Tema 6:

BUCLES DE FASE FIJA (PLLs)

(PHASE LOCKED LOOPS)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Tema 6: BUCLES DE FASE FIJA (PLLs)

6.1.- Introducción

6.2.- Funcionamiento del PLL

6.3.- Análisis lineal del PLL enganchado

6.4.- Rango de bloqueo y rango de captura

6.5.- El VCO (circuito multivibrador)

6.6.- El detector de fase

6.7.- Aplicaciones de los PLLs:

- Sintetizadores de frecuencia
- Detectores de FM y FSK
- Rastreo de frecuencia

6.8.- Estudio de un PLL integrado

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

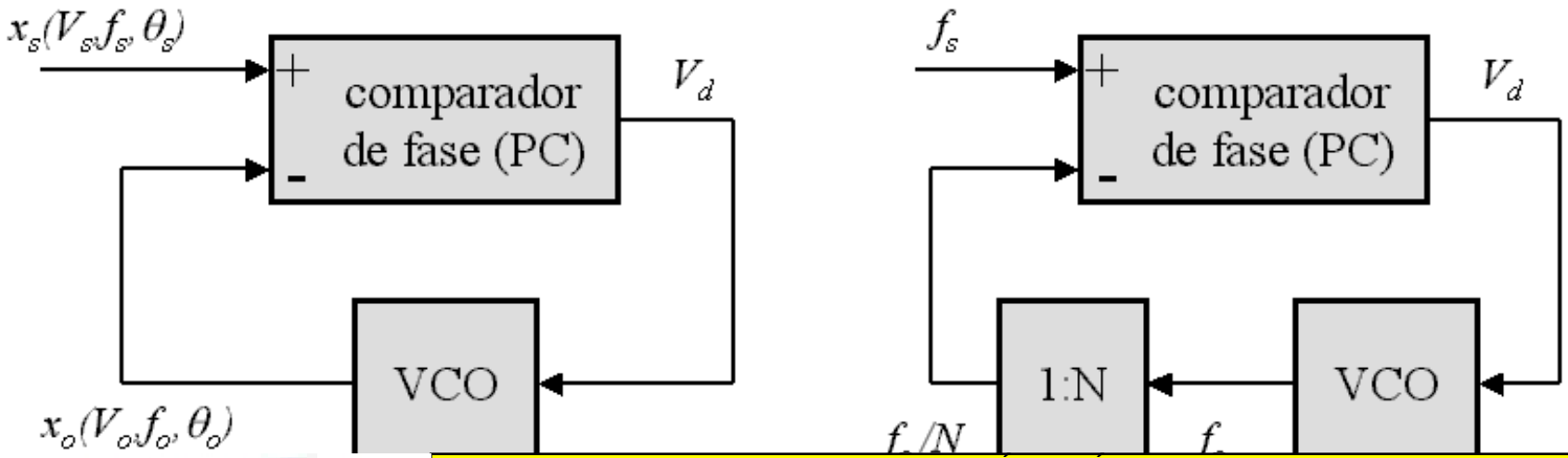
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.1.- INTRODUCCIÓN

- Un PLL (Phase Locked Loop) es un circuito que permite controlar la frecuencia y fase de la señal de un VCO $x_o(V_o, f_o, \theta_o)$ con una señal externa $x_s(V_s, f_s, \theta_s)$
- Es un circuito "realimentado en fase" (PC, VCO)
- Cuando está "bloqueado" o "enganchado" se verifica:
  - $f_o = f_s \qquad \theta_s - \theta_o = cte$
  - Si f_s aumenta, $\theta_s - \theta_o$ aumenta, V_d aumenta, hasta hacer $f_o = f_s$
  - Si f_s disminuye, $\theta_s - \theta_o$ disminuye, V_d disminuye, hasta hacer $f_o = f_s$
- La frecuencia del VCO f_o es igual a la de referencia f_s
- Si se introduce un divisor de frecuencia $\div N$ la frecuencia del VCO es múltiplo de la de referencia: $f_o = N f_s$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Aplicaciones del PLL:
  - Sintetizador de frecuencia: f_s referencia estable a cristal; divisor de frecuencia programable (entrada: N); salida en VCO: $f_o = N f_s$
  - Rastreo de frecuencia: entrada en f_s; salida en f_o
  - Demodulación de FM: entrada en f_s; salida en V_d
- Usos en radiocomunicación:
  - Sintetizador de frecuencia para control de sintonía (seleccionar qué canal se desplaza a frecuencia intermedia)
  - Rastreo de frecuencia para control de deriva de frecuencia en demodulación síncrona de AM
  - Demodulación de FM: detectores de FM y FSK
- Historia del PLL:
  - El PLL se conoce desde 1923.
  - Primeras aplicaciones: PLLs discretos para demodulación síncrona de AM
  - Se usa en radiocomunicación desde los años 60 (PLLs integrados)
  - Actualmente en la mayoría de sintonizadores de radio y TV (sintonía digital) y de-

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.2.- FUNCIONAMIENTO DEL PLL

- Elementos de un PLL:
  - Comparador de fase (K_d):

$$V_e = K_d \theta_e \qquad \theta_e = \theta_s - \theta_o + \alpha = \theta_d + \alpha$$

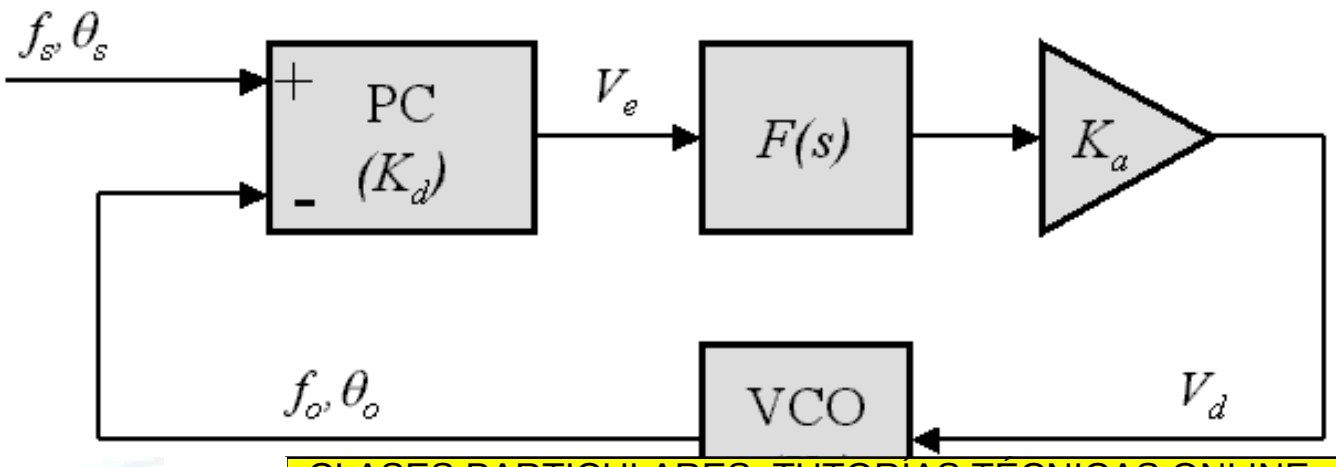
  - Filtro paso-baja ($F(s)$) y amplificador (K_a):

$$V_d(t) = K_a f(t) * V_e(t) \qquad V_d(s) = K_a F(s) V_e(s)$$

  - VCO (f_f, K_o):

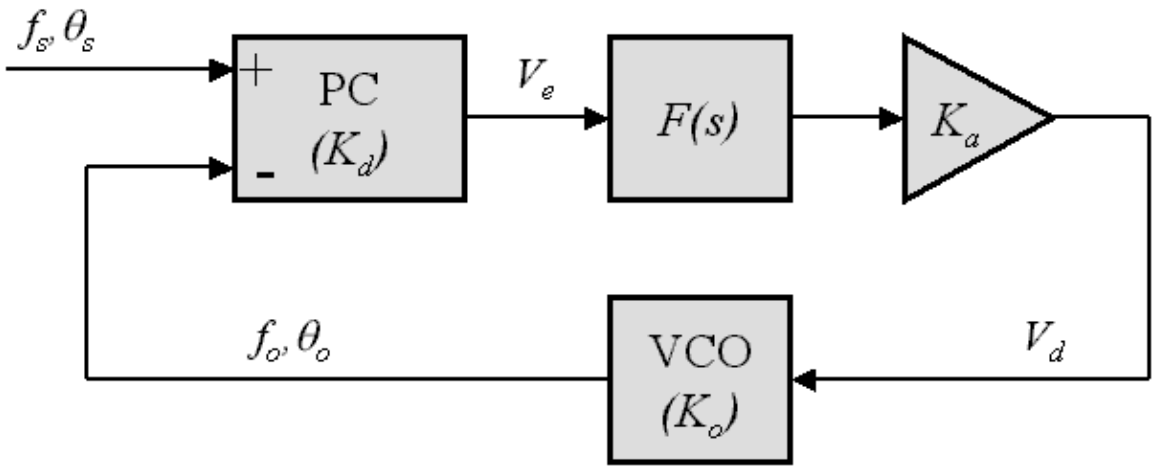
$$f_o = f_f + k_o V_d \qquad \omega_o = \omega_f + K_o V_d$$

- Unidades de cada parámetro: K_d en V/rad; K_a es una ganancia de tensión; k_o en Hz/V; K_o en rad/s/V



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



- Cuando el PLL está bloqueado, $f_o = f_s$; $\theta_s - \theta_o =$cte.
- Frecuencia de oscilación libre f_f (f_o cuando $V_d = 0$)
- $\theta_s - \theta_o = \theta_d$ depende de $f_s = f_o$ (a través de K_o, K_a y K_d)
- θ_o se ajusta sola para hacer $f_o = f_s$:
  - Si $f_s = f_f$, entonces θ_o t.q. $V_d = 0$, t.q. $f_o = f_s = f_f$
  - Si $f_s > f_f$, entonces θ_o t.q. $V_d > 0$, t.q. $f_o = f_s > f_f$
  - Si $f_s < f_f$, entonces θ_o t.q. $V_d < 0$, t.q. $f_o = f_s < f_f$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Normalmente $F(s)$ es un filtro paso-baja
- PC puede ser un multiplicador analógico:

$$x_s = V_s \sin(2\pi f_s t + \theta_s) \qquad x_o = V_o \cos(2\pi f_o t + \theta_o)$$

$$x_s x_o = V_s V_o \sin(\alpha_s)\cos(\alpha_o) = \frac{V_s V_o}{2}(\sin(\alpha_s + \alpha_o) + \sin(\alpha_s - \alpha_o))$$

$$x_s x_o = \frac{V_s V_o}{2}(\sin(4\pi f_s t + \theta_s + \theta_o) + \sin(\theta_s - \theta_o))$$

$$V_e = K_d \sin(\theta_s - \theta_o) = K_d \sin(\theta_e) \approx K_d \theta_e$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.3.- ANÁLISIS LINEAL DE UN PLL ENGANCHADO

Supongamos un PLL bloqueado (o enganchado, o en estado de fase fija). En este caso, $f_o = f_s$

DETECTOR DE FASE (o comparador de fase):

- Salida: V_e que es función de $\theta_e = \theta_d + \alpha$

- Parámetros característicos:
  - Ganancia del detector de fase: K_d (en V/rad)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Principales tipos de detectores de fase:
  - Senoidal:

$$V_e = A\sin(\theta_e) \approx A\theta_e \qquad K_d = A$$

  - Triangular:

$$V_e = \frac{2}{\pi}A\theta_e \qquad K_d = \frac{2A}{\pi}$$

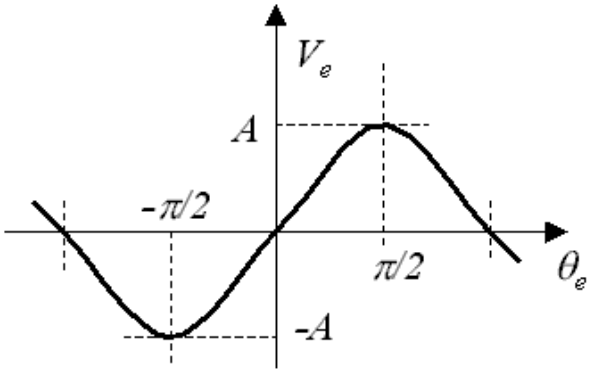
  - En diente de sierra:

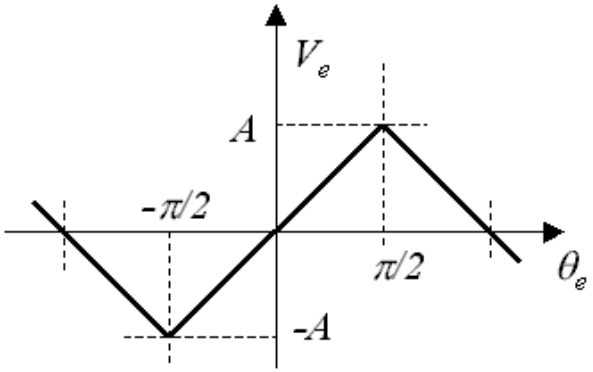
$$V_e = \frac{1}{\pi}A\theta_e \qquad K_d = \frac{A}{\pi}$$

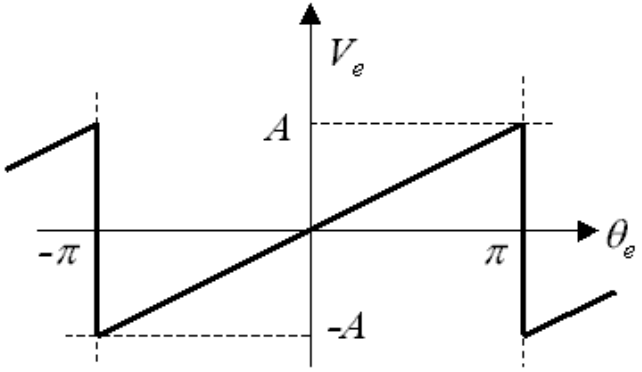
- El PLL se sale del estado de fase fija si el desfase θ_e excede un cierto límite:
  - $\pm\pi/2$ en senoidal y triangular
  - $\pm\pi$ en diente de sierra
- Rango de bloqueo: se define como el rango de f_s que mantiene el PLL en estado de fase fija: $f_s(V_{e\,max} + A)$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.







CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

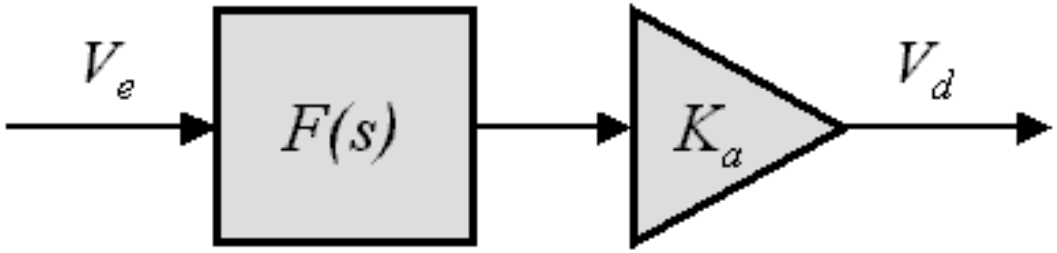
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

FILTRO PASO-BAJA Y AMPLIFICADOR

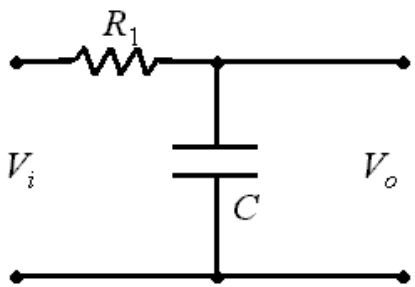
- Parámetros característicos:
  - Función de transferencia del filtro: $F(s)$
  - Ganancia del amplificador: K_a
- Objetivos:
  - Eliminar componentes de alta frecuencia de V_e
  - Adaptar niveles (relación entre θ_e y $f_o - f_f$)



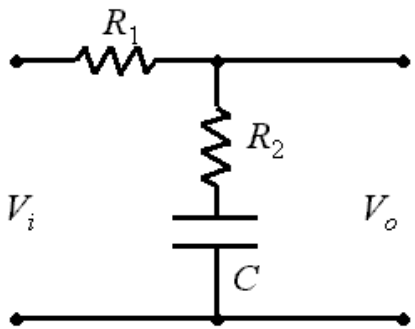
- Pueden usarse también filtros activos

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



$$F(s) = \frac{1}{1 + R_1 C s} = \frac{1}{1 + \tau_1 s}$$



$$F(s) = \frac{1 + R_2 C s}{1 + R_1 C s + R_2 C s} = \frac{1 + \tau_2 s}{1 + \tau_1 s + \tau_2 s}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

OSCILADOR CONTROLADO POR TENSIÓN (VCO)

- Parámetros característicos:
  - Frecuencia de oscilación libre: f_f (Hz)
  - Ganancia del VCO: k_o (Hz/V) ó K_o (rad/s/V)

$$f_o = f_f + k_o V_d \qquad \omega_o = \omega_f + K_o V_d$$

- Salida del VCO: es una señal de frecuencia ω que depende de $V_d(t)$

$$x_o = V_o \cos(\omega_f t + \theta_o(t))$$

$$\omega = \frac{\partial \theta}{\partial t} = \omega_f + \frac{\partial \theta_o(t)}{\partial t}$$

$$\omega = \omega_f + K_o V_d(t)$$

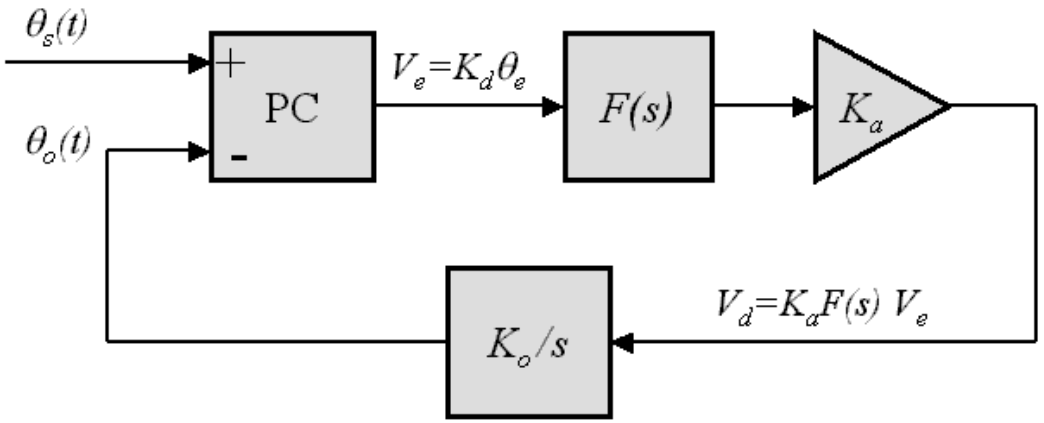
$$\frac{\partial \theta_o(t)}{\partial t} = K_o V_d(t)$$

- En el dominio s:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PLL



$$\theta_o(s) = K_o \frac{V_d(s)}{s}$$

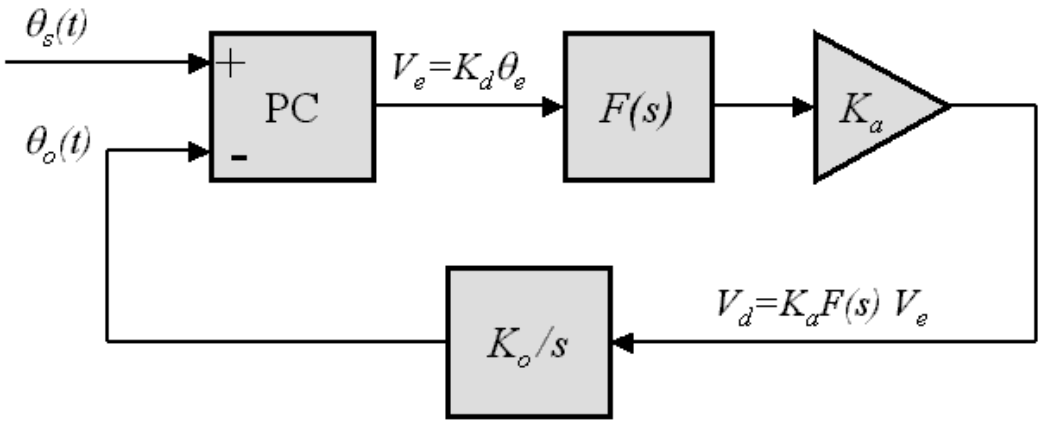
$$\theta_o(s) = \frac{1}{s} K_o K_a F(s) K_d \theta_e(s) = K_v \frac{F(s)}{s} \theta_e(s)$$

$$\theta_o(s) = K_v \frac{F(s)}{s} (\theta_s(s) - \theta_o(s))$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL PLL (realimentación)



- Ganancia en lazo abierto:

$$T(s) = K_d F(s) K_a K_o \frac{1}{s} = K_v \frac{F(s)}{s}$$

- Ganancia en lazo cerrado:

$$H(s) = \frac{T(s)}{1+T(s)} = \frac{K_v F(s)}{s + K_v F(s)}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

EJEMPLO: PLL CON MULTIPLICADOR ANALÓGICO

- Multiplicador:

$$v_s(t) = V_s \sin(\omega_f t + \theta_s(t)) \qquad v_o(t) = V_o \cos(\omega_f t + \theta_o(t))$$

$$v_e(t) = G v_s(t) v_o(t) = \frac{G}{2} V_s V_o (\sin(2\omega_f t + \theta_s(t) + \theta_o(t)) + \sin(\theta_s(t) - \theta_o(t)))$$

y despreciando la componente de alta frecuencia:

$$v_e(t) = \frac{G}{2} V_s V_o \sin(\theta_s(t) - \theta_o(t)) = K_d \sin(\theta_s(t) - \theta_o(t)) \approx K_d(\theta_s(t) - \theta_o(t))$$

- Filtrado y amplificador:

$$v_d(t) = K_a f(t) * v_e(t)$$

- VCO:

$$\frac{\partial \theta_o(t)}{\partial t} = K_o v_d(t)$$

- Ecuación diferencial del PLL:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- En el dominio de Laplace:

$$s\theta_o(s) = K_o K_a K_d F(s)(\theta_s(s) - \theta_o(s)) = K_v F(s)(\theta_s(s) - \theta_o(s))$$

- Función de transferencia del PLL:

$$H(s) = \frac{\theta_o(s)}{\theta_s(s)} = \frac{K_v F(s)}{s + K_v F(s)}$$

- Supongamos $F(s) = 1$ (salvo que anula componentes de alta frecuencia)
- Supongamos que inicialmente:

$$v_s(t) = V_s \sin(\omega_f t) \qquad v_o(t) = V_o \cos(\omega_f t) \qquad v_e = 0 \qquad v_d = 0$$

- Supongamos que en $t = 0$ la frecuencia pasa de ω_s a $\omega_s + \Delta\omega$:

$$\theta_s(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ \Delta\omega t + \alpha_0 & \text{si } t \geq 0 \end{cases}$$

- Entonces, $\Delta\theta$ en el dominio de Laplace se obtiene:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Solución en el dominio de Laplace:

$$\Delta\theta(s) = \frac{s}{s+K_v}\theta_s(s) = \frac{s}{s+K_v}\left(\frac{\Delta\omega}{s^2} + \frac{\alpha_0}{s}\right) = \frac{\Delta\omega}{s^2+sK_v} + \frac{\alpha_0}{s+K_v}$$

- Solución en el dominio del tiempo:

$$\Delta\theta(t) = \alpha_0 e^{-K_v t} + \frac{\Delta\omega}{K_v}\left(1 - e^{-K_v t}\right)$$

$$\Delta\theta(t) = \left(\alpha_0 - \frac{\Delta\omega}{K_v}\right) e^{-K_v t} + \frac{\Delta\omega}{K_v}$$

$$\lim_{t\to 0} \Delta\theta(t) = \alpha_0 \qquad \lim_{t\to\infty} \Delta\theta(t) = \frac{\Delta\omega}{K_v}$$

- Al comienzo, el desfase entre la entrada y la salida es α_0
- El desfase tiende a un valor estacionario $\Delta\omega/K_v$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

EFECTO DEL FILTRO PASO-BAJA

- La forma de $F(s)$ determina el transitorio del bucle:
  - Capacidad para seguir cambios rápidos en la frecuencia y en la fase de la señal de entrada
  - Capacidad para capturar la frecuencia de una señal con frecuencia $f_s \neq f_f$
- Si se reduce el ancho de banda de $F(s)$:
  - Se incrementa el transitorio temporal
  - Se conserva mejor el estado de fase fija durante pérdidas momentáneas de señal
  - Se reduce la potencia del ruido
  - Se reducen los rangos de captura y de bloqueo

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.4.- RANGO DE BLOQUEO Y RANGO DE CAPTURA

RANGO DE BLOQUEO

- Se denomina "rango de bloqueo" (o de rastreo) al rango de variación de f_s que mantiene el PLL en estado de fase fija (hold-in range)
- Viene determinado por el intervalo $\pm\Delta\omega$ tal que θ_e se aproxima a $\pm\pi/2$
  - Para el detector senoidal:

$$v_e = K_d \sin(\theta_e) \qquad v_d(t) = K_a v_e(t)$$

$$\Delta\omega = K_o v_d(t) = K_o K_a K_d \sin(\theta_e) = K_v \sin(\theta_e)$$

$$\pm\Delta\omega_H = \pm K_v$$

  - Para detector triangular:

$$\Delta\omega = K_v \theta_e \qquad \pm\,\Delta\omega_H = \pm K_v \frac{\pi}{2}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

EJEMPLO: Rango de bloqueo

- Supongamos VCO con $f_f = 100$ kHz; $K_o = 2\pi 100$ rad/s/V; $k_o = 100$ Hz/V;
- Detector de fase senoidal con $V_{e.max} = 2$ V para $\theta_e = \pi/2$ rad
- Amplificador con $K_a = 10$
- Determinar: K_d; K_v; rango de bloqueo

$$V_e = V_{e.max}\sin(\theta_e) \approx V_{e.max}\theta_e = K_d\theta_e \qquad K_d = V_{e.max} = 2\text{V/rad}$$

$$K_v = K_o K_d K_a = 2\pi 100\text{rad/s/V} \cdot 2\text{V/rad} \cdot 10 = 4000\pi/\text{s}$$

$$\pm\Delta\omega_H = K_v = \pm 4000\pi\text{rad/s} \qquad \pm\,\Delta f_H = 2000\text{Hz}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

RANGO DE CAPTURA

- Si aplicamos una señal de frecuencia f_s distinta a la frecuencia de oscilación libre (f_f) el bucle captura la señal (alcanza el estado de fase fija) si la diferencia entre f_s y f_f es pequeña
- La diferencia máxima entre f_s y f_f que permite alcanzar el estado de fase fija se denomina "rango de captura" (lock-in range)
- El rango de captura es siempre menor que el rango de bloqueo ($\Delta f_H > \Delta f_L$)
- La adquisición del estado de fase fija es un proceso en general no lineal y complicado

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.5.- EL VCO (circuito multivibrador)

- El oscilador controlado por tensión suele ser un oscilador de tipo “multivibrador”
  - Proporciona una forma de onda cuadrada
  - Relación entre f_o y V_d más lineal que con un oscilador LC
  - Mayor margen de sintonía
- Funcionamiento:
  - Par acoplado por emisor
  - Realimentación de colector de Q_1 a base de Q_2
  - Realimentación de colector de Q_2 a base de Q_1
  - Condensador en emisor
  - Entrada de tensión de control en las bases
  - Q_1/Q_2 pasan de corte/saturación a saturación/corte alternativamente
  - Condensador se carga cambiando de polaridad alternativamente
  - Frecuencia de oscilación libre se controla con C
  - Frecuencia de oscilación se controla con la tensión de entrada

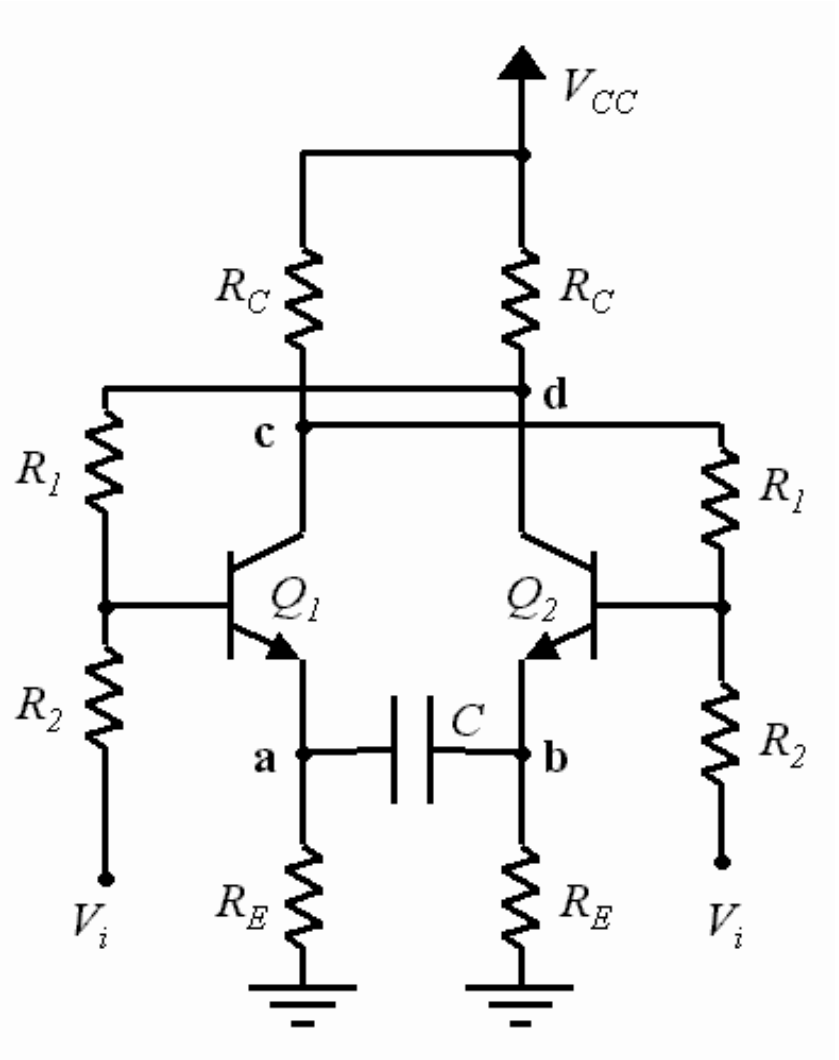
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

FUNCIONAMIENTO DEL OSCILADOR MULTIVIBRADOR

- Supongamos que inicialmente Q_1 en saturación y Q_2 en corte
- V_d es alta y V_c es baja
- El condensador C se carga, aumentando V_a y disminuyendo V_b
- Llega un momento en que V_b es tan baja, que Q_2 entra en activa, aumentando la corriente por Q_2, disminuyendo V_d y disminuyendo la corriente por Q_1
- Rápidamente Q_1 entra en corte y Q_2 en saturación, cargándose C con polaridad inversa a la anterior (disminuyendo V_a y aumentando V_b)
- Llega un momento en que V_a es tan baja que Q_1 entra en activa, etc...



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

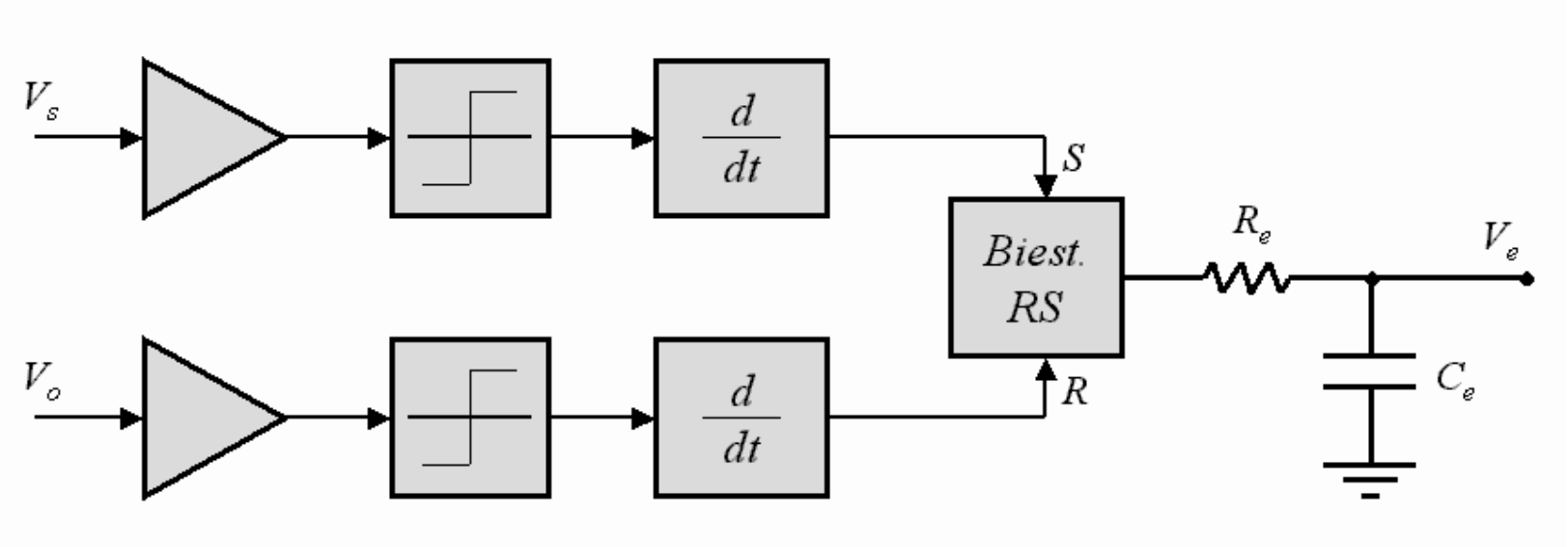
- El tiempo que tarda en conmutar C determina el periodo del oscilador. Éste depende de:
  - La capacidad C
  - Las resistencias R_c y R_e
  - La tensión de control V_i
- En los circuitos prácticos (en los PLLs integrados) se sustituyen algunas resistencias por fuentes de corriente constante (R_e, R_1)
- Usar fuente de corriente que sustituye a R_e hace que la corriente de carga del condensador sea constante: esto proporciona mayor linealidad con el voltaje de control
- La señal en el condensador es triangular
- La señal en los colectores es cuadrada

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.6.- EL DETECTOR DE FASE

DETECTOR DE FASE BASADO EN BIESTABLE RS

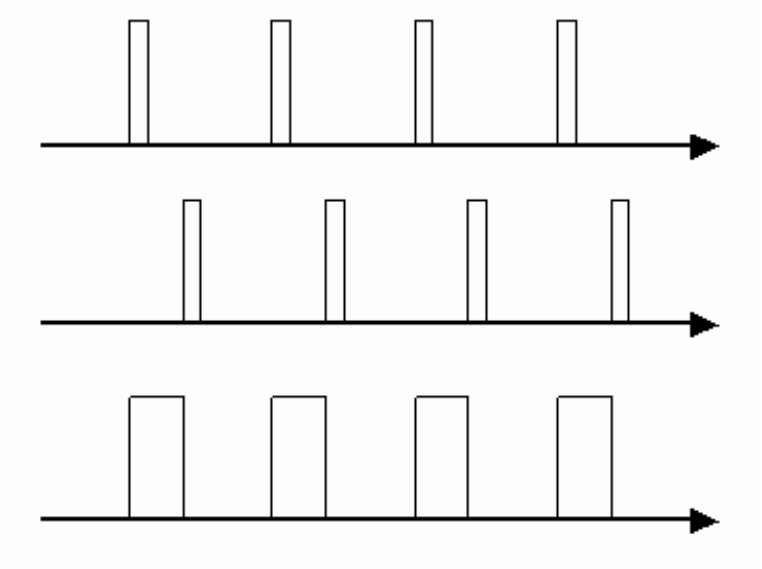


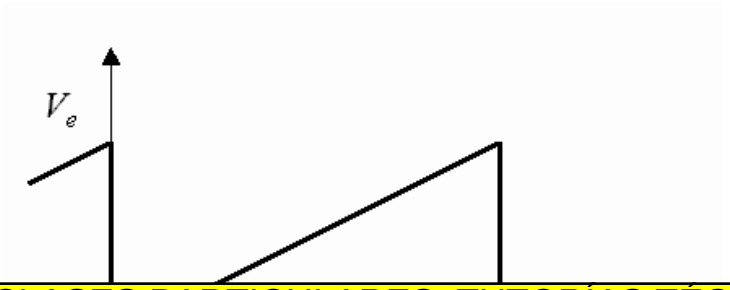
- El amplificador - limitador transforma las señales en ondas cuadradas
- El derivador produce pulsos en los flancos de la señal cuadrada
- Los pulsos positivos de V_s ponen el biestable a 1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- El intervalo de tiempo que el biestable está a 1 depende del desfase $\theta_s(t) - \theta_o(t) = \Delta\theta(t)$
- El filtro paso-baja promedia en el tiempo ($R_e C_e$)

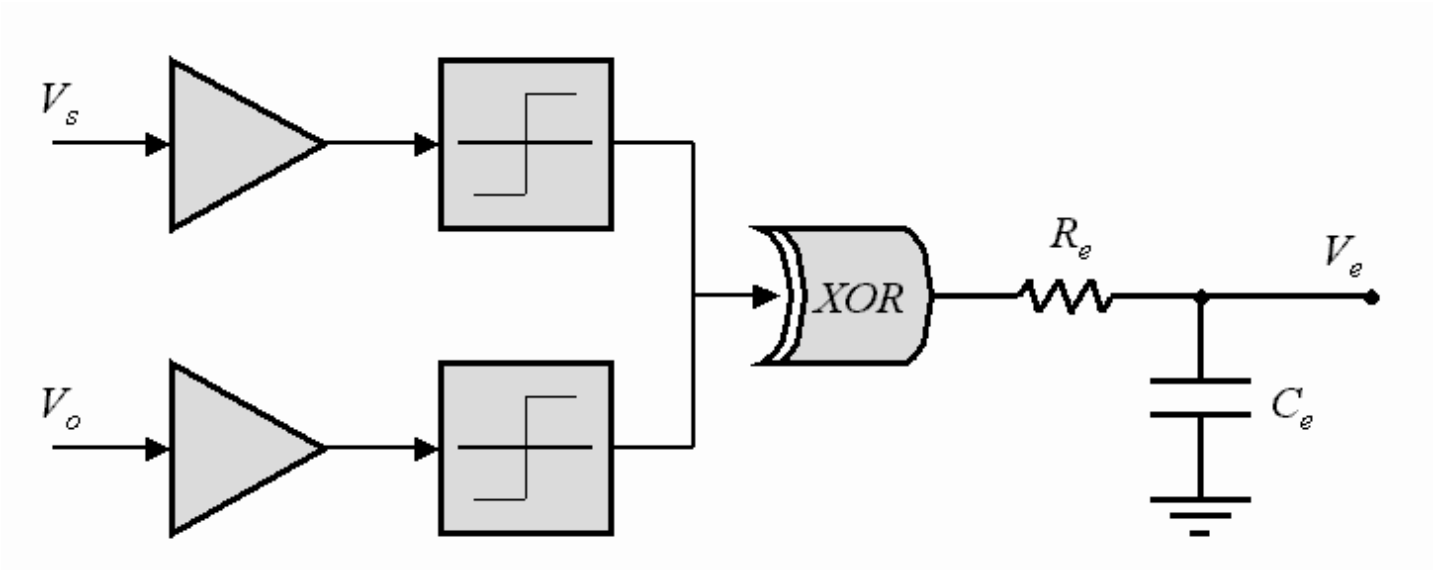


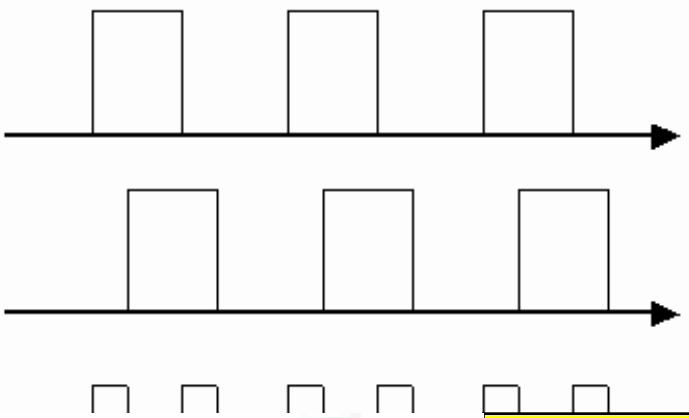


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

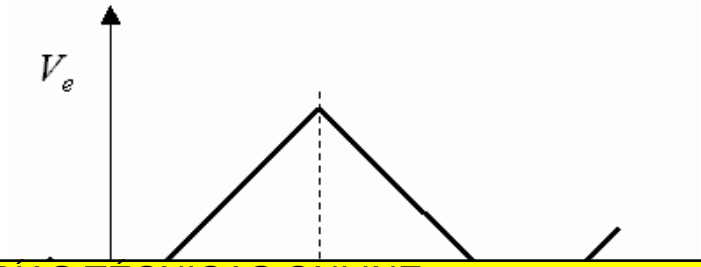
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

DETECTOR DE FASE BASADO EN PUERTA XOR





	XOR
00	0
01	1
10	1
11	0



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

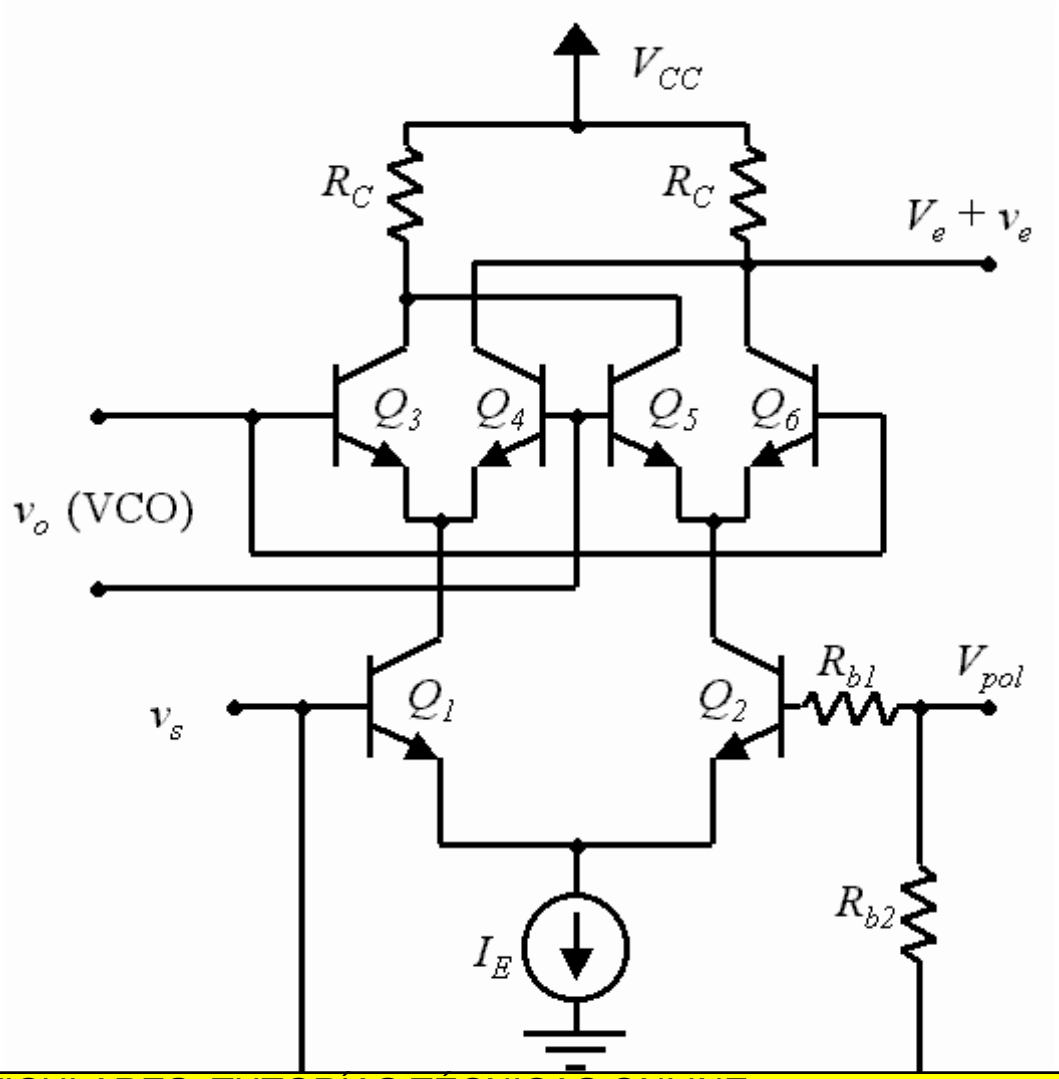
DETECTOR DE FASE BASADO EN MEZCLADOR ANALÓGICO

- El circuito se utiliza como:
  - Mezclador
  - Modulador balanceado
  - Multiplicador analógico
  - Detector de fase
- Corriente en Q_1 y Q_2:

$$I_{Q1} + I_{Q2} = I_e$$

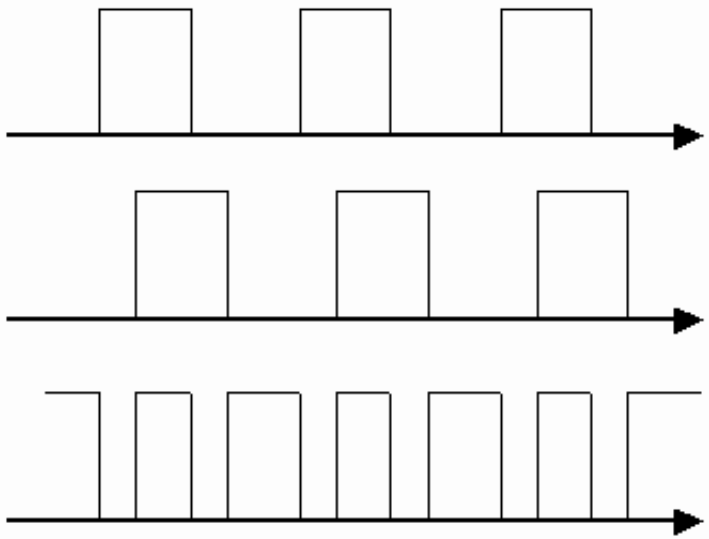
- Si v_s aumenta I_{Q1} aumenta e I_{Q2} disminuye
- Si v_o y v_s son grandes, los transistores están en corte o en saturación

v_s	v_o	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	v_e
0	0	off	on	off	off	on	off	1
0	1	off	on	off	off	off	on	0
1	0	on	off	off	on	off	off	0
1	1	on	off	on	off	off	off	1

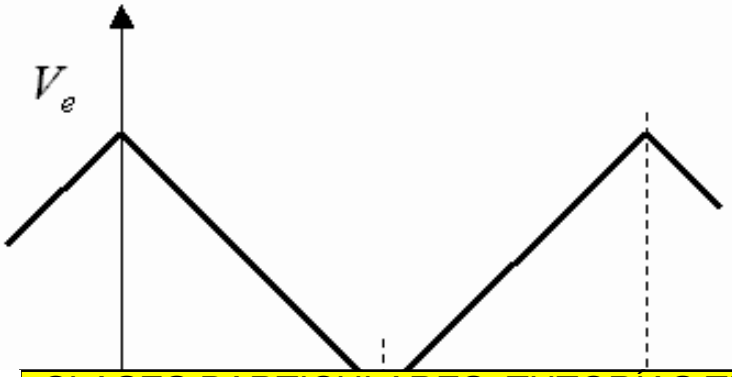


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



v_s	v_o	v_e
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

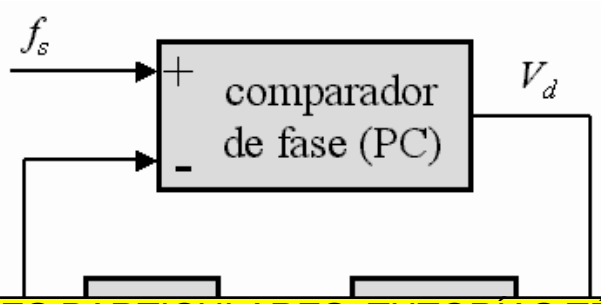
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.7.- APLICACIONES DE LOS PLLs

- Sintetizadores de frecuencia
- Detectores de FM o FSK
- Rastreo de frecuencia

SINTETIZADORES DE FRECUENCIA

- En v_s se pone un oscilador estable (a cuarzo)
- Se incluye un divisor de frecuencia (que introduce en el PLL una ganancia $K_n = 1/N$ programable (se puede seleccionar el valor de N)
- El VCO oscila a $f_O = N f_s$
- La señal que interesa es la salida del VCO

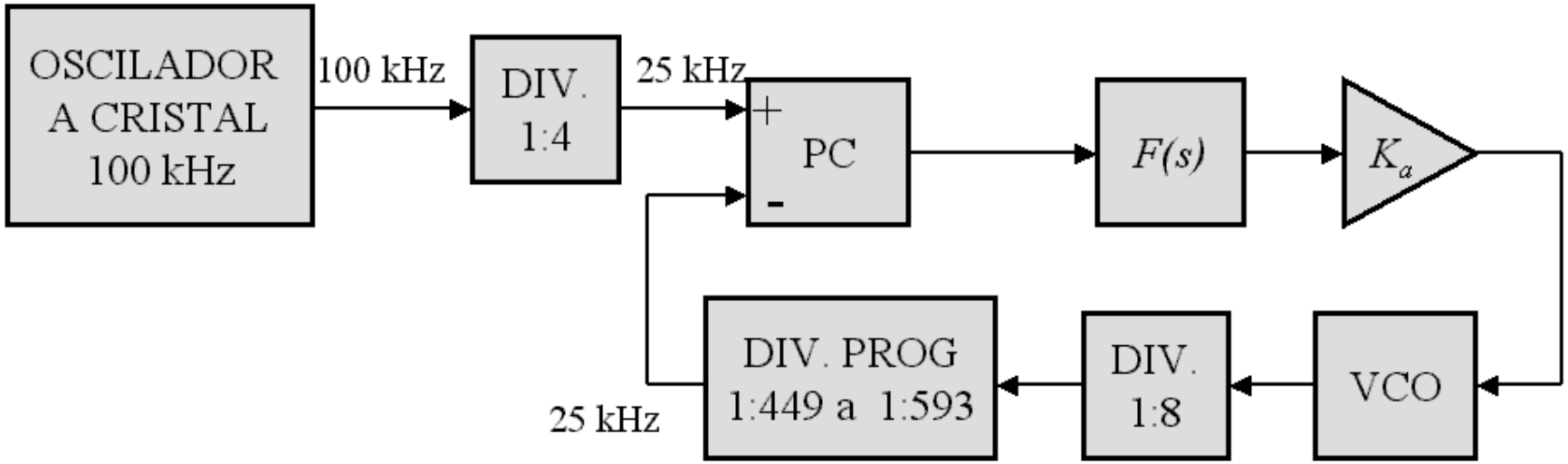


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Sintonizador de FM comercial

- Canales de FM entre 88.1 MHz y 117.9 MHz en intervalos de 200 kHz
- Frecuencia intermedia 1.7 MHz
- Frecuencia del oscilador local: de 89.8 MHz a 118.6 MHz
- Oscilador de alta frecuencia
- Divisor en dos etapas: preescalador de frecuencia (contador fijo, rápido, lógica ECL) y contador programable (más lento, programable)

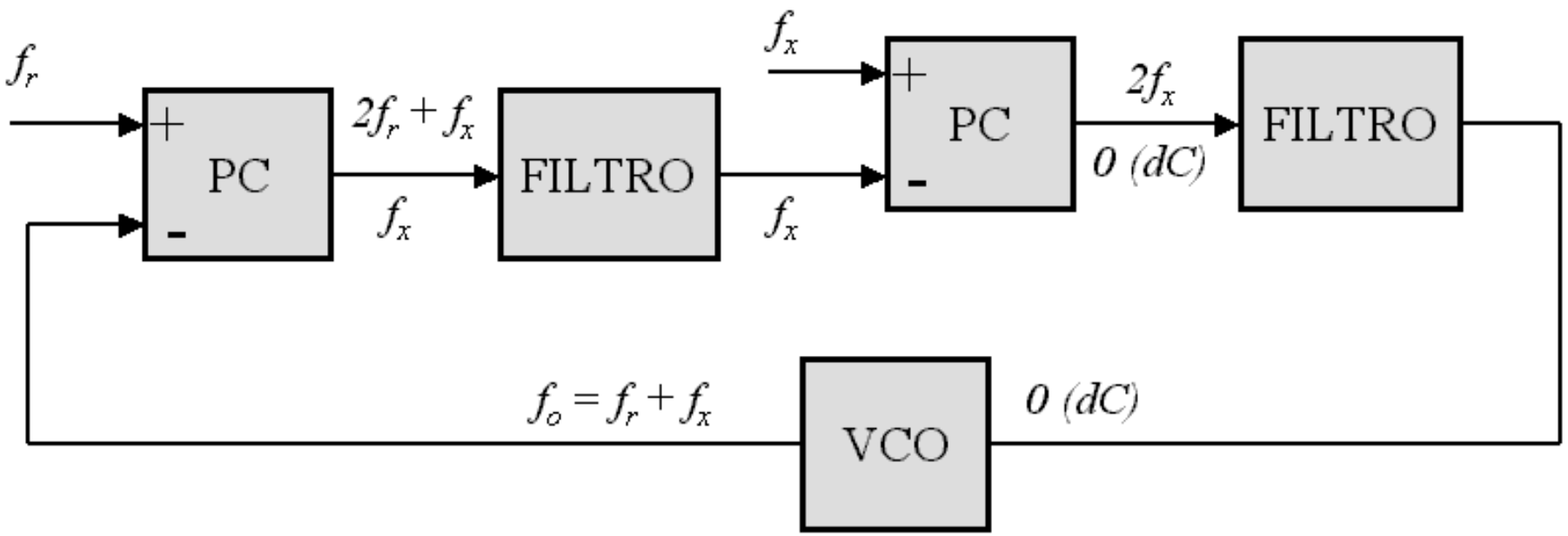


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Bucle de compensación de frecuencia

- Incluyendo un segundo comparador de fase y un filtro se pueden usar dos señales de frecuencias f_r y f_x para obtener en el VCO una frecuencia $f_o = f_r + f_x$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

DETECTORES DE FM Y FSK

- El PLL proporciona en la entrada del VCO una señal proporcional a $f_s(t) - f_f$
- El PLL demodula directamente señales FM y FSK

RASTREO DE FRECUENCIA

- El VCO sigue la frecuencia de la señal de entrada
- Permite obtener una referencia de la frecuencia de la señal de entrada
- Permite compensar derivas de frecuencia en señales de AM debidas a efecto Doppler o inestabilidad de la frecuencia de la portadora
- Útil para demodulación síncrona de señales de AM

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

6.8.- ESTUDIO DEL PLL COMERCIAL NE564

Características del PLL integrado NE564:

- Bloques: limitador; comparador de fase; VCO; pos-procesado
- Bloques no conectados internamente (versátil)
- Configuraciones y aplicaciones diversas

Aplicaciones:

- Demodulación FM/FSK
- Modulación FM/FSK
- Extracción de portadora en señales de AM
- Sintetizadores de frecuencia y generadores de señal

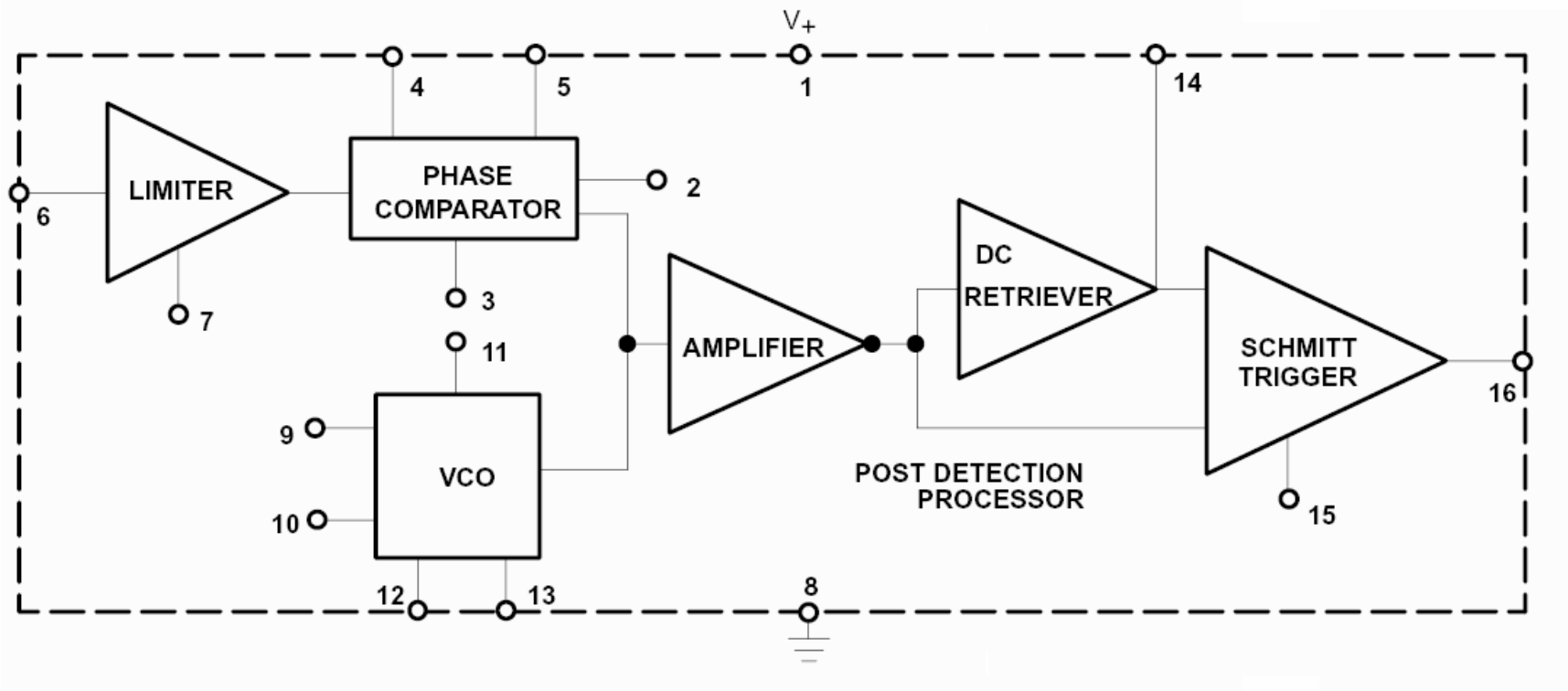
Características:

- Operación hasta 50 MHz
- Alimentación a 5V
- Salidas y entradas compatibles con TTL

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

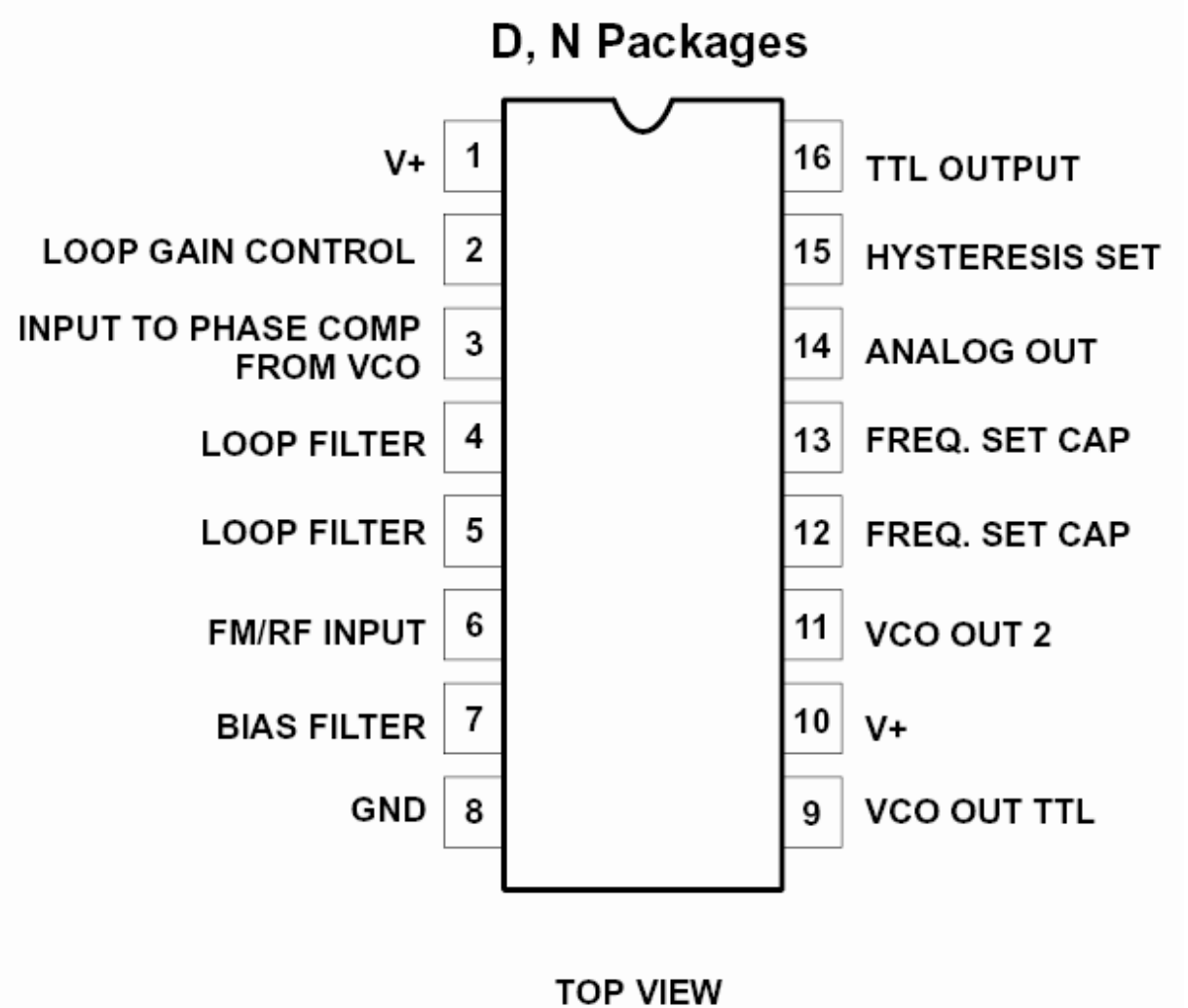
DIAGRAMA DE BLOQUES Y CONFIGURACIÓN DE PATILLAS



- 1: V+
- 2: Loop Gain Control
- 3: Input to PC from VCO
- 4: Loop filter
- 5: Loop filter
- 9: VCO out TTL (open col.)
- 10: V+
- 11: VCO out (2)
- 12: Freq. set Capacitor
- 13: Freq. set Capacitor

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

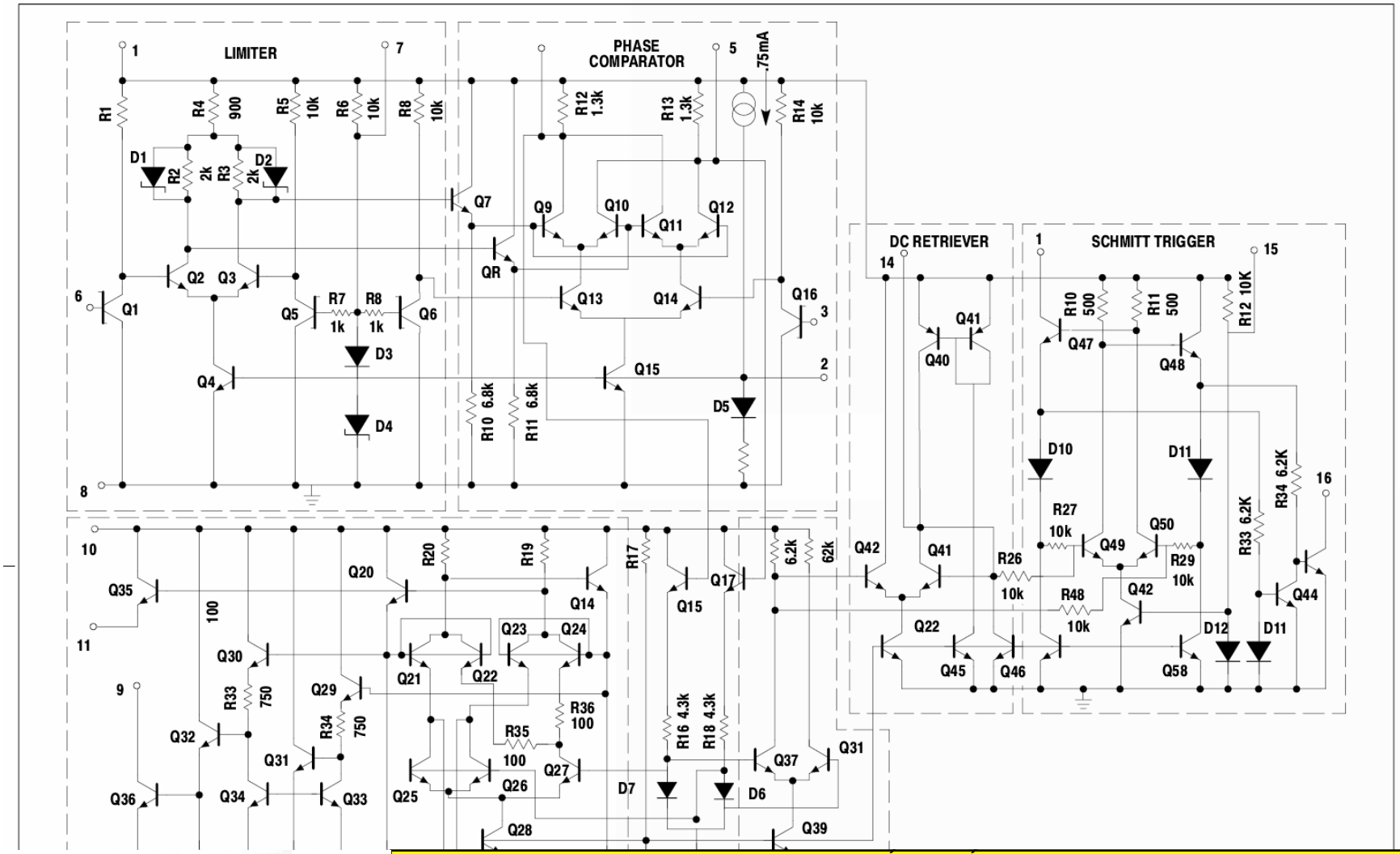
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

ESQUEMA DEL PLL



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

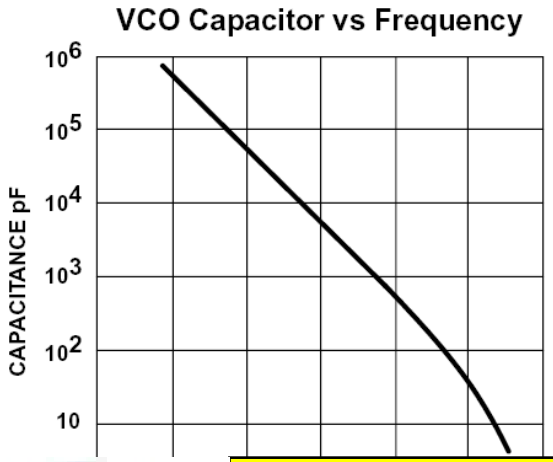
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

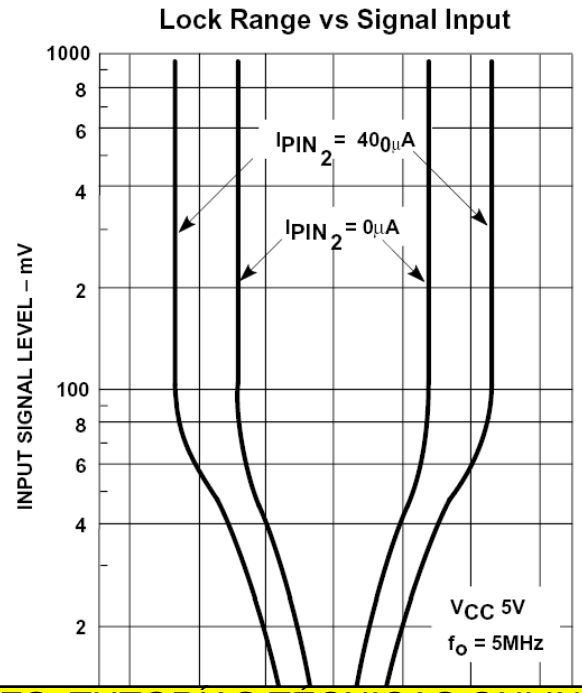
RANGOS DE FRECUENCIA

- Frecuencia de oscilación libre:

$$f_o \approx \frac{1}{22R_c(C_1 + C_s)}$$

  donde; $R_c \approx 100\Omega$; $C_s \approx 10$ pF
- Rango de bloqueo $\approx$ 70 % de f_o (V_i >200 mV rms)
- Rango de captura $\approx$ 30 % de f_o (V_i >200 mV rms)

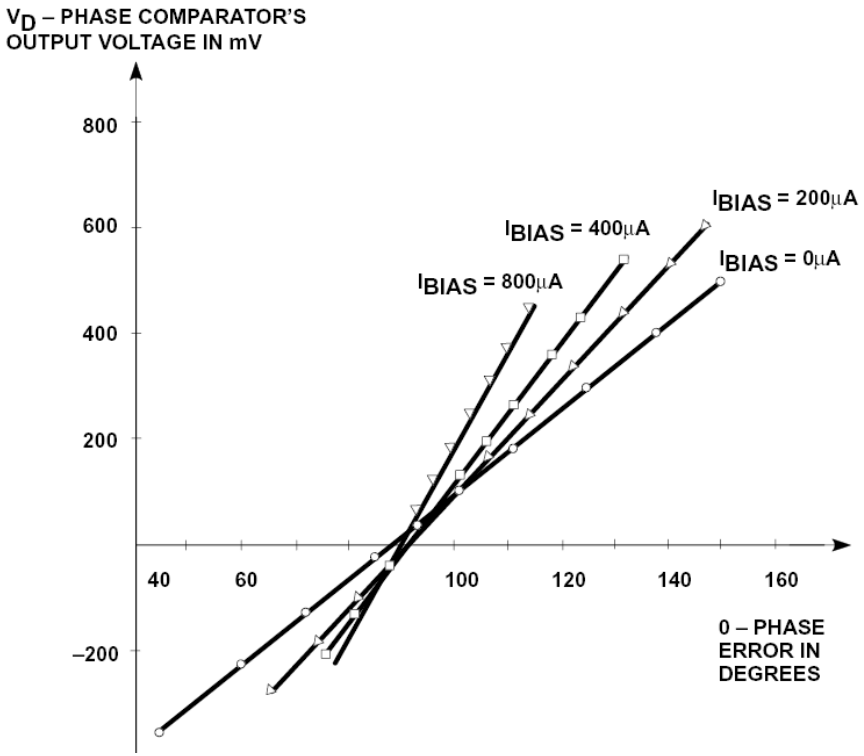


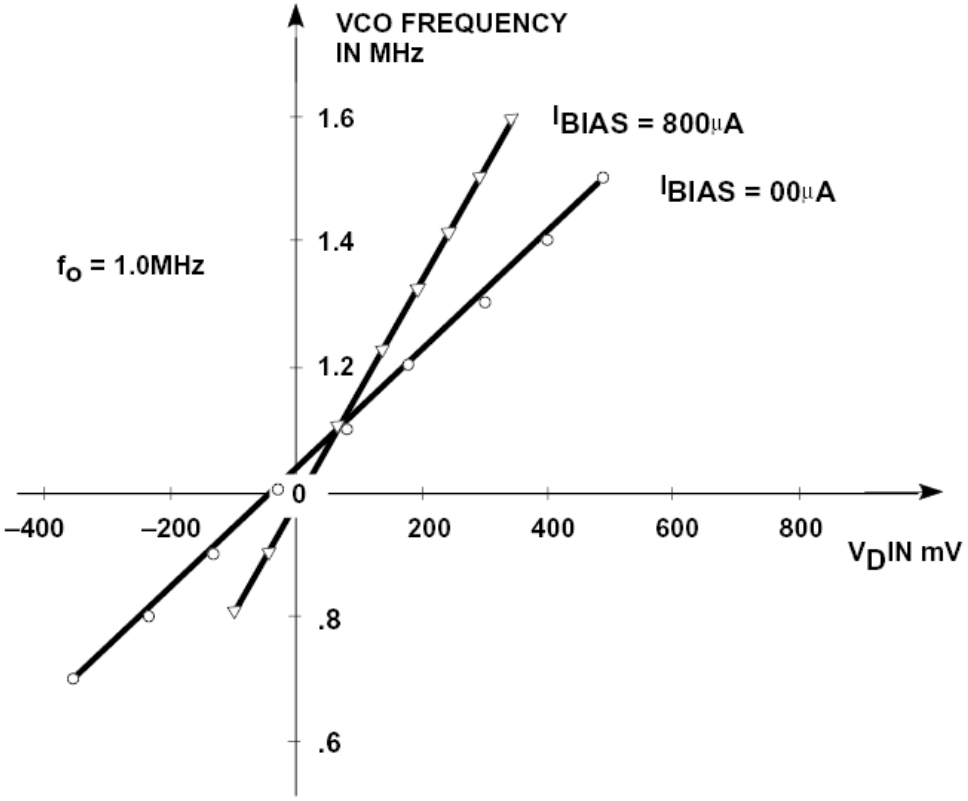


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

GANANCIA DEL PLL





CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

FILTRO PASO-BAJA

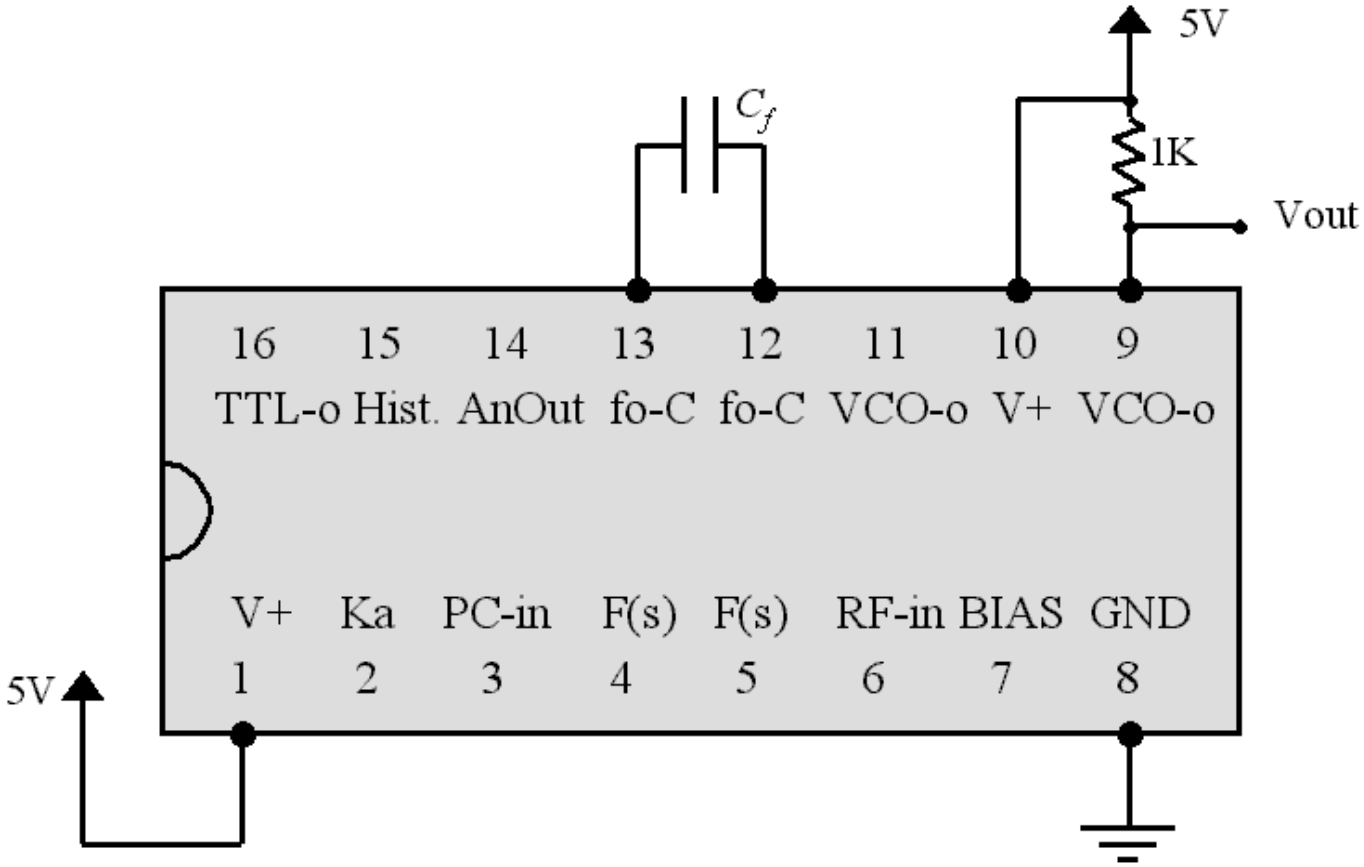
$$F(s) = \frac{1}{1 + sRC_3}$$

- C_3 se monta en patillas 4 y 5
- $R = 1{,}3$ kΩ (interna)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

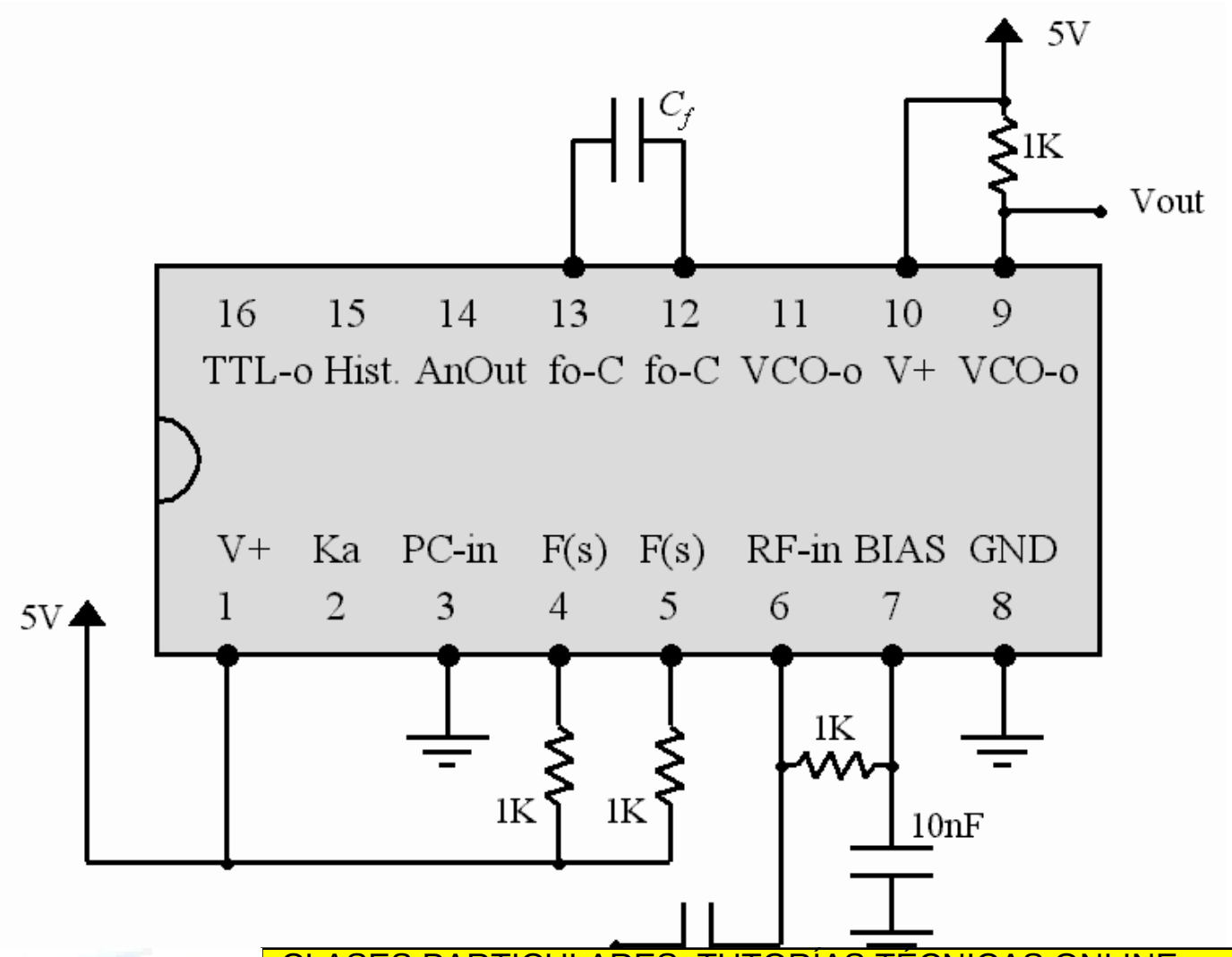
OSCILADOR



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

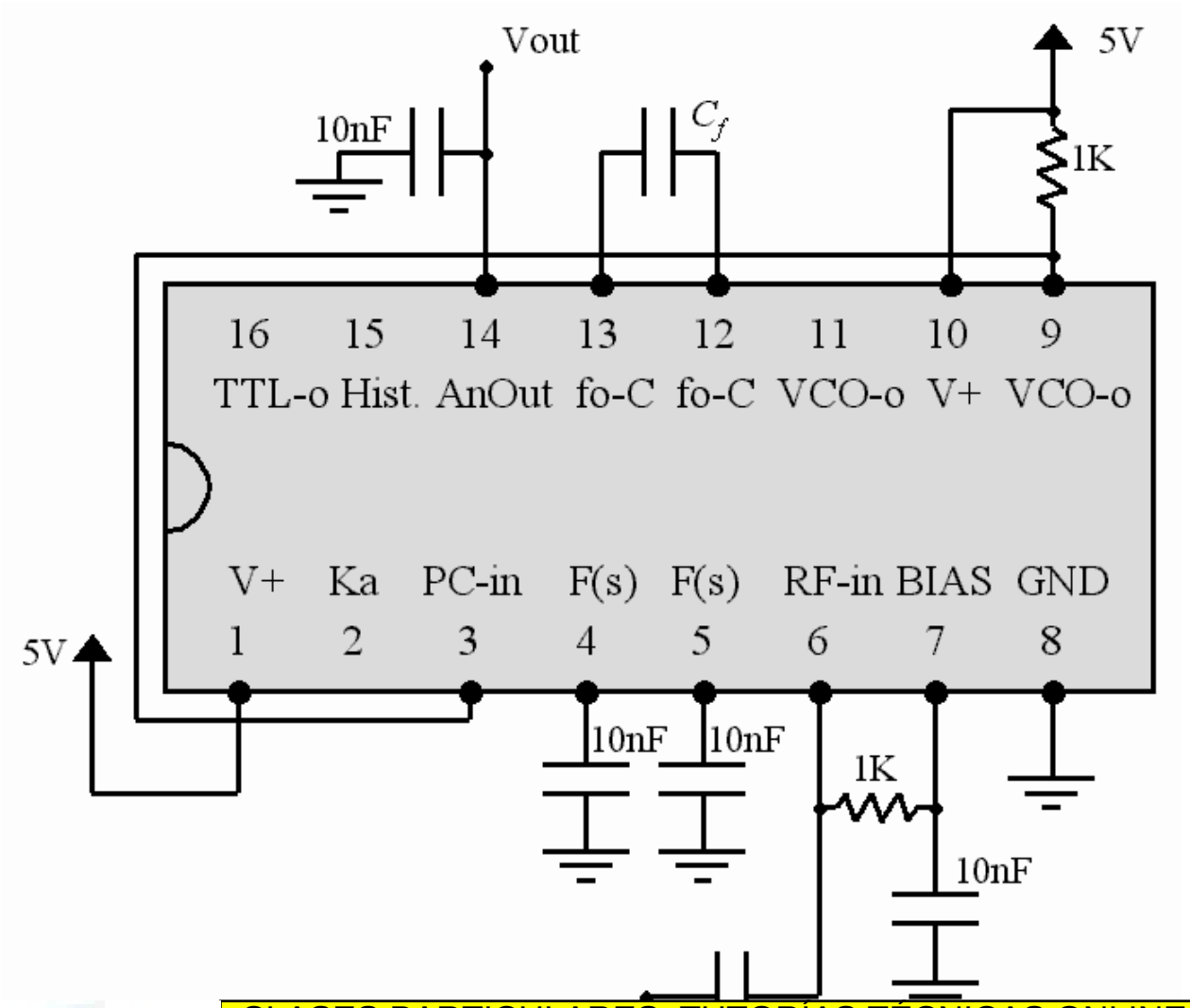
VCO: MODULADOR FM/FSK



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

PLL: DEMODULADOR FM/FSK



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

PRÁCTICA CON PLL NE564: MODULADOR

- Seleccionar una frecuencia de oscilación libre entre 100 kHz y 1 MHz.
- Configurar el NE564 como modulador
- Introducir una señal senoidal y una señal cuadrada de baja amplitud (se puede usar un divisor de tensión a la entrada), de frecuencia entre 20 y 200 kHz
- Observar la forma de onda resultante en la salida del VCO (patilla 9)
- Observar la forma de onda resultante en las patillas 12 y 13
- Determinar la ganancia del VCO

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

PRÁCTICA CON PLL NE564: DEMODULADOR

- Seleccionar una frecuencia de oscilación libre entre 100 kHz y 1 MHz.
- Configurar el NE564 como demodulador, cerrando el bucle mediante la conexión entre las patillas 9 y 3
- Introduciendo una señal a la entrada, y haciendo variar su frecuencia, determinar los rangos de captura y de bloqueo del PLL
- Introducir una señal FM o FSK, y observar la salida en la patilla 14

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Tema 7:

MEZCLADORES

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Tema 7: MEZCLADORES

7.1.- Introducción

7.2.- Dispositivos no lineales como mezcladores

7.3.- Mezclador de ley cuadrática

7.4.- Mezcladores de terminación única y mezcladores balanceados

7.5.- Parámetros característicos de un mezclador

7.6.- Mezcladores a diodo balanceados

7.7.- Diseño de mezcladores con transistores

7.8.- Respuestas espurias

7.9.- Multiplicador con par acoplado por emisor

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.1.- INTRODUCCIÓN

- Mezclador: circuito de dos entradas para producir a la salida una señal de frecuencia suma o resta de las de entrada

$$f_1 \qquad f_2 \qquad f_1 \pm f_2$$

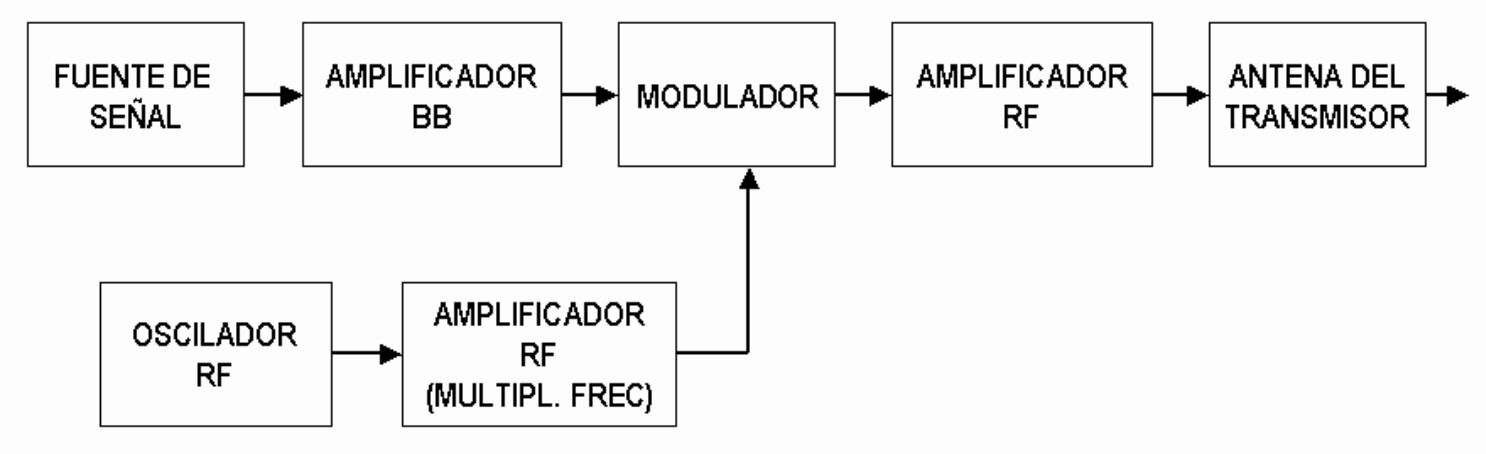
- Receptor superheterodino: mezclador para pasar de RF a IF (el mezclador también se denominaba “primer detector”):

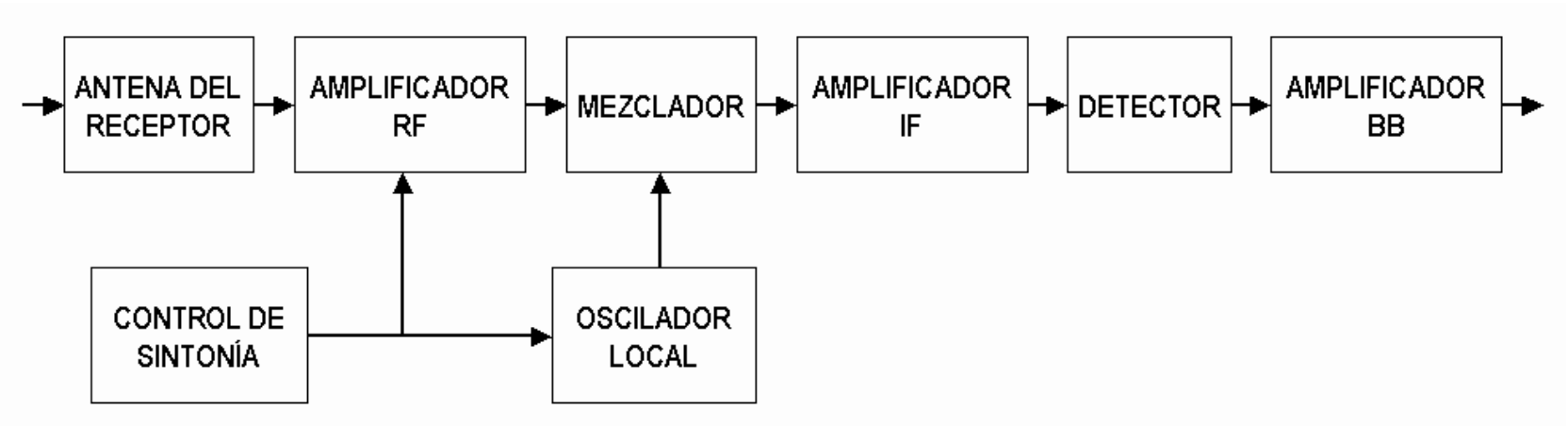
$$f_{RF} \qquad f_{LO} \qquad f_{IF} = f_{LO} - f_{RF}$$

- Uso del mezclador en radiocomunicación
  - Transmisor: se mezclan señal BB y LO para generar RF
  - Receptor superheterodino: se mezclan señal RF y LO para trasladar a IF
  - Detector de AM: se mezclan LO-IF y señal IF para proporcionar señal BB

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.





CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

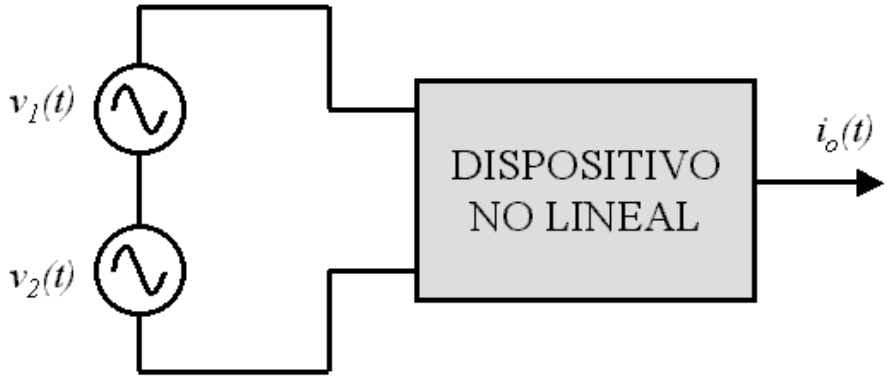
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Cualquier circuito no lineal se comporta como mezclador:
  - Diodo
  - JFET o MOSFET
  - BJT
  - Etapas fuera de rango lineal
  - Bobinas o transformadores saturables
  - Circuitos más complicados
- En este tema vamos a suponer mezcladores para receptor superheterodino (usando LO queremos pasar de RF a IF)
- Características de los mezcladores:
  - Ganancia (o pérdida): relación entre potencia en RF y en IF
  - Ruido
  - Estabilidad (criterios de Linvill y Stern aplicables a mezcladores)
  - Rango dinámico de entradas

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.2.- DISPOSIT. NO LINEALES COMO MEZCLADORES



- Si el dispositivo es lineal, la salida contiene únicamente f_1 y f_2

$$i_o(t) = av_i(t) = a(v_1(t) + v_2(t)) = aV_1 \cos(\omega_1 t) + aV_2 \cos(\omega_2 t)$$

- Si el dispositivo es no lineal, la salida puede expresarse mediante desarrollo en serie de Taylor:

$$i_o(t) = I_0 + av_i(t) + bv_i^2(t) + cv_i^3(t) + \ldots$$

- El término I_0 da lugar a una componente en DC
- El coeficiente a da lugar al término lineal, que contiene f_1 y f_2
- El coeficiente b da lugar al término cuadrático (productos de intermodulación de segundo orden) con componentes en DC, $2f_1$, $2f_2$ y $f_1 \pm f_2$
- El coeficiente c da lugar al término cúbico (productos de intermodulación de tercer orden) con compo-

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

RELACIONES TRIGONOMÉTRICAS

$$\cos(\alpha)\cos(\beta) = \left(\frac{e^{j\alpha}+e^{-j\alpha}}{2}\right)\left(\frac{e^{j\beta}+e^{-j\beta}}{2}\right) = \frac{1}{4}\left[e^{j(\alpha+\beta)}+e^{-j(\alpha+\beta)}+e^{j(\alpha-\beta)}+e^{-j(\alpha-\beta)}\right] =$$

$$\cos(\alpha)\cos(\beta) = \frac{1}{2}\left(\cos(\alpha+\beta)+\cos(\alpha-\beta)\right) \qquad \cos^2(\alpha) = \frac{1}{2}(1+\cos(2\alpha))$$

$$\cos(\alpha)\cos^2(\beta) = \cos(\alpha)\frac{1}{2}(1+\cos(2\beta)) = \frac{1}{2}\cos(\alpha)+\frac{1}{4}\cos(2\beta-\alpha)+\frac{1}{4}\cos(2\beta+\alpha)$$

$$\cos^3(\alpha) = \frac{3}{4}\cos(\alpha)+\frac{1}{4}\cos(3\alpha)$$

ANÁLISIS DEL TÉRMINO CUADRÁTICO

$$v_i^2(t) = (V_1\cos(\omega_1 t)+V_2\cos(\omega_2 t))^2 =$$

$$= V_1^2\cos^2(\omega_1 t)+V_2^2\cos^2(\omega_2 t)+2V_1V_2\cos(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t) =$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

ANÁLISIS DEL TÉRMINO CÚBICO

$$v_i^3(t) = (V_1\cos(\omega_1 t) + V_2\cos(\omega_2 t))^3 =$$

$$= V_1^3\cos^3(\omega_1 t) + V_2^3\cos^3(\omega_2 t) + 3V_1^2V_2\cos^2(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t) + 3V_1V_2^2\cos(\omega_1 t)\cos^2(\omega_2 t) =$$

$$= \frac{3}{4}V_1^3\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{4}V_1^3\cos(3\omega_1 t) + \frac{3}{4}V_2^3\cos(\omega_2 t) + \frac{1}{4}V_2^3\cos(3\omega_2 t) +$$

$$+\frac{3}{2}V_1^2V_2\cos(\omega_2 t) + \frac{3}{4}V_1^2V_2\cos((2\omega_1+\omega_2)t) + \frac{3}{4}V_1^2V_2\cos((2\omega_1-\omega_2)t) +$$

$$+\frac{3}{2}V_1V_2^2\cos(\omega_1 t) + \frac{3}{4}V_1V_2^2\cos((2\omega_2+\omega_1)t) + \frac{3}{4}V_1V_2^2\cos((2\omega_2-\omega_1)t)$$

RESUMEN

	componentes
Término lineal	f_1; f_2
Término cuadrático	DC; $2f_1$; $2f_2$; $(f_1 \pm f_2)$
Término cúbico	f_1; f_2; $3f_1$; $3f_2$; $(2f_1 \pm f_2)$; $(2f_2 \pm f_1)$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.3.- MEZCLADOR DE LEY CUADRÁTICA

- Supongamos que el dispositivo no lineal incluye únicamente términos lineal y cuadrático:

$$i_o(t) = av_i(t) + bv_i^2(t)$$

- Haciendo uso de los desarrollos anteriores, queda:

$$i_o(t) = aV_1\cos(\omega_1 t) + aV_2\cos(\omega_2 t) + \frac{b}{2}V_1^2 + \frac{b}{2}V_2^2 +$$

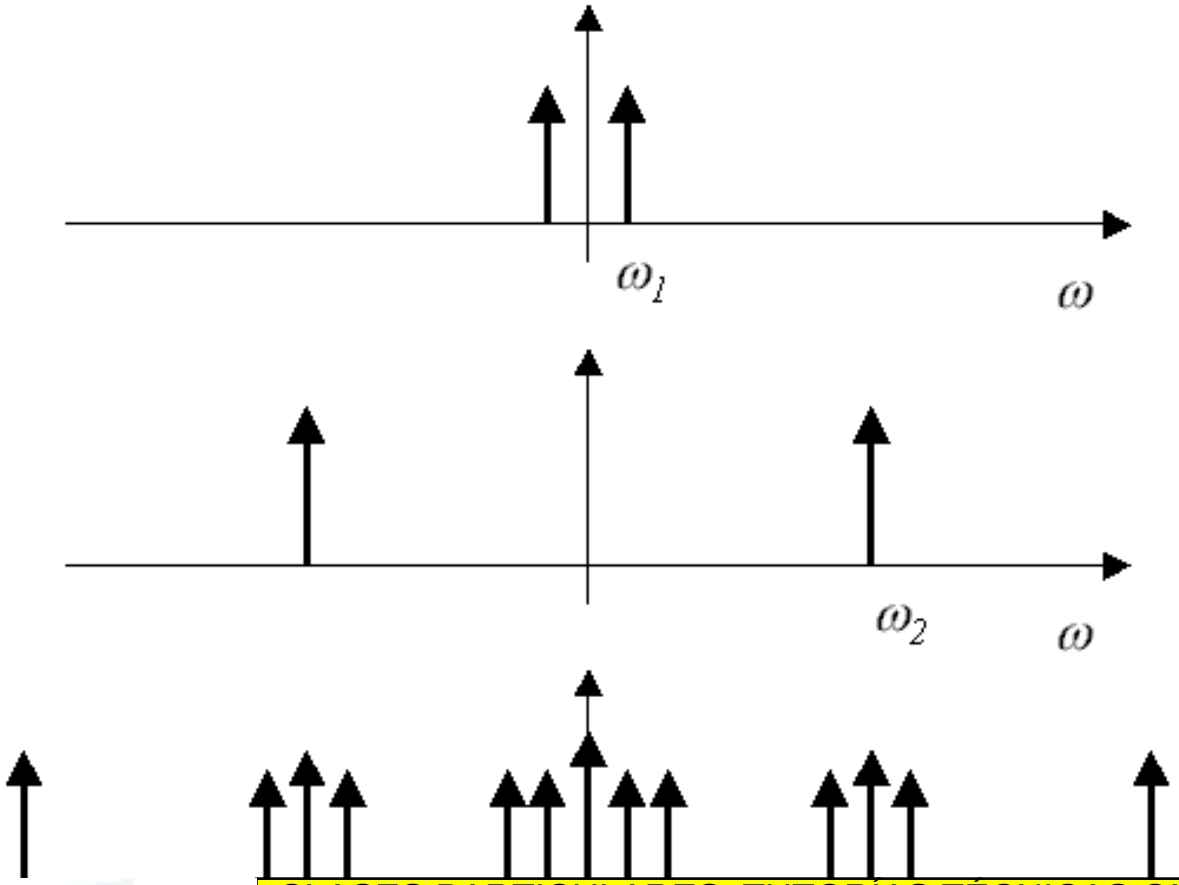
$$+\frac{b}{2}V_1^2\cos(2\omega_1 t) + \frac{b}{2}V_2^2\cos(2\omega_2 t) + bV_1V_2\cos((\omega_1+\omega_2)t) + bV_1V_2\cos((\omega_1-\omega_2)t)$$

- Componentes en: DC; ω_1; ω_2; $2\omega_1$; $2\omega_2$; $(\omega_1 \pm \omega_2)$
- Supongamos que vamos a utilizar el mezclador para modular
- Una señal (la modulante) es de frecuencia baja (ω_1)
- La otra señal (la portadora) es de frecuencia alta (ω_2)
- Aparecen muchas componentes de frecuencia, de las cuales sólo interesan ($\omega_2 \pm \omega_1$)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

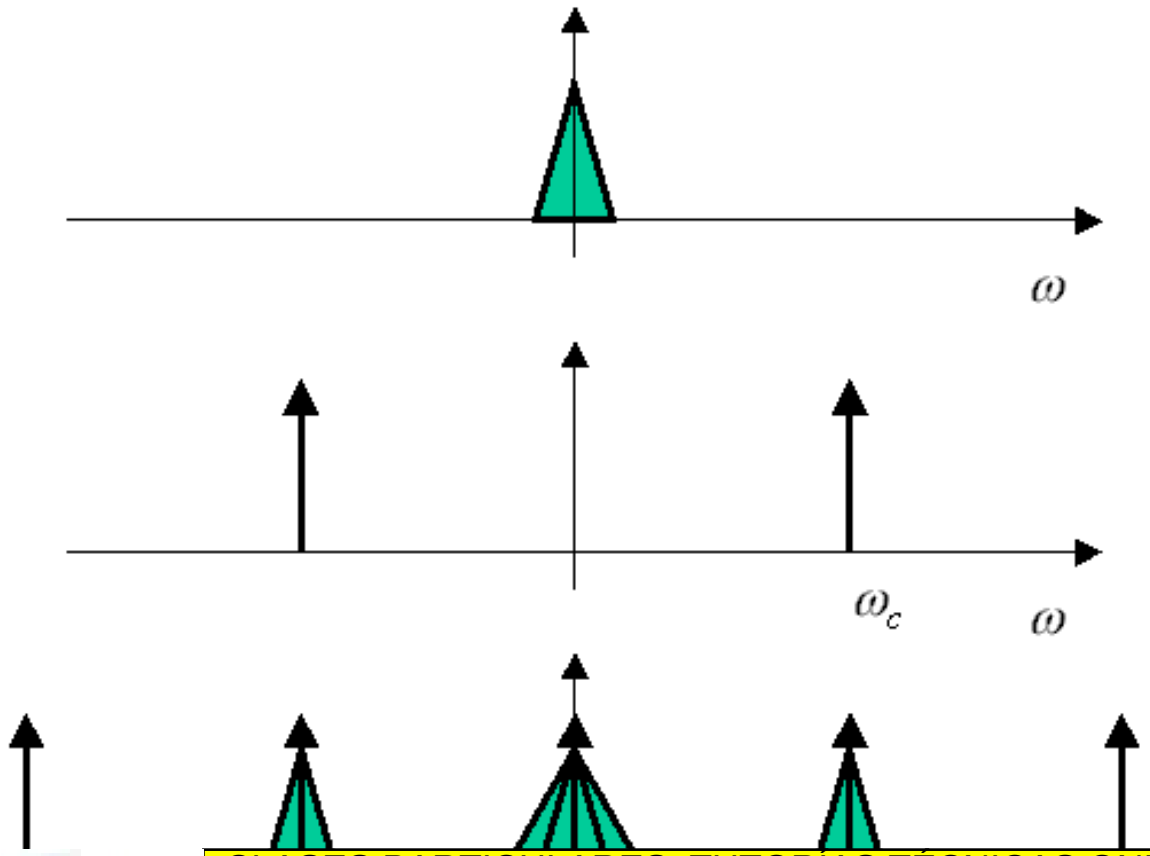
- Componentes en: DC; ω_1; ω_2; $2\omega_1$; $2\omega_2$; $(\omega_1 \pm \omega_2)$
- Si la modulante es senoidal:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

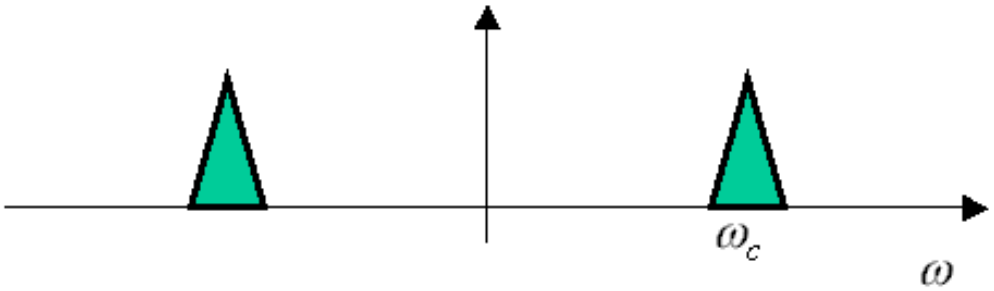
- Componentes en: DC; ω_1; ω_2; $2\omega_1$; $2\omega_2$; $(\omega_1 \pm \omega_2)$
- Si la modulante no es senoidal:

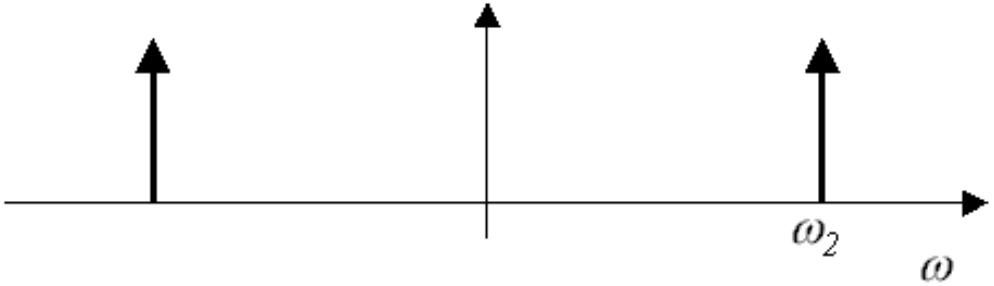


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Componentes en: DC; ω_1; ω_2; $2\omega_1$; $2\omega_2$; $(\omega_1 \pm \omega_2)$
- Si usamos el mezclador para pasar a IF:





CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Es necesario eliminar las componentes de frecuencia no deseadas
- La situación se complica aun más si tenemos en cuenta:
  - Términos de orden superior en el mezclador (productos de intermodulación de 3er orden, 4 orden, etc.)
  - Oscilador local no senoidal (serie de armónicos)
  - Distintos canales

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.3.- MEZCLADORES DE TERMINACIÓN ÚNICA Y MEZCLADORES BALANCEADOS

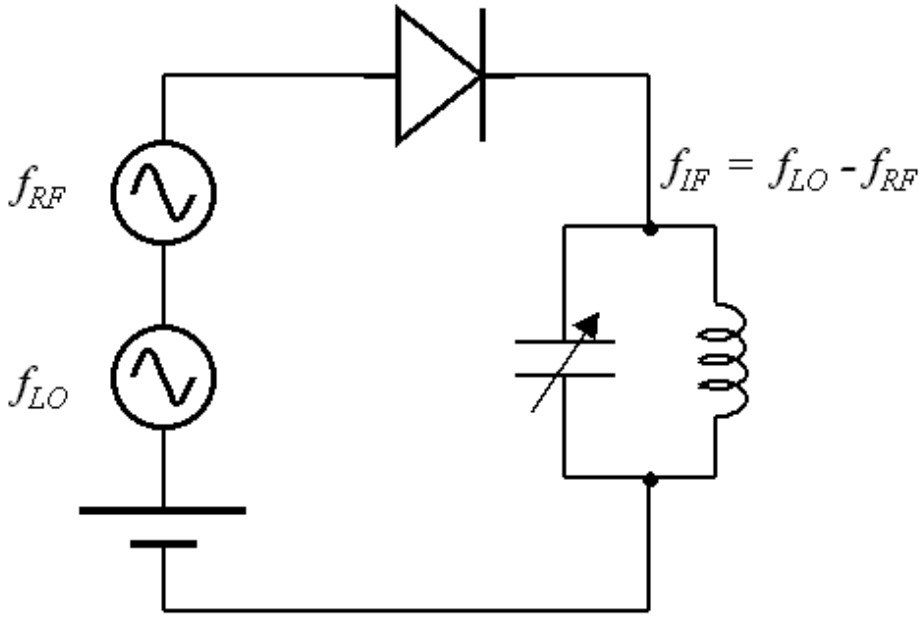
MEZCLADORES DE TERMINACIÓN ÚNICA

- Son circuitos con un único elemento no lineal (activo o pasivo)
- El aislamiento que proporcionan es pobre: la componente de cada puerto (f_1 y f_2 en los puertos de entrada; $(f_1 \pm f_2)$ en el de salida) aparecen en los otros puertos

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MEZCLADOR A DIODO ÚNICO



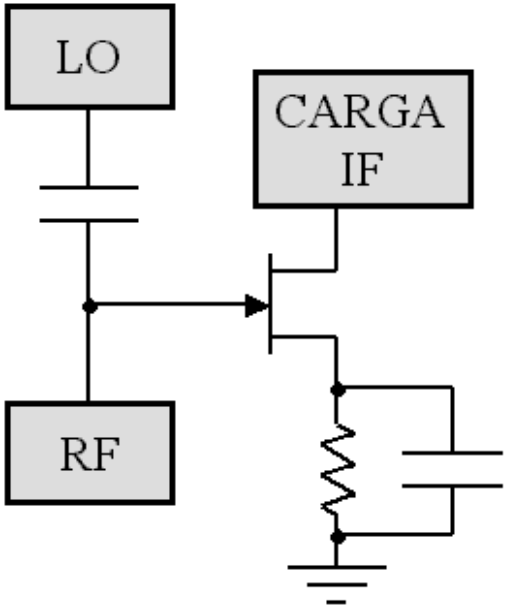
Características:

- Cifra de ruido alta
- Pérdida por conversión (no ganancia): $P_{IF} < P_{RF}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MEZCLADOR FET DE TERMINACIÓN ÚNICA



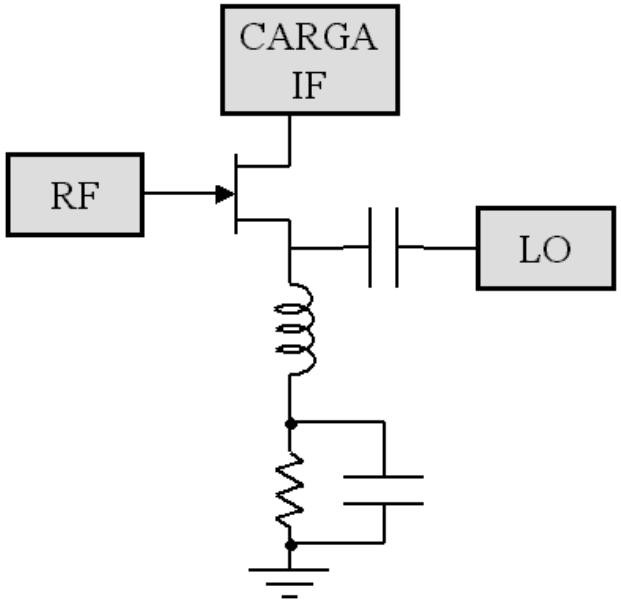
Características:

- Cifra de ruido menor
- Ganancia de conversión
- Característica de transferencia cuadrática
- No hay aislamiento entre LO y RF

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MEZCLADOR FET CON INYECCIÓN DE LO EN FUENTE



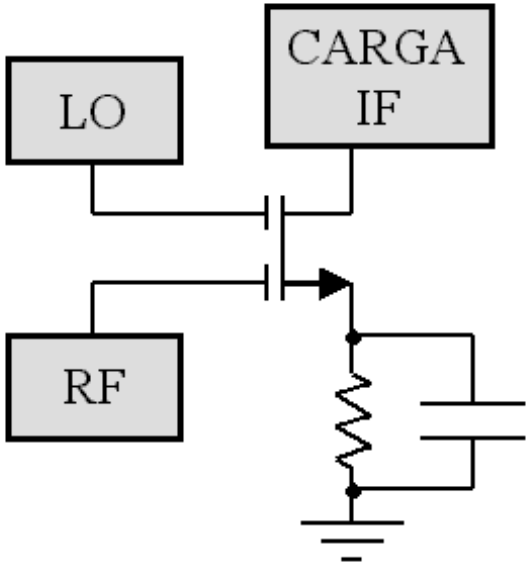
Características:

- Cifra de ruido baja
- Ganancia de conversión
- Requiere mayor potencia de LO

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MEZCLADOR A MOSFET DE DOBLE PUERTA



Características:

- Mejor aislamiento que JFET
- Menor ganancia que JFET

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MEZCLADORES NO BALANCEADOS / BALANCEADOS

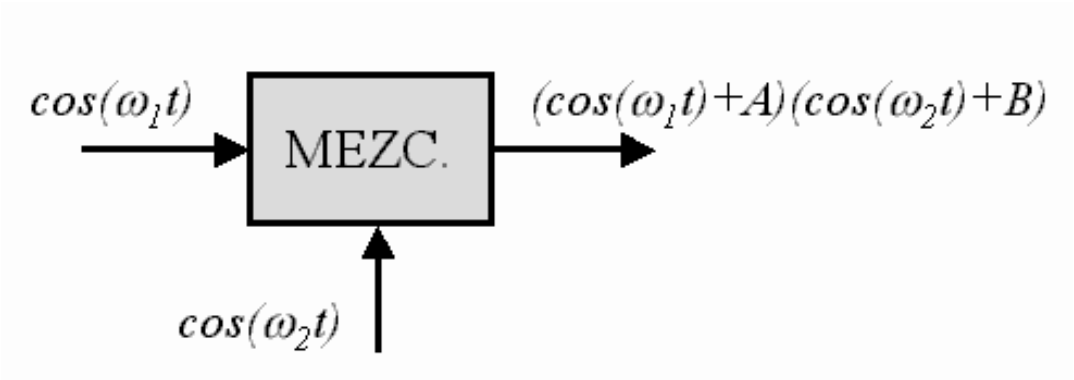
- En un multiplicador, además de las componentes de entrada (ω_1 y ω_2) aparecen componentes DC debido a la polarización:

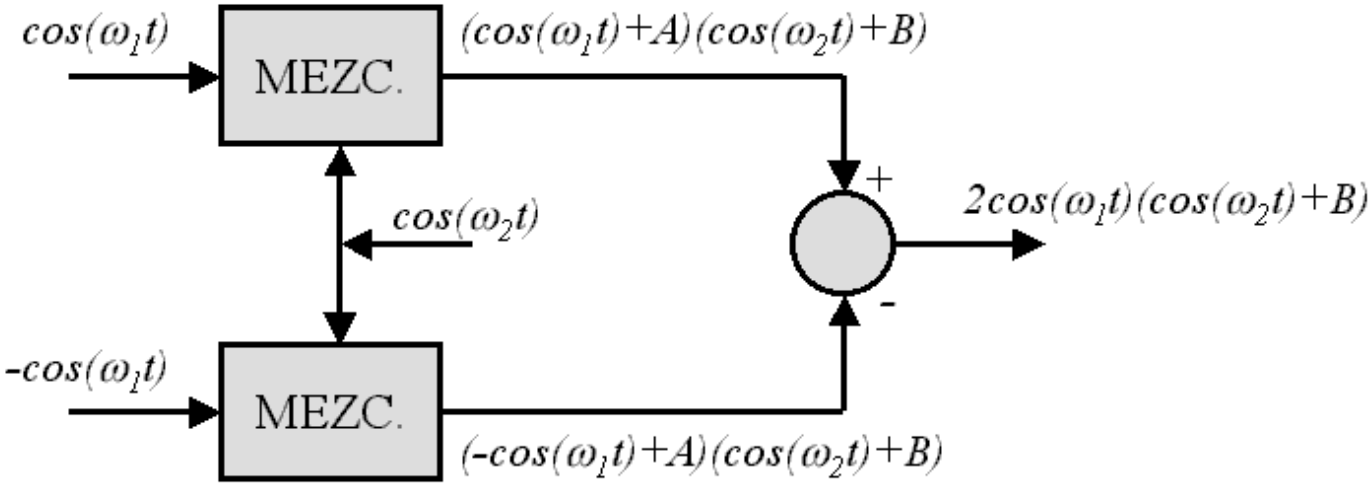
$$(\cos(\omega_1 t) + A)(\cos(\omega_2 t) + B) = AB + B\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t) + \cos(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t)$$

- Los mezcladores balanceados evitan este problema en uno de los puertos de entrada
- Los mezcladores doblemente balanceados evitan este problema en ambos puertos de entrada

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

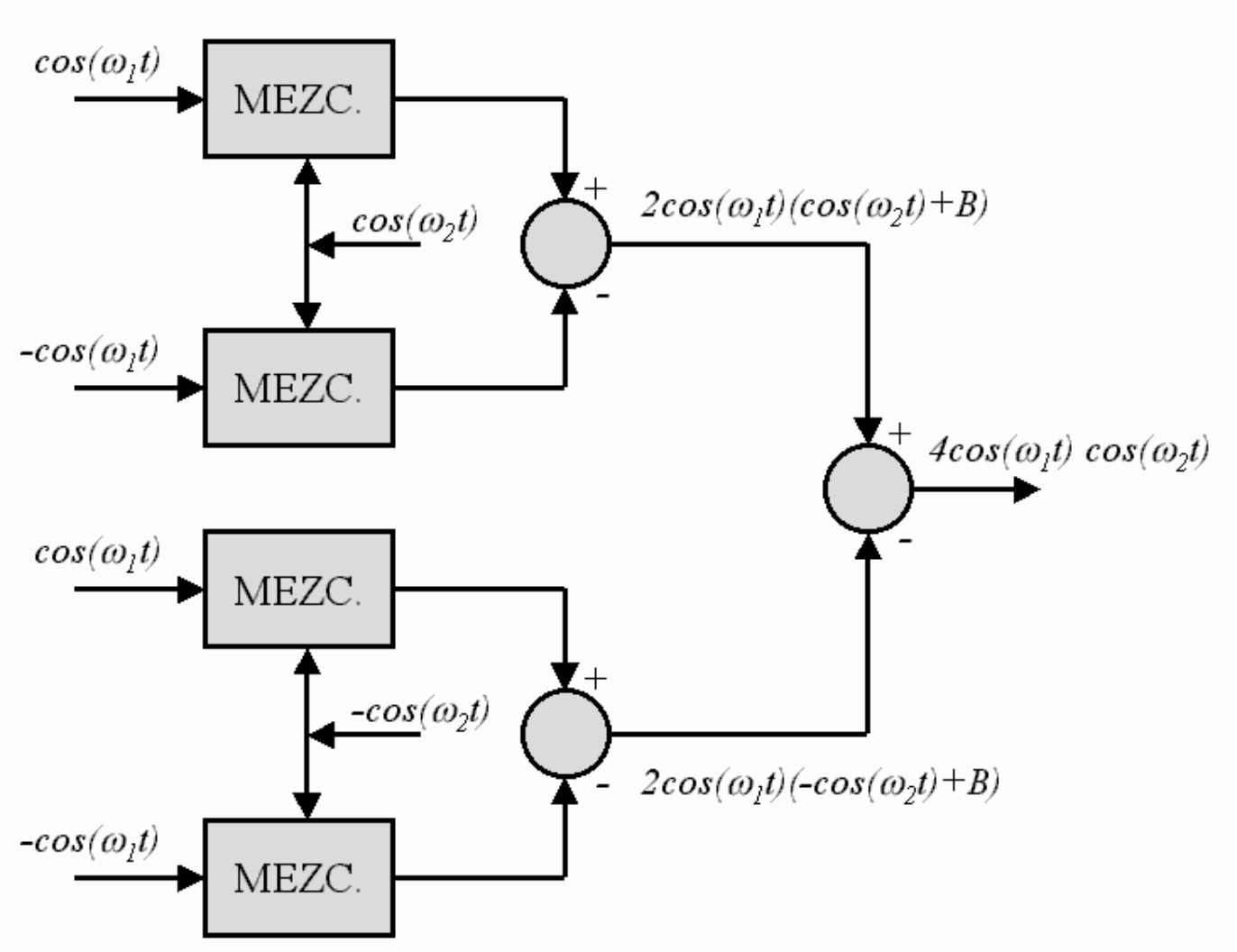
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.





CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

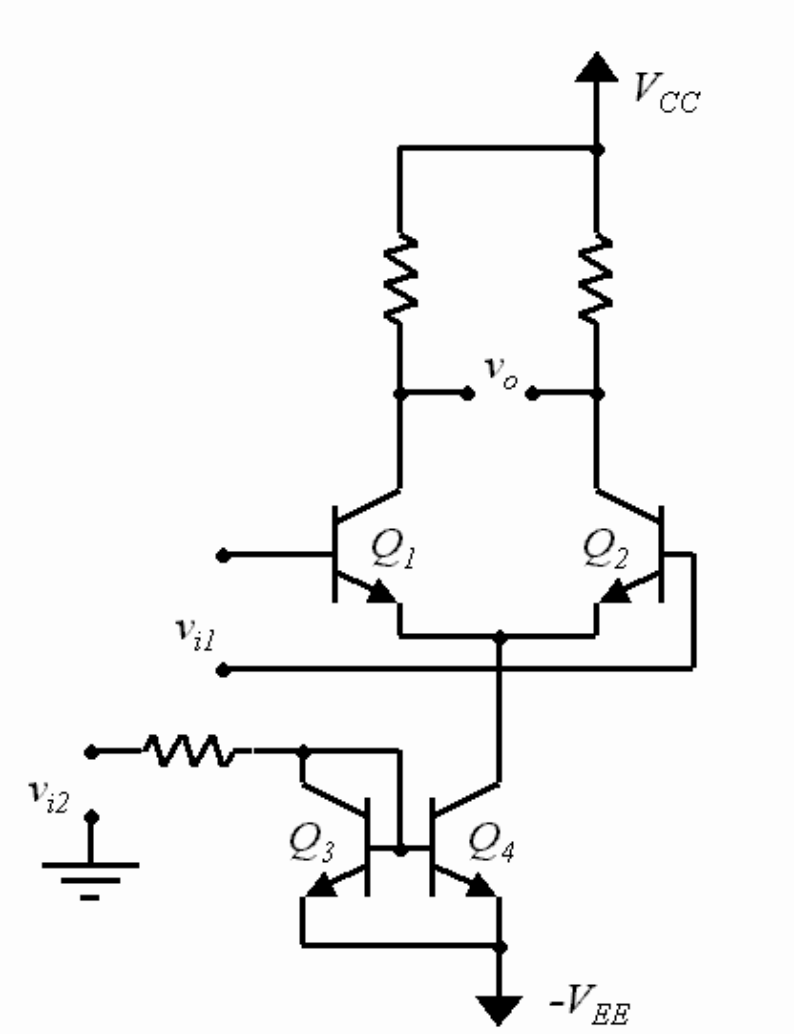
MEZCLADORES BALANCEADOS

- Un mezclador balanceado utiliza dos (o más) dispositivos activos, bien en el puerto RF o en el puerto LO
- La señal es presentada en los dispositivos activos en modo diferencial
- Esto elimina la componente de frecuencia ω_1 y sus armónicos impares ($3\omega_1$, $5\omega_1$, ...) en el puerto de IF
- Ejemplo: mezclador balanceado con par acoplado por emisor

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Mezclador balanceado con par acoplado por emisor



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

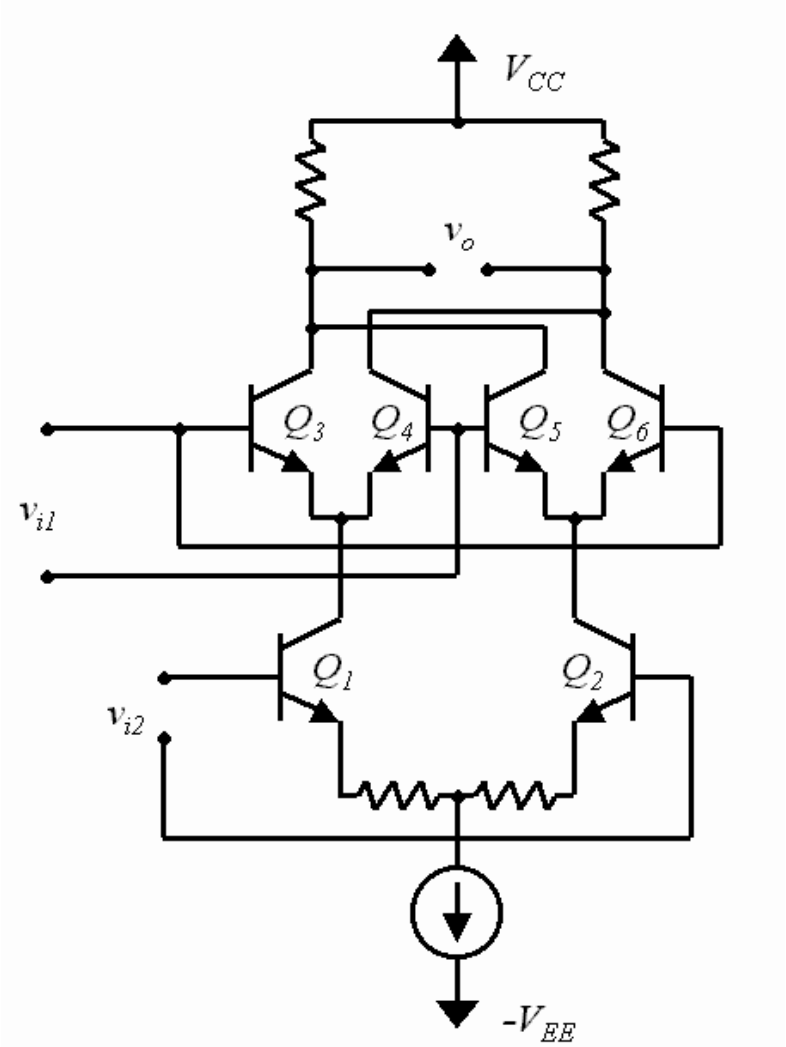
MEZCLADORES DOBLEMENTE BALANCEADOS

- Utiliza circuitos aun más complicados
- Entradas en modo diferencial en ambos puertos de entrada (RF e IF)
- Se evita que aparezcan las señales (y sus armónicos) de cada puerto en los otros dos puertos
- Para un cierto rango de amplitudes se comportan como multiplicadores analógicos
- Ejemplo: multiplicador de 4 cuadrantes (o célula de Gilbert)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Multiplicador de 4 cuadrantes

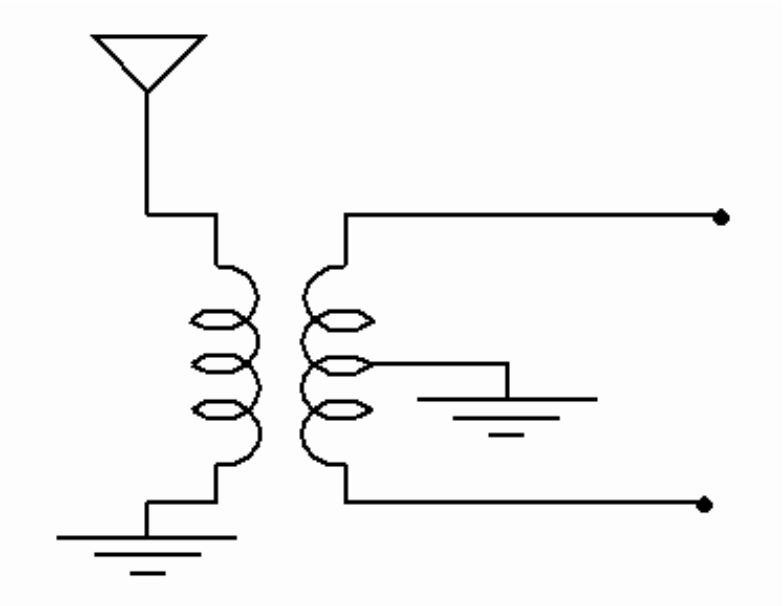


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

ENTRADAS EN MODO BALANCEADO

- Los mezcladores balanceados requieren entradas y salidas en modo diferencial
- Usualmente requieren transformadores balanceados a la entrada y la salida



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.5.- PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN MEZCLADOR

- Ganancia de conversión: relación entre potencia en puerto IF y puerto RF (puede ser ganancia o pérdida de conversión):

$$\frac{P_{IF}}{P_{RF}}$$

- Cifra de ruido: SNR en puerto de entrada (RF) dividida entre SNR en puerto de salida (IF):

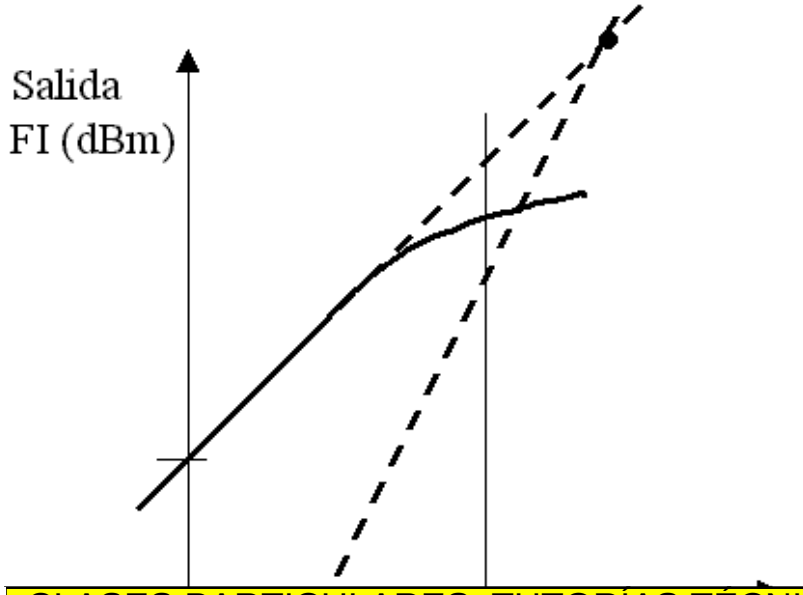
$$\frac{\text{SNR}_{RF}}{\text{SNR}_{IF}} = \frac{P_{RF}/N_{RF}}{P_{IF}/N_{IF}}$$

- Aislamiento: evalúa el paso de señal entre puertos del mezclador. Por ejemplo: el aislamiento del puerto RF en f_{LO} es la atenuación de la componente f_{LO} entre el puerto LO y el puerto RF

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Compresión de conversión: desviación de linealidad en la ganancia de conversión.
- Nivel de compresión de conversión: nivel de entrada (en dBm) para el que la ganancia se reduce en 3 dB con respecto al comportamiento lineal
- Rango dinámico: rango de nivel de entrada entre el límite dado por la cifra de ruido y el nivel de compresión
- Distorsión de intermodulación: potencia de señales no deseadas generadas en el mezclador
- Punto de intersección: punto donde cortan las líneas correspondientes a componentes deseadas y no deseadas



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

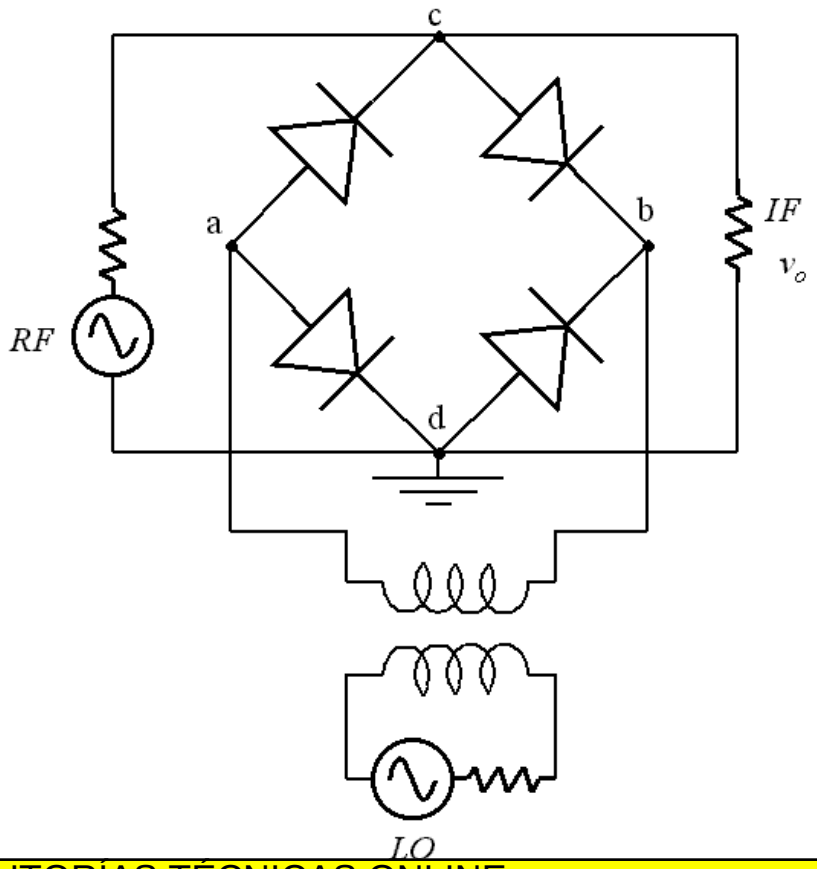
7.6.- MEZCLADORES A DIODO BALANCEADOS

MEZCLADOR BALANCEADO

- Condición: $V_{LO} \gg V_{RF}$
- V_{LO} controla el estado de los diodos
- Cuando $V_{LO} > 0$ se tiene $V_c = V_d = 0$V y la salida en cortocircuito
- Cuando $V_{LO} < 0$ los diodos están en inversa:

$$v_o = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_i$$

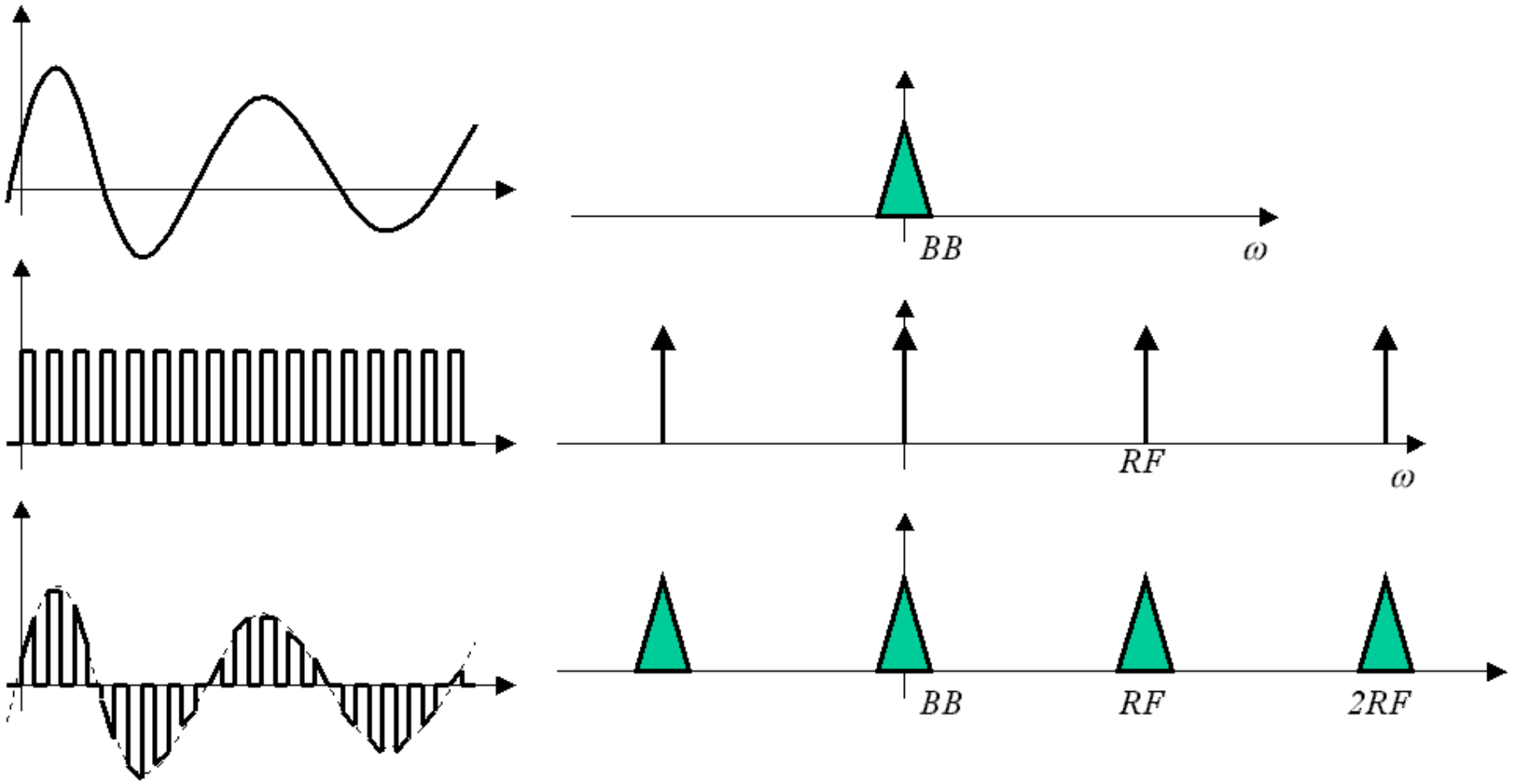
- Balanceado:
  - No aparece LO en el puerto de salida
  - Aparece RF en el puerto de salida



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

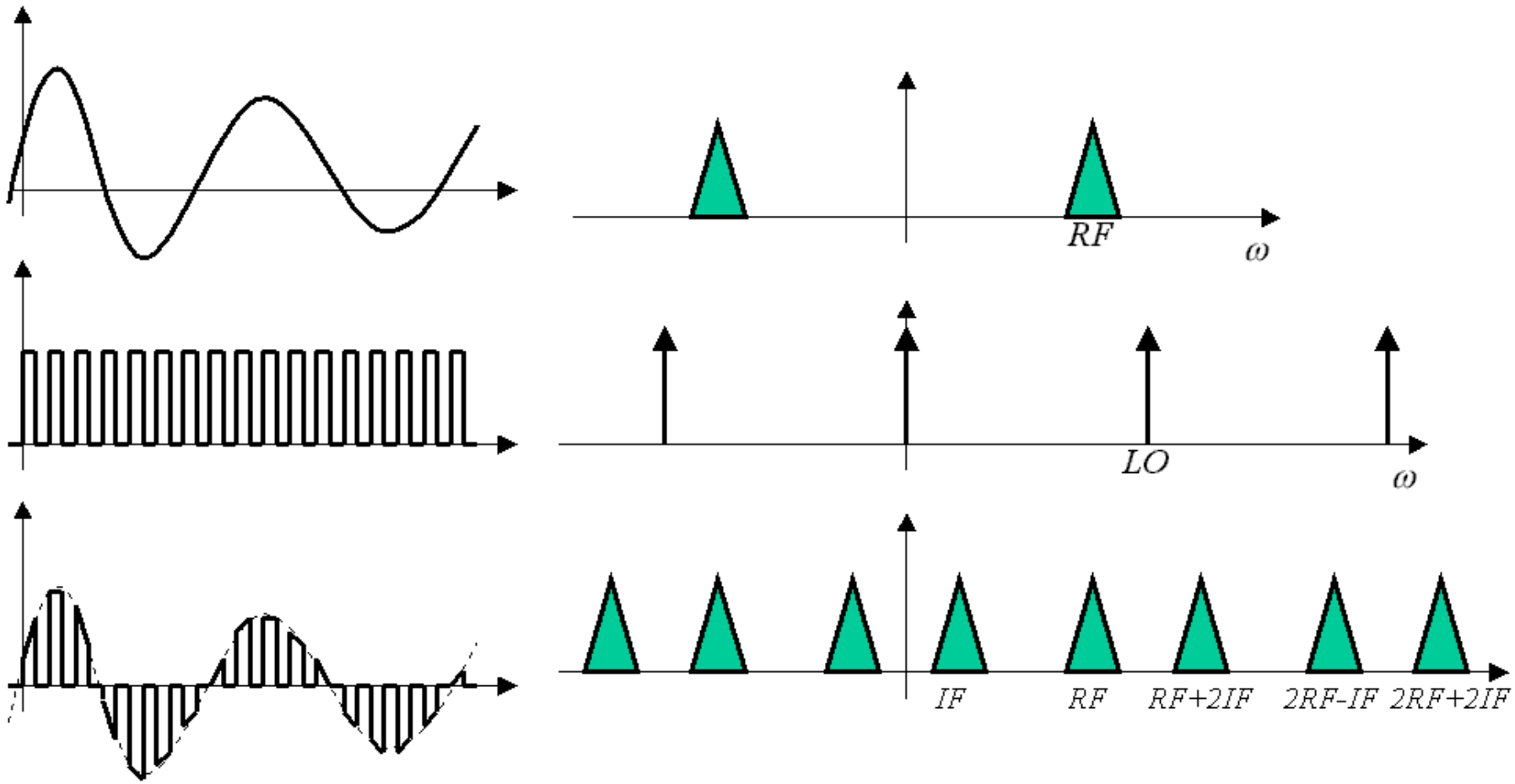
Forma de onda y espectro (modulación)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

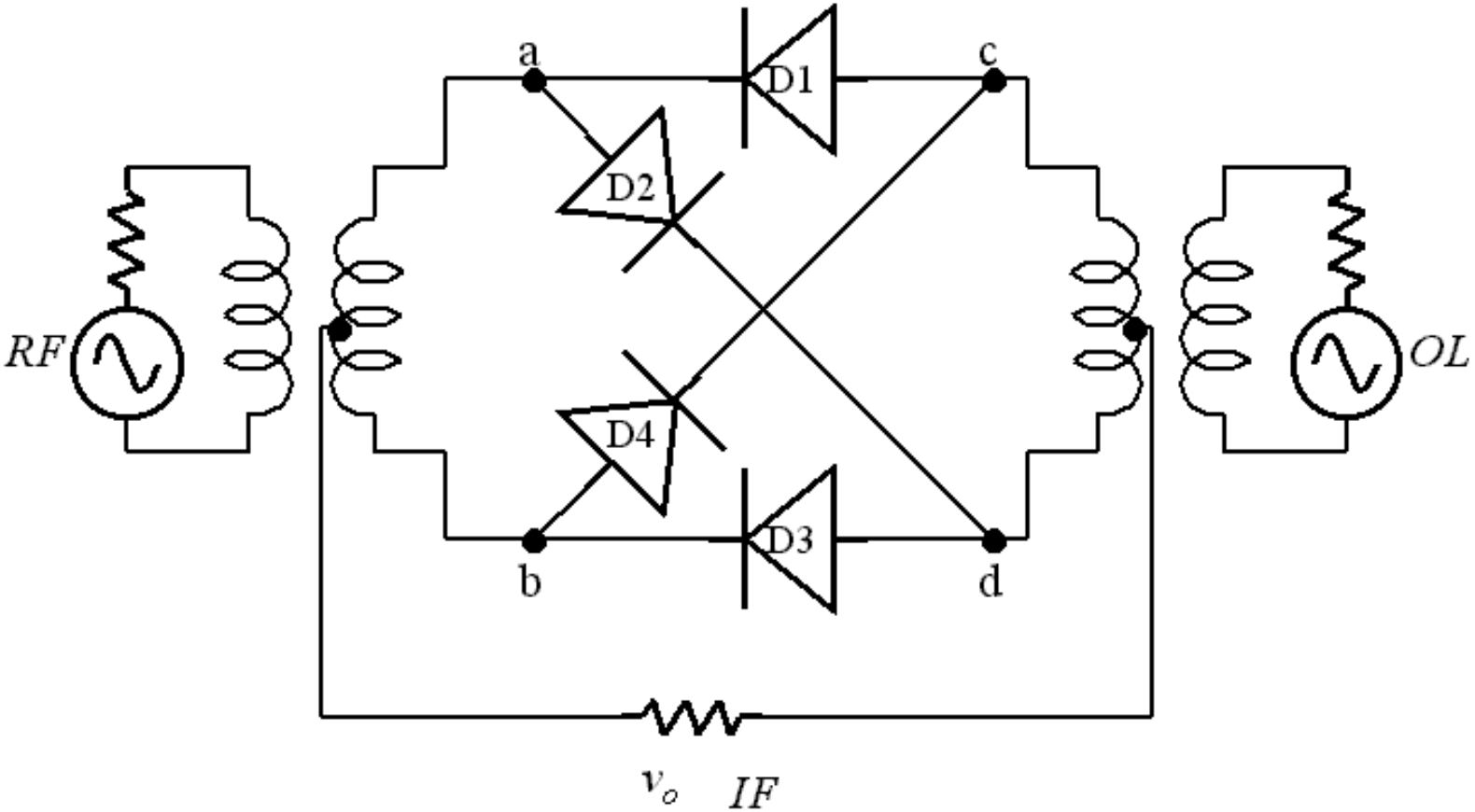
Forma de onda y espectro (demodulación)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

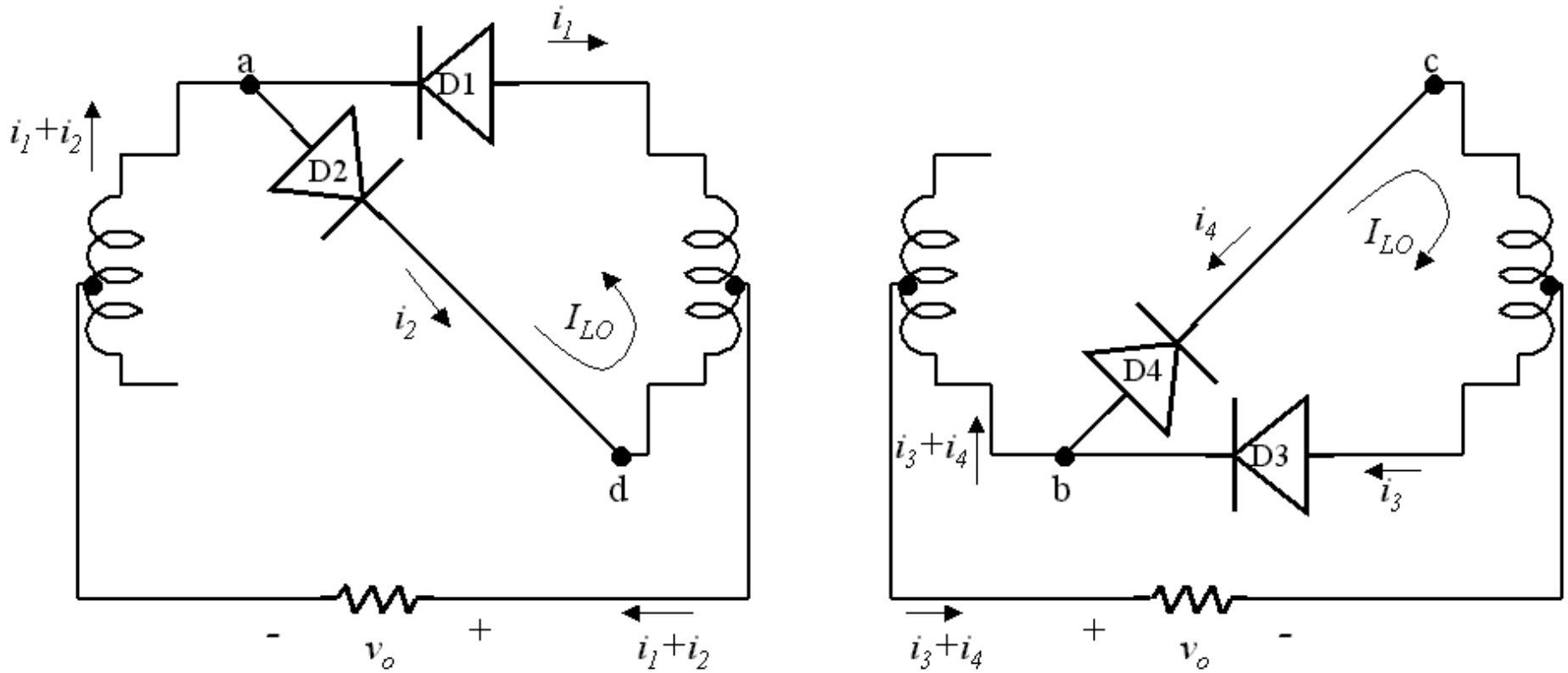
MEZCLADOR DOBLEMENTE BALANCEADO



- Condición: $V_{LO} \gg V_{RF}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

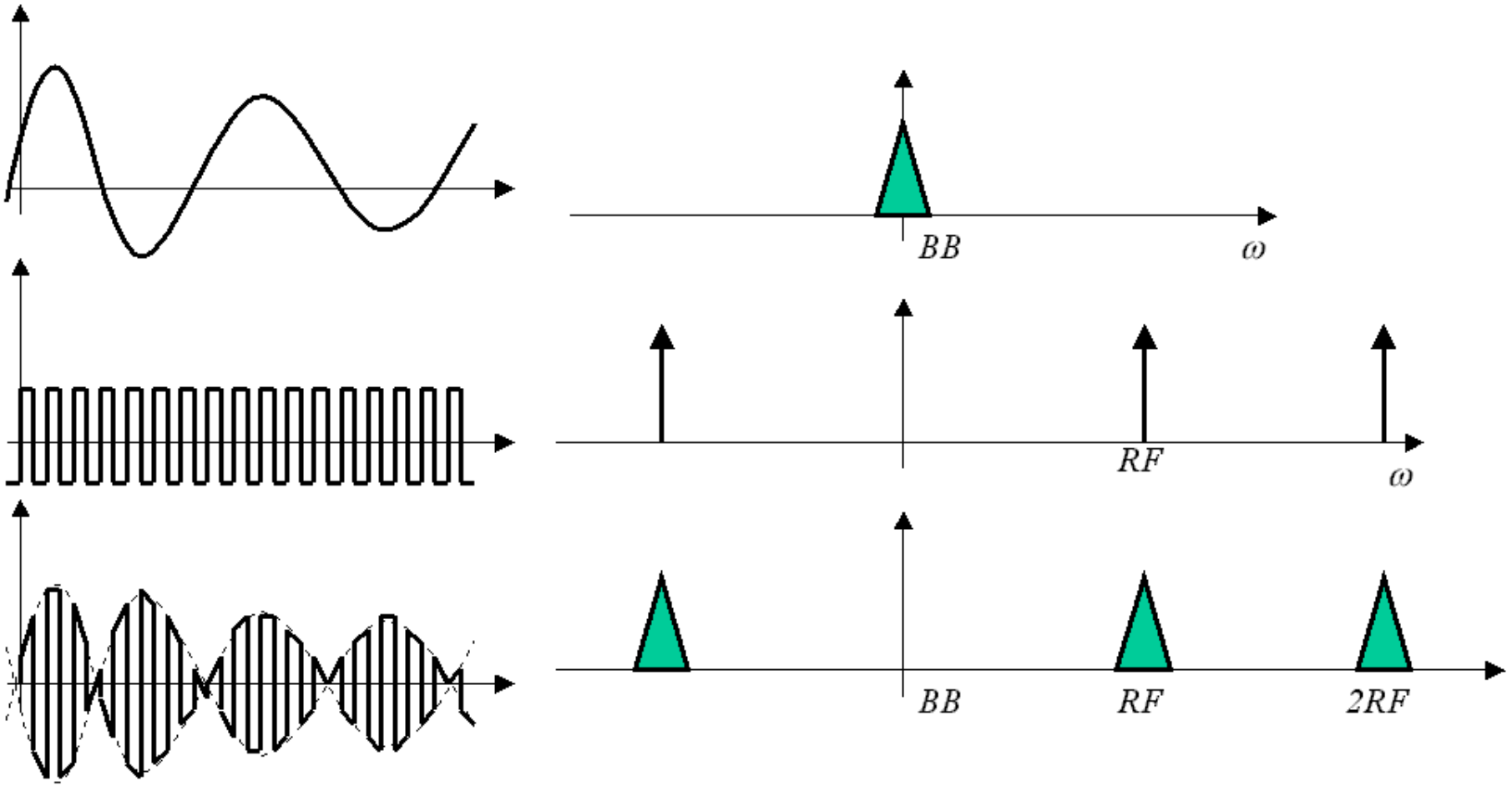


- Condición: $V_{LO} \gg V_{RF}$
- Si $V_{LO} > 0$: D1 y D2 ON; D4 y D4 OFF

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

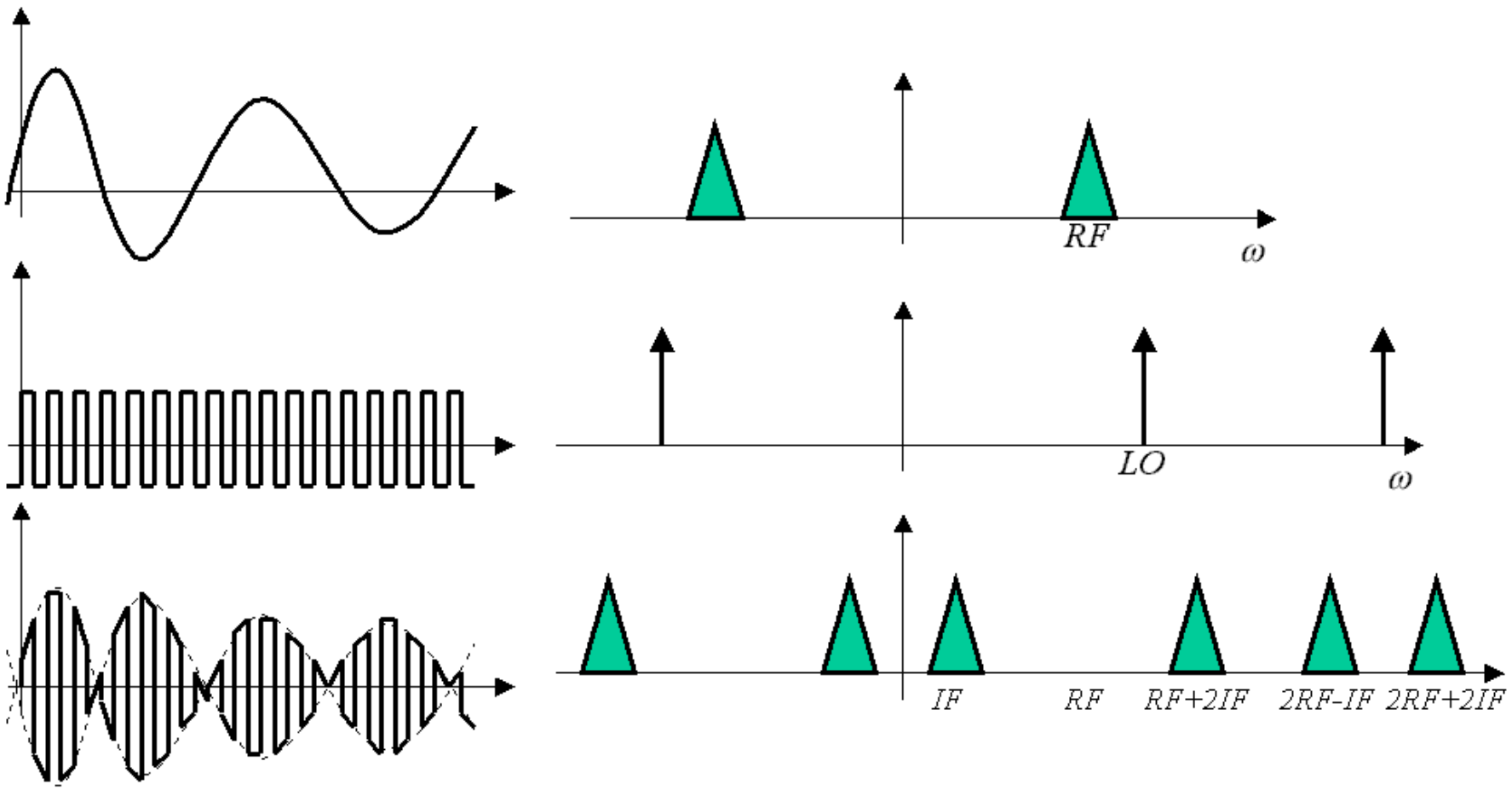
Forma de onda y espectro (modulación)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Forma de onda y espectro (demodulación)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MEZCLADORES A DIODO

- Sencillez
- Rango de frecuencias amplio
- Diseño flexible (depende de los transformadores)
  - Sintonía
  - Balance
  - Aislamiento entre puertos
- Pérdida por conversión de unos 6 dB
- Cifra de ruido entre 6 dB y 8 dB
- Aislamiento LO a RF de unos 50 dB
- Productos de intermodulación en FI 50 - 60 dB por debajo de respuesta de interés

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.7.- DISEÑO DE MEZCLADORES CON TRANSISTORES

- El mezclador es uno de los elementos más ruidosos del transistor
- Ganancia - pérdida:
  - Diodo: pérdida por conversión de unos 6 dB
  - FET: ganancia por conversión de unos 10 dB
  - BJT: ganancia por conversión de unos 20 dB
- Requerimiento de potencia en LO
  - Muy alta en mezclador a diodo
  - Baja en mezclador a FET
  - Muy baja en mezclador a BJT
- Distorsión del 3er armónico
  - Importante en mezclador a diodo
  - Despreciable en mezclador a FET
  - Importante en mezclador a BJT

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Estabilidad:
  - Menos estable cuanto mayor es la ganancia
  - Más estable cuanto mayor es el aislamiento entre puertos RF, LO y IF
  - Más estable cuanto más separadas están las frecuencias RF, LO y IF
  - Para mejorar la estabilidad se puede intentar anular la impedancia externa en cada puerto para todas las frecuencias salvo la específica del puerto (estabilidad por criterio de Stern)
  - Conviene verificar el factor de Stern del mezclador a las frecuencias RF, LO y IF

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.8.- RESPUESTAS ESPURIAS

- Las respuestas espurias son respuestas en FI procedentes de señales fuera de la banda de RF de interés
- Origen de las respuestas espurias:
  - Otras señales captadas por la antena
  - Otras señales generadas por las no linealidades del amplificador de RF
  - Otras señales procedentes del mezclador (productos de intermodulación)
  - Armónicos del oscilador local
- Frecuencias procedentes de la entrada que pueden aparecer en FI:
  - Frecuencia imagen (si no filtramos en la antena)
  - $f_{RF}/2$, $f_{IF}/2$ o f_{IF} (si caen dentro de la banda de interés y no está bien balanceado)
  - $2f_{LO} - f_{IF}$ por productos de intermodulación
  - $2f_{LO} + f_{RF}$ por productos de intermodulación
  - $2f_{LO} + f_{IF}$ por productos de intermodulación

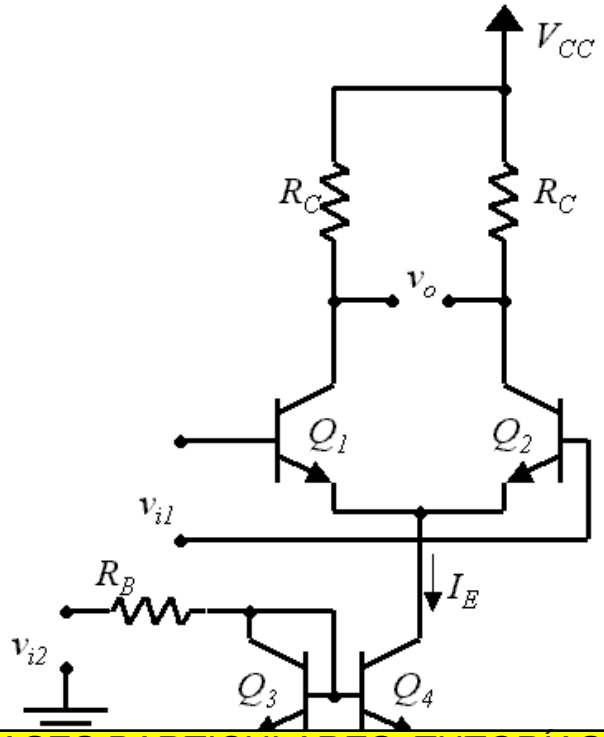
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

7.9.- MULTIPLICADOR CON PAR ACOPLADO POR EMISOR

MULTIPLICADOR BALANCEADO ECP



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del multiplicador balanceado ECP

$$v_o = -R_C(I_{c1} - I_{c2}) = -I_{EE}R_C \tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right)$$

$$I_{EE} = \frac{V_{i2} - V_{BE.on} - (-V_{EE})}{R_B}$$

$$= \frac{v_{i2}}{R_B} + \frac{V_{B2} - V_{BE.on} + V_{EE}}{R_B}$$

$$I_{EE} = \frac{v_{i2}}{R_B} + I_{EE0}$$

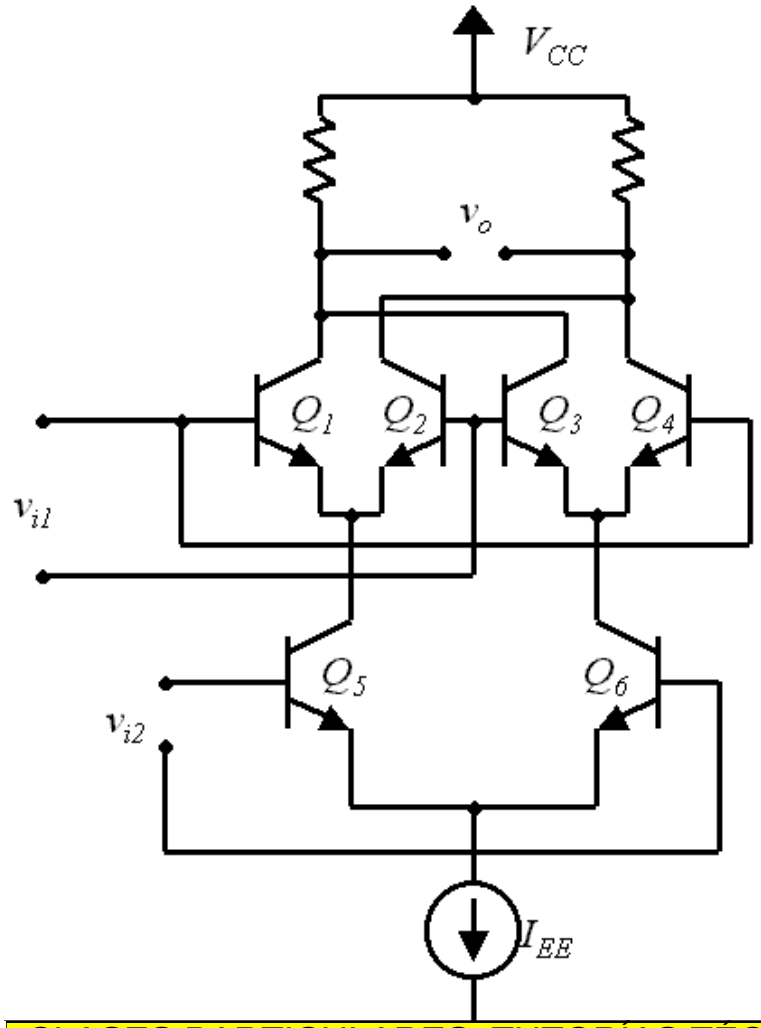
$$v_o = -\frac{R_C}{R_B}\tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right)v_{i2} - R_C I_{EE0}\tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right)$$

$$R_C v_{i1} v_{i2} \quad R_C I_{EE0}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MULTIPLICADOR DOBLEMENTE BALANCEADO ECP



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Análisis del multiplicador doblemente balanceado ECP

$$v_o = -R_C[(I_{c1} + I_{c3}) - (I_{c2} + I_{c4})]$$

$$= -R_C[(I_{c1} - I_{c2}) - (I_{c3} - I_{c4})]$$

$$= -R_C I_{c5} \tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right) - R_C I_{c6} \tanh\left(\frac{-v_{i1}}{2V_T}\right)$$

$$= -R_C \tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right)(I_{c5} - I_{c6})$$

$$= -R_C I_{EE} \tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right) \tanh\left(\frac{v_{i2}}{2V_T}\right)$$

$$v_o \approx R_C I_{EE} \frac{v_{i1} v_{i2}}{4V_T^2}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Mejora del rango dinámico de entrada

$$v_o = -R_C I_{EE} \tanh\left(\frac{v_{i1}}{2V_T}\right) \tanh\left(\frac{v_{i2}}{2V_T}\right)$$

$$v_o \approx R_C I_{EE} \frac{v_{i1} v_{i2}}{4V_T^2}$$

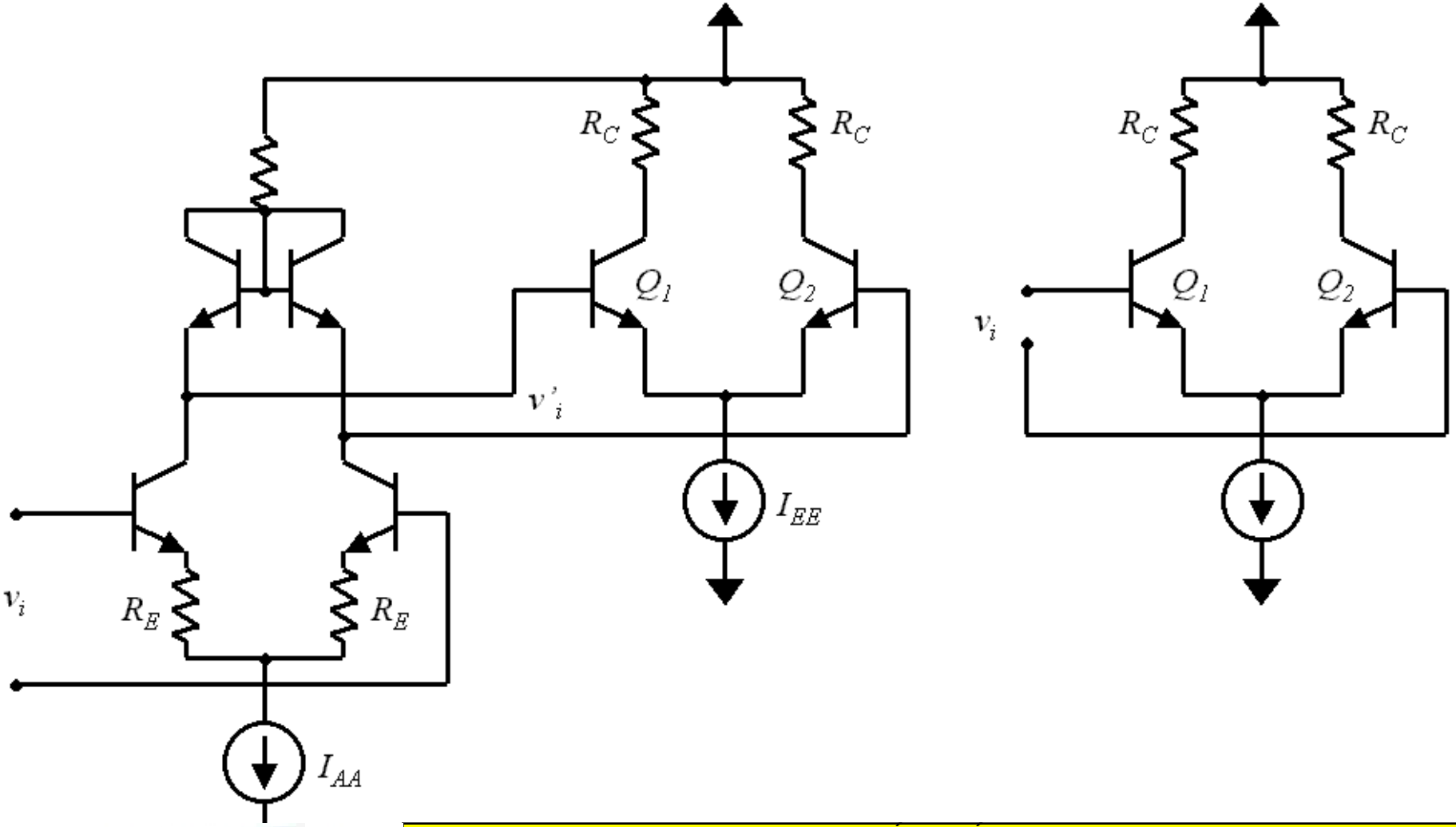
- Aproximación válida si v_{i1} y v_{i2} son menores que $2V_T$ (50 mV)
- Para mejorar rango dinámico hay 3 posibilidades:
  - Introducir resistencias de emisor (reduce la ganancia)
  - Control automático de ganancia (AGC)
  - Predistorsión

$$v_o = -R_C(I_{c1} - I_{c2}) = 2\frac{R_C}{R_E}\frac{I_{EE}}{I_{AA}} v_i$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Predistorsión



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.