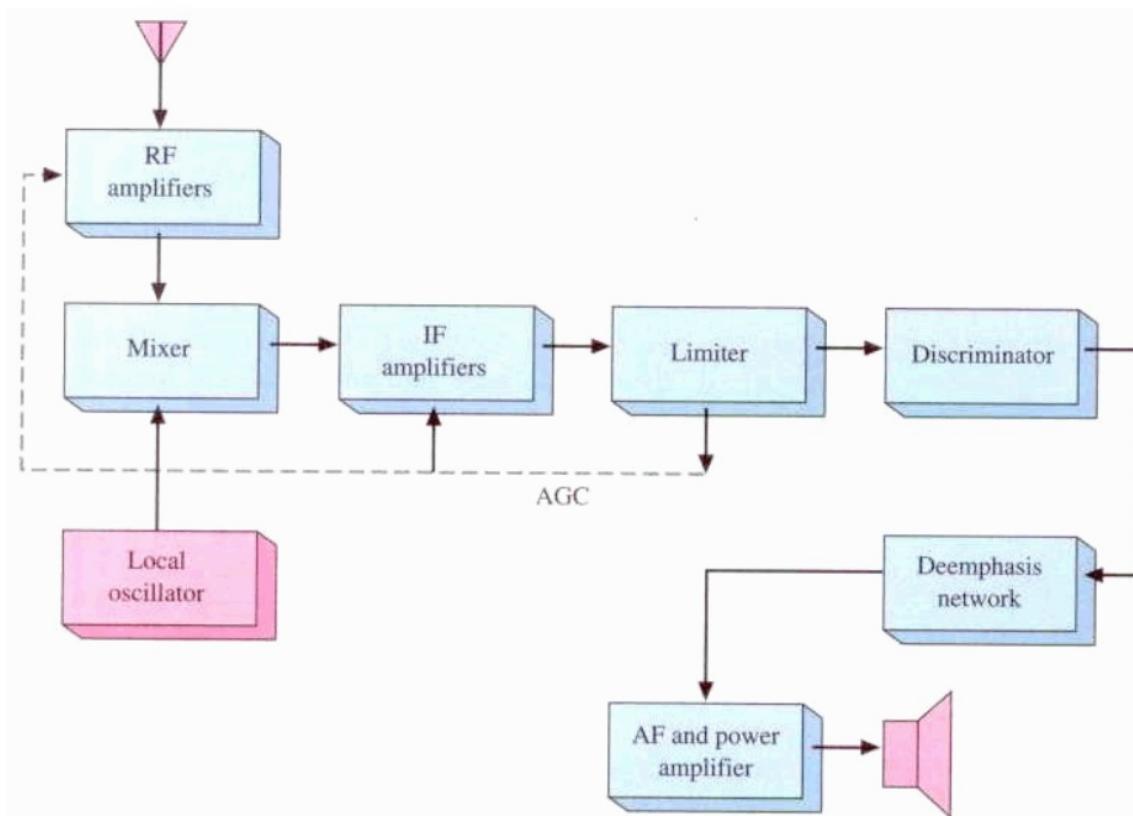


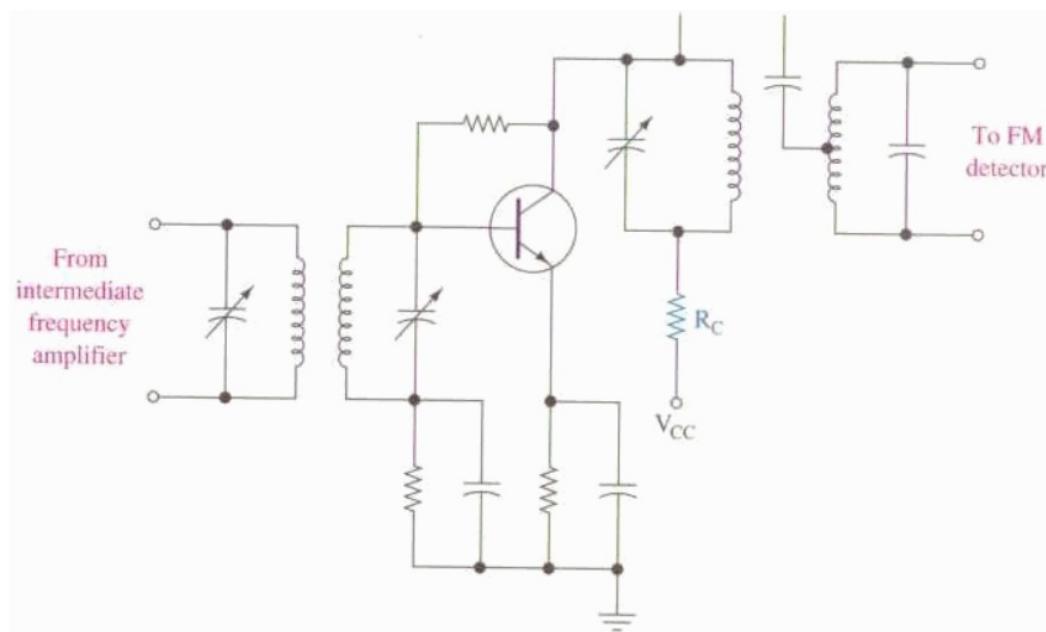
Receptores de modulación en ángulo

Receptor típico de FM

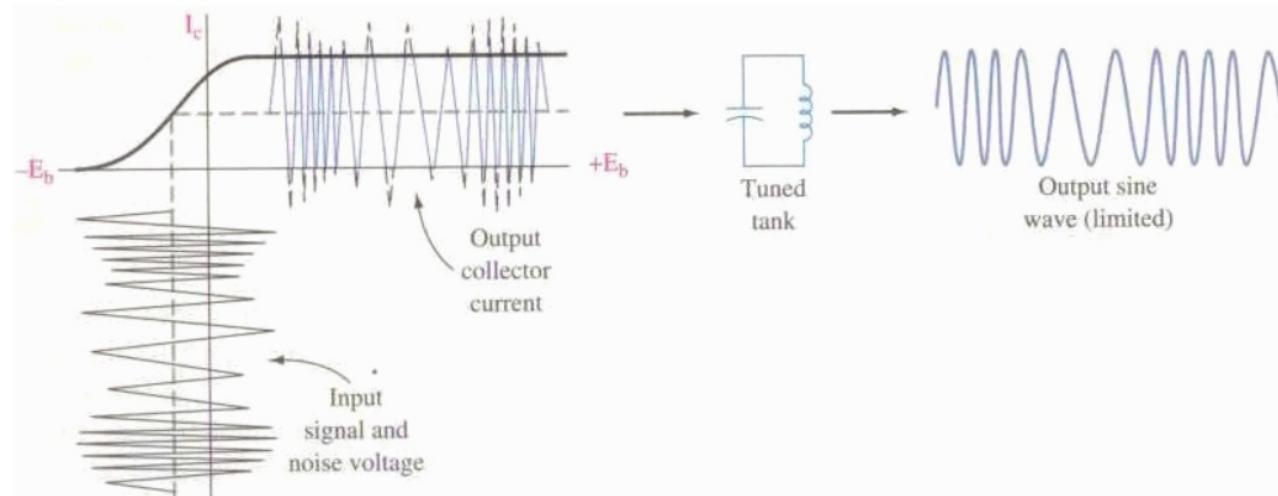


Limitadores

Circuito limitador basado en transistor



Señales de entrada y salida en un circuito limitador y el efecto "volante"



Ejemplo:

Un receptor de FM tiene una ganancia de voltaje de 200000 (106dB) antes de la etapa limitadora. El voltaje del limitador es de 200mV. Determinar la sensibilidad del receptor.

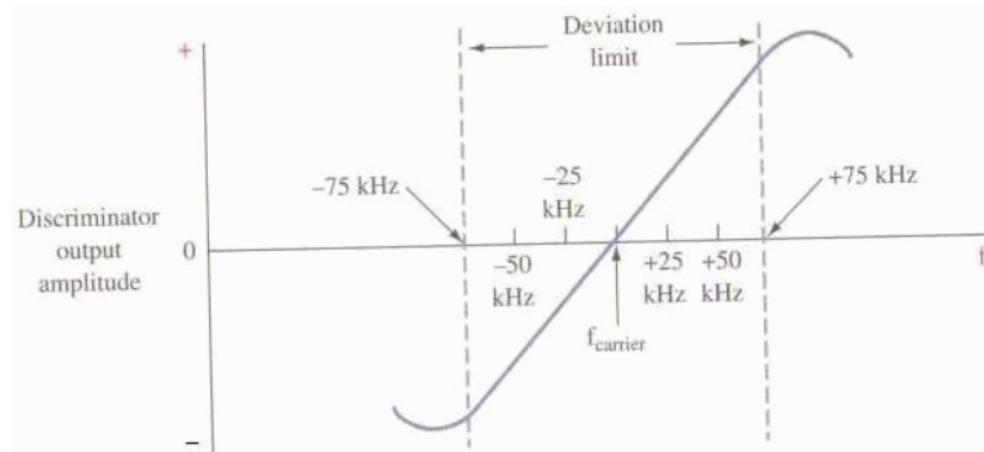
Solución

$$\frac{200 \text{ mV}}{200000} = 1 \text{ mV}$$

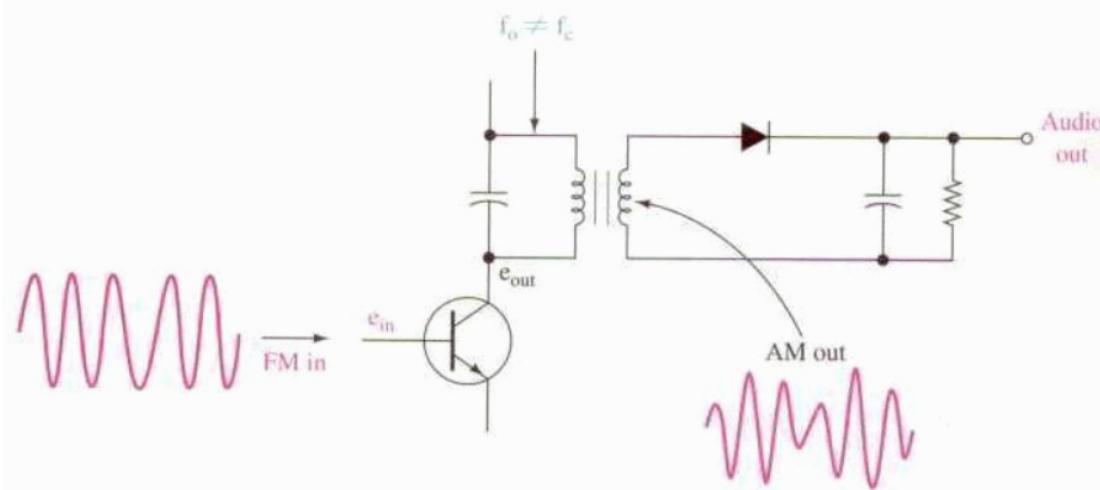
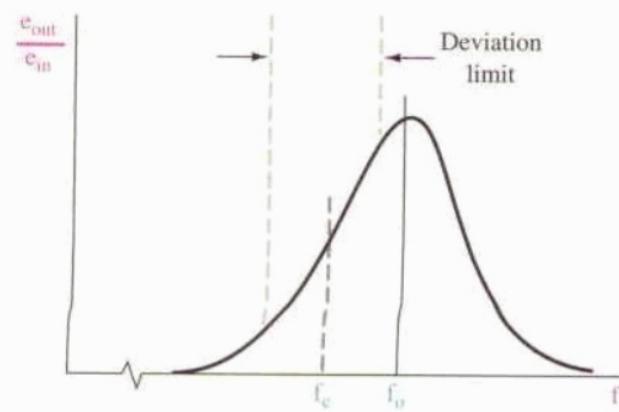
La sensibilidad del receptor es de 1 mV

Discriminadores

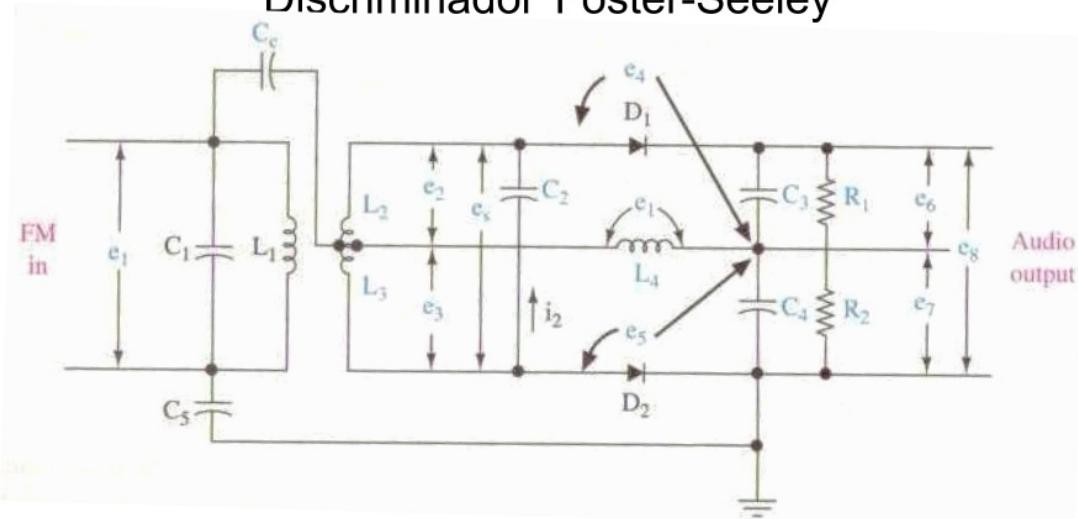
Curva característica de un discriminador de FM



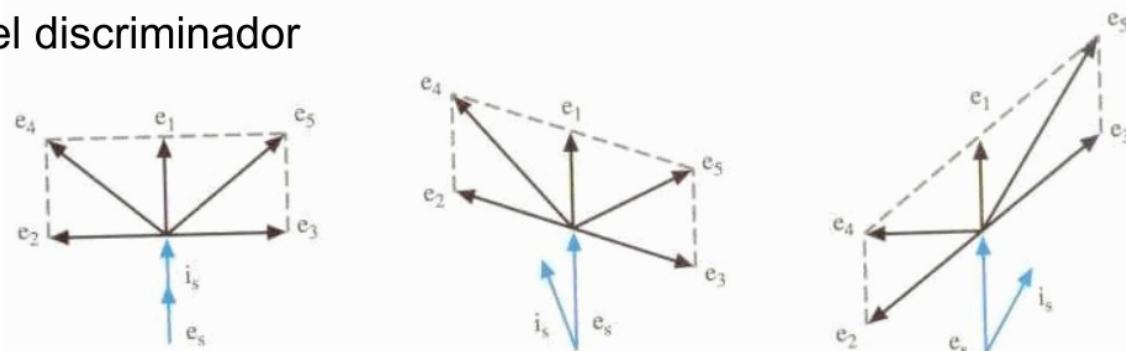
Detector de pendiente



Discriminador Foster-Seeley



Relaciones de fase del discriminador



(a) $f = f_c$

(b) $f > f_c$

(c) $f < f_c$

$$e_8 = e_6 - e_7$$

donde $e_6 = \sqrt{2} |e_4 (\text{rms})|$
 $e_7 = \sqrt{2} |e_5 (\text{rms})|$

$$M = k\sqrt{L_1 L_{23}} \quad (M: \text{inductancia mutua}$$

$$k: \text{coeficiente de acoplamiento})$$

$$e_S = -j\omega M i_p$$

$$Z = r_s(1 + jQ\rho) \quad \text{donde } \rho = f/f_0 - f_0/f.$$

Corriente en el primario del transformador:

$$i_p = e_1 / j\omega L_1$$

$$\text{entonces } e_S = -j\omega M i_p = -(M / L_1) e_1$$

Corriente circulando en $L_{23}C_2$

$$i_S = e_S / Z_{ss}$$

En la resonancia $Z_{ss} = r_s$ donde: $r_s = \omega L_{23} / Q_s$

en cualquier otra frecuencia: $Z_{ss} = r_s + j(\omega L_{23} - 1/\omega C_2) = r_s(1 + jQ_s\rho)$

desde $i_s = e_s / Z_{ss}$ entonces $i_s = \frac{-(M/L_1) e_1}{r_s(1 + jQ_s\rho)}$

para una Q del secundario $Q_s > 5$ el voltaje a través de la mitad de L_{23} es:

$$e_2 = i_s \left(\frac{j\omega L_{23}}{2} \right) = \frac{-(j\omega L_{23} M / 2r_s L_1)}{1 + jQ_s\rho} e_1 \quad e_2 = e_3 = \frac{K}{1 + jQ_s\rho} e_1 \angle -90^\circ$$

donde: $K = \omega L_{23} M / 2r_s L_1$

en la resonancia $e_2 = e_3 = K e_1$

si $\omega_0 L_{23} / r_s = Q_s$ entonces: $K = \frac{Q_s M}{2L_1} = \frac{kQ_s}{2} \sqrt{\frac{L_{23}}{L_1}}$

Ejemplo:

Un discriminador Foster-Seeley tiene los siguientes valores: $K = 0.5$, $|e_2| = 4 \text{ V}_{\text{rms}}$, $Q_s = 5.77$

Si la desviación de frecuencia máxima es del 5% la frecuencia de resonancia (10.7MHz),
determinar:

- a) e_0
- b) Sensibilidad del discriminador

Solución:

Ejemplo:

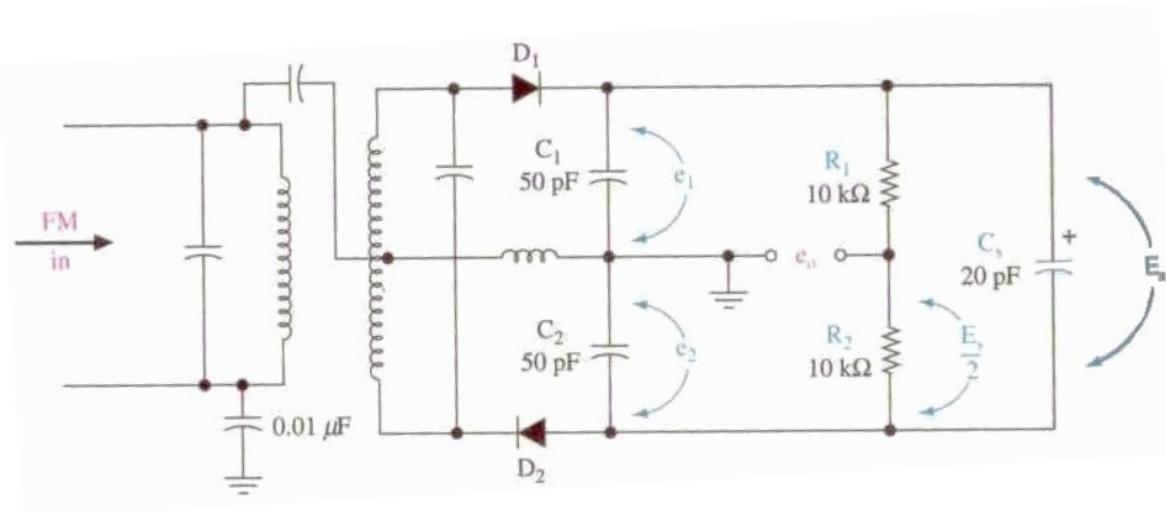
Un discriminador Foster-Seeley opera en $\omega_0 = 1.703 \times 10^6$ rad/s. Los componentes del circuito son $C_1 = 70\text{pF}$, $L_1 = 3\mu\text{H}$, $C_2 = 150\text{pF}$, $L_{23} = 1.5\mu\text{H}$, $Q_s = 20$, $M = 1\mu\text{H}$, $e_1 = 4\text{Vrms}$

Determinar:

- a) Voltajes e_2 , e_4 , e_6 y e_8 en la resonancia
- b) Repetir inciso (a) para una frecuencia del 1% menor

Solución

Detector de proporción o relación



$$E_s = e_1 + e_2$$

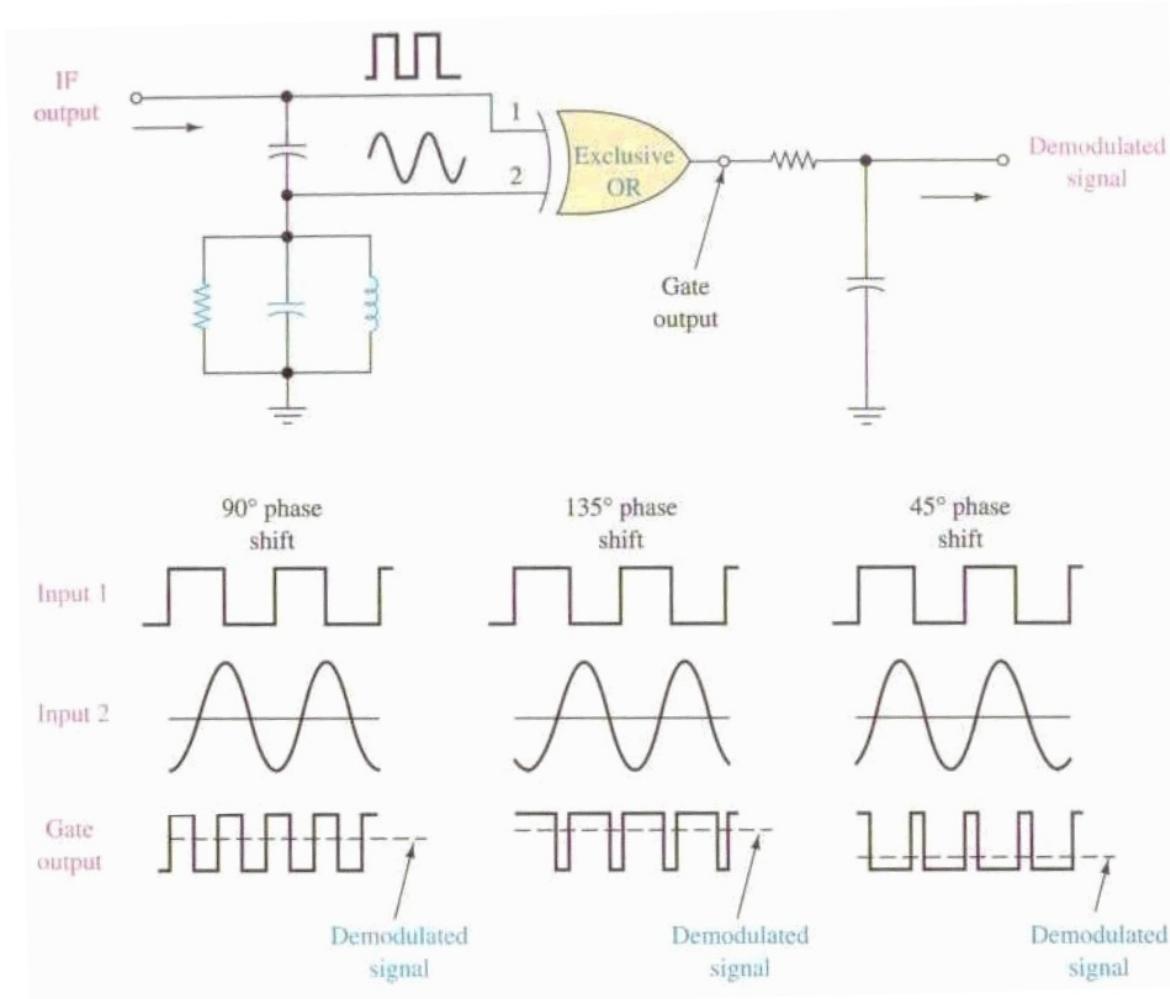
cuando $f_{in} = f_c$ entonces $e_1 = e_2$
 $f_{in} > f_c$ entonces $e_1 > e_2$
 $f_{in} < f_c$ entonces $e_1 < e_2$

$$e_0 = \frac{E_s}{2} - e_2 = \frac{e_1 + e_2}{2} - e_2$$

$$e_0 = \frac{e_1 - e_2}{2}$$

$$e_0 \text{ (Relación)} = 1/2 e_0 \text{ (Foster)}$$

Detector de cuadratura



Si $G(\omega)$ es la función de transferencia de la red, entonces v_2 puede ser escrita como:

$$v_2 = v_1 G(\omega) = v_1 G_1 \text{ at an angle } \Theta$$

donde G_1 es la magnitud de $G(\omega)$ y Θ es la fase. Si una señal sinusoidal se aplica al circuito, las entradas del modulador balanceado son:

$$v_1 = V_1 \cos \omega t \quad \text{y} \quad v_2 = V_1 G_1 \cos (\omega t + \Theta)$$

el modulador balanceado forma el producto de v_1 y v_2 produciendo la salida dada por:

$$v_3 = V_1^2 G_1 \cos (\omega t + \Theta) \cos \omega t$$

$$v_3 = \frac{V_1^2 G_1}{2} [\cos (2\omega t + \Theta) + \cos \Theta]$$

Voltaje de salida del detector: $v_{\text{out}} = \frac{V_1^2 G_1}{2} \cos \Theta$ o bien, $v_{\text{out}} = \frac{V_1 V_2}{2} \cos \Theta$
donde: Θ es el error de fase

donde:

$$G(\omega) = \frac{\omega^2 C_2 L R}{\omega^2 L R [C_1 + C_2] - R - j\omega L}$$

magnitud igual a:

$$\frac{\omega^2 C_2 L R}{[\omega^4 (L R [C_1 + C_2])^2 + \omega^2 (L^2 - 2R^2 L [C_1 + C_2]) + R^2]^{1/2}}$$

y la fase es:

$$\Theta = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L}{\omega^2 L R [C_1 + C_2] - R} \right)$$

Ejemplo:

Un detector de cuadratura es utilizado para demodular una señal de FM recibida de un módulo de audio de TV a la salida de la etapa de IF de 4.5MHz, $\Delta f = 25\text{kHz}$ y amplitud de 6v.

Los valores de cada elemento del detector son los siguientes:

$$R = 884\Omega, C_1 = C_2 = 40\text{pF}, L = 31.27\mu\text{H}.$$

Determinar:

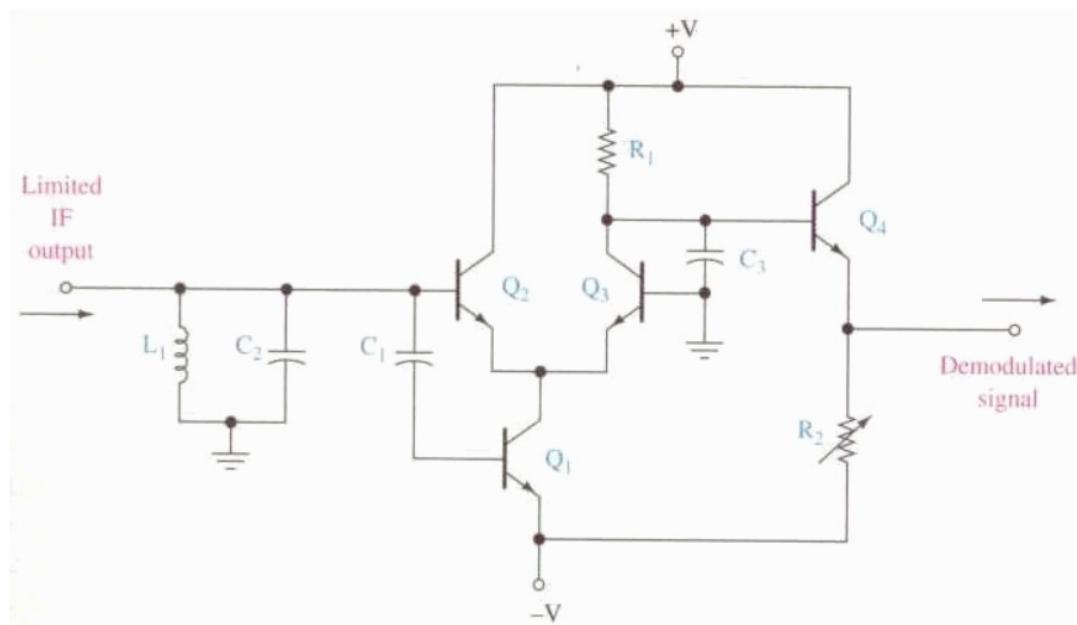
a) Voltaje de salida del detector de cuadratura

Solución:

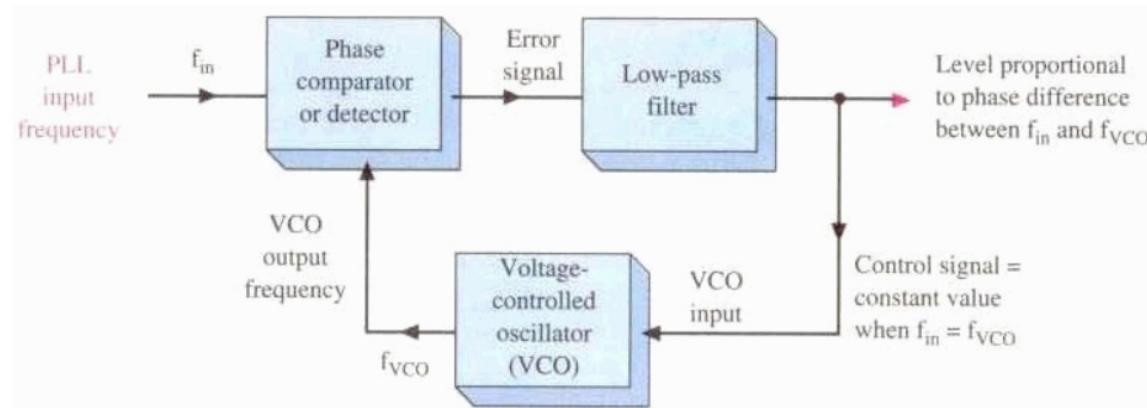
Input Frequency kHz	G_1	$\cos \Theta$	v_{out} V
4475	0.70902	0.70103	8.9467
4480	0.70862	0.70224	8.9572
4490	0.70784	0.70464	8.9778
4500	0.70705	0.70701	8.9980
4510	0.70627	0.70935	9.0178
4520	0.70548	0.71167	9.0373
4525	0.70509	0.71282	9.0468

$$v_2 = v_1 G(\omega) = v_1 G_1 \text{ at an angle } \Theta$$

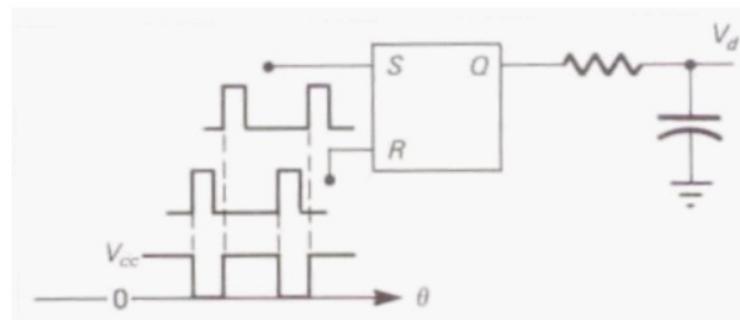
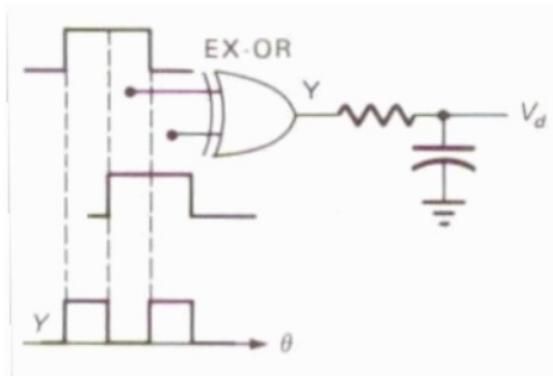
Detector de cuadratura analógico



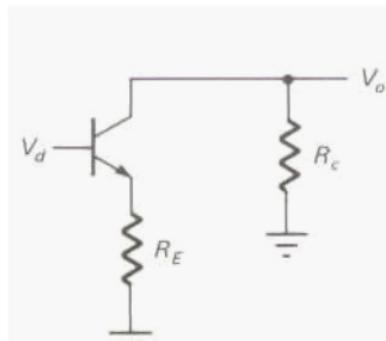
Demodulador de FM basado en PLL



Comparador o detector de fase

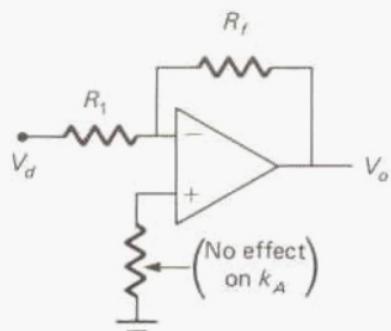


Amplificadores



$$\text{Common emitter}$$

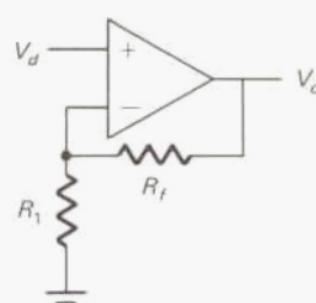
$$K_A = \frac{-R_c}{R_E + r_e}$$



$$\text{Inverting op-amp}$$

$$K_A = -\frac{R_f}{R_1}$$

(No effect on K_A)



$$\text{Noninverting op-amp}$$

$$K_A = \frac{R_f + R_1}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} + 1$$

Oscilador controlado por voltaje VCO

