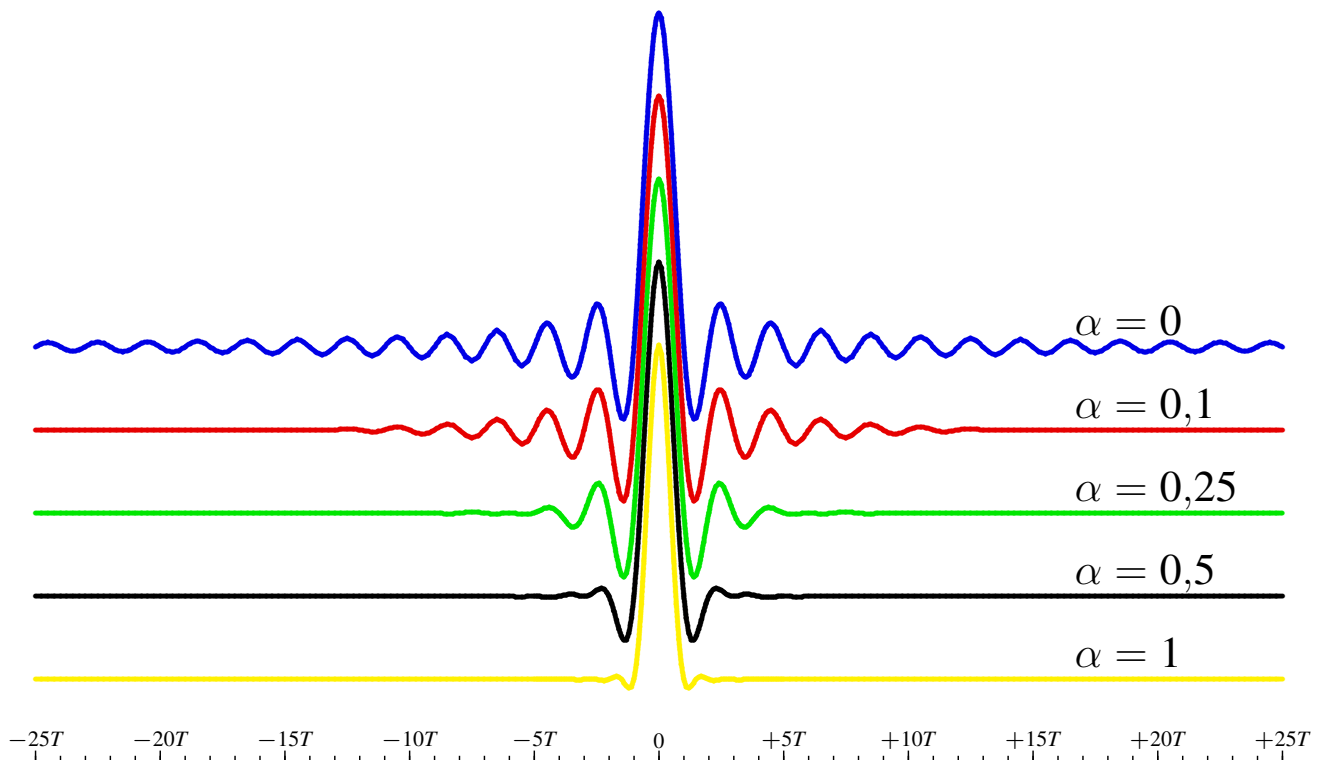
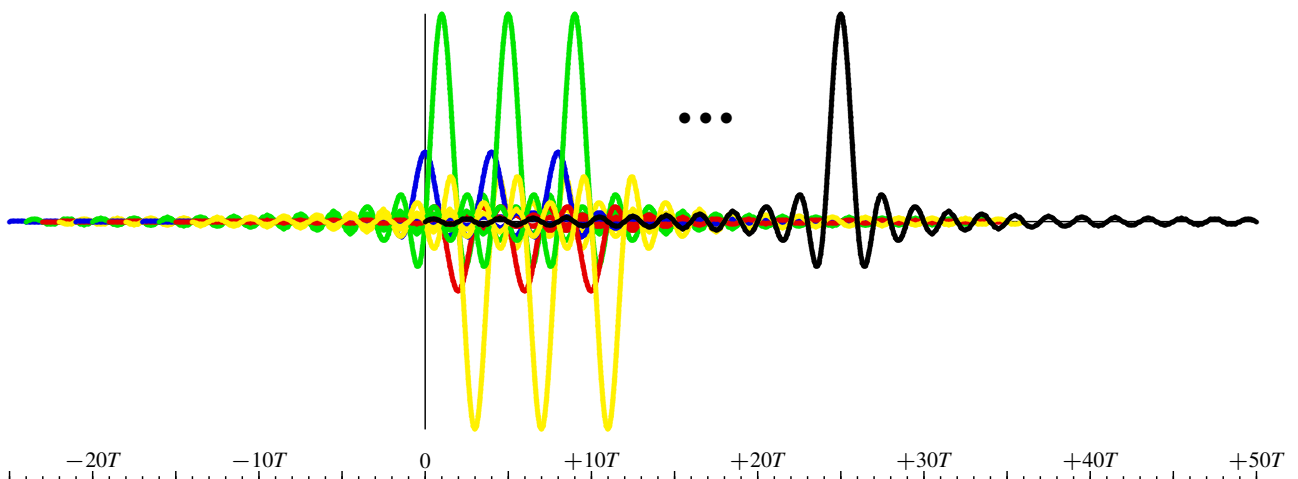


## Cosenos alzados - caída de los lóbulos secundarios



## Cosenos alzados - retardo de implementación

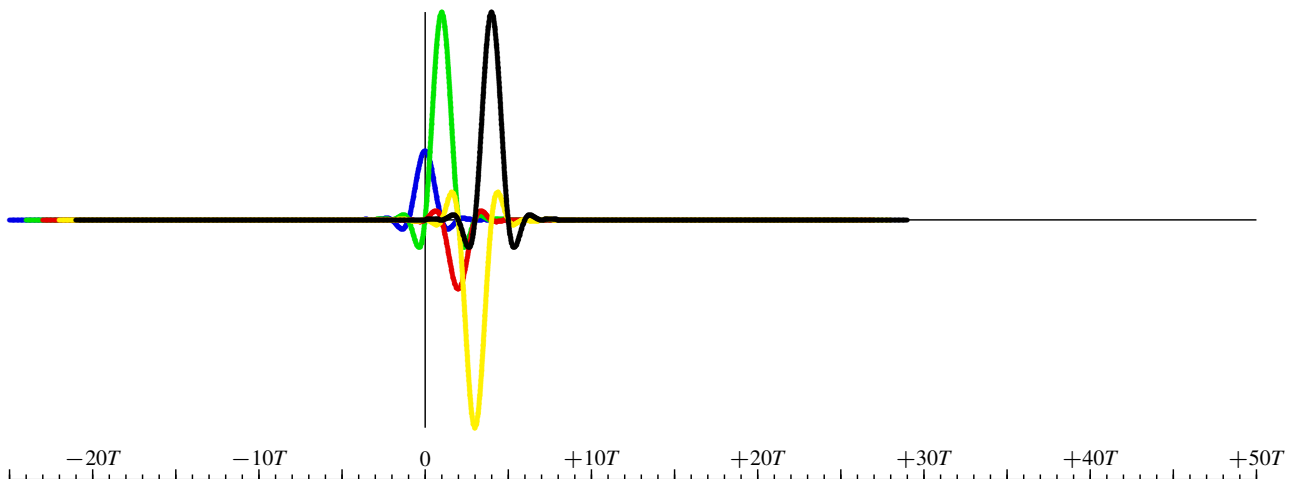
- Un coseno alzado tiene un número de lóbulos secundarios “*relevantes*” (depende de  $\alpha$ )
  - ▶ Se pueden despreciar los lóbulos no relevantes para facilitar la implementación (truncar)
- La obtención de la forma de onda requiere un retardo (formas no causales)
  - ▶ El retardo está relacionado con el número de lóbulos que se han considerado relevantes
  - ▶ Menor retardo para valores más altos de  $\alpha$  (mayor requerimiento de ancho de banda)
- Ejemplo: generación de una señal 4-PAM con  $\alpha = 0$ 
  - ▶ En el ejemplo, 25 lóbulos se consideran relevantes (y 25 lóbulos se dibujan)
  - ▶ Se precisa un retardo de  $25 \times T$  para computar la suma
  - ▶ La señal negra (debida a  $A[25]$ ) es la última con contribución relevante en el primer intervalo de símbolo



## Cosenos alzados - retardo de implementación (II)

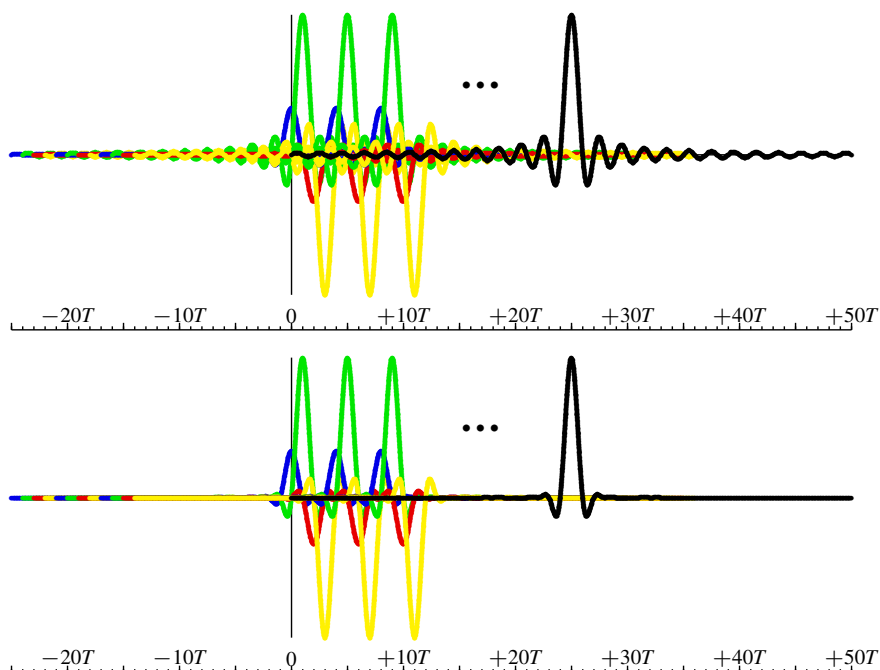
- Retardos más bajos pueden obtenerse utilizando factores de caída más altos
  - ▶ El precio a pagar es un mayor ancho de banda
- Ejemplo: generation of a 4-PAM waveform with  $\alpha = 0,5$ 
  - ▶ En el ejemplo, 4 lóbulos se consideran relevantes
  - ▶ Se precisa un retardo de  $4 \times T$  para computar la suma
  - ▶ La señal negra (debida a  $A[4]$ ) es la última con contribución relevante en el primer intervalo de símbolo
  - ▶ El retardo ha bajado de  $25 \times T$  a  $4 \times T$  en este ejemplo (más de 6 veces)
  - ▶ El ancho de banda de ha incrementado un 50 %

NOTA: el número de lóbulos "relevantes" depende de la precisión requerida, esto es sólo un ejemplo (las cifras no deben tomarse como una referencia precisa)



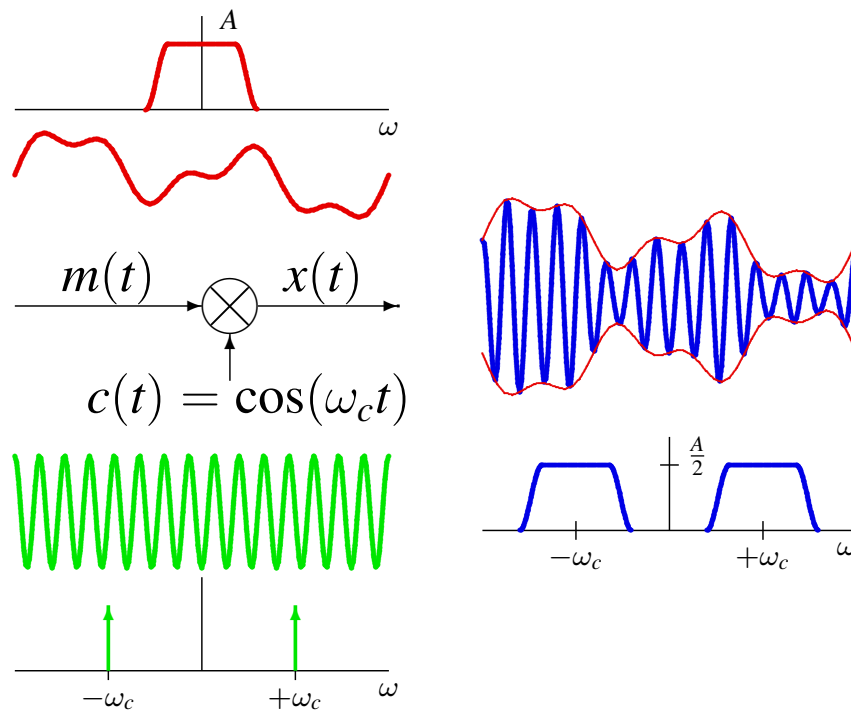
## Variabilidad de las transiciones de la señal relacionada con $\alpha$

- Comparación de las señales que contribuyen a generar la señal modulada utilizando  $\alpha = 0$  (arriba) y  $\alpha = 0,5$  (abajo)



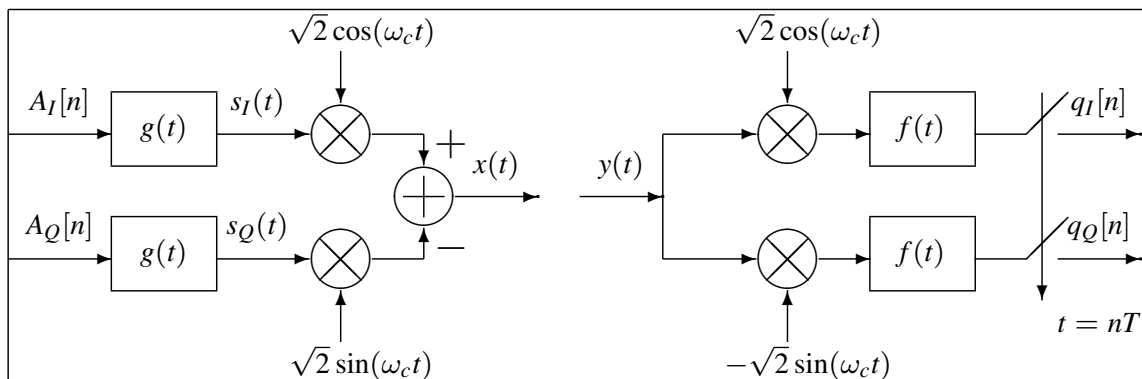
## Revisión - Modulaciones AM

- Multiplicar por una senoide de frecuencia  $\omega_c$  desplaza el espectro  $\omega_c$



## Análisis analítico de la modulación / demodulación

- Digrama de bloques de transmisor y receptor



- Transmisor: modula dos señales en banda base con portadoras ortogonales
- Receptor: demodula cada componente y filtra con  $f(t)$ 
  - ▶ El filtro receptor  $f(t)$  tiene una característica banda base (paso bajo)
  - ▶ Configuración típica: filtro en raíz de coseno alzado

## Análisis analítico de la modulación / demodulación (II)

- La señal recibida sin distorsión (señal modulada) tiene la forma

$$y(t) = A \cdot \cos(\omega_c t) + B \cdot \sin(\omega_c t)$$

- En el receptor, la señal se procesa dividiéndola en dos componentes

$$y_A(t) = [A \cdot \cos(\omega_c t) + B \cdot \sin(\omega_c t)] \times \cos(\omega_c t)$$

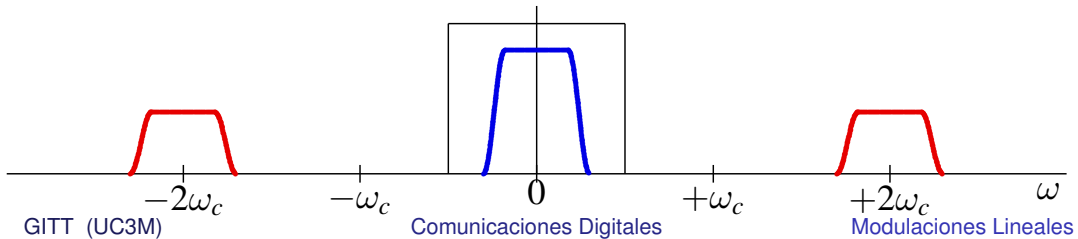
$$y_B(t) = [A \cdot \cos(\omega_c t) + B \cdot \sin(\omega_c t)] \times \sin(\omega_c t)$$

- Identidades trigonométricas y eliminación (filtrado) de términos paso banda

$$X \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t) = \underbrace{\frac{X}{2}}_{\text{Deseado}} + \underbrace{\frac{X}{2} \cdot \cos(2\omega_c t)}_{\text{Paso banda en } 2\omega_c}$$

$$X \cdot \sin(\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t) = \underbrace{\frac{X}{2} \cdot \sin(2\omega_c t)}_{\text{Paso banda en } 2\omega_c}$$

$$X \cdot \sin(\omega_c t) \cdot \sin(\omega_c t) = \underbrace{\frac{X}{2}}_{\text{Deseado}} + \underbrace{\frac{X}{2} \cdot \cos(2\omega_c t)}_{\text{Paso banda en } 2\omega_c}$$

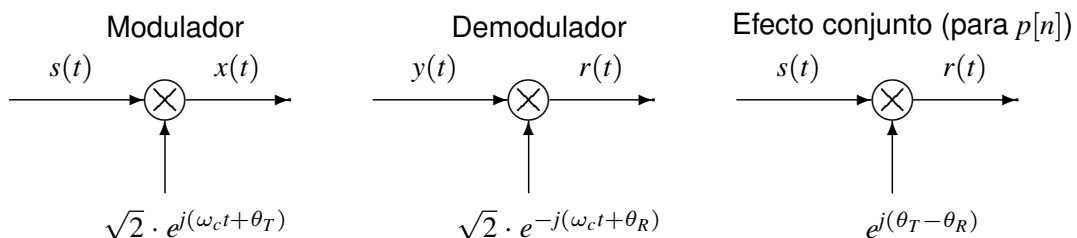


7 / 10

## Análisis analítico de la modulación / demodulación (III)

- El producto de dos portadoras permite recuperar las señales banda base transmitidas

- ▶ Productos  $\cos(\omega_c t) \times \cos(\omega_c t)$  o  $\sin(\omega_c t) \times \sin(\omega_c t)$  introducen un factor  $\frac{1}{2}$ 
  - ★ Los factores  $\sqrt{2}$  se introducen en transmisor y receptor para compensarlo
- ▶ La notación compleja equivalente falla al representar esta atenuación
  - ★ Hay que tenerlo en cuenta cuando se usa la representación



- Receptores no coherentes (no síncronos)

- ▶ Receptor cuyo demodulador tiene portadoras con fase diferente a la fase de las portadoras del modulador
- ▶ Produce como efecto una rotación en la constelación recibida
- ▶ Un receptor coherente necesita recuperar la fase de la señal recibida (con un PLL)
  - ★ Coste adicional del PLL (*Phase Locked Loop*)

## Tasa de transmisión binaria ( $R_b$ bits/s)

- La tasa binaria se obtiene a partir de  $R_b = m \times R_s$ 
  - ▶ Tasa de símbolo ( $R_s$  baudios)
  - ▶ Número de bits por símbolo de la constelación ( $m$ )

$$m = \log_2(M)$$

$M$ : número de símbolos de la constelación

- Limitación en la máxima tasa binaria alcanzable
  - ▶ Limitación sobre  $R_s$ : ancho de banda disponible ( $B$  Hz)  
Utilizando filtros de la familia coseno alzado

$$\begin{array}{cc} \text{BANDA BASE} & \text{PASO BANDA} \\ R_{s|max} = \frac{2B}{1+\alpha} & R_{s|max} = \frac{B}{1+\alpha} \end{array}$$

- ▶ Limitación en el número de símbolos  $M$  (y por tanto en  $m$ )
  - ★ Limitación en potencia: limita la energía media por símbolo  $E_s = E[|A[n]|^2]$ 
    - Esto limita el máximo módulo de los puntos de la constelación
  - ★ Las prestaciones requeridas limitan la mínima distancia entre símbolos

$$P_e \approx k \cdot Q\left(\frac{d_{min}}{2\sqrt{N_0/2}}\right)$$

- ★  $E_s$  y  $P_e$  determinan una densidad máxima para la constelación

## Densidad de las constelaciones - Ejemplo - QAM

