) + \frac{1}{2}[1 - \text{sgn}(f + f_c)]M(f + f_c)$$

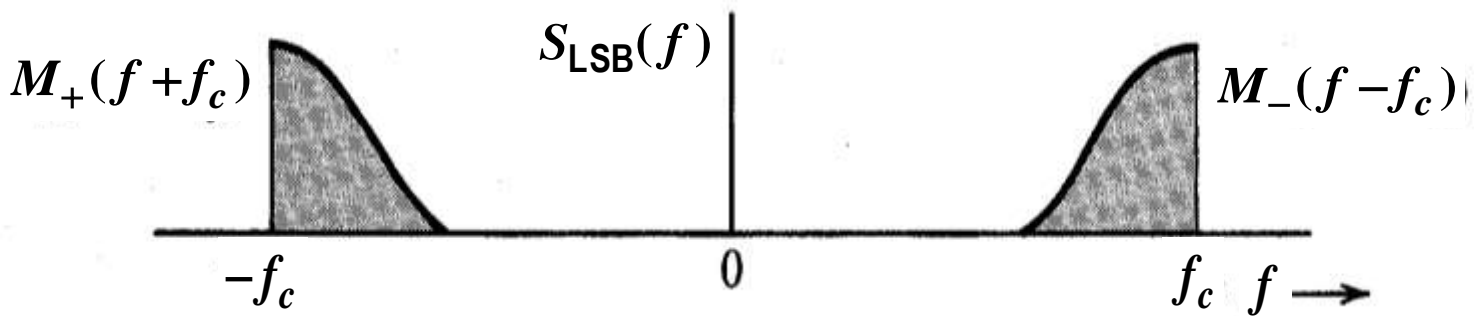
$$S_{\text{USB}}(f) = M_+(f - f_c) + M_-(f + f_c)$$



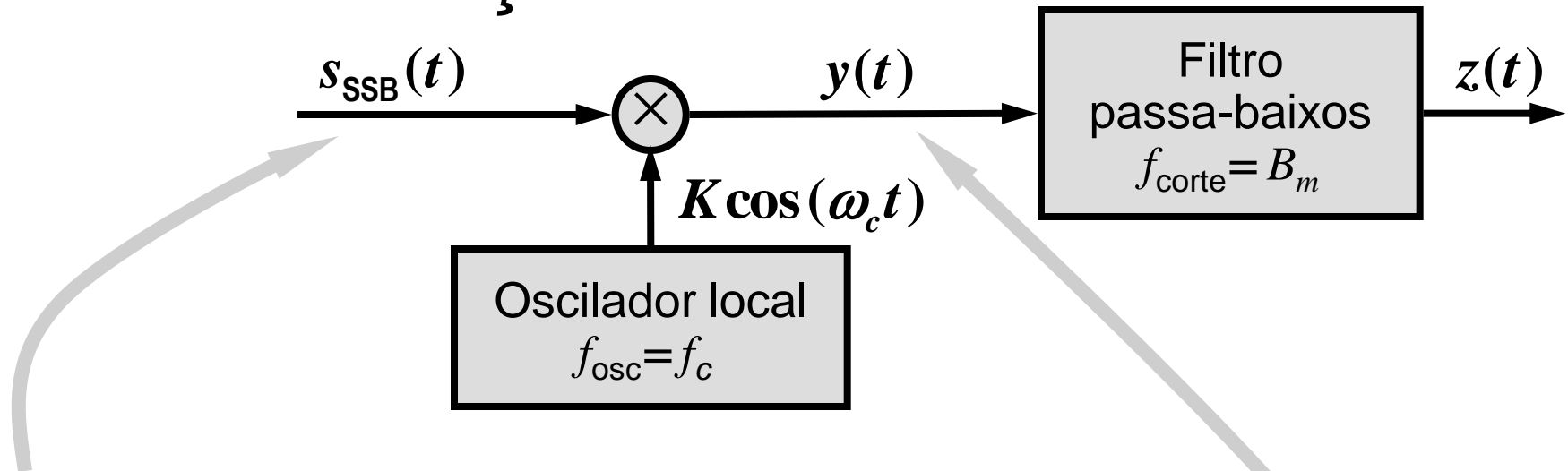
Sinal LSB (*lower sideband*)

$$s_{\text{LSB}}(t) = m(t)\cos(\omega_c t) + m_h(t)\text{sen}(\omega_c t)$$

$$S_{\text{LSB}}(f) = \frac{1}{2}[1 - \text{sgn}(f - f_c)]M(f - f_c) + \frac{1}{2}[1 + \text{sgn}(f + f_c)]M(f + f_c)$$
$$S_{\text{LSB}}(f) = M_-(f - f_c) + M_+(f + f_c)$$



Demodulação de sinais SSB: detecção coerente



$$s_{SSB}(t) = m(t)\cos(\omega_c t) \mp m_h(t)\text{sen}(\omega_c t)$$

$$y(t) = s_{SSB}(t) \times K \cos(\omega_c t)$$

$$= \frac{K}{2} m(t) [1 + \cos(2\omega_c t)] \mp \frac{K}{2} m_h(t) \text{sen}(2\omega_c t)$$

$$= \underbrace{\frac{K}{2} m(t)}_{z(t)} + \underbrace{\frac{K}{2} [m(t)\cos(2\omega_c t) \mp m_h(t)\text{sen}(2\omega_c t)]}_{\text{é eliminado pelo filtro passa-baixos}}$$

Detecção de envoltória de sinais SSB com portadora destacada (SSB+C)

$$s_{\text{SSB+C}}(t) = \underbrace{A \cos(\omega_c t)}_{\text{portadora destacada}} + \underbrace{\left[m(t) \cos(\omega_c t) \mp m_h(t) \text{sen}(\omega_c t) \right]}_{\text{sinal SSB}}$$

$$s_{\text{SSB+C}}(t) = \underbrace{\left[A + m(t) \right]}_{I(t)} \cos(\omega_c t) \mp \underbrace{m_h(t)}_{\pm Q(t)} \text{sen}(\omega_c t)$$

$$s_{\text{SSB+C}}(t) = a(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

$$a(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} = \sqrt{\left[A + m(t) \right]^2 + m_h^2(t)}$$

$$\theta(t) = \text{arctg} \frac{Q(t)}{I(t)} = \text{arctg} \frac{m_h(t)}{A + m(t)}$$

Detecção de envoltória de sinais SSB+C

$$s_{\text{SSB+C}}(t) = a(t) \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

$$a(t) = \sqrt{[A + m(t)]^2 + m_h^2(t)}$$

$$\cong A \sqrt{1 + \frac{2m(t)}{A}}, \quad \text{se } A \gg \max |m(t)|$$

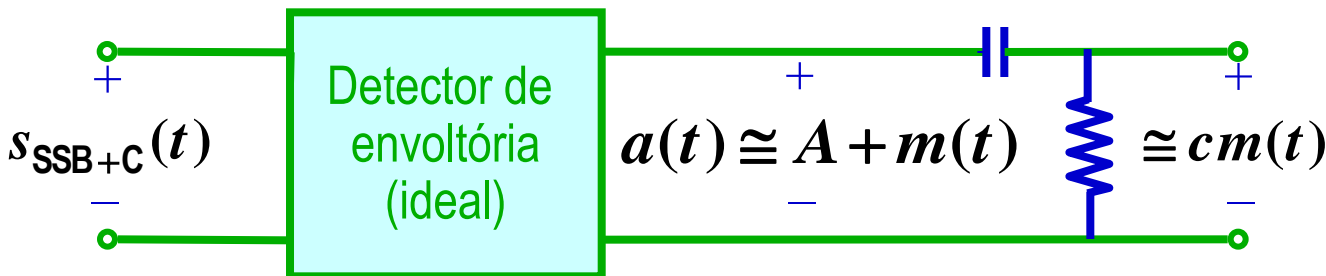
$$\cong A \left[1 + \frac{m(t)}{A} \right], \quad \text{se } A \gg \max |m(t)|$$

$$\cong A + m(t), \quad \text{se } A \gg \max |m(t)|$$

$$\sqrt{1+x} \cong 1 + \frac{x}{2},$$

$$\text{p/ } |x| \ll 1$$

Usando expansão binomial e desprezando os termos de maior ordem.

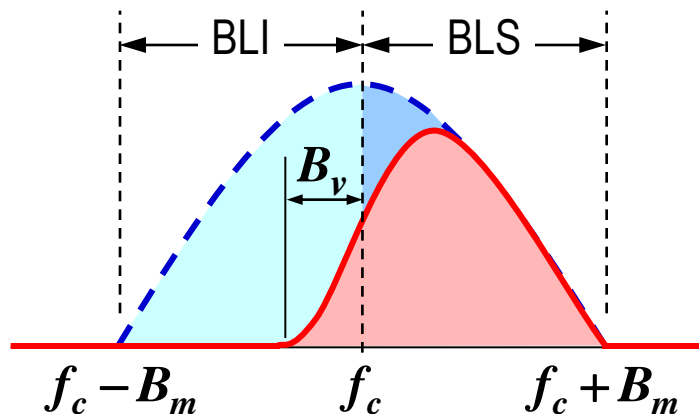


A eficiência do SSB+C é extremamente baixa

AM - VSB

Motivação para o uso da técnica VSB

A dificuldade para gerar um sinal SSB motivou a proposição de uma técnica denominada modulação com *banda lateral vestigial* (*vestigial sideband* – VSB). Nessa técnica, uma das bandas laterais é preservada quase intacta enquanto que da outra banda lateral é deixado apenas um resíduo, ou *vestígio*, que compensa a parte afetada da outra banda lateral. A largura espectral de um sinal VSB é maior que a do sinal SSB correspondente, mas é bem menor que a largura espectral de um sinal DSB.

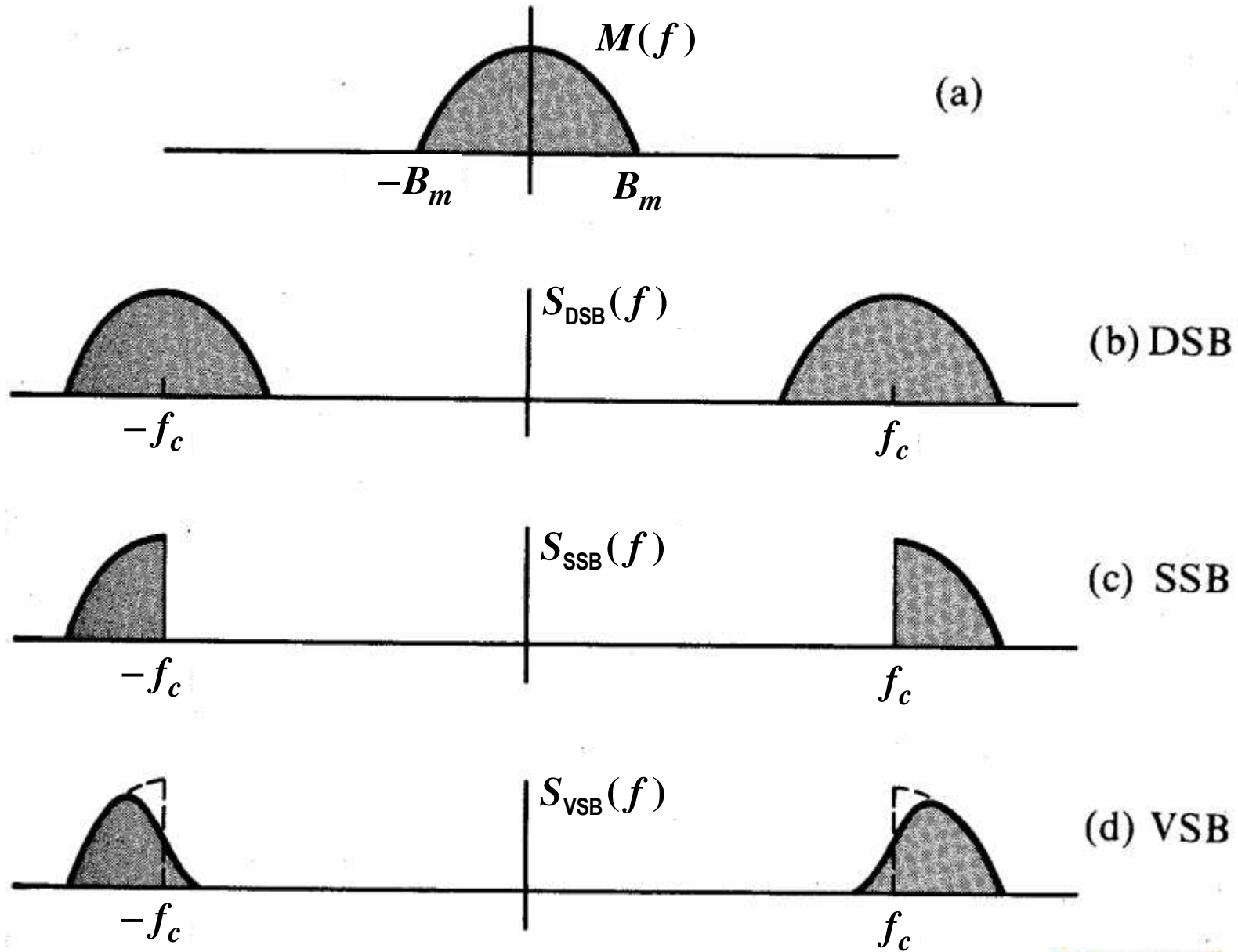


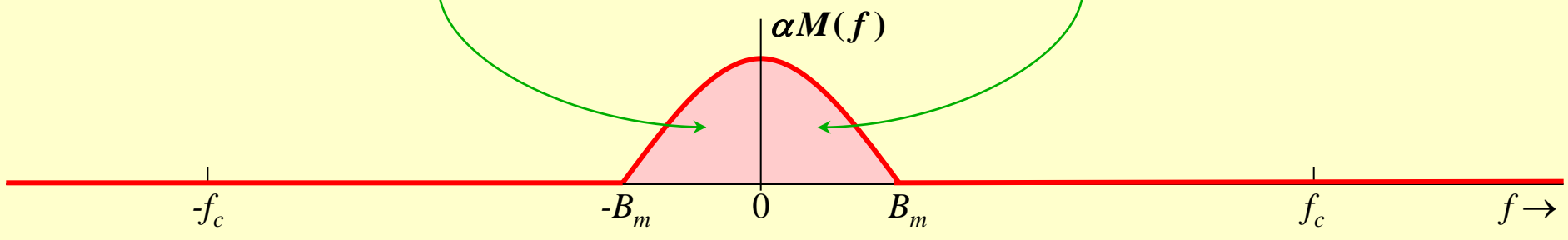
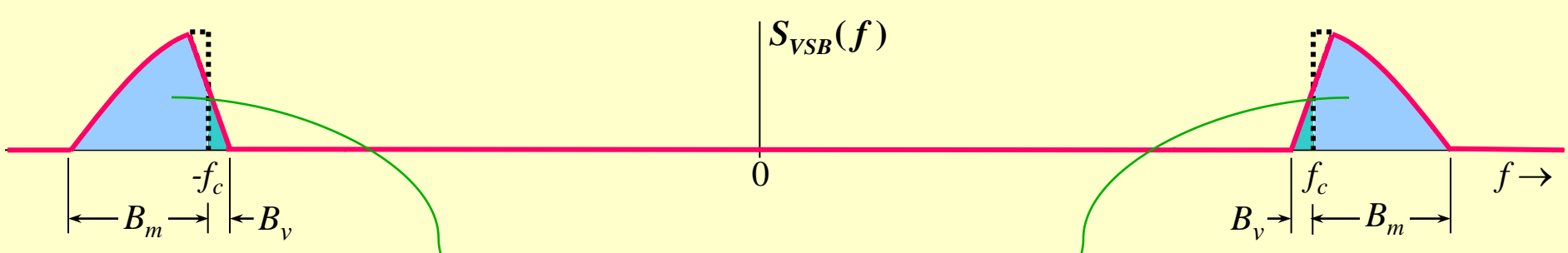
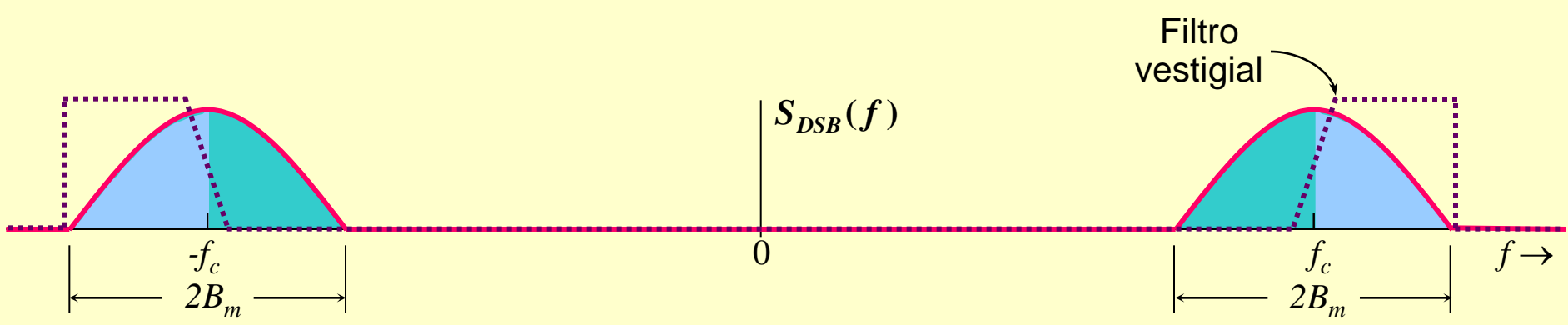
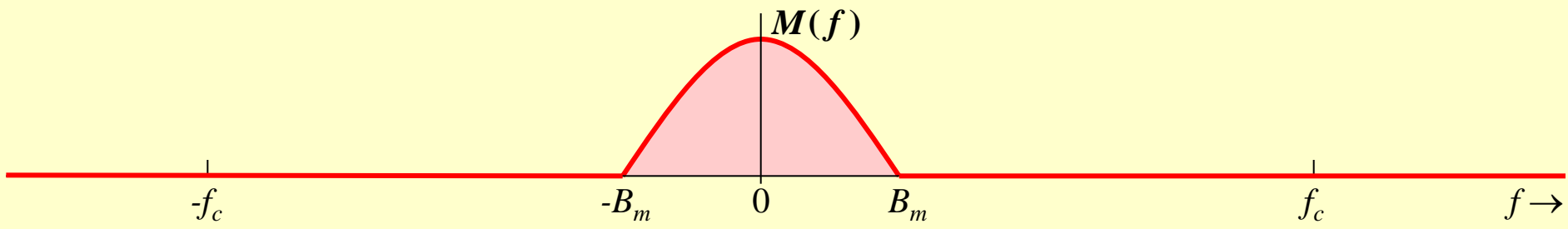
Largura de banda de transmissão:

$$B_T = B_m + B_v$$

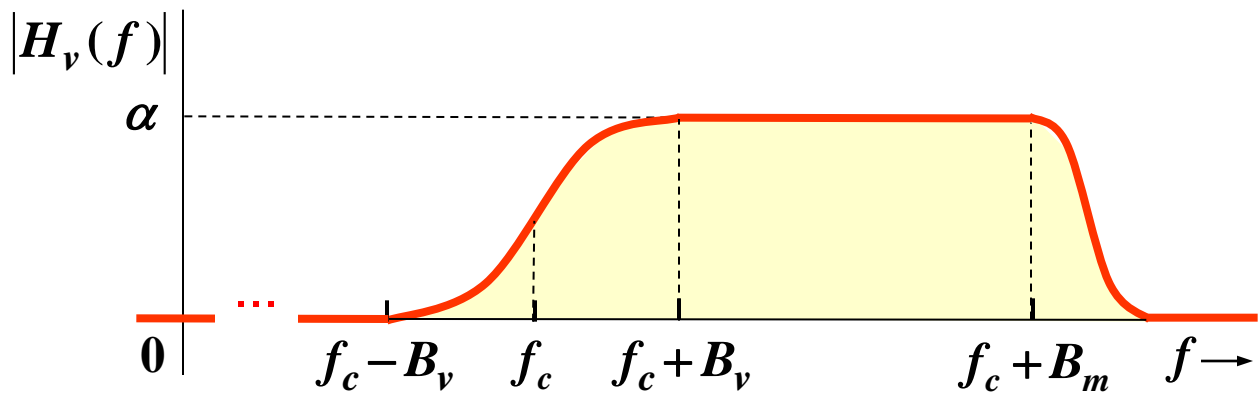
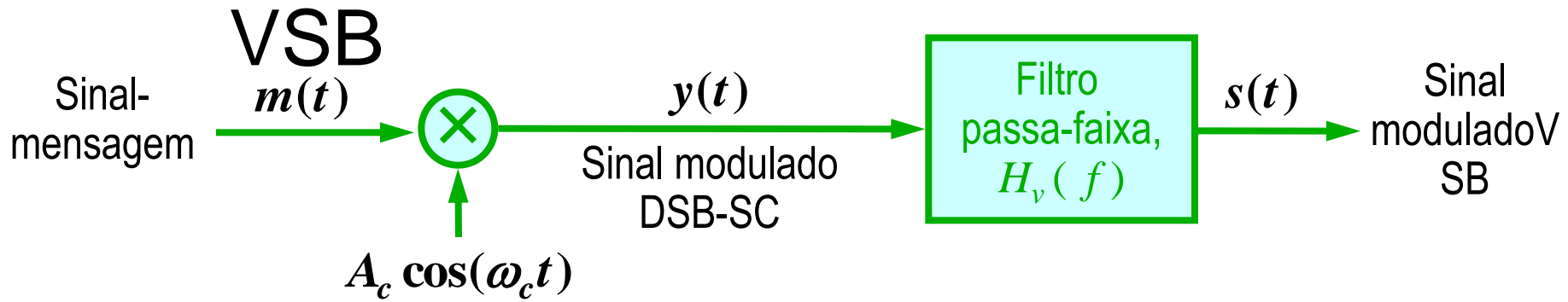
Tipicamente, $B_v \leq 0,25 B_m$

Espectros DSB, SSB e VSB





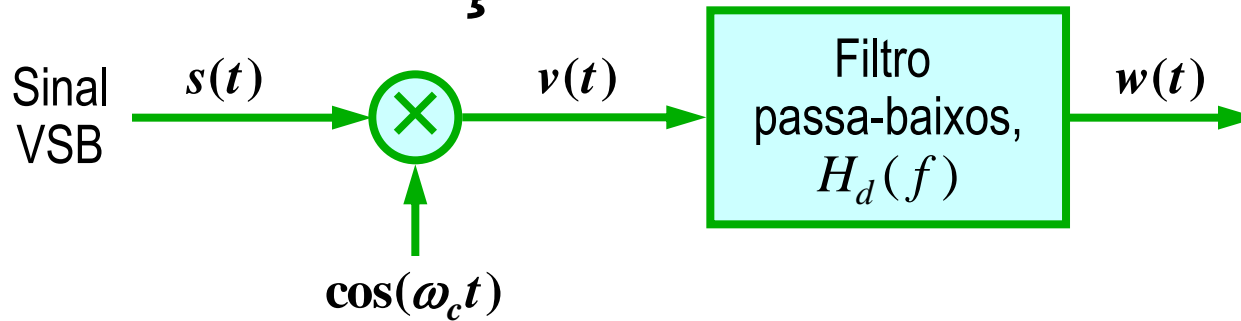
Geração de sinais



$$s(t) = y(t) * h_v(t) = [A_c m(t) \cos(\omega_c t)] * h_v(t)$$

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

Demodulação de um sinal VSB: detecção coerente



$$v(t) = s(t)\cos(\omega_c t)$$

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

$$= \frac{A_c}{4} \left\{ [M(f-2f_c) + M(f)]H_v(f-f_c) + [M(f) + M(f+2f_c)]H_v(f+f_c) \right\}$$

$$W(f) = \frac{A_c}{4} M(f) [H_v(f-f_c) + H_v(f+f_c)] H_d(f)$$

$$[H_v(f-f_c) + H_v(f+f_c)] H_d(f) = \beta \quad \text{para } |f| \leq B_m$$

$$H_d(f) = \frac{\beta}{H_v(f-f_c) + H_v(f+f_c)} \quad \text{para } |f| \leq B_m$$

Para que o sinal de informação seja recuperado sem distorção

Escolha do filtro vestigial do modulador

Se $H_v(f)$ for escolhido de modo que

$$H_v(f - f_c) + H_v(f + f_c) = \alpha \quad \text{para } |f| \leq B_m$$

$$H_d(f) = \frac{\beta}{\alpha} = \rho \quad \text{para } |f| \leq B_m$$

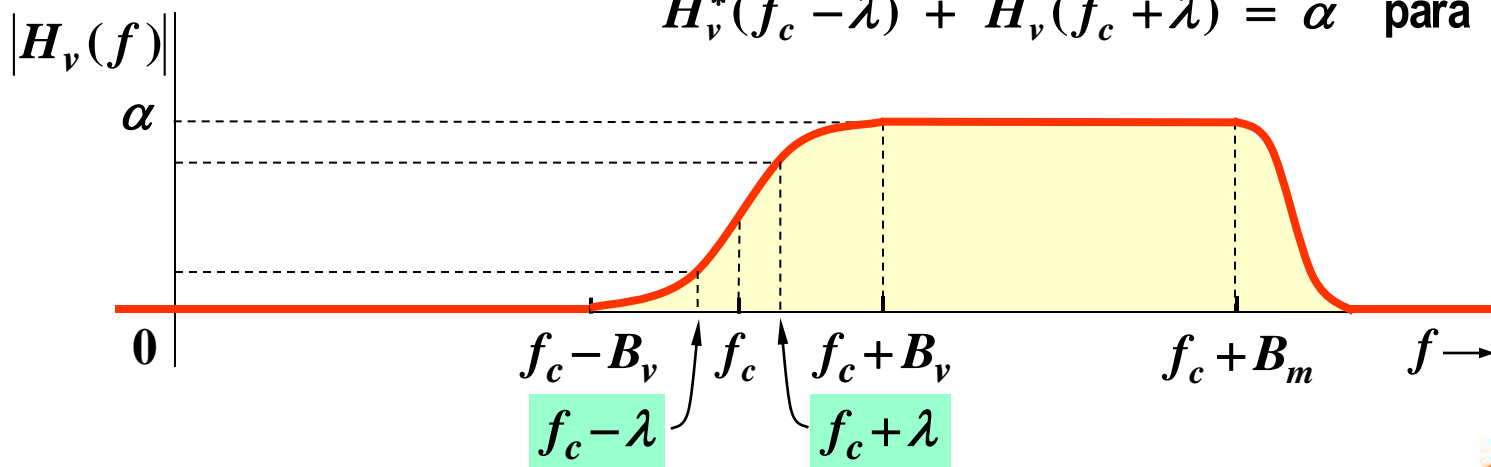
$$H_d(f) = \frac{\beta}{H_v(f - f_c) + H_v(f + f_c)}$$

$$H_v(f) = H_v^*(-f)$$

$$H_v(f - f_c) = H_v^*(f_c - f)$$

$$\Rightarrow H_v^*(f_c - f) + H_v(f_c + f) = \alpha \quad \text{para } |f| \leq B_m$$

$$H_v^*(f_c - \lambda) + H_v(f_c + \lambda) = \alpha \quad \text{para } |\lambda| \leq B_m$$



Sinais VSB+C: detecção de envoltória

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(\omega_c t) \mp A_c k_a m_Q(t) \sin(\omega_c t)$$

$$\begin{aligned} a(t) &= \sqrt{s_i^2(t) + s_q^2(t)} \\ &= \sqrt{A_c^2 [1 + k_a m(t)]^2 + A_c^2 [k_a m_Q(t)]^2} \end{aligned}$$

se $k_a m(t) \geq -1 \text{ p/ } \forall t$

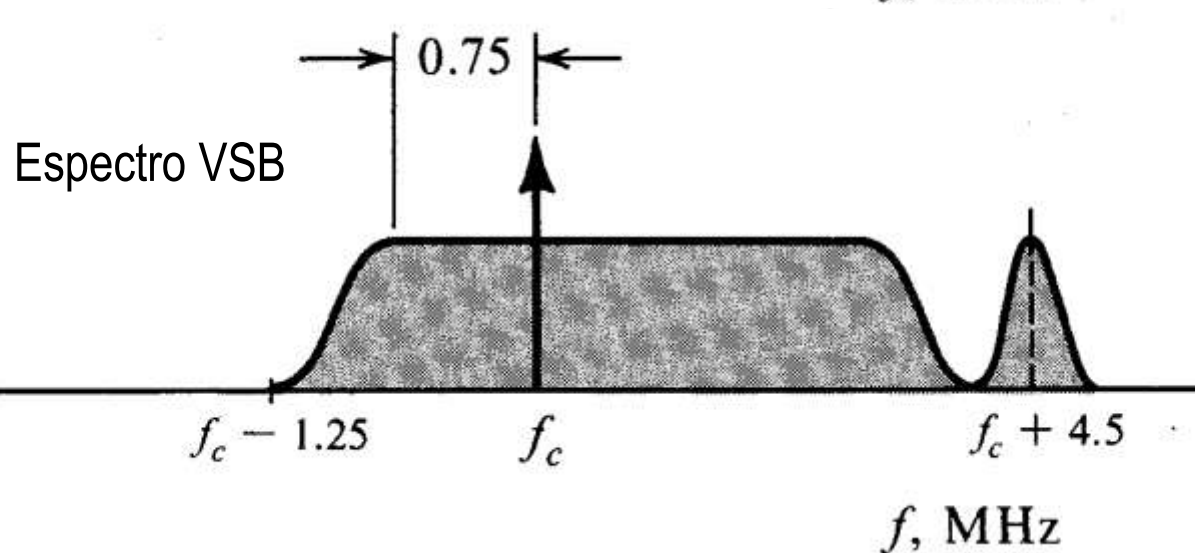
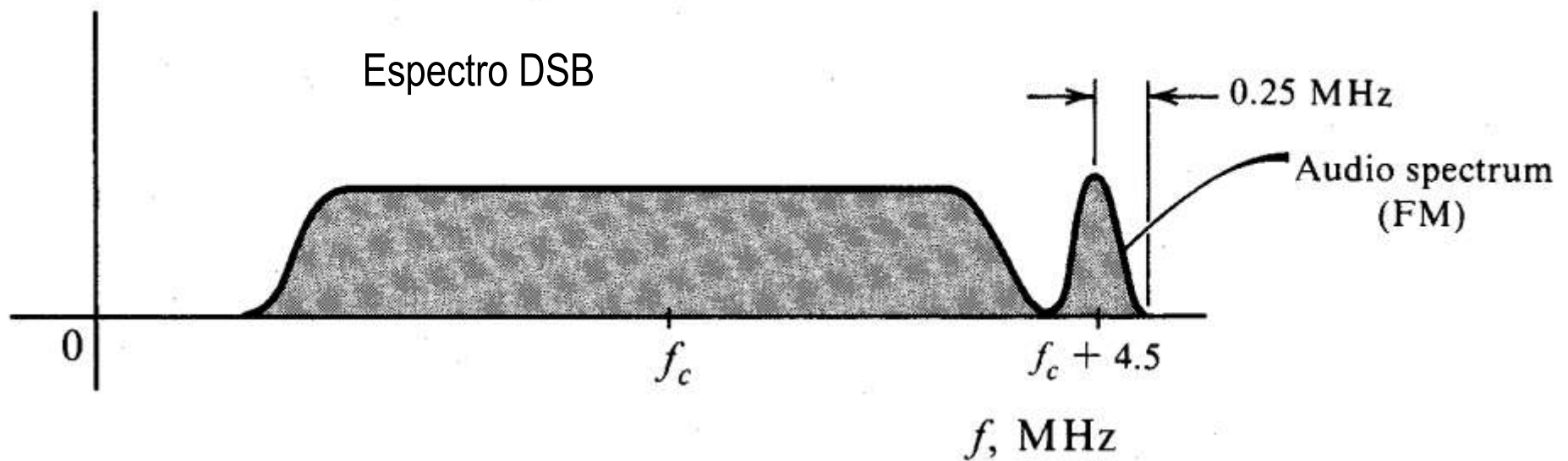
$$= A_c [1 + k_a m(t)] \underbrace{\sqrt{1 + \left[\frac{k_a m_Q(t)}{1 + k_a m(t)} \right]^2}}_{\text{Causa distorção}}$$

A distorção pode ser reduzida de duas formas:

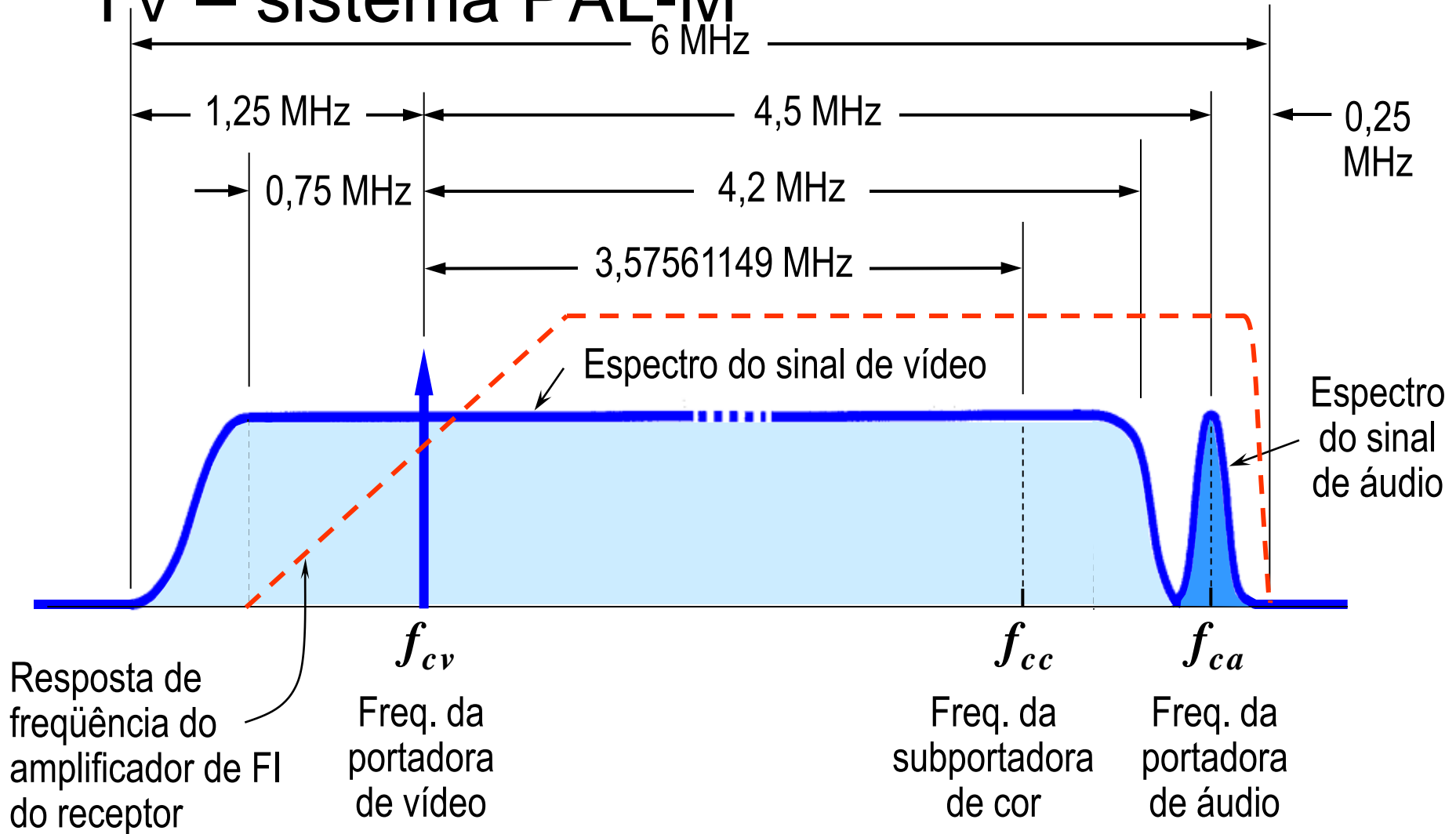
- Reduzindo a percentagem de modulação; isto é, reduzindo a sensibilidade de amplitude, k_a , do modulador .
- Aumentando a largura da banda lateral vestigial para reduzir $m_Q(t)$

No padrão para TV comercial, a largura da banda lateral vestigial (que é $\cong 0,75$ MHz, ou $\cong 1/6$ de uma banda lateral completa, que é $\cong 4,2$ MHz) foi determinada para que a distorção ficasse dentro de limites toleráveis quando a percentagem de modulação fosse próxima de 100%.

Espectros de sinais de televisão



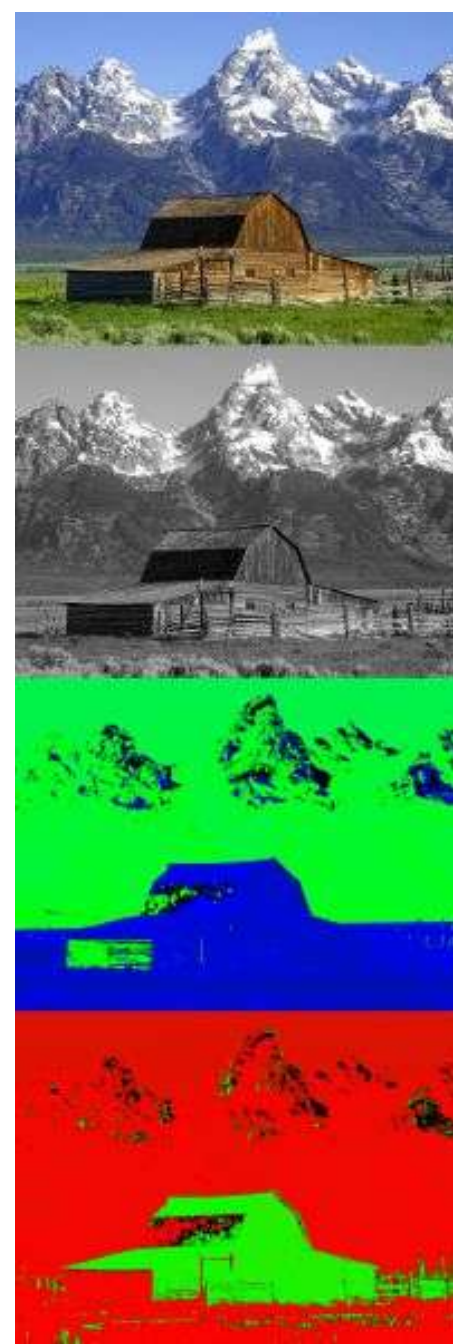
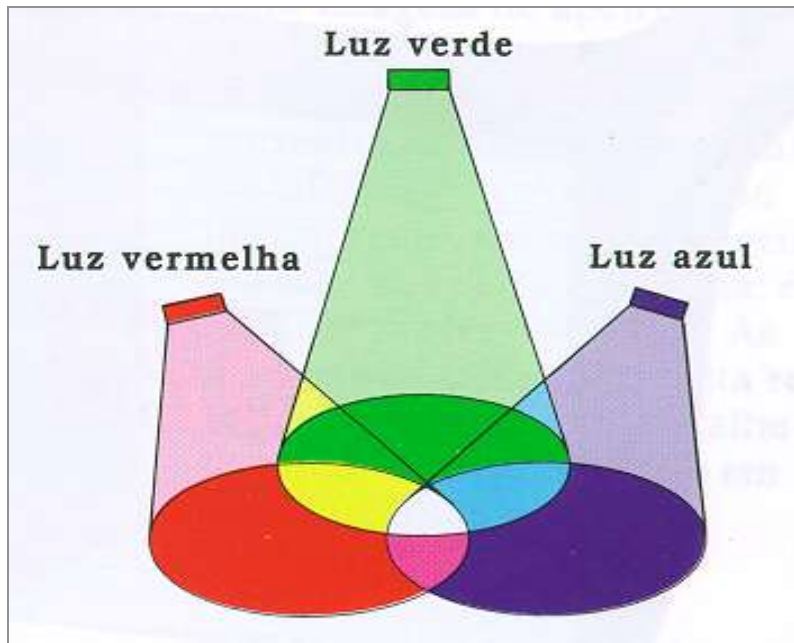
Espectro de amplitude idealizado de um sinal de TV – sistema PAL-M



Componentes YUV

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,436 \\ 0,615 & -0,515 & -0,100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -0,000039457070707 & 1,139827967171717 \\ 1 & -0,394610164141414 & -0,5800500315656566 \\ 1 & 2,031999684343434 & -0,000481376262626 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}$$



<http://en.wikipedia.org/wiki/YUV>

Multiplexação dos sinais de luminância e crominância

