

# Sistemas de Comunicación

## - Modulación Angular – Circuitos Moduladores-

Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

[cristianguarnizo@itm.edu.co](mailto:cristianguarnizo@itm.edu.co)

# Contenido – Moduladores en Frecuencia

1. Énfasis.
2. Varactor.
3. Oscilador de Cristal.
4. Osciladores Controlados por Voltaje.

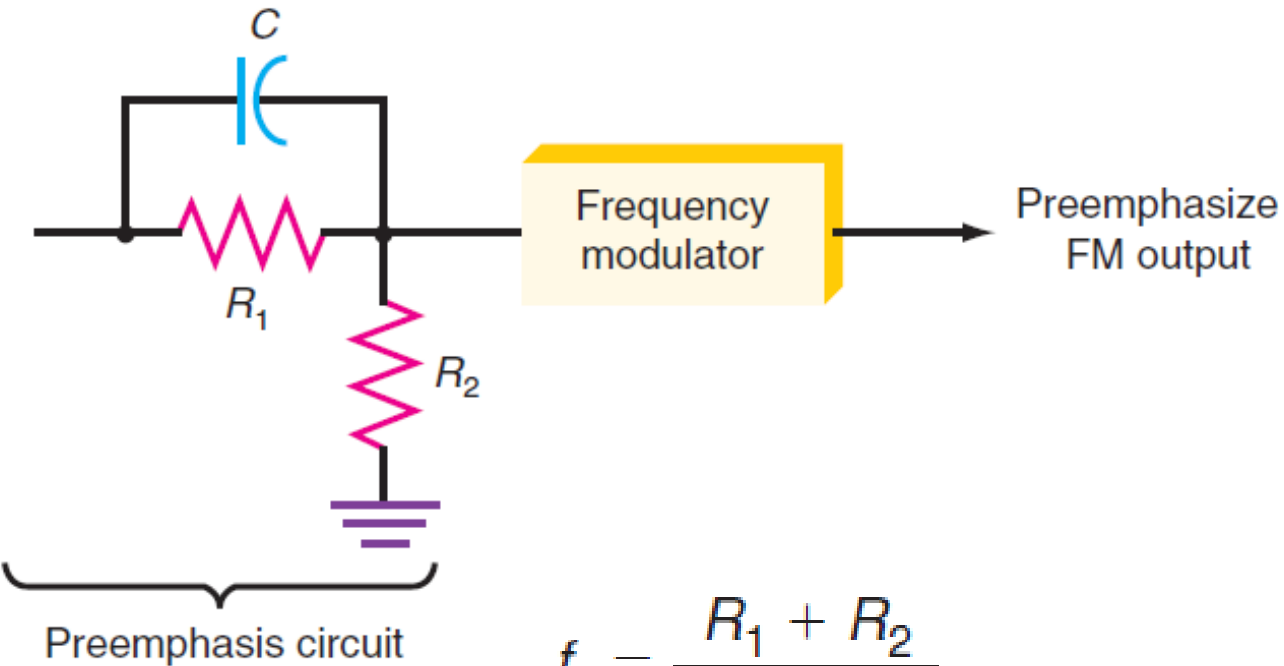
# 1. Énfasis

El ruido puede interferir con una señal FM, particularmente con las componentes de altas frecuencias de la señal modulada.

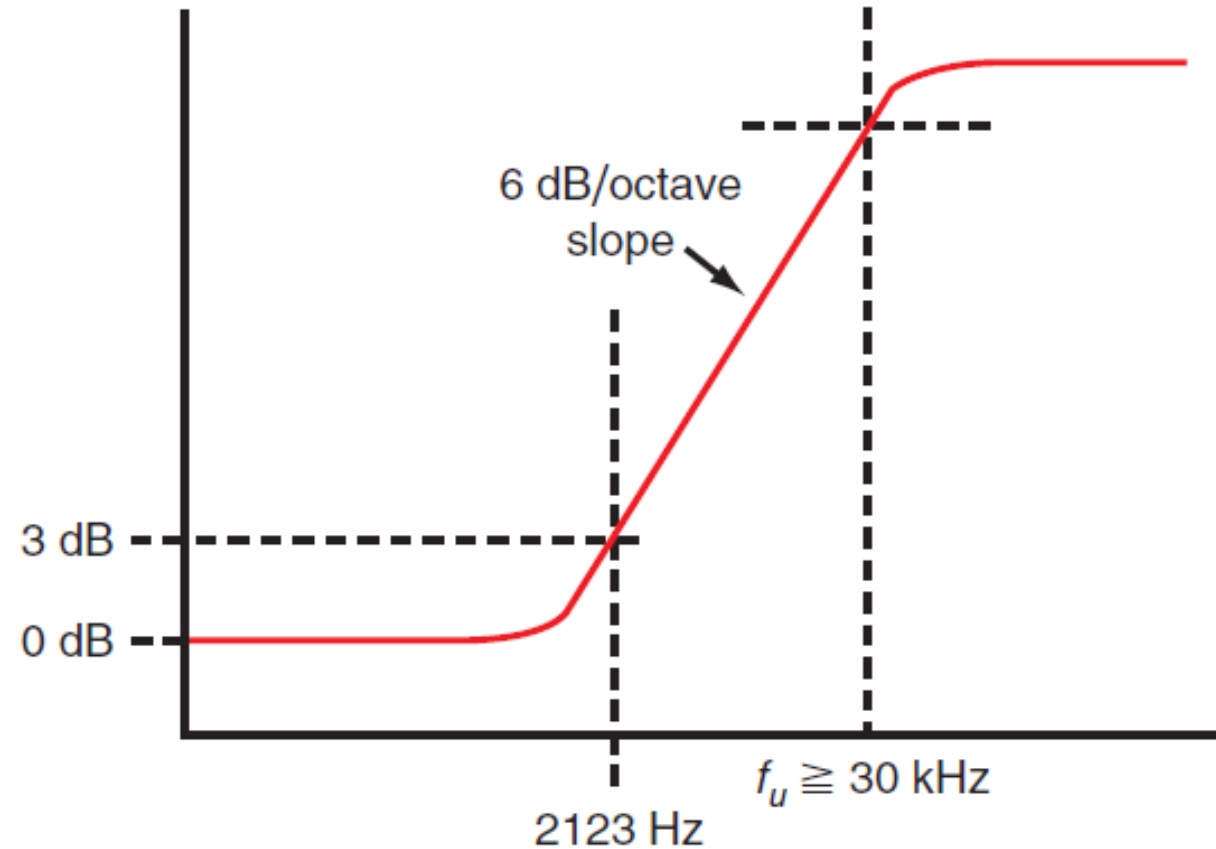
El contenido espectral de los instrumentos musicales, a pesar de ser de baja frecuencia, contiene armónicos de alta frecuencia que le dan un sonido único.

Estas componente de alta frecuencia están a un nivel bajo, entonces el ruido puede desaparecerlas completamente.

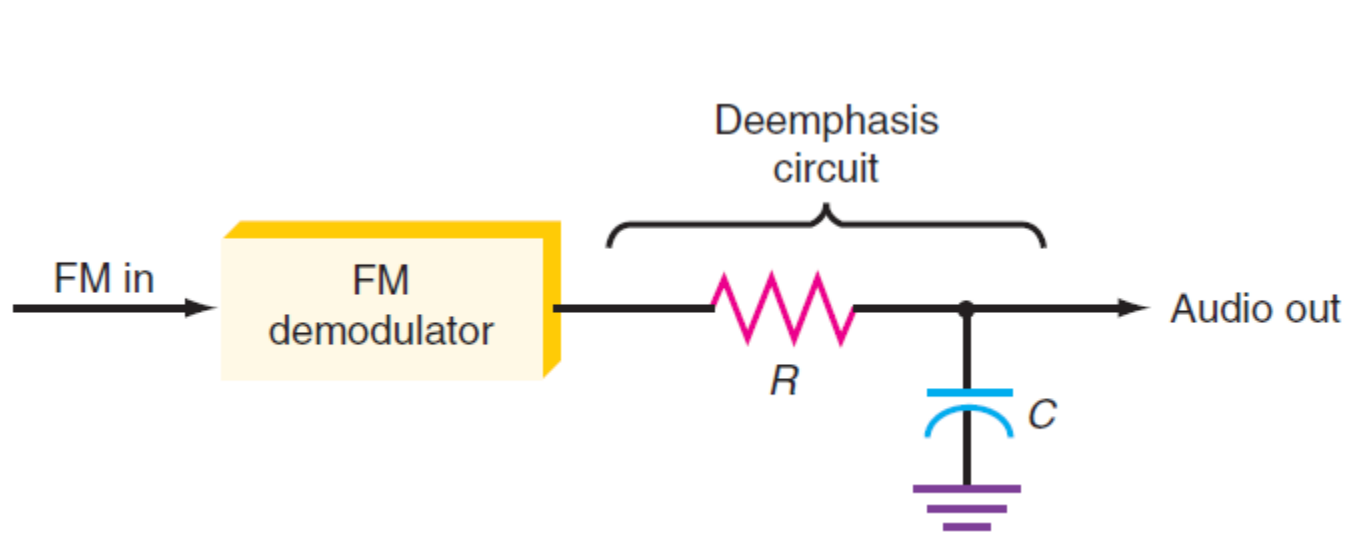
# 1. Énfasis – Pre-énfasis



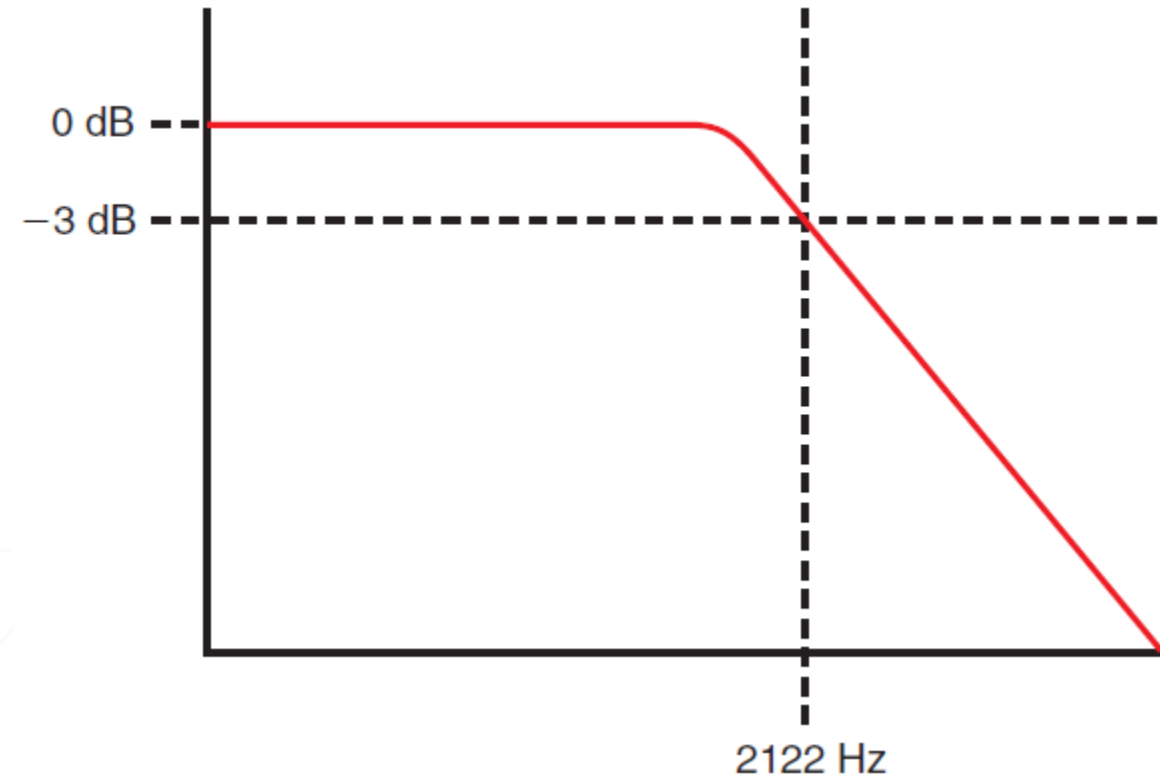
$$f_u = \frac{R_1 + R_2}{2\pi R_1 R_2 C}$$



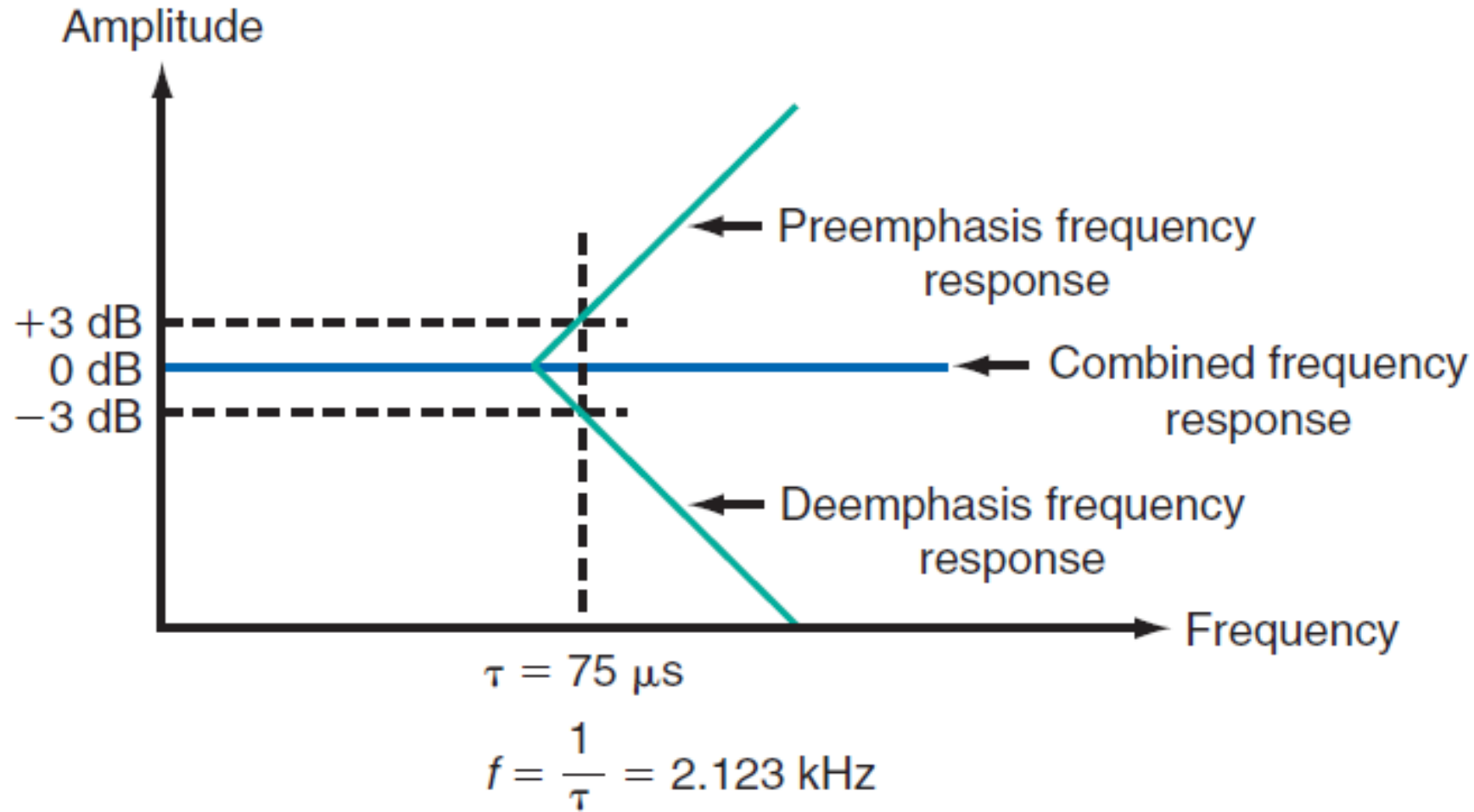
# 1. Énfasis – De-énfasis



$$f_L = \frac{1}{2\pi RC}$$



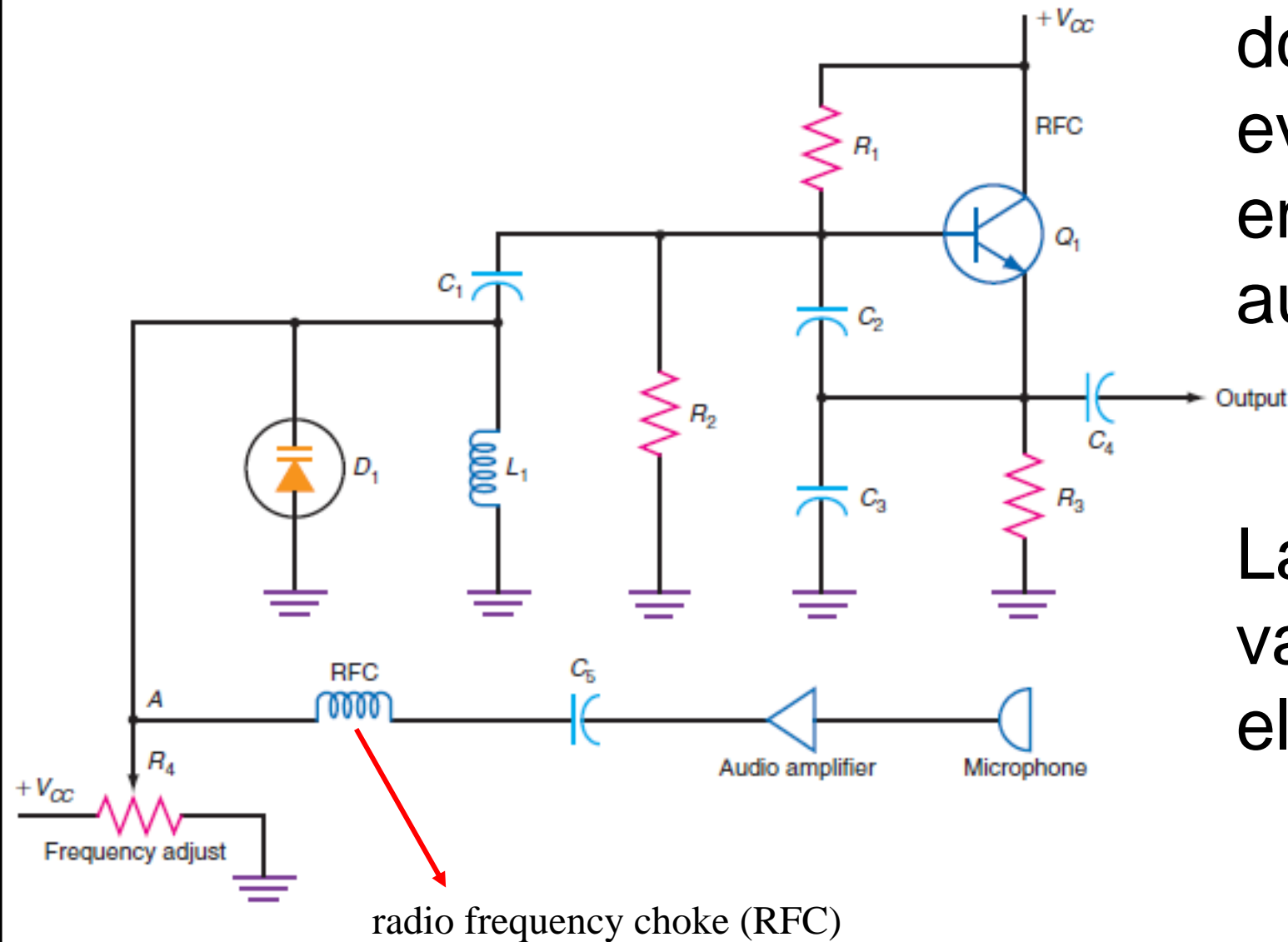
# 1. Énfasis



## 2. Varactor

C5 elimina la componente dc del varactor D1. RFC evita que la portadora entre en la señal de audio.

La capacitancia del diodo varactor D1 y L1 forman el circuito oscilador.



## 2. Varactor

Frecuencia portadora

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Frecuencia al modular

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + \Delta C)}}$$

Desviación máxima de frecuencia

$$\Delta f = |f_c - f|$$



## 2. Varactor

El mayor problema con los circuitos osciladores LC, es que no son lo suficientemente estables para proveer la señal de la portadora.

Por esta razón se prefiere utilizar osciladores de cristal para generar la señal de la portadora. Adicionalmente, la estabilidad de portadora es estable para un rango amplio de temperatura.

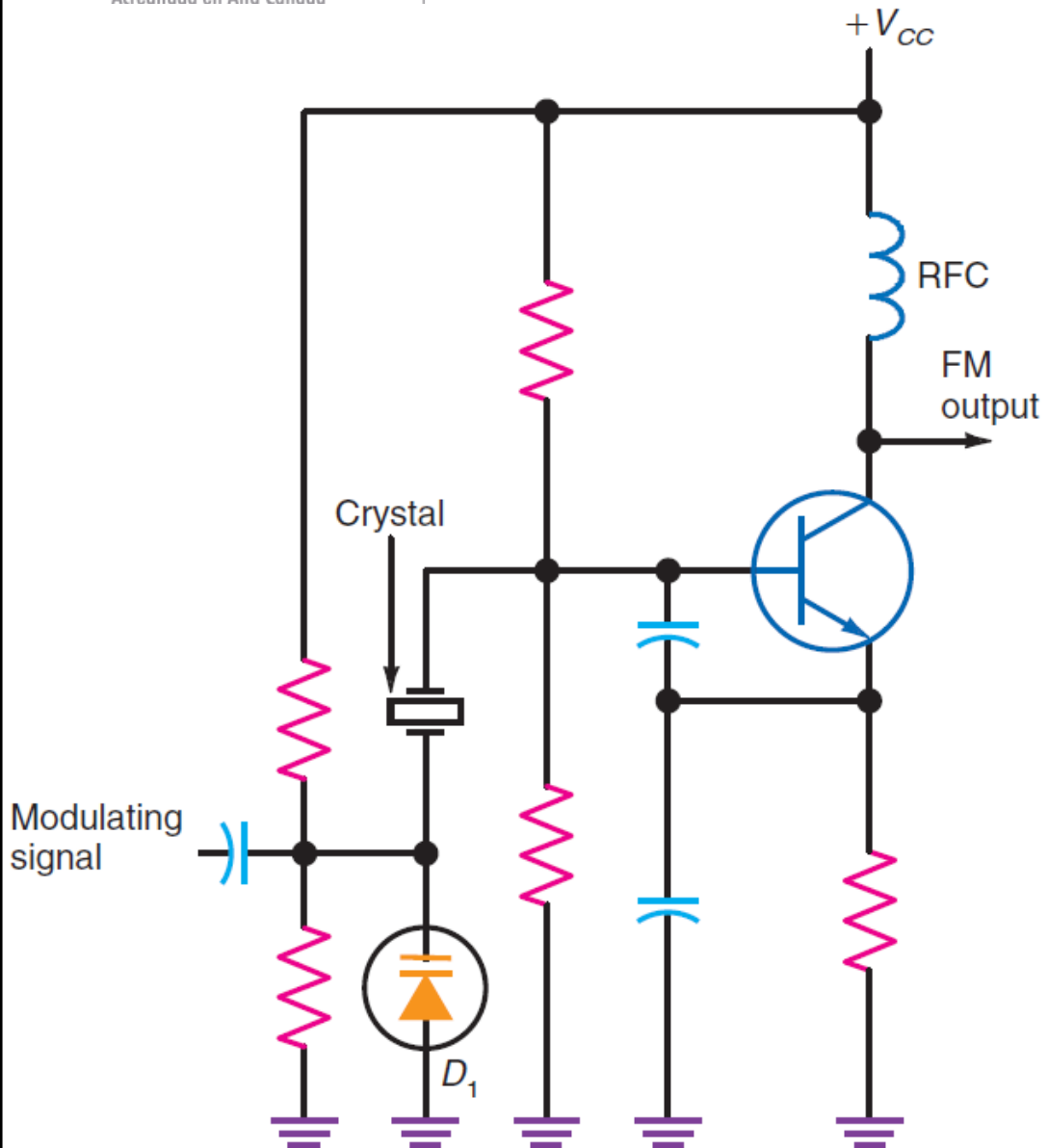
### 3. Oscilador de Cristal

Es posible **variar la frecuencia** de un oscilador de cristal por medio de cambiar el valor de la capacitancia en **serie** o **paralelo** con el cristal.

Cuando un valor **pequeño** de capacitancia es conectado en serie con el cristal, la frecuencia del cristal puede ser **empujada** de su frecuencia natural de resonancia.

### 3. Oscilador de Cristal

La señal de modulación es aplicada al diodo varactor  $D_1$ , el cual cambia la frecuencia de oscilación.

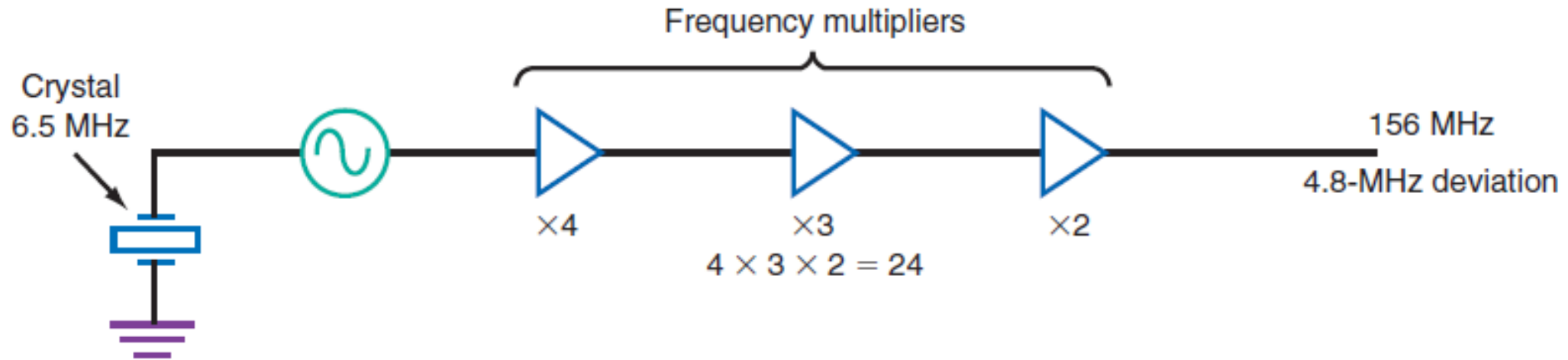


### 3. Oscilador de Cristal

Solo se pueden realizar pequeñas desviaciones de frecuencia. Es muy raro que la frecuencia de un oscilador de cristal sea cambiada de cientos Hertz de su valor nominal.

Para lograr la desviación de frecuencia de 75kHz, necesaria en emisión FM, se requiere de otras técnicas.

### 3. Osc. de Cristal - Multiplicadores



Se puede incrementar la frecuencia por medio de un circuito **multiplicador de frecuencia**.

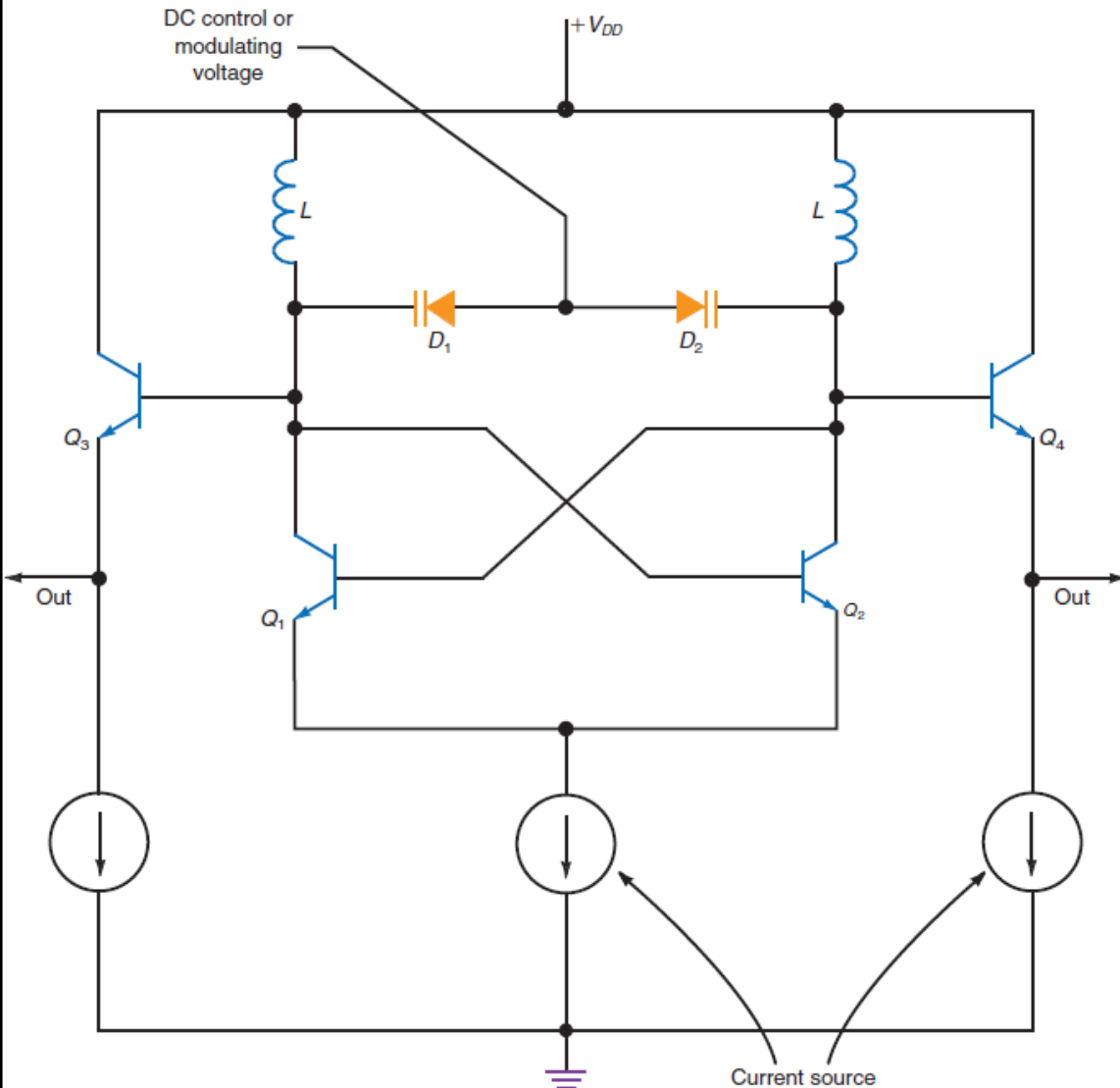
Asumiendo que el varactor produce una desviación de 200Hz, cuando pasa por el circuito multiplicador, se obtiene una desviación de 4.8kHz.

## 4. Osciladores Controlados por Voltaje (VCO)

Son osciladores cuya frecuencia es controlada por una señal de voltaje externa.

Aunque los VCOs aun son implementados con **componentes discretos** en VHF, UHF y microondas, existe una tendencia a ser integrados en un **solo chip** con otros transmisores o circuitos receptores.

# 4. Osciladores Controlados por Voltaje (VCO)

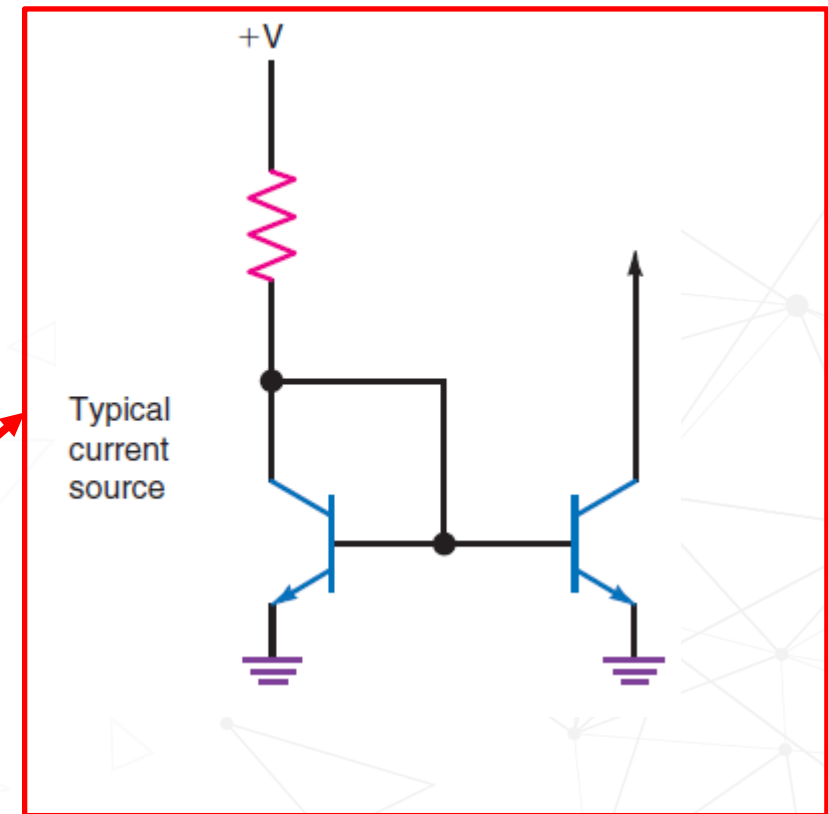
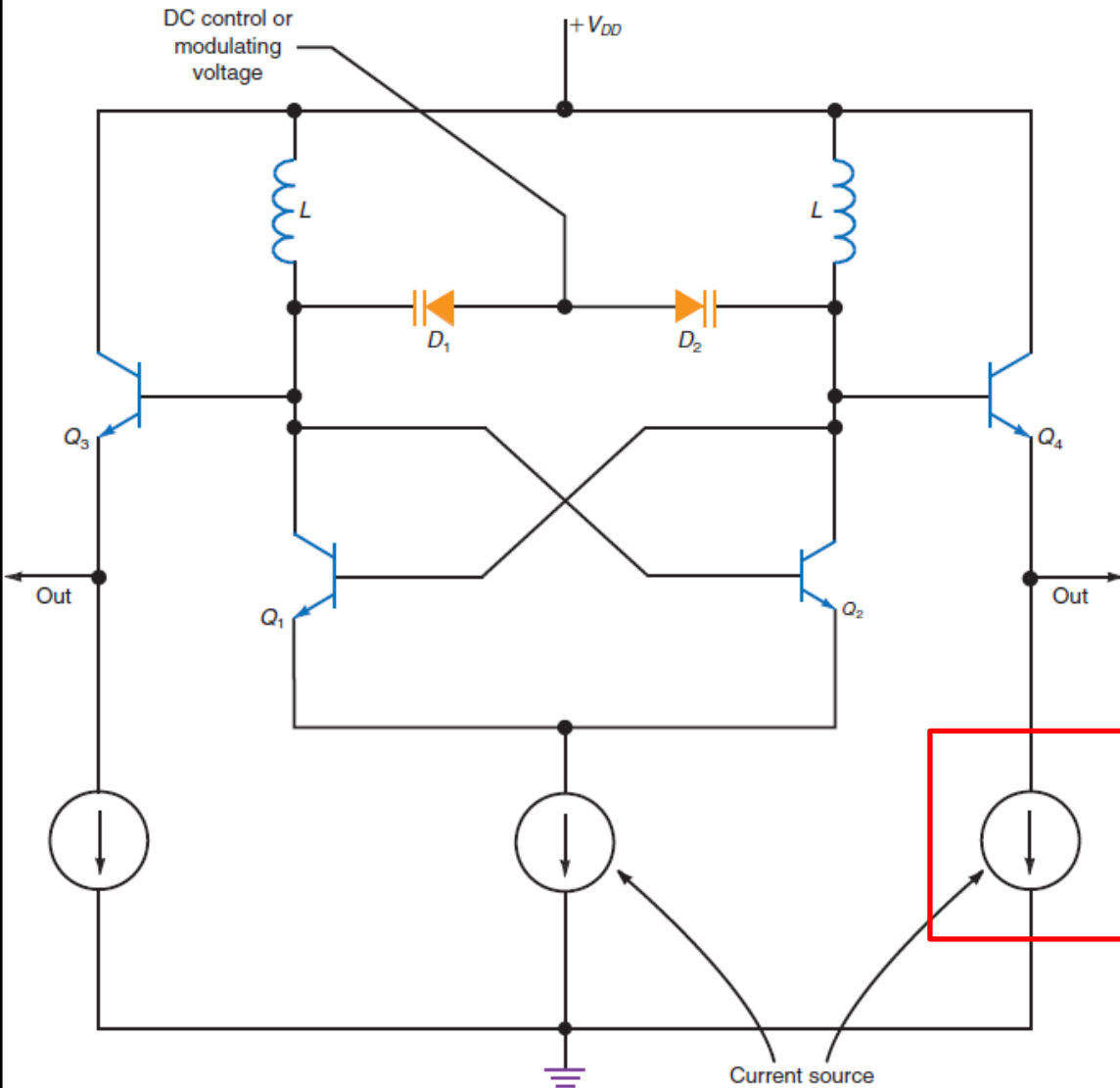


Transistor bipolar (SiGe), para obtener una frecuencia de operación centrada en 10GHz.

La señal es una onda seno cuya frecuencia es dada por las capacitancias de los varactores.

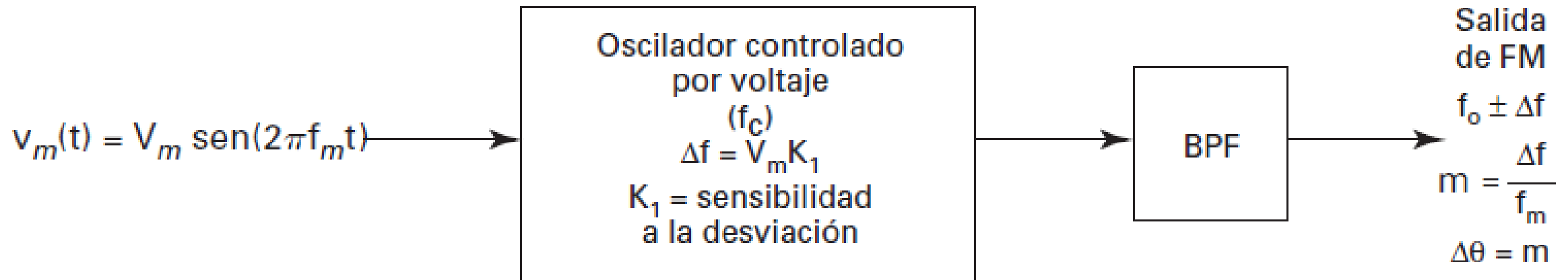
El oscilador usa dos transistores ( $Q_1$  y  $Q_2$ ) están en modo flip-flop.

# 4. Osciladores Controlados por Voltaje (VCO)





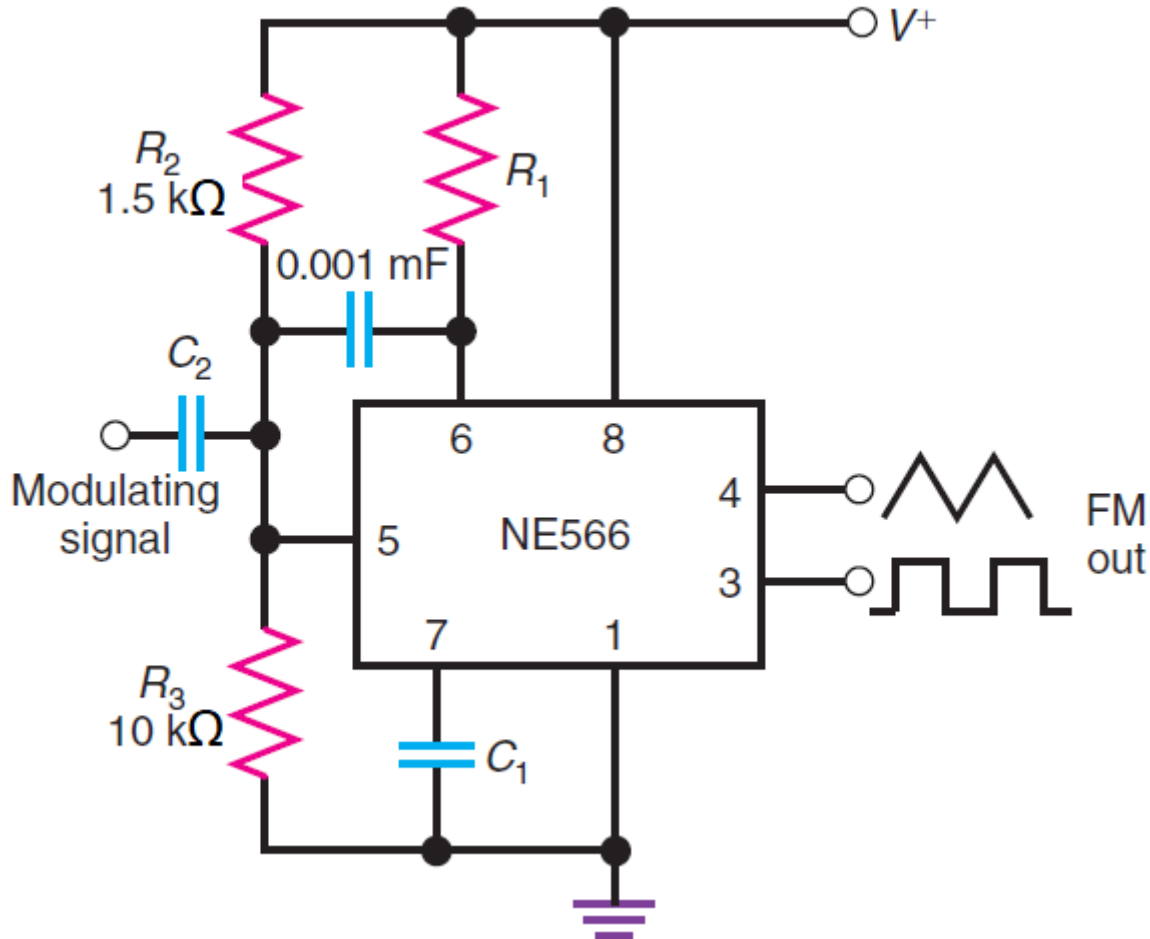
# 4. Osciladores Controlados por Voltaje (VCO)



## 4. VCO – LM566

$$f_o = \frac{2.4}{R_3 C_1} \left( \frac{V_{CC} - V_m}{V_{CC}} \right)$$

Si  $V_{CC} = 10V$  y  $C_1 = 820pF$ .  
Calcular  $f_c$ , y la desviación  
máxima si la amplitud de la  
moduladora es 2V.



## 4. VCO – LM566

$$f_c = \frac{2.4}{R_3 C_1} \left( \frac{V_{CC} - V_m}{V_{CC}} \right) = \frac{2.4}{R_3 C_1} \left( \frac{V_{CC} - 0}{V_{CC}} \right) = 292.683 \text{ kHz}$$

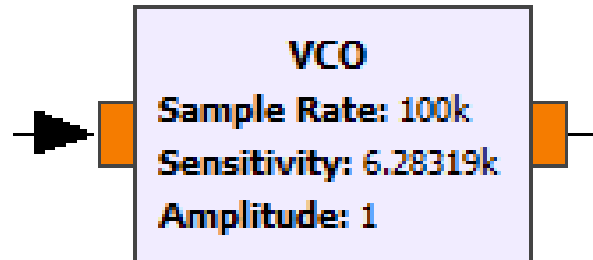
$$f_{\max} = \frac{2.4}{10 \text{ k} \times 820 \text{ p}} \left( \frac{10 - 2}{10} \right) = 234.146 \text{ kHz}$$

$$\Delta f = |f_c - f_{\max}| = 58.537 \text{ kHz}$$

## 4. VCO – GNU Radio

$$v_{\text{VCO}}(t) = \cos(K_1 V_i(t)t) = \cos(\omega(t)t),$$

$$\omega(t) = K_1 V_i(t) = K_1 (V_1 + v_m(t)),$$



Para simular un FM

$$v_m(t) = V_m \cos(\omega_m t)$$

$$v_{\text{VCO}}(t) = V_c \cos \left( \omega_c t + K_1 \int V_m \cos(\omega_m t) dt \right)$$

$$V_i(t) = \int V_1 + v_m(t) dt = V_1 t + \frac{V_m}{\omega_m} \text{sen}(\omega_m t)$$

$$v_{\text{VCO}}(t) = \cos \left( K_1 V_1 t + \frac{K_1 V_m}{\omega_m} \text{sen}(\omega_m t) \right)$$

Sample Rate	100000
Sensitivity	2*math.pi*1000
Amplitude	1

$$K_1 = \frac{\text{rad/s}}{\text{V}} \left( \frac{\Delta \omega}{\Delta V} \right)$$

# Lecturas recomendadas

## 1. Sección 5-5 Libro de Frenzel (2016).

## Bibliografía

- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4<sup>th</sup> Edition.
- WAYNE, Tomásí. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4<sup>a</sup> ed. Prentice Hall.