
Sistemas de Comunicación

Clase 5: AM, BLD, BLU, BLV

Objetivo

- Espectro de AM
 - Banda Lateral Doble (BLD, DSB)
 - Banda Lateral Única (BLU, SSB)
 - Banda Lateral Vestigial (BLV, VSB)
-

Espectro de AM

$$x_T(t) = A_c(1 + mx(t)) \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

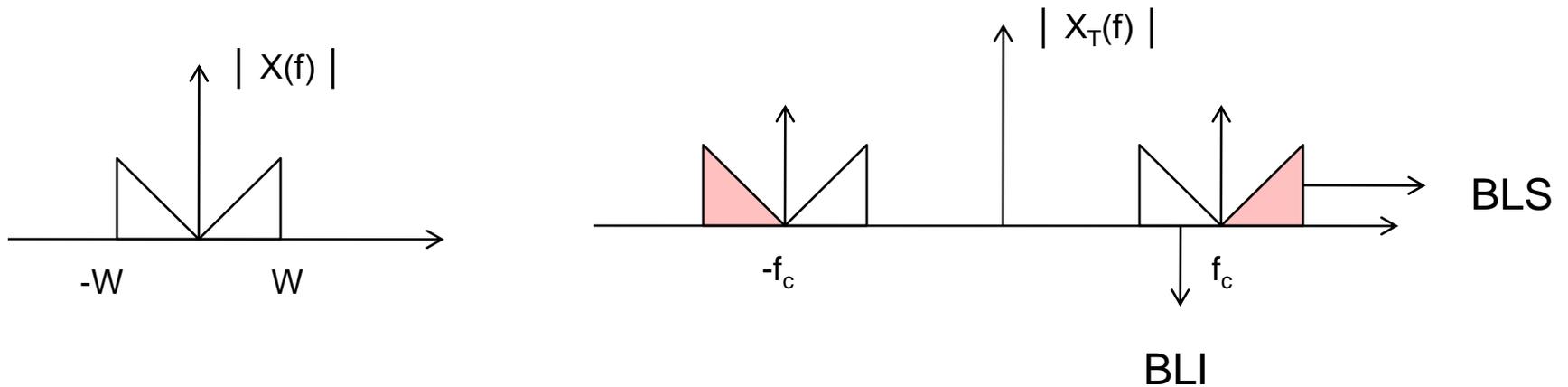
con $m \leq 1$ y $|x(t)| \leq 1$ $f_c \gg W$

1. Sup: $x(t)$ señal determinística con ancho de banda W

$$x_T(t) = A_c(1 + mx(t)) \cos(\omega_c t + \theta_0) \quad \theta_0 = 0$$

$$X_T(f) = A_c \left\{ \frac{\delta_{f_c} + \delta_{-f_c}}{2} + m \left(\frac{X(f + f_c) + X(f - f_c)}{2} \right) \right\}$$

Espectro de AM



BLI: Banda Lateral Inferior, LSB: low side band

BLS: Banda Lateral Superior, USB: upper side band

Espectro de AM

$$x_T(t) = A_c(1 + mx(t)) \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

con $m \leq 1$ y $|x(t)| \leq 1$ $f_c \gg W$

Sup: $x(t)$ **proceso estacionario** en el sentido amplio (**WSS**) con ancho de banda **W**

$R_x(\tau) = E(x(t)x(t+\tau))$: determinística $S_x = R_x(0)$

$G_x(f) = F(R_x(\tau))$ con $G_x(f) \approx 0$ para $|f| > W$

$$x_T = y(t) \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

$$y(t) = A_c(1 + mx(t))$$

x_T : proceso modulado

θ_0 : V.A. $U[0, 2\pi]$

$x(t)$ no correlacionado con $\cos(\omega_c t + \theta_0)$

Espectro de AM

$$R_{x_T}(\tau) = E(x_T(t)x_T(t+\tau))$$

$$R_{x_T}(\tau) = \frac{1}{2} R_y(\tau) \cos w_c \tau \text{ (ver ej. P1)}$$

$$R_y(\tau) = A_c^2 \left[1 + 2mE(x(t)) + m^2 R_x(\tau) \right]$$

$$\text{Sup : } E(x_T(t)) = 0 \quad R_y(\tau) = A_c^2 \left[1 + m^2 R_x(\tau) \right]$$

$$R_{x_T}(\tau) = \frac{1}{2} A_c^2 \left[1 + m^2 R_x(\tau) \right] \cos w_c \tau$$

Potencia de AM

$$R_{x_T}(0) = \frac{1}{2} A_c^2 [1 + m^2 R_x(0)] \cos w_c 0$$

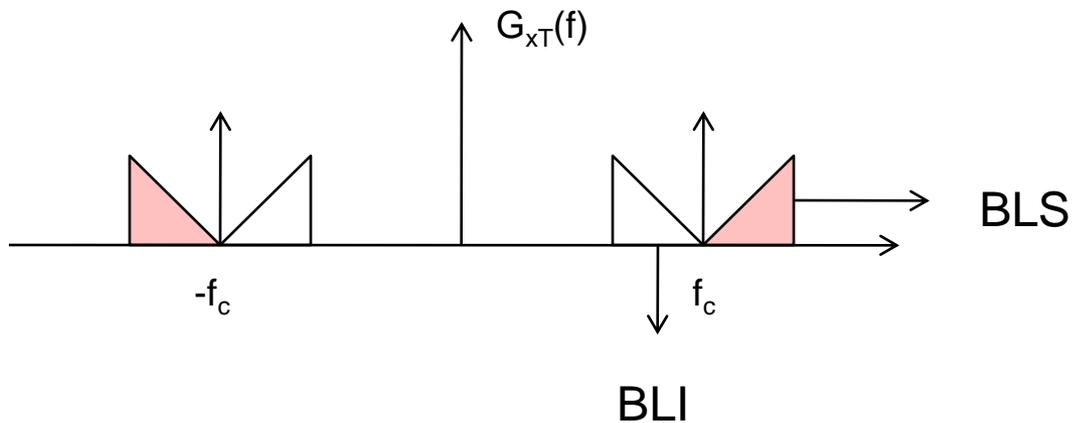
$$S_{T_{AM}} = R_{x_T}(0) = \frac{1}{2} A_c^2 [1 + m^2 S_x]$$

$$S_{T_{AM}} = \frac{A_c^2}{2} + \frac{m^2 A_c^2}{2} S_x = S_p + 2S_{BL}$$

$$S_p = \frac{A_c^2}{2} \quad S_{BL} = \frac{m^2 A_c^2}{4} S_x \quad \text{AM: } S_{BL} \leq \frac{S_p}{2}$$

Espectro de AM

$$G_{x_T}(f) = \frac{A_c^2}{4} [\delta_{f_c} + \delta_{-f_c}] + \frac{m^2 A_c^2}{4} [G_x(f + f_c) + G_x(f - f_c)]$$



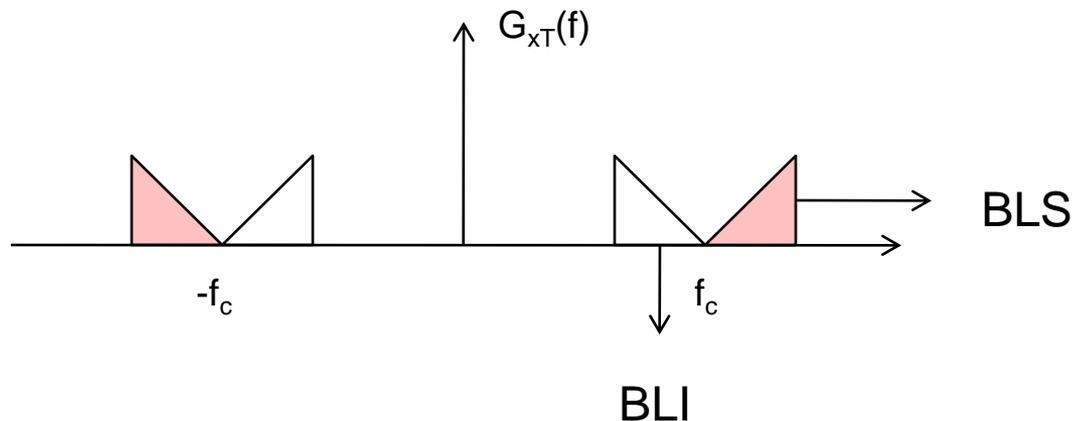
AM $B_T = 2W$ $S_T \geq 4 S_{BL}$

➤ ¿Cómo podemos hacer más eficiente la transmisión en modulación lineal?

Banda Lateral Doble (BLD, DSB)

$$x_{T_{BLD}}(t) = A_C x(t) \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

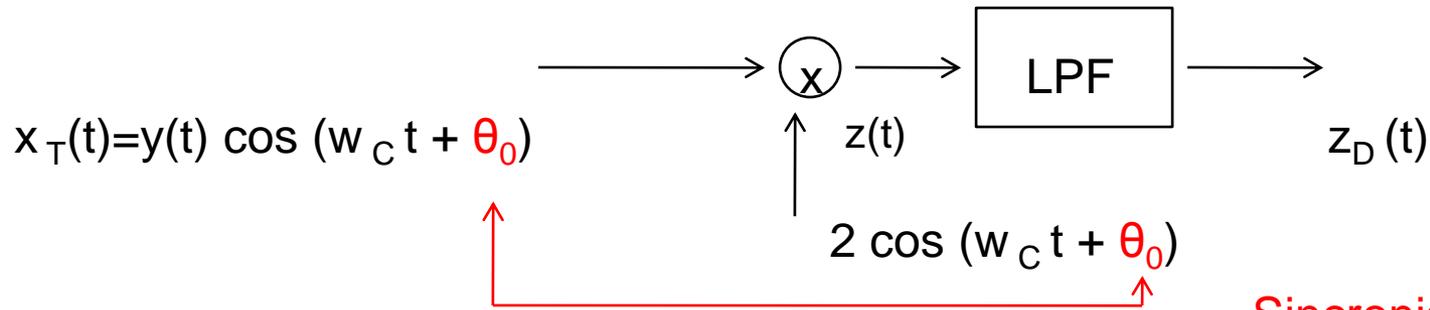
$$G_{x_{T_{BLD}}}(f) = \frac{A_c^2}{4} [G_x(f + f_c) + G_x(f - f_c)]$$



$$\text{BLD} \quad B_T = 2W \quad S_T = 2 S_{BL}$$

➤ En BLD la potencia transmitida se usa para transmitir solo BL (información)

Detección sincrónica



Sincronismo
 θ_0 Uniforme $0, 2\pi$

$$z(t) = 2y(t) \cos(w_c t + \theta_0) \cos(w_c t + \theta_0)$$

$$z(t) = 2y(t) \left[\frac{\cos(0) + \cos(2w_c t + 2\theta_0)}{2} \right]$$

$$z_D(t) = y(t) \quad \text{luego del filtro pasabajos de ancho } W$$

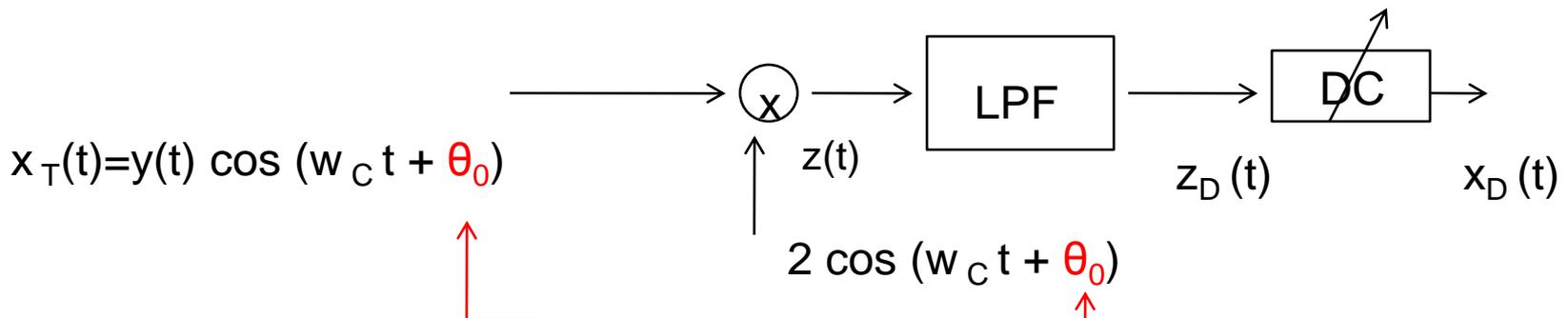
- Para detectar el mensaje necesito sincronismo perfecto entre el TX y RX
- Envío tono piloto o sincronizo con PLL

Detección sincrónica

➤ Sirve para detectar DBL y AM con un bloqueador de continua a la salida

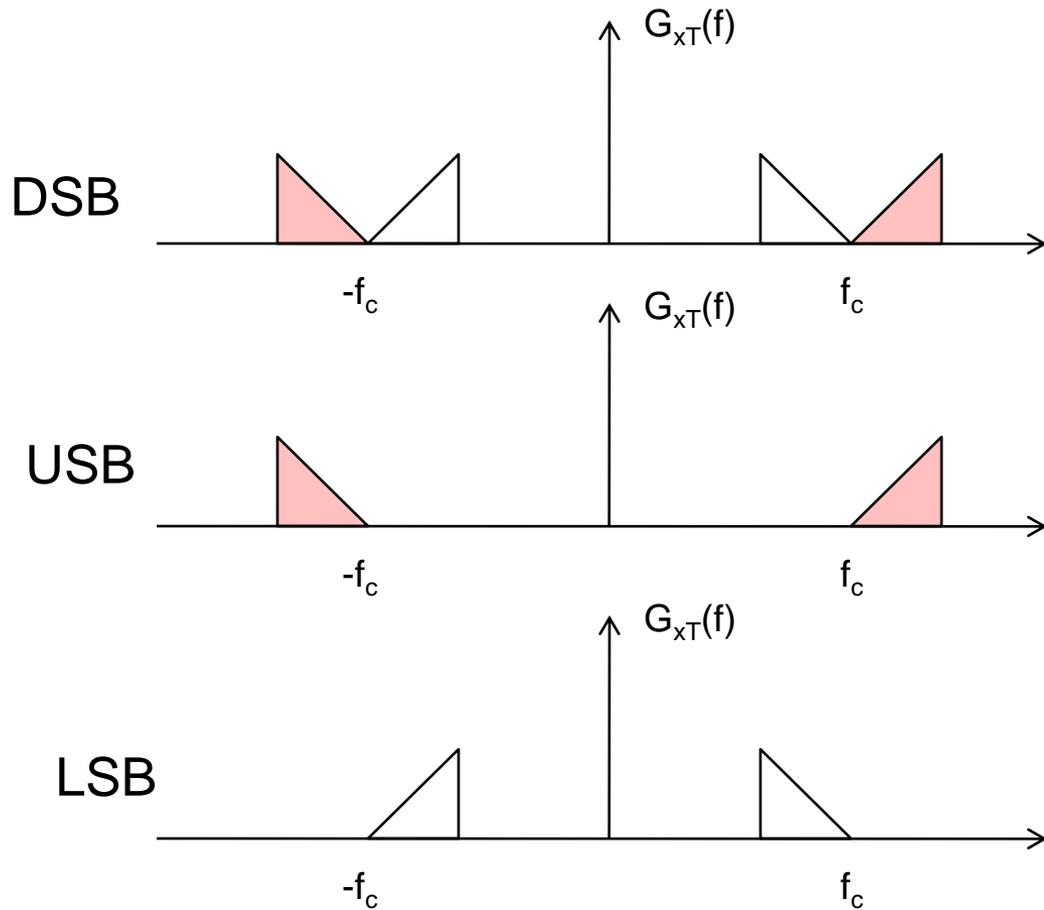
$$\text{DBL: } z_D(t) = A_c x(t) \quad x_D(t) = A_c x(t)$$

$$\text{AM: } z_D(t) = A_c (1 + mx(t)) \quad x_D(t) = mA_c x(t)$$



➤ ¿Cómo podemos hacer más eficiente aún la transmisión en modulación lineal?

Banda Lateral Única (BLU, SSB)



$$\text{SSB} \quad B_T = W \quad S_T = S_{BL}$$

➤ Requiere la mitad de la potencia transmitida que DSB.

Banda Lateral Única

Caso particular : $x(t) = \cos w_m t$ tono

$$x_{T_{BLD}}(t) = \frac{A_C}{2} [\cos(w_c + w_m)t + \cos(w_c - w_m)t]$$

← USB →

← LSB →

filtro una banda y obtengo : $x_{T_{BLU}}(t) = \frac{A_C}{2} [\cos(w_c \pm w_m)t]$

↑ USB
↓ LSB

$$x_{T_{BLU}}(t) = \frac{A_C}{2} [\cos w_m t \cos w_c t \mp \text{sen} w_m t \text{sen} w_c t]$$

En fase va el mensaje y en cuadratura la señal desfasada 90° .

Con un detector sincrónico detecto el mensaje.

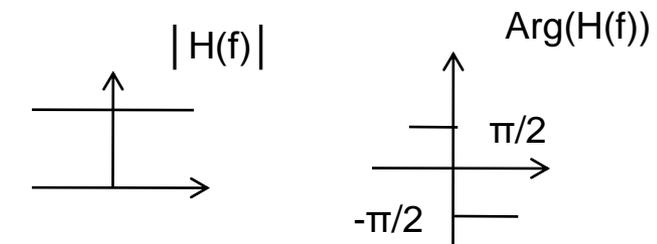
Banda Lateral Única

Caso general :

$$x_{T_{BLU}}(t) = \frac{A_c}{2} [x(t) \cos w_c t \mp \hat{x}(t) \text{sen} w_c t]$$

con $\hat{x}(t) = \text{vp} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\lambda)}{\pi(t-\lambda)} d\lambda$ Transf. Hilbert de $x(t)$

Implementación: Desfasador ideal 90°



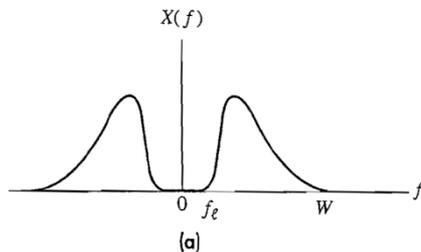
$$H(f) = -\text{sig}(f)$$

$$\hat{X}(f) = -j \text{sig}(f) X(f)$$

➤ Mostrar que con las definiciones dadas la señal modulada tiene espectro BLU

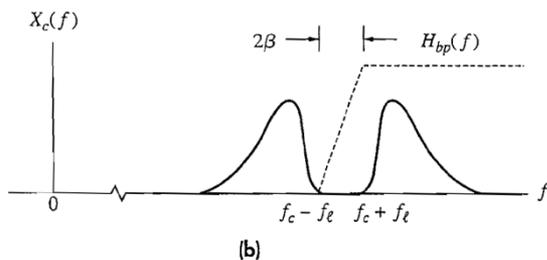
Banda Lateral Única

- Implementación: Modulación BLD a frecuencia f_1 (frecuencia intermedia) filtrado pasaalto (o pasabajo) real con β_1 , luego BLD a frecuencia f_c y filtrado real con β_c

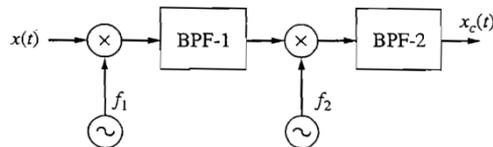


$$2\beta_1 > f_1/100$$

$$f_1 < 200\beta_1$$

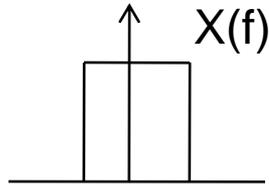


(a) Message spectrum with zero-frequency hole; (b) practical sideband filter.

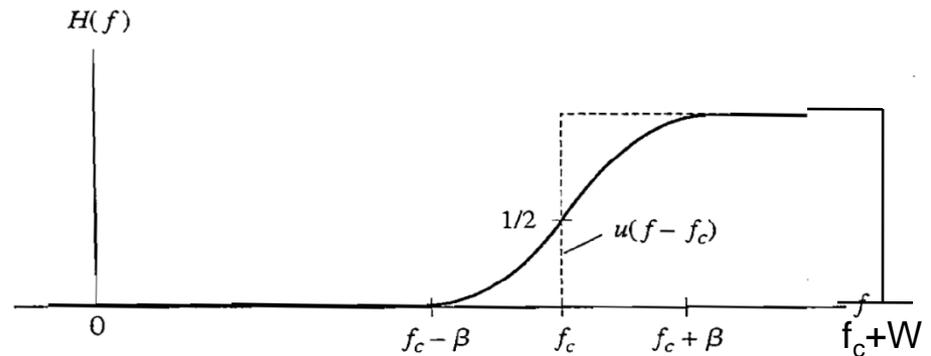


Banda Lateral Vestigial

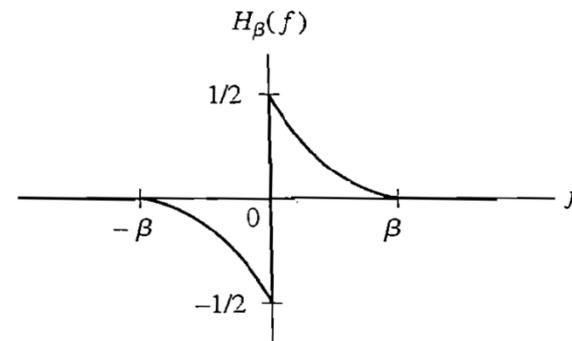
- Busco extender las ventajas de BLU a los casos en que la señal no tiene un hueco en las frecuencias bajas y no puedo filtrar sin distorsionar el mensaje.



$$H(f) = u(f - f_c) - H_\beta(f - f_c) \quad f > 0$$



(a)



Uso filtro respuesta
simétrica respecto a f_c

$$B_{\text{TBLV}} = \beta + W$$

Carlson

Banda Lateral Vestigial

$$x_{T_{BLV}}(t) = \frac{A_c}{2} \left[x(t) \cos w_c t \mp (\hat{x}(t) + x_\beta(t)) \text{sen} w_c t \right]$$

Detector sincrónico recupera el mensaje original.
