

Señales y sistemas

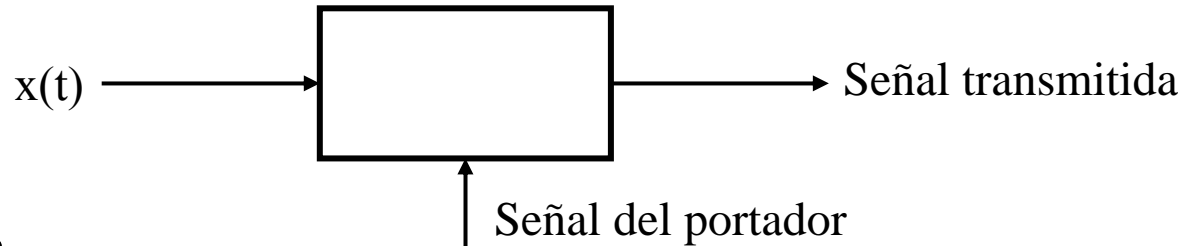
Otoño 2003

Clase 15

28 de octubre de 2003

1. Modulación de amplitud de exponencial complejo.
2. AM sinusoidal.
3. Demodulación de la AM sinusoidal.
4. Modulación de amplitud de banda lateral única (SSB).
5. Multiplexado por división de frecuencias (FDM).
6. Receptores superheterodinos.

El concepto de modulación

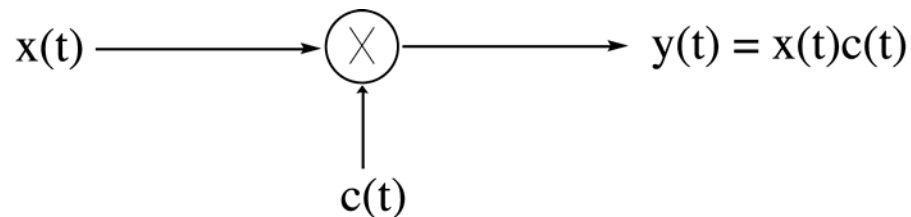


¿Por qué?

- Resulta más eficaz transmitir señales E&M a frecuencias más altas.
- Transmisión de señales múltiples a través del mismo medio utilizando distintos portadores.
- Transmisión a través de "canales" con pasos de banda limitados.
- Otros ...

¿Cómo?

- *Muchos* métodos.
- Se centra en su mayor parte en la *Amplitud Modulada (AM)*



Amplitud *Modulada* (AM) de un portador de exponencial complejo

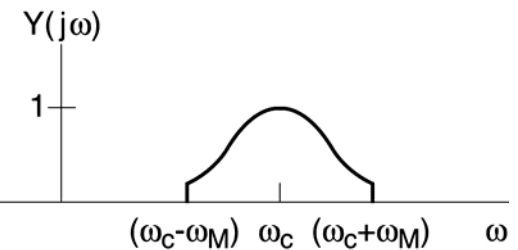
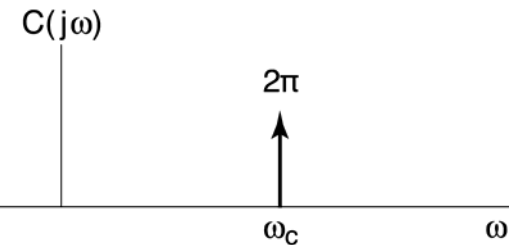
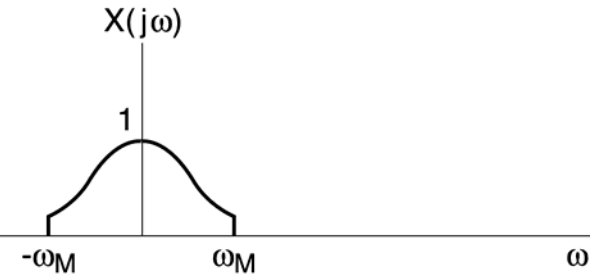
$$c(t) = e^{j\omega_c t}, \quad \omega_c - \text{carrier frequency (frecuencia portadora)}$$

$$y(t) = x(t)e^{j\omega_c t}$$

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * C(j\omega)$$

$$= \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * 2\pi\delta(\omega - \omega_c)$$

$$= X(j(\omega - \omega_c))$$



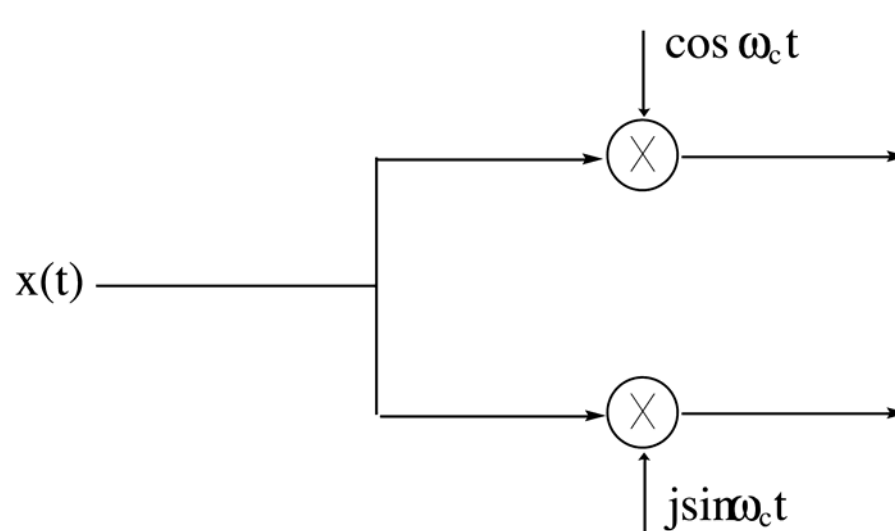
Demodulación de AM de exponencial complejo



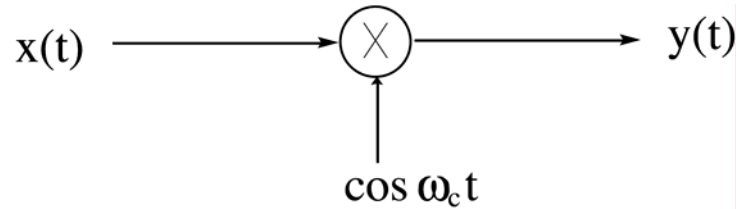
$$e^{j\omega_c t} = \cos \omega_c t + j \sin \omega_c t$$



Corresponde a dos canales (cuadraturas) de modulación con portadores 90° fuera de fase

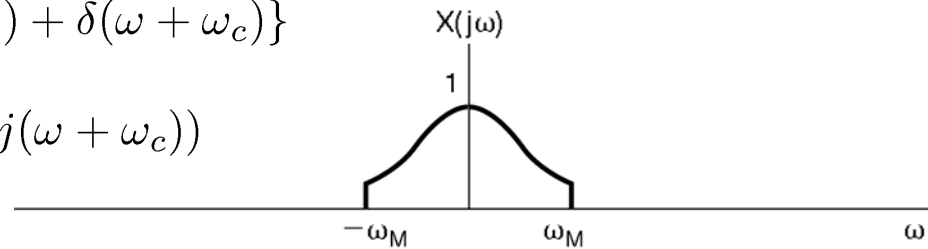


AM sinusoidal

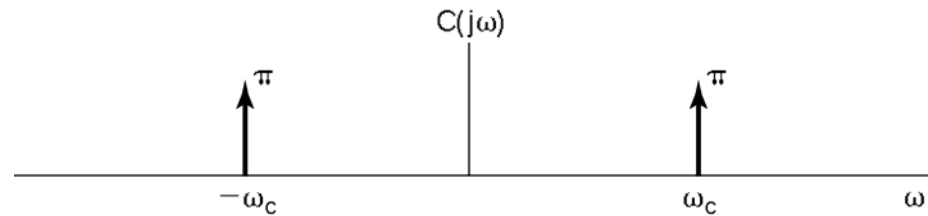


$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * \pi\{\delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c)\}$$

$$= \frac{1}{2} X(j(\omega - \omega_c)) + \frac{1}{2} X(j(\omega + \omega_c))$$



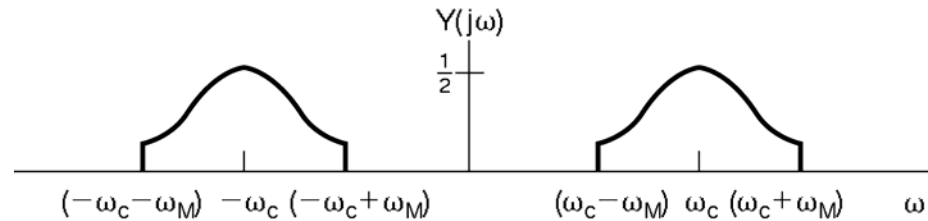
(a)



(b)

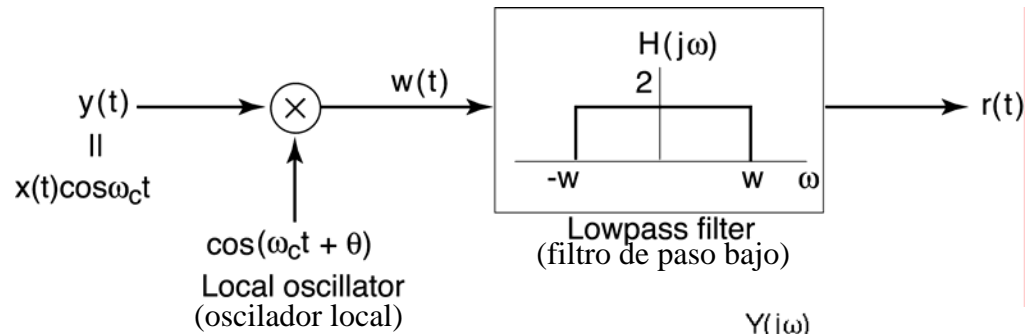
Trazado suponiendo que

$$\omega_c > \omega_M$$



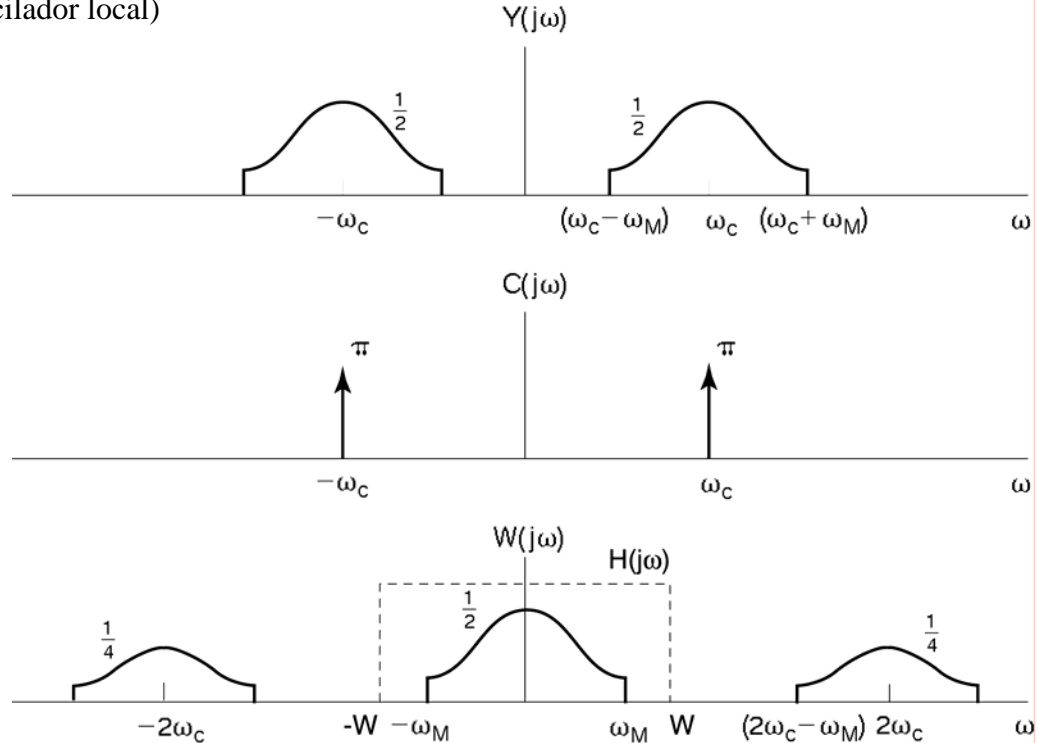
(c)

Demodulación sincrónica de AM sinusoidal



Por ahora, suponga que $\theta = 0$

\Rightarrow El oscilador local se encuentra en fase con el portador.



Demodulación sincrónica en el dominio del tiempo

$$w(t) = y(t) \cos \omega_c t = x(t) \cos^2 \omega_c t = \frac{1}{2}x(t) + \underbrace{\frac{1}{2}x(t) \cos 2\omega_c t}$$

Then (Entonces) $r(t) = x(t)$

High-frequency signals
filtered out by the LPF
(Señales de alta frecuencia
filtradas por el LPF)

A continuación, suponga que existe una diferencia de fase, es decir, $\theta \neq 0$, por lo tanto,

$$\begin{aligned} w(t) &= y(t) \cos(\omega_c t + \theta) = x(t) \cos \omega_c t \cos(\omega_c t + \theta) \\ &= \frac{1}{2}x(t) \cos \theta + \underbrace{\frac{1}{2}x(t) (\cos(2\omega_c t + \theta))}_{\text{HF signal}} \end{aligned}$$

Now (Ahora) $r(t) = x(t) \cos \theta$

Dos casos especiales:

- 1) $\theta = \pi/2$, el oscilador local se encuentra a 90° fuera de fase con el portador,
 $\Rightarrow r(t) = 0$, señal irrecuperable.
- 2) $\theta = \theta(t)$ — varía lentamente con el tiempo, $\Rightarrow r(t) \cong \cos[\theta(t)] \cdot x(t)$,
 \Rightarrow "ganancia" variante en el tiempo.

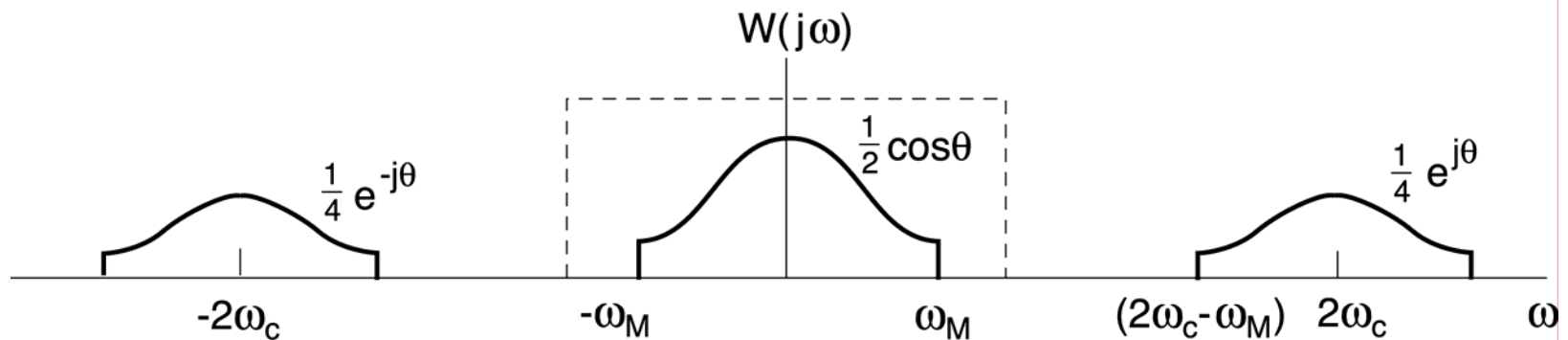
Demodulación sincrónica (con error de fase) en el dominio de la frecuencia

Señal de demodulación –
posee diferencia de fase θ
respecto a la señal de
modulación

$$\cos(\omega_c t + \theta) = \frac{1}{2} e^{j\theta} e^{j\omega_c t} + \frac{1}{2} e^{-j\theta} e^{-j\omega_c t}$$

$\Downarrow \mathcal{F}$

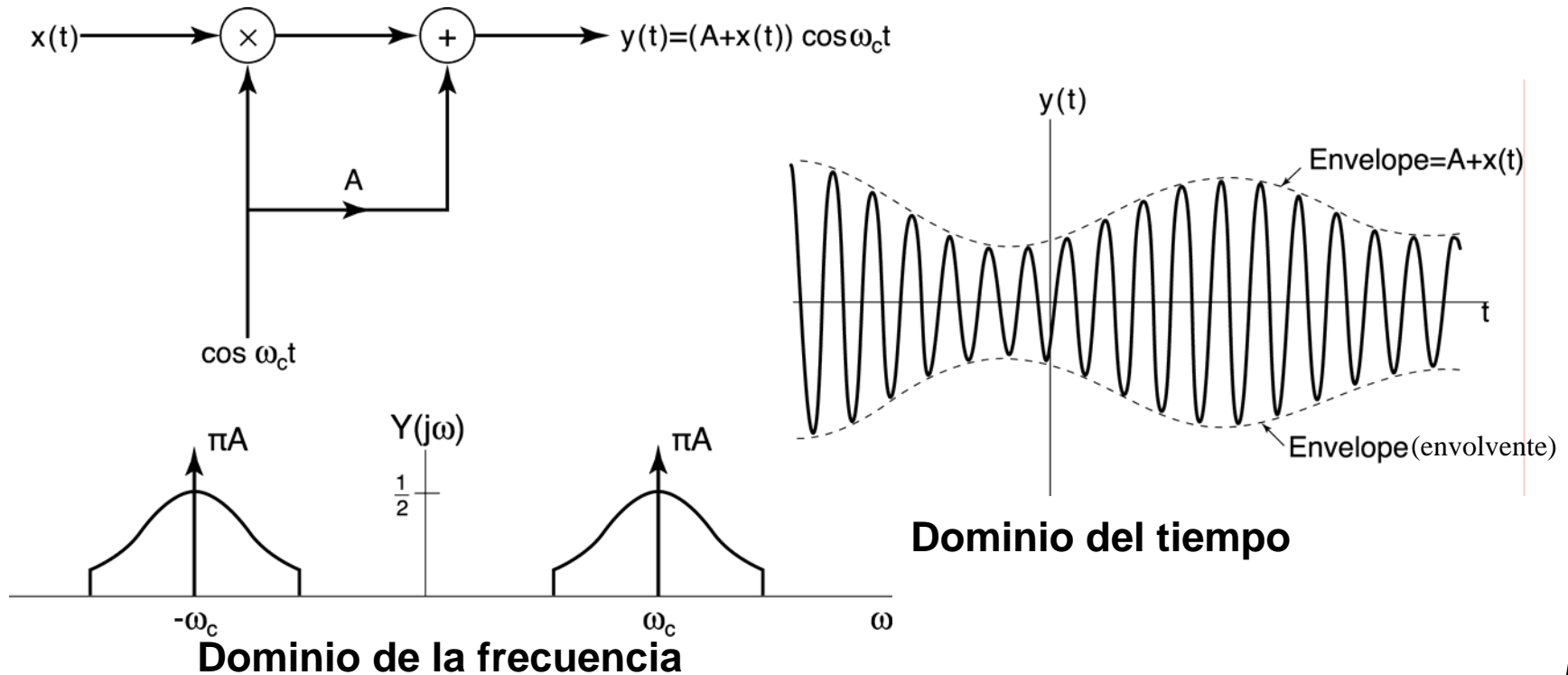
$$\pi e^{j\theta} \delta(\omega - \omega_c) + \pi e^{-j\theta} \delta(\omega + \omega_c)$$



De nuevo, la señal de baja frecuencia ($\omega < \omega_M$) = 0 cuando $\theta = \pi/2$.

Alternativa: demodulación asincrónica

- Suponga que $\omega_c \gg \omega_M$, por tanto, el envolvente de la señal es parecido a $x(t)$
- Añada a la señal el mismo portador con amplitud A .

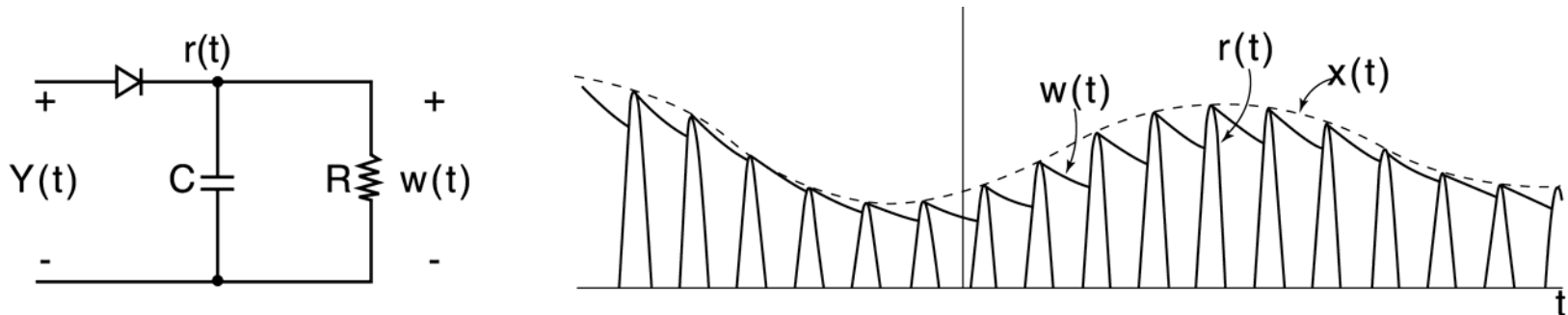


$A = 0 \Rightarrow$ DSB/SP (Banda lateral doble, sin portador)

$A > 0 \Rightarrow$ DSB/CP (Banda lateral doble, con portador)

Demodulación asincrónica (continuación)

Detector de envolvente



Para que funcione correctamente, la función envolvente debe ser positiva para todo tiempo, *es decir*, $A + x(t) > 0$ para todo t .

Demo: detección de envolvente para demodulación asincrónica.

Ventajas de la demodulación asincrónica:

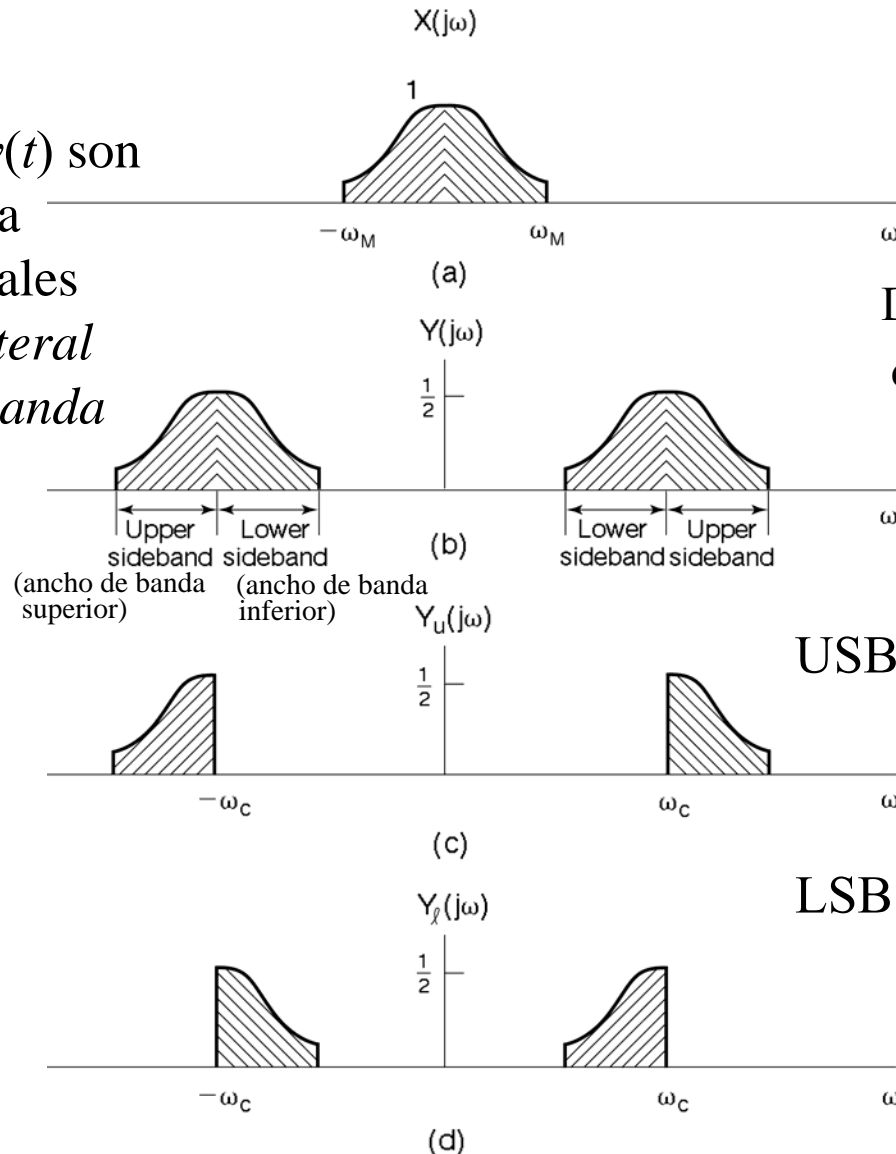
— Más sencillo en diseño e implementación.

Desventajas de la demodulación asincrónica:

— Requiere potencia de transmisión adicional $[A \cos \omega_c t]^2$ para asegurar que $A + x(t) > 0 \Rightarrow$ eficacia de potencia máxima = $1/3$ (P8.27)

AM de banda lateral doble (DSB) y de banda lateral única (SSB)

Puesto que $x(t)$ y $y(t)$ son reales, por simetría conjugada, las señales de LSB (*banda lateral inferior*) y USB (*banda lateral superior*) portan la misma información.

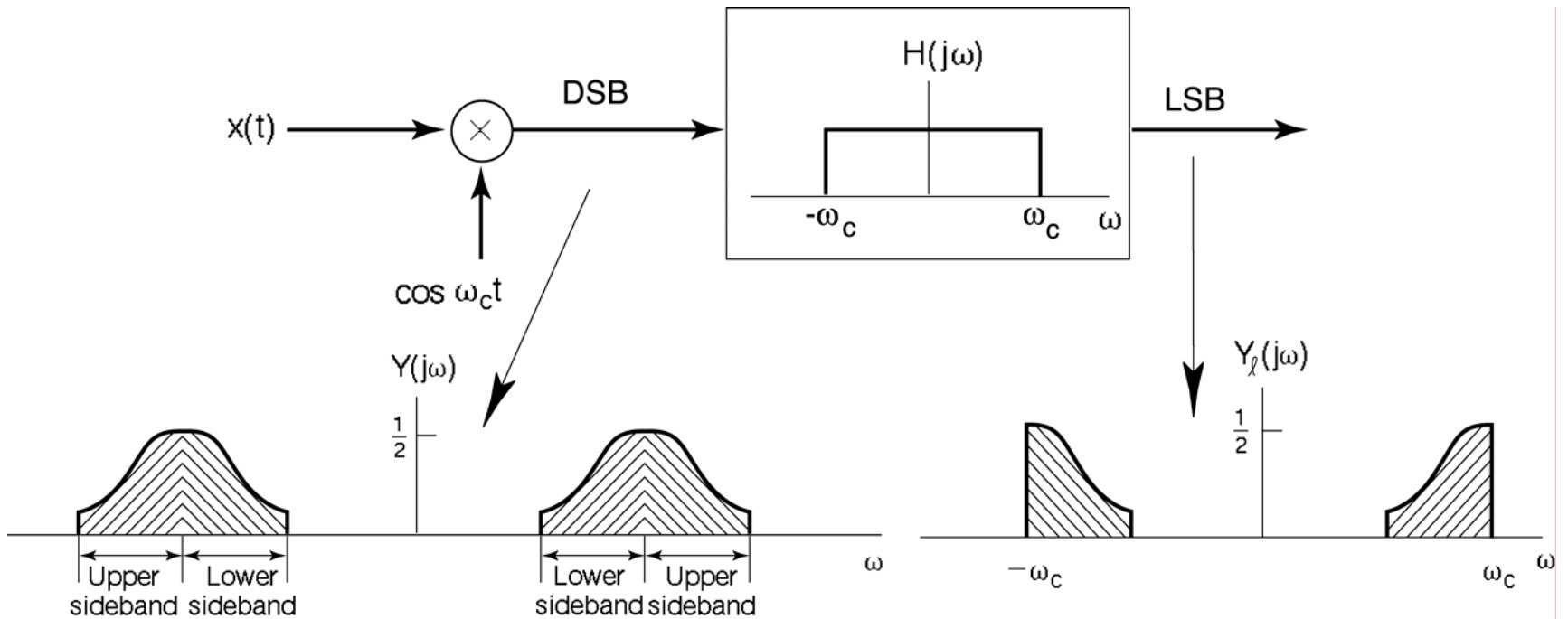


DSB, ocupa un ancho de banda de $2\omega_M$ en $\omega > 0$.

USB Cada aproximación de banda lateral ocupa sólo un ancho de banda ω_M en $\omega > 0$.

LSB

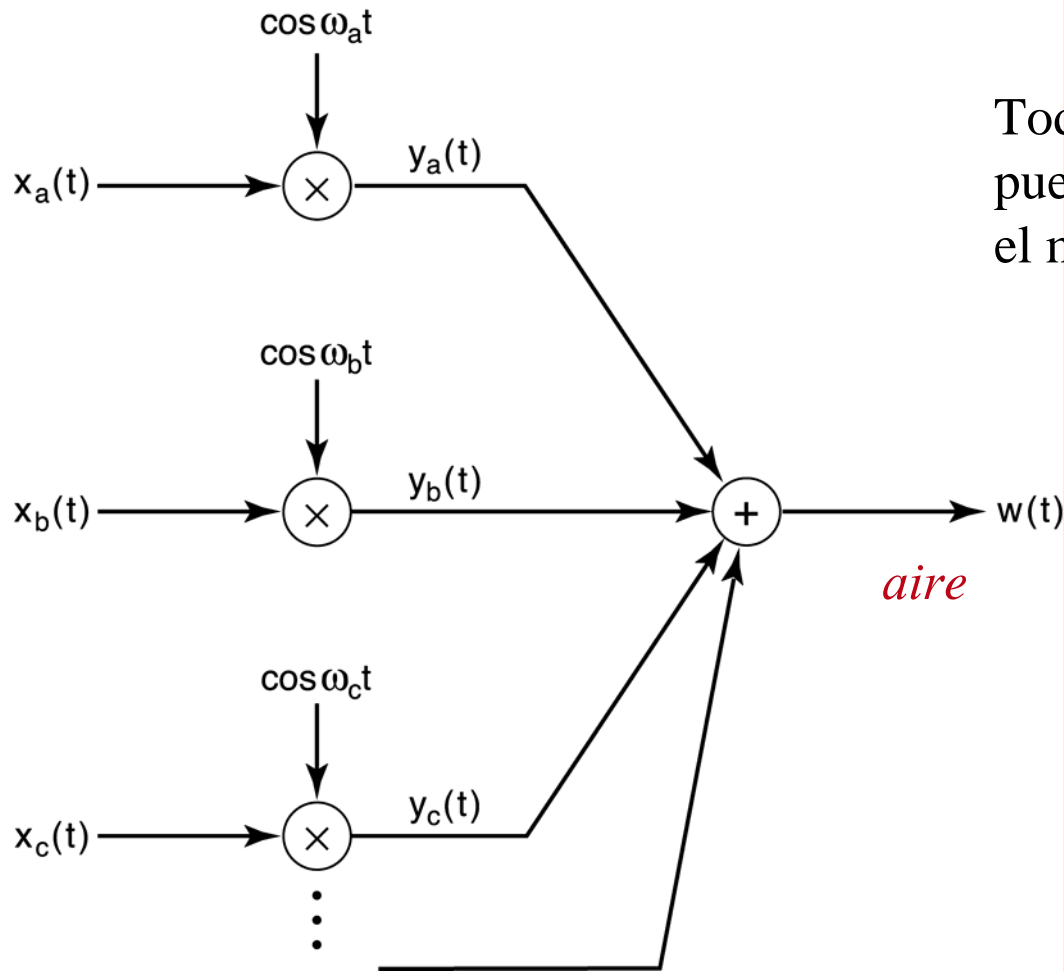
Modulación de banda lateral única



Se puede obtener también SSB/SP (sin portador)
o SSB/CP (con portador)

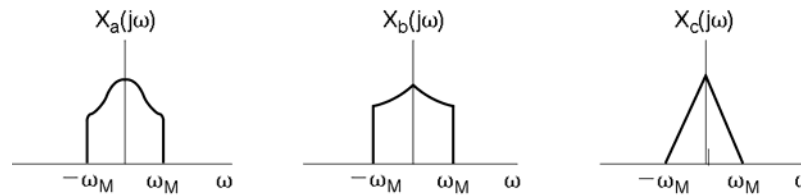
Multiplexado por división de frecuencias (FDM)

(Ejemplos: señales de estación de radio y teléfonos celulares analógicos)

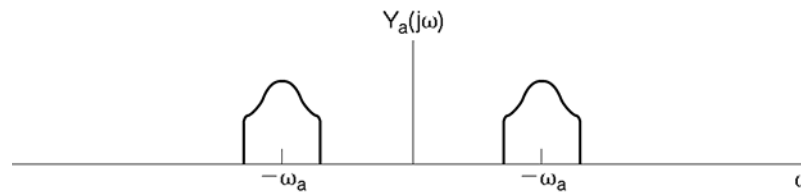


Todos los canales
pueden compartir
el mismo medio.

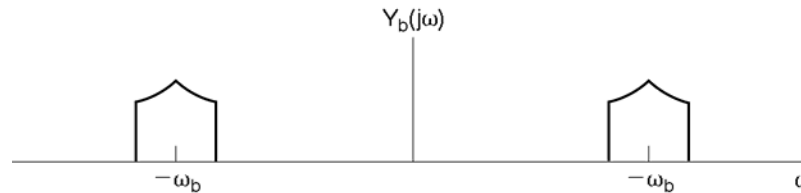
FDM en el dominio de la frecuencia



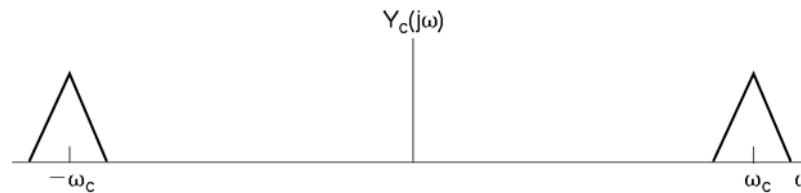
señales de
"banda base"



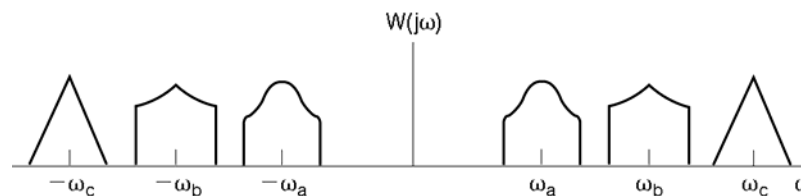
Canal a



Canal b

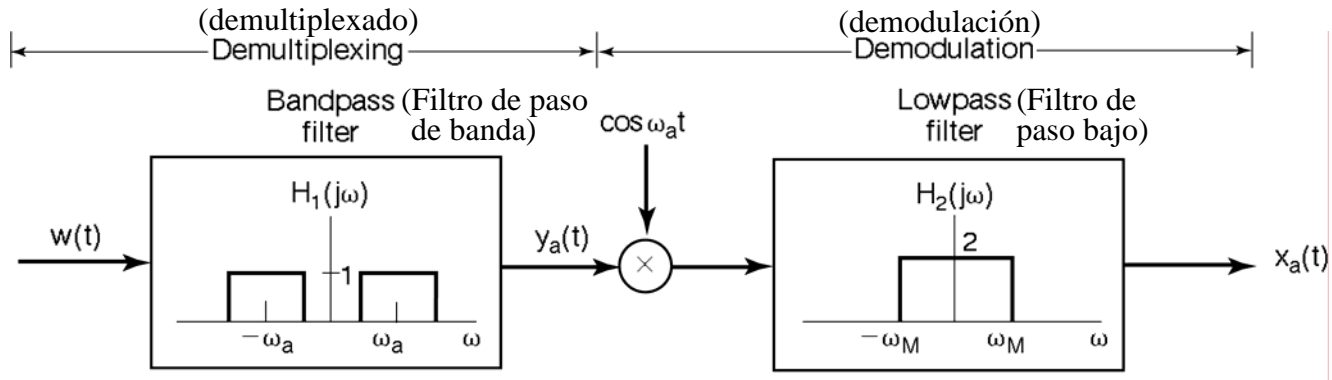


Canal c



Señales
multiplexadas

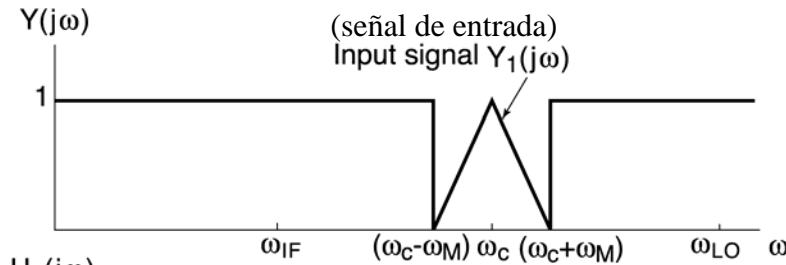
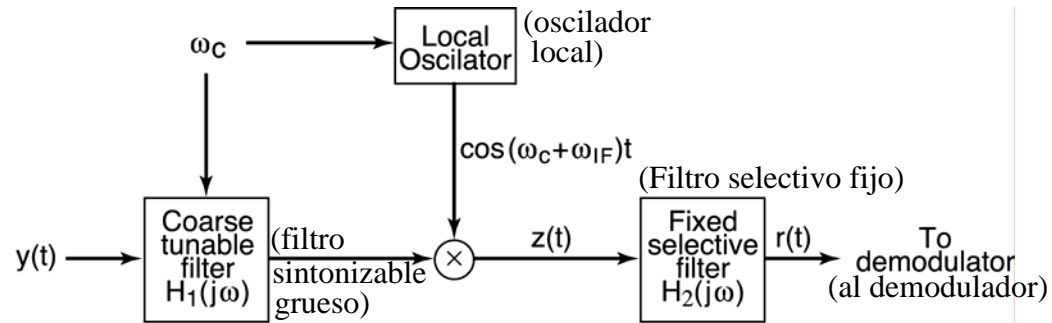
Demultiplexado y demodulación



es necesario que ω_a sea sintonizable

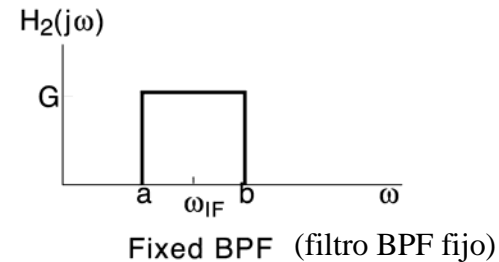
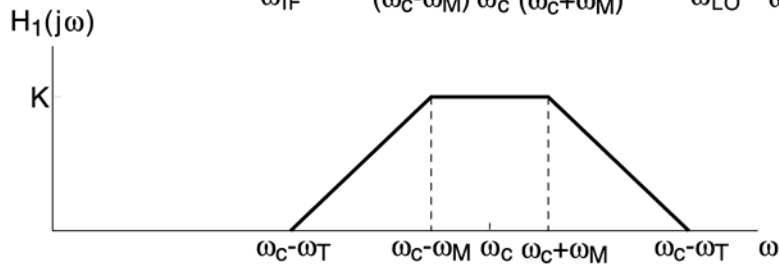
- Los canales no deben superponerse \Rightarrow asignación de ancho de banda.
- Resulta difícil (y costoso) diseñar un filtro de paso de banda altamente selectivo con una frecuencia central sintonizable.
- Solución – receptores superheterodinos.

El receptor superheterodino



$$\text{AM, } \frac{\omega_c}{2\pi} = 535 - 1605 \text{ kHz} \text{ --- RF}$$

$$\text{FCC: } \frac{\omega_{IF}}{2\pi} = 455 \text{ kHz} \text{ --- IF}$$



Principio de funcionamiento:

- Convertir hacia abajo desde ω_c hasta ω_{IF} y utilizar un BPF sintonizable grueso para la parte frontal.
- Utilizar un BPF de corte de graves *fijo* en ω_{IF} para eliminar las demás señales.