
Sistemas de Comunicación

Clase 7: Detección y Generación FM

Objetivo

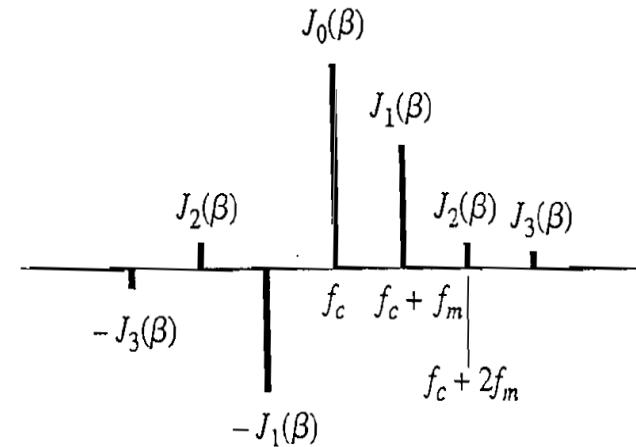
- Ancho de Banda de FM, PM
 - Generación de FM: Métodos indirectos y directos
 - Detección
-

Ancho de Banda (Tono)

$$x_{T_{PM}}(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi_\Delta x(t))$$

$$x_{T_{FM}}(t) = A_c \cos(\omega_c t + 2\pi f_\Delta \int_0^t x(\lambda) d\lambda)$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_{FM} = \frac{A_m f_\Delta}{f_m} & \text{FM} \\ \beta_{PM} = A_m \phi_\Delta & 0 \leq \phi_\Delta < \pi \quad \text{PM} \end{cases}$$



Ancho de banda determinado por las líneas espectrales significativas, introduce distorsión admisible en $x_D(t)$

Ancho de Banda (Tono)

$$\text{En general : } B_T = 2n_{\max}(\beta, \varepsilon) f_m = 2n_{\max}(\beta, \varepsilon) \frac{\Delta f}{\beta}$$

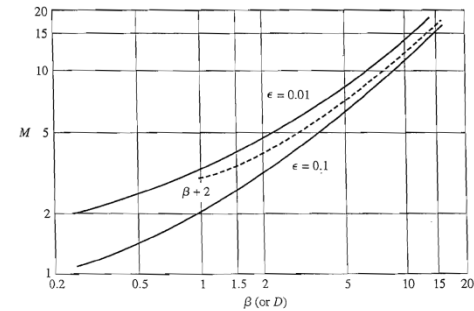
Ancho de banda depende de la distorsión admisible, depende de elección de ε .

$$\beta \ll 1 \quad B_T = 2f_m$$

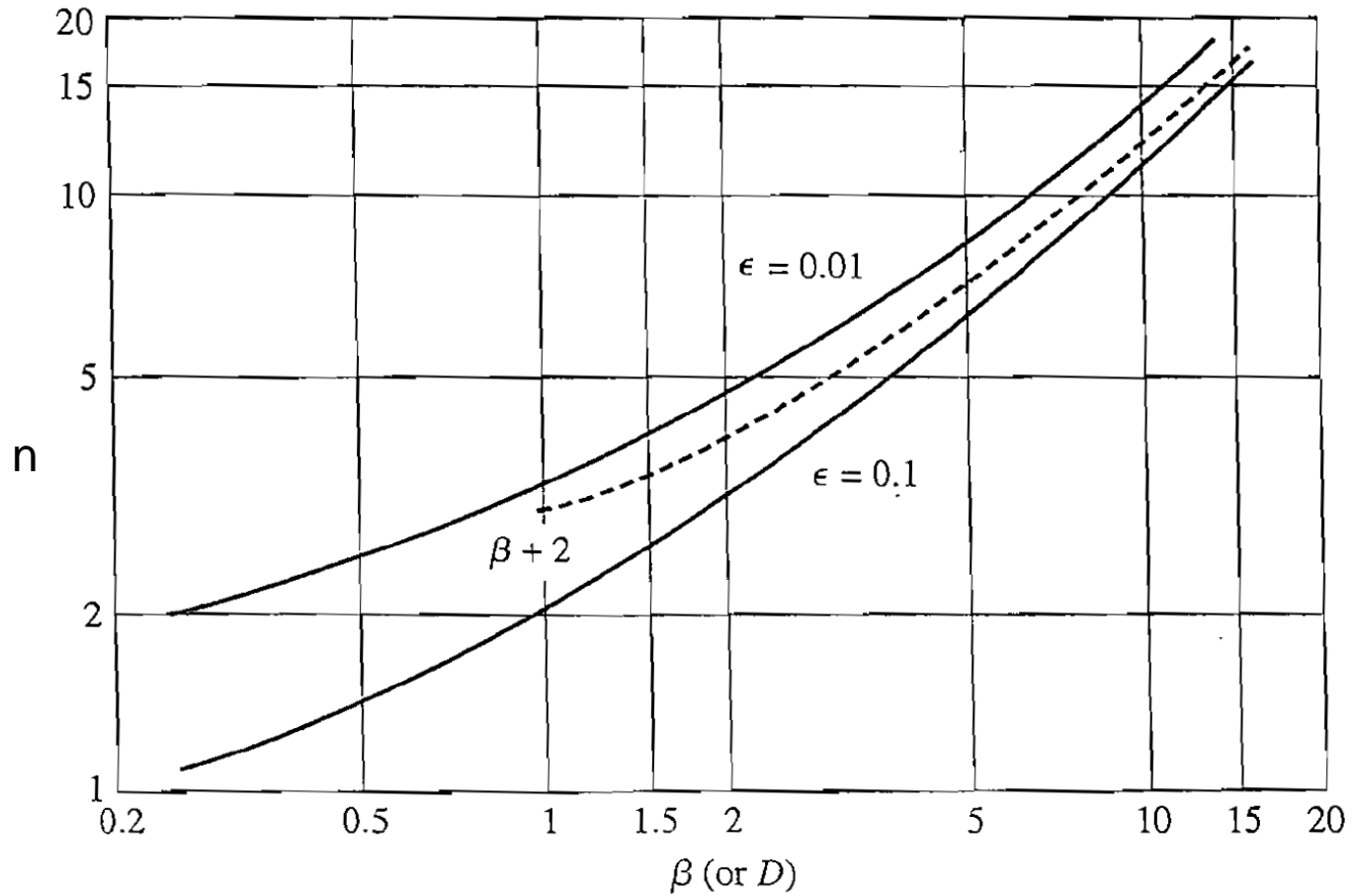
$$\beta \gg 1 \quad B_T = 2A_m f_{\Delta} = 2 \Delta f$$

$$\beta \text{ intermedios } B_T = 2(\beta + \alpha) f_m \text{ con } \alpha \varepsilon [1,2]$$

$$\beta > 2 \quad B_T = 2(\beta + 2) f_m$$



Ancho de Banda de Trasmisión



Ancho de Banda FM

Señal $x(t)$ cualquiera de ancho de banda W .

Modulación no lineal , no puedo aplicar superposición

Generalizo índice de modulación $\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$ tono

a relación de desviación

$$D = \frac{\Delta f}{W} \quad \text{señal } x(t)$$

$$B_T = \begin{cases} B_T = 2DW = 2 \Delta f = 2 f_{\Delta} (A_m = 1) & D \gg 1 \\ B_T = 2W & D \ll 1 \end{cases}$$

Ancho de Banda FM

Regla de Carson :

$$B_T = 2 \Delta f + 2W = 2(D+1)W \quad \begin{cases} D \gg 1 \\ D \ll 1 \end{cases}$$

Subestima para el rango de interés, comerciales $2 < D < 10$.

Aproximación para $D > 2$

$$B_T = 2 (\Delta f + 2W) = 2(D+2)W \quad D > 2$$

Ancho de Banda PM

$$B_T = 2(\phi_\Delta + 1)W \leq 2(\pi + 1)W \quad A_m = 1 \quad f_m = W \quad \text{peor caso}$$

$\phi_\Delta < \pi$ no existe PM banda ancha

PM: banda angosta $\phi_\Delta \ll 1$ $B_T = 2W$

Generación de FM y PM

PM banda angosta : $\phi(t) \ll 1$ rad.

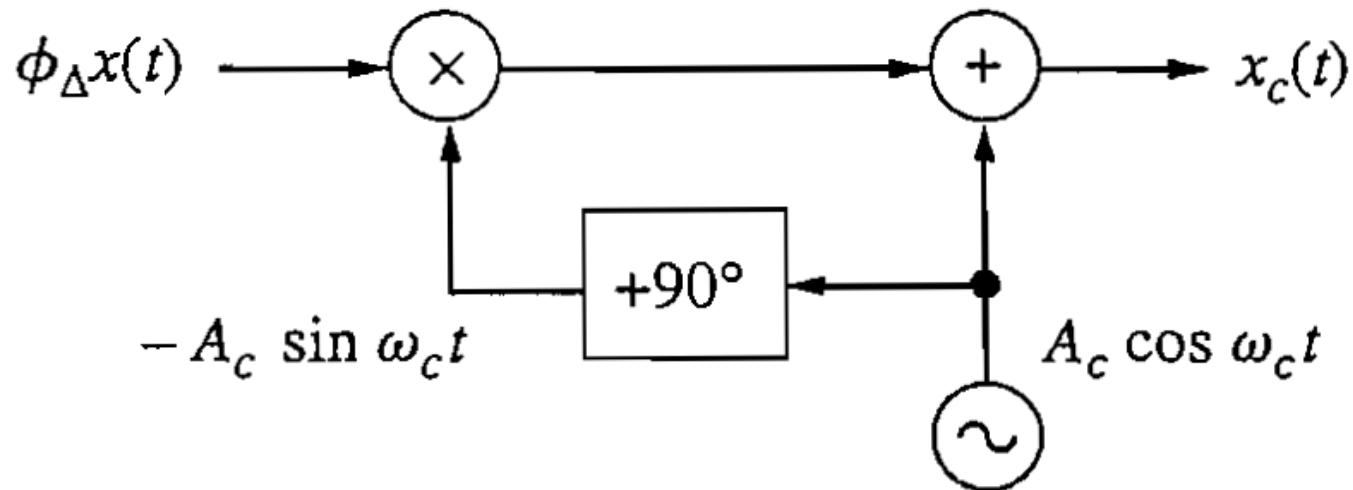
$$x_{T_{PM}}(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi(t))$$

$$x_{T_{PM}}(t) = A_c \cos \phi(t) \cos \omega_c t - A_c \sin \phi(t) \sin \omega_c t$$

$$\phi(t) \ll 1 \rightarrow \cos \phi(t) \approx 1 \text{ y } \sin \phi(t) \approx \phi(t)$$

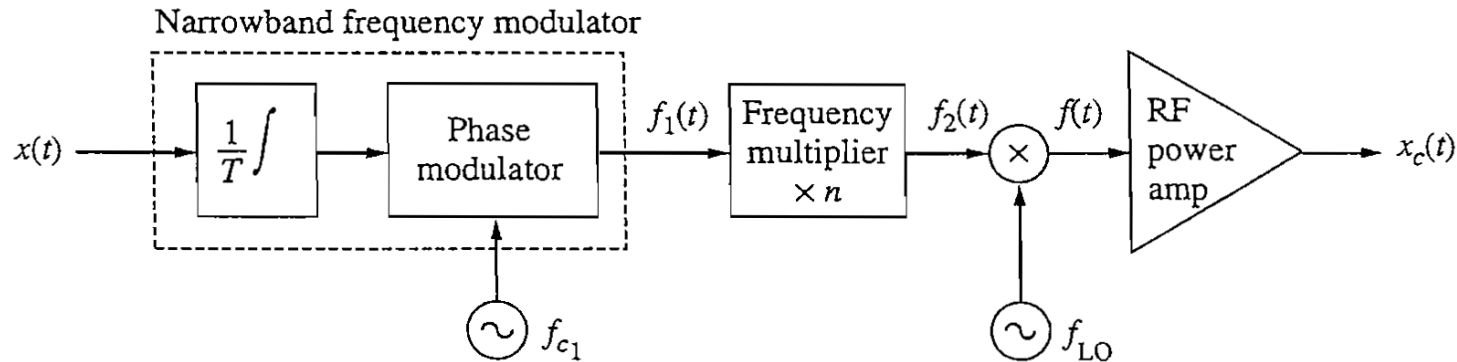
$$x_{T_{PM}}(t) \approx A_c [\cos \omega_c t - \phi(t) \sin \omega_c t] \text{ para } \phi(t) \ll 1$$

Generación de PM banda angosta



Carlson

Generación de FM indirecta



Carlson

$$\phi(t) = \frac{\phi_{\Delta}}{T} \int_0^t x(\lambda) d\lambda \quad f(t) = f_c + \frac{\dot{\phi}(t)}{2\pi} = f_c + \frac{\phi_{\Delta}}{2\pi T} x(t)$$

$$f_{\Delta_1} = \frac{\phi_{\Delta}}{2\pi T} \text{ con } \phi_{\Delta} \ll 1 \text{ orden : } f_{\Delta_1} \approx 15 \text{ Hz}$$

(cuando FM comercial requiere $f_{\Delta} = 75 \text{ kHz}$)

Sol : Multiplicadores de frecuencia

Multiplicadores de Frecuencia

Entrada multiplicador : $f_1(t) = f_c + f_{\Delta_1} x(t)$

Salida multiplicador : $f_2(t) = nf_c + nf_{\Delta_1} x(t)$

$$f_{\Delta} = nf_{\Delta_1} \rightarrow n = 5000$$

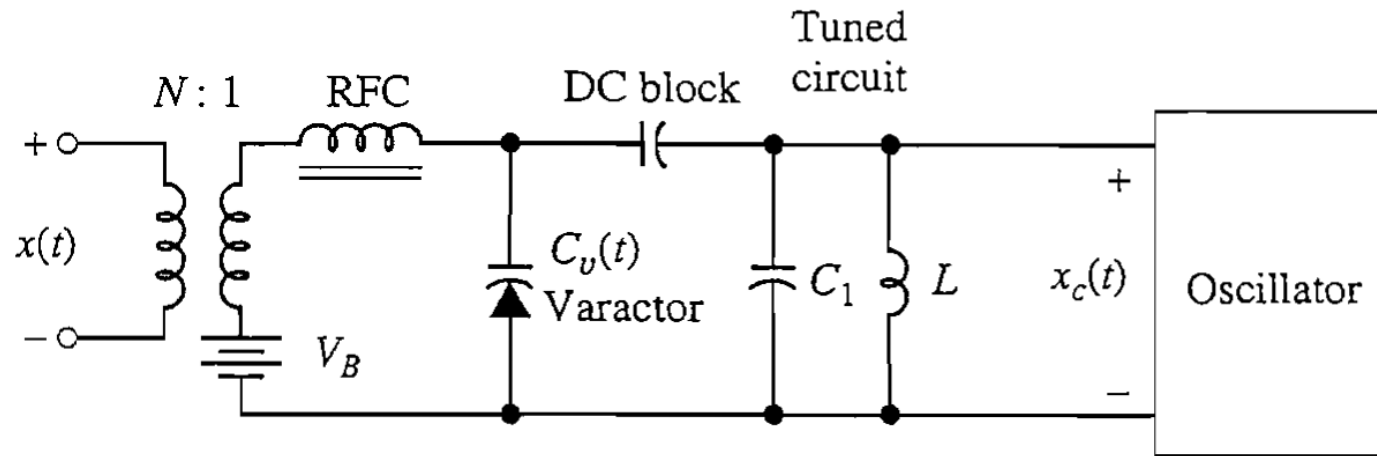
Implementación con duplicadores y triplicadores :

$$n = 2^6 3^4 = 5184$$

$$f_{c_2} = nf_{c_1} \approx 1000 \text{MHz} \gg \text{FM comercial (88 - 108MHz)}$$

Sol : Heterodino con $f_{ol} = nf_{c_1} - f_c \approx 900 \text{MHz}$

Generación de FM directa



Carlson

Generación de FM directa

Varicap : Capacidad depende de V : $C' = C(t) = C_0 - Cx(t)$

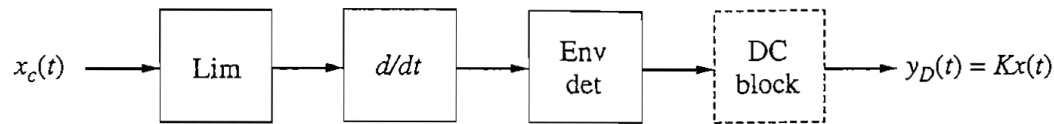
Si $C \ll C_0$ y $Cx(t)$ variación lenta

$$w_i = \frac{1}{\sqrt{LC(t)}} = \frac{1}{\sqrt{LC_0 \left(1 - \frac{C}{C_0} x(t)\right)}} \approx \frac{1}{\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{C}{2C_0} x(t)\right) \quad \text{si } \left| \frac{C}{C_0} x(t) \right| \ll 1$$

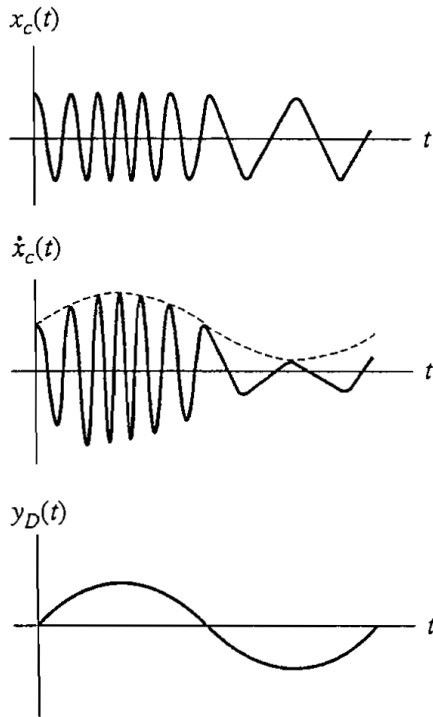
$$w_i \approx w_c \left(1 + \frac{w_\Delta}{w_c} x(t)\right) \quad \text{con } f_\Delta = \frac{C}{2C_0} f_c \quad f_i = f_c + f_\Delta x(t)$$

Problema : portadora poco estable, requiere estabilización.

Detector FM: Conversor FM- AM



(a)



Carlson

Detector FM: Conversor FM- AM

Si $x_T(t) = A_c \cos \theta_c(t)$ con A_c constante:

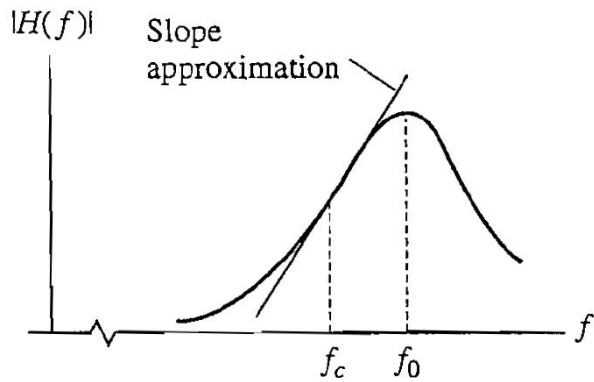
$$\frac{dx_T(t)}{dt} = -A_c \dot{\theta}_c(t) \sin \theta_c(t) = -A_c 2\pi(f_c + f_\Delta x(t)) \sin(\omega_c t + \phi(t))$$

mensaje en la envolvente de la derivada.

Limitador :

Entra $A(t) \cos \theta_c(t)$, sale : $A_c \cos \theta_c(t)$

Discriminador Balanceado



(a)

Carlson

