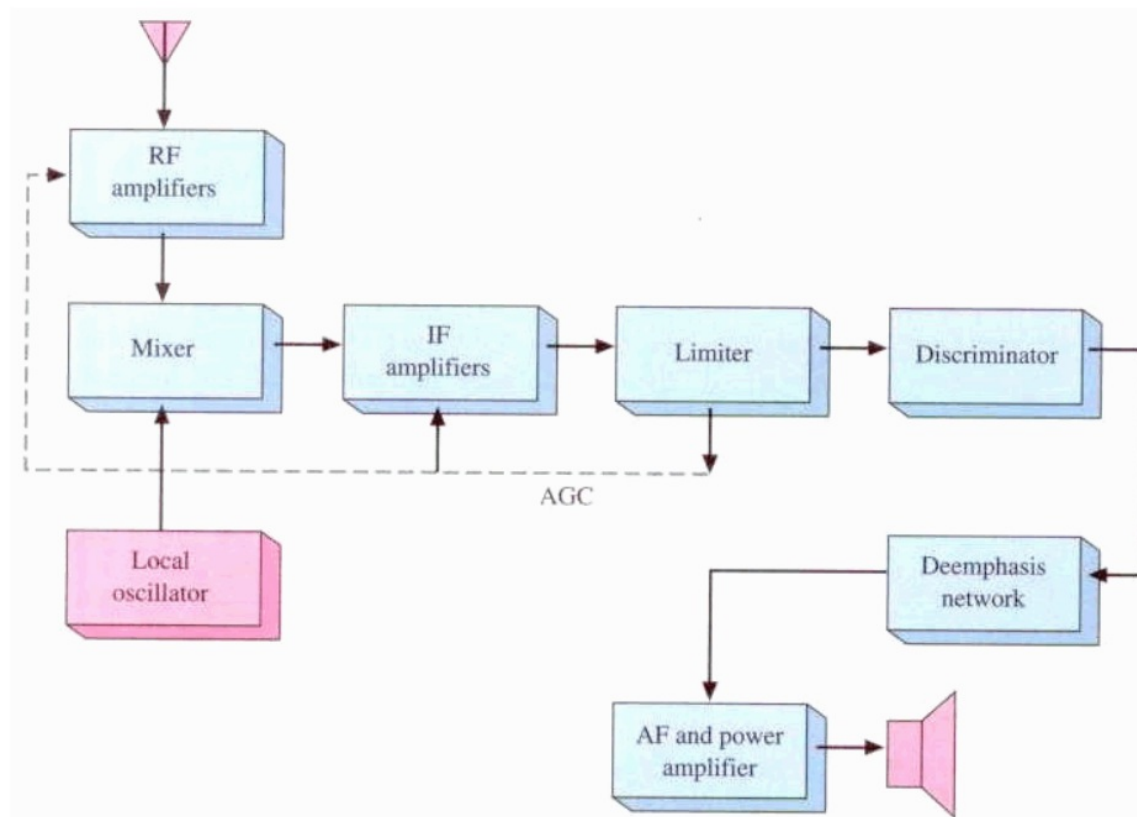


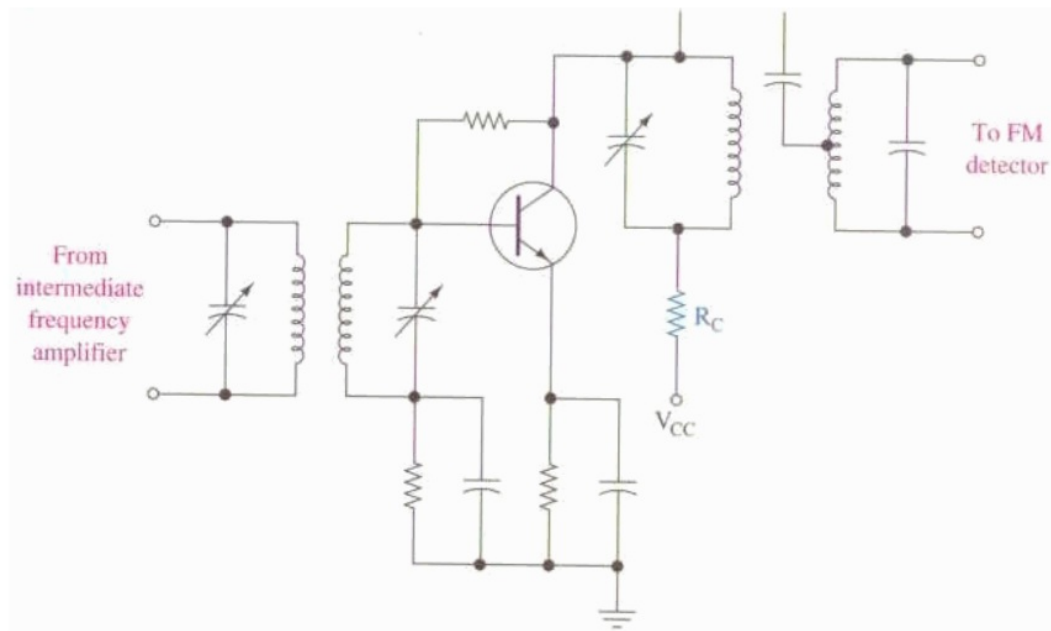
## Receptores de modulación en ángulo

### Receptor típico de FM

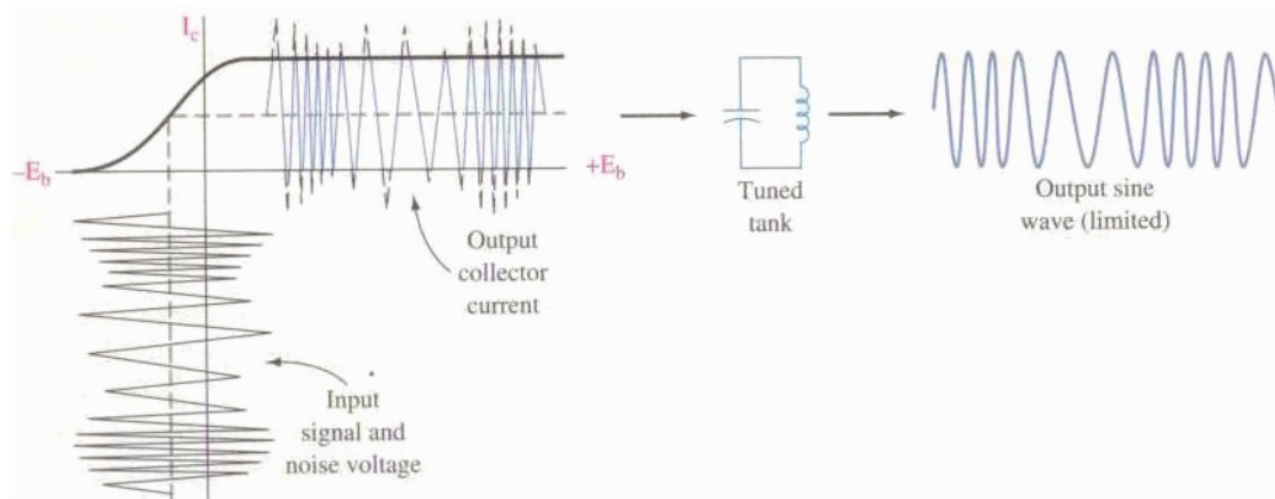


## Limitadores

### 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.

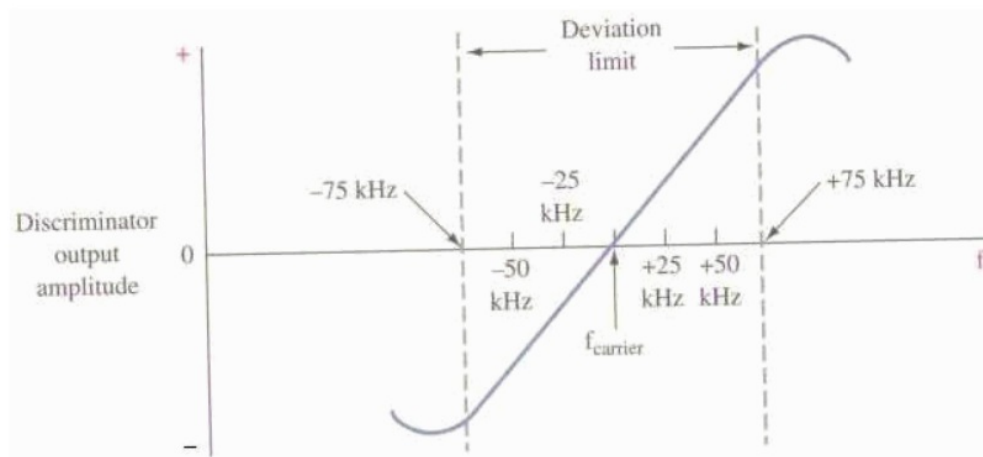
Solución

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

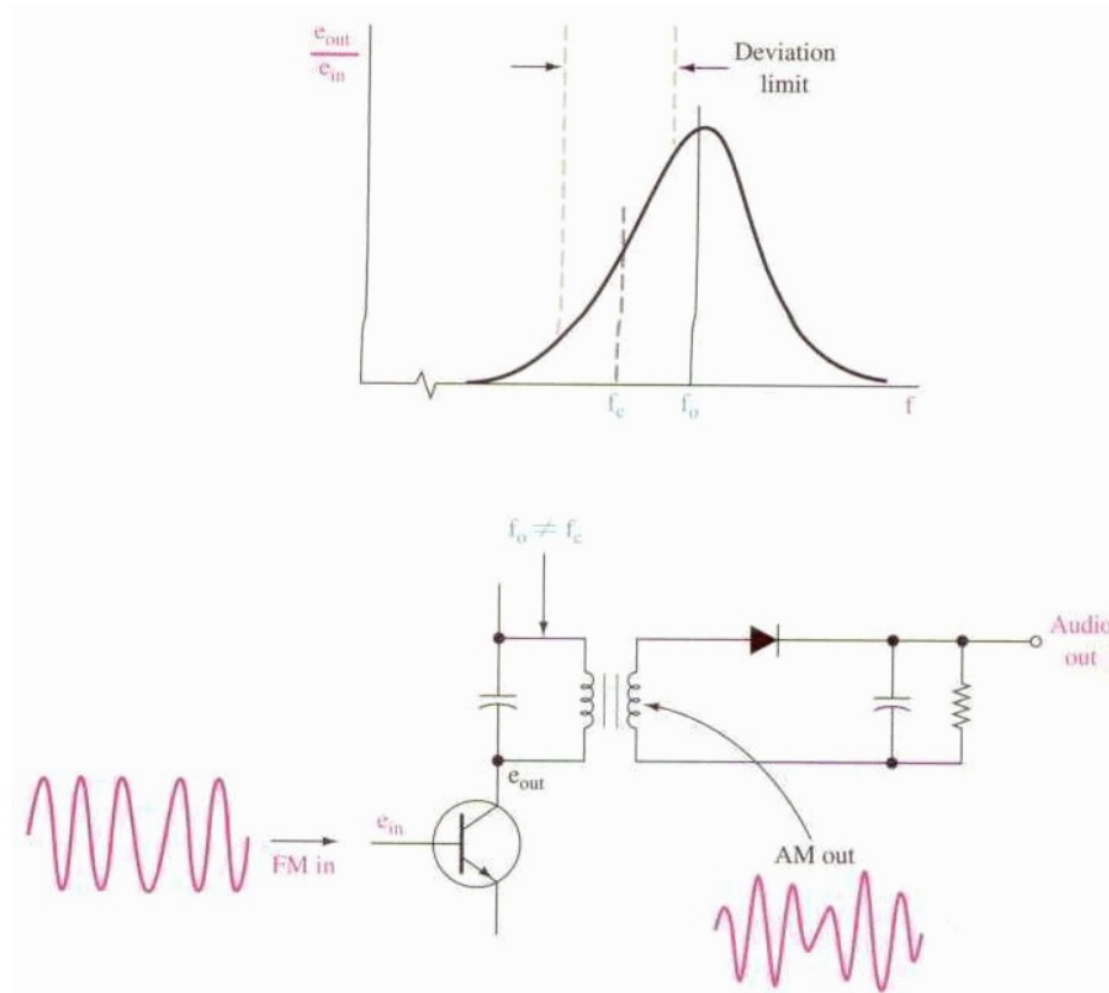
La sensibilidad del receptor es de 1mV

## Discriminadores

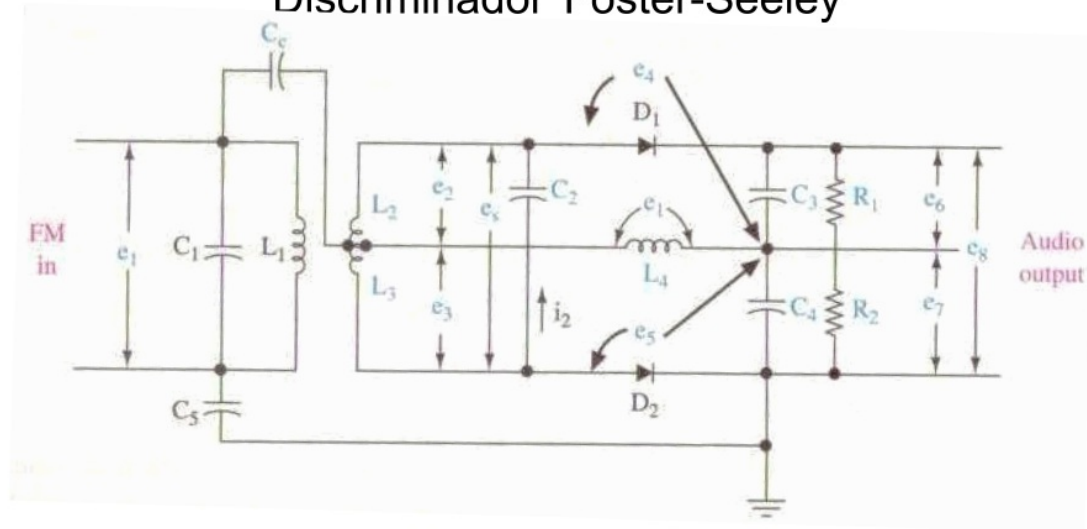
### Curva característica de un discriminador de FM



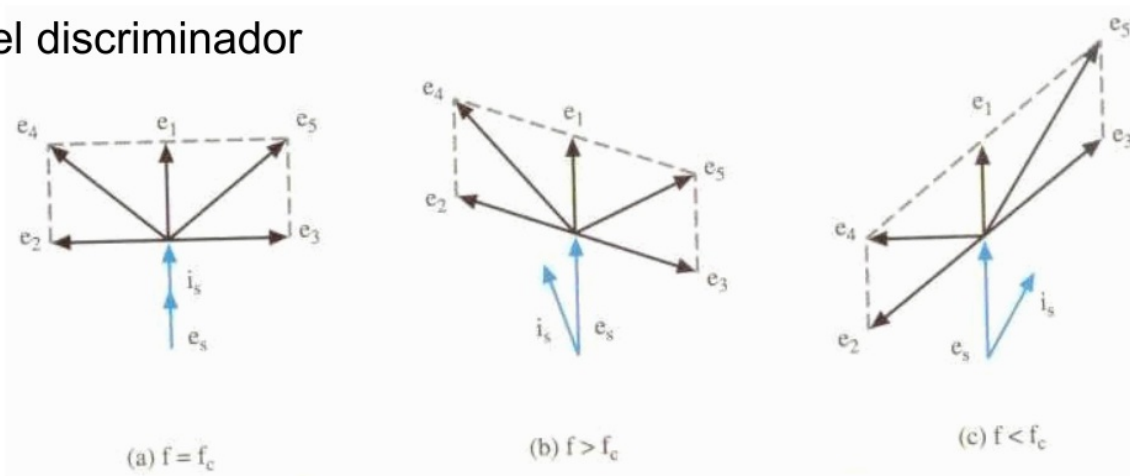
## Detector de pendiente



## Discriminador Foster-Seeley



## Relaciones de fase del discriminador



$$e_8 = e_6 - e_7$$

donde

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

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

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

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

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

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

Corriente en el primario del transformador:

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

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:

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

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

en la resonancia  $e_2 = e_3 = K e_1$

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

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:

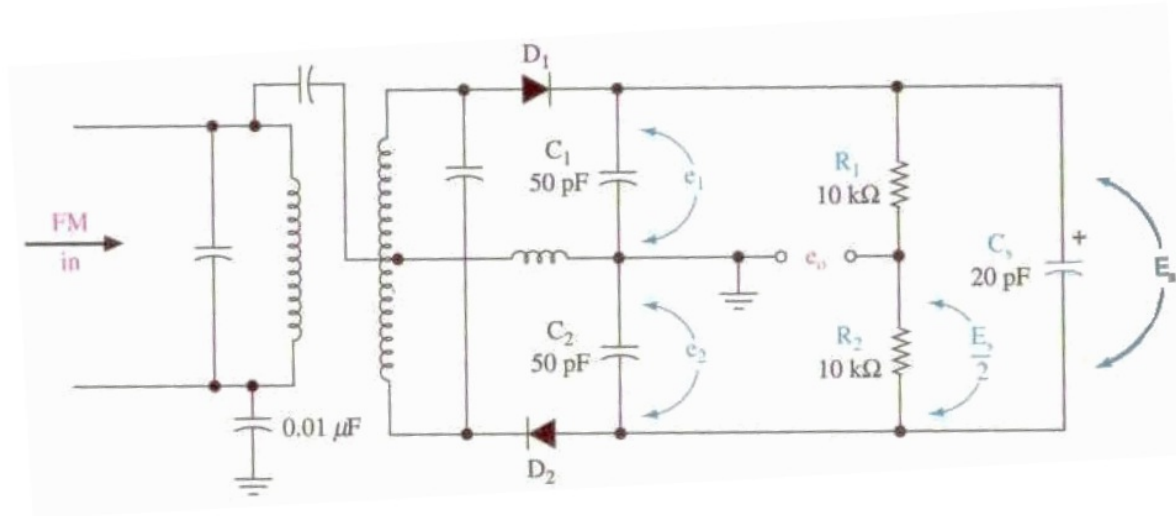
Un discriminador Foster-Seeley opera en  $\omega_0 = 1.703 \times 10^6$  rad/s. Los componentes del circuito son  $C_1 = 70\text{pF}$ ,  $L_1 = 3\mu\text{H}$ ,  $C_2 = 150\text{pF}$ ,  $L_{23} = 1.5\mu\text{H}$ ,  $Q_s = 20$ ,  $M = 1\mu\text{H}$ ,  $e_1 = 4\text{Vrms}$

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



$$E_s = e_1 + e_2$$

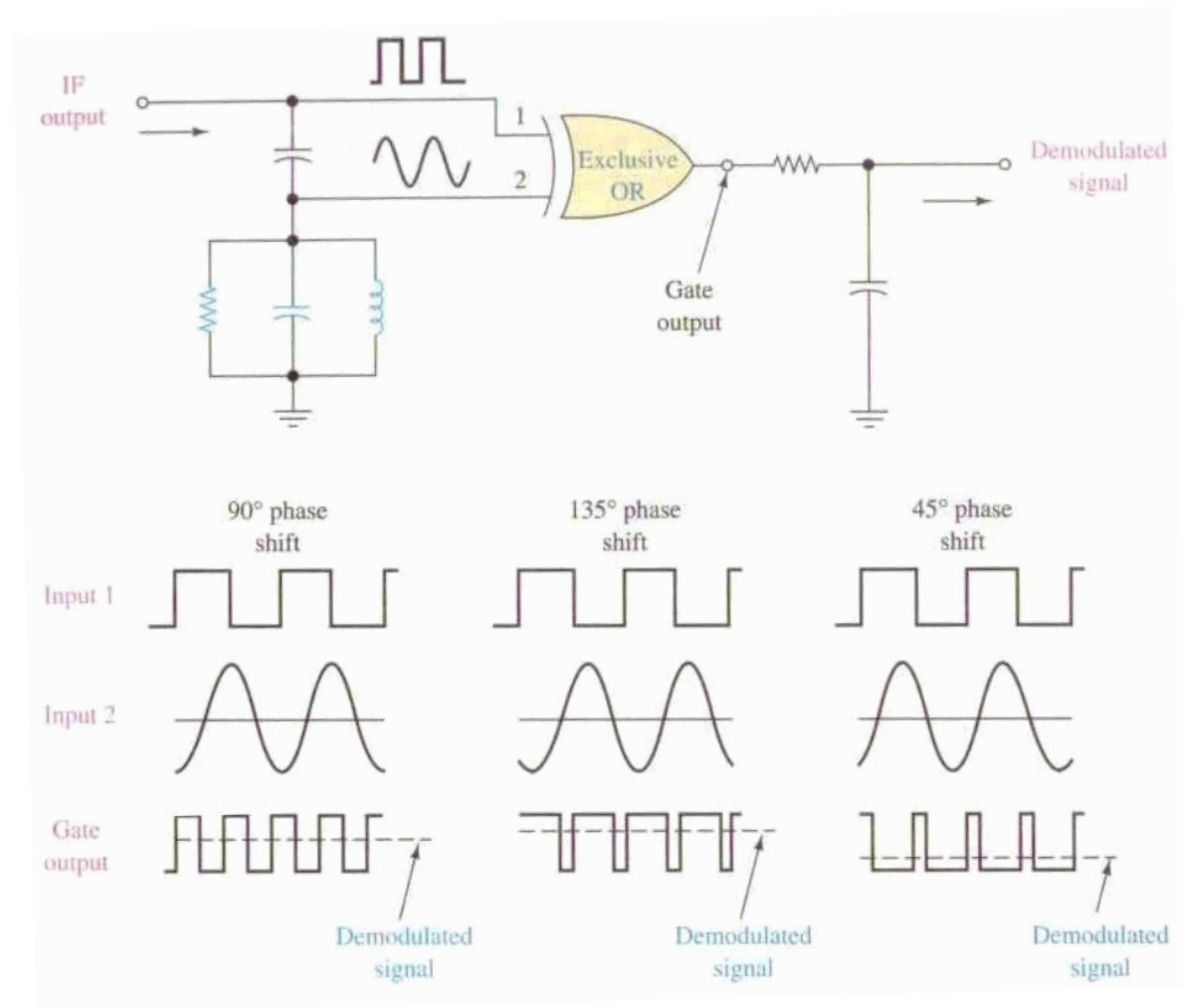
$$e_0 = \frac{E_s}{2} - e_2 = \frac{e_1 + e_2}{2} - e_2$$

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

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

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

## 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  $\Theta$  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:  $\Theta$  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:

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

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:

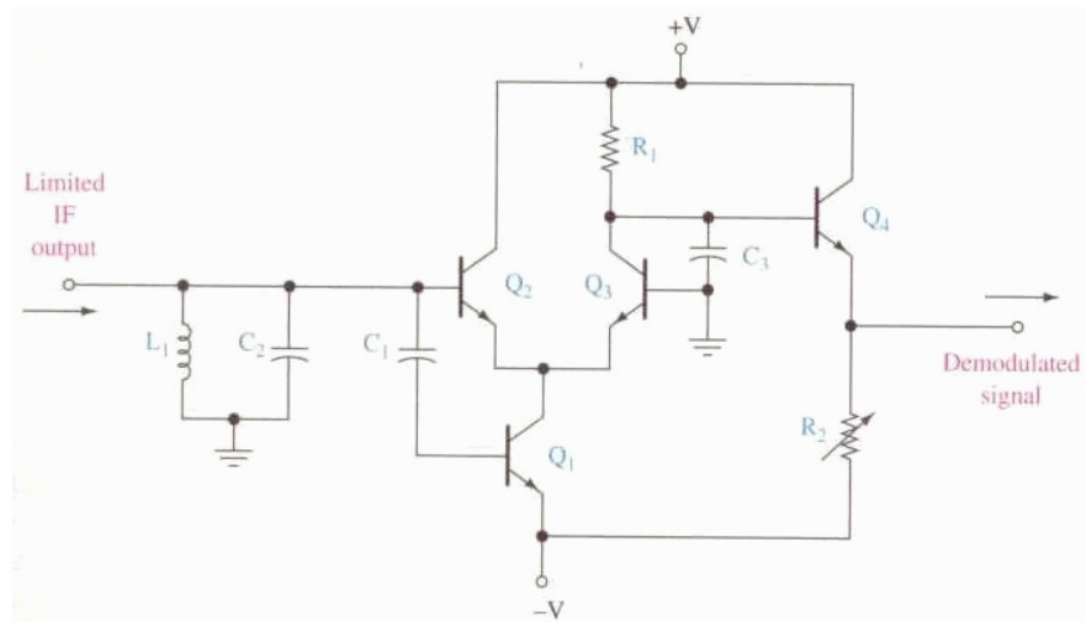
a) Voltaje de salida del detector de cuadratura

Solución:

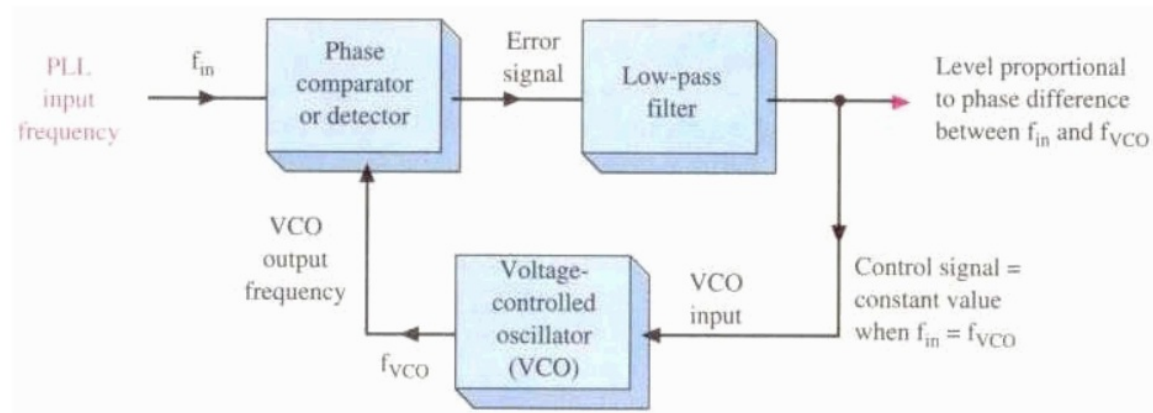
| Input<br>Frequency<br>kHz | $G_1$   | $\cos \Theta$ | $v_{out}$<br>V |
|---------------------------|---------|---------------|----------------|
| 4475                      | 0.70902 | 0.70103       | 8.9467         |
| 4480                      | 0.70862 | 0.70224       | 8.9572         |
| 4490                      | 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         |

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

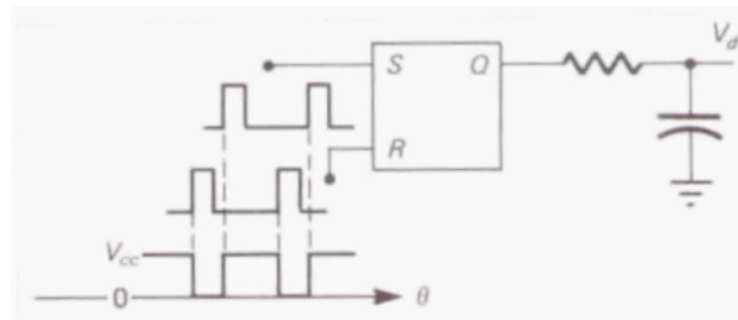
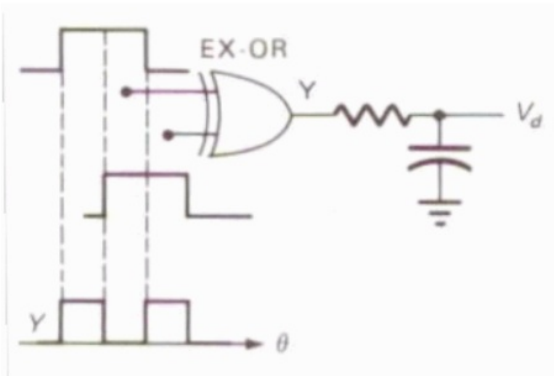
## Detector de cuadratura analógico



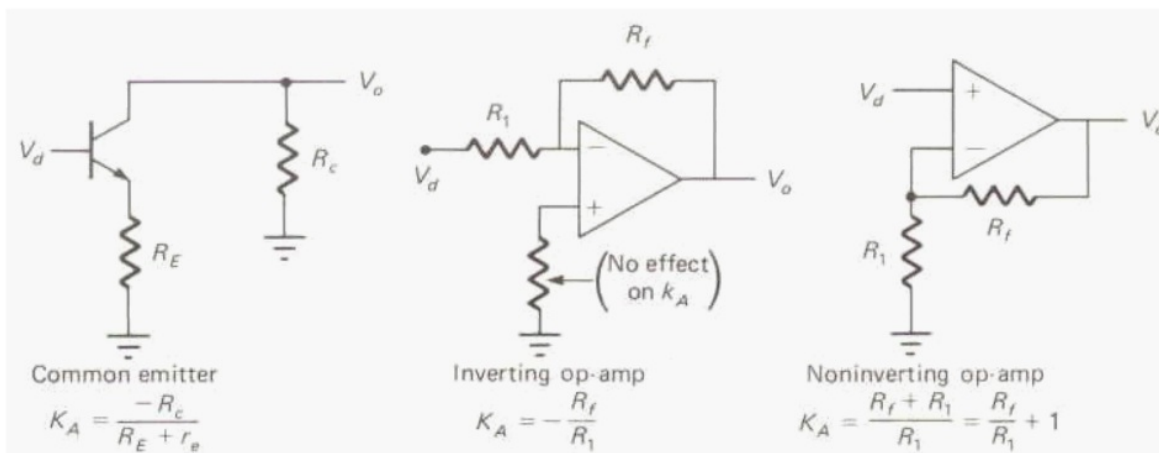
## Demodulador de FM basado en PLL



## Comparador o detector de fase



## Amplificadores



## Oscilador controlado por voltaje VCO

