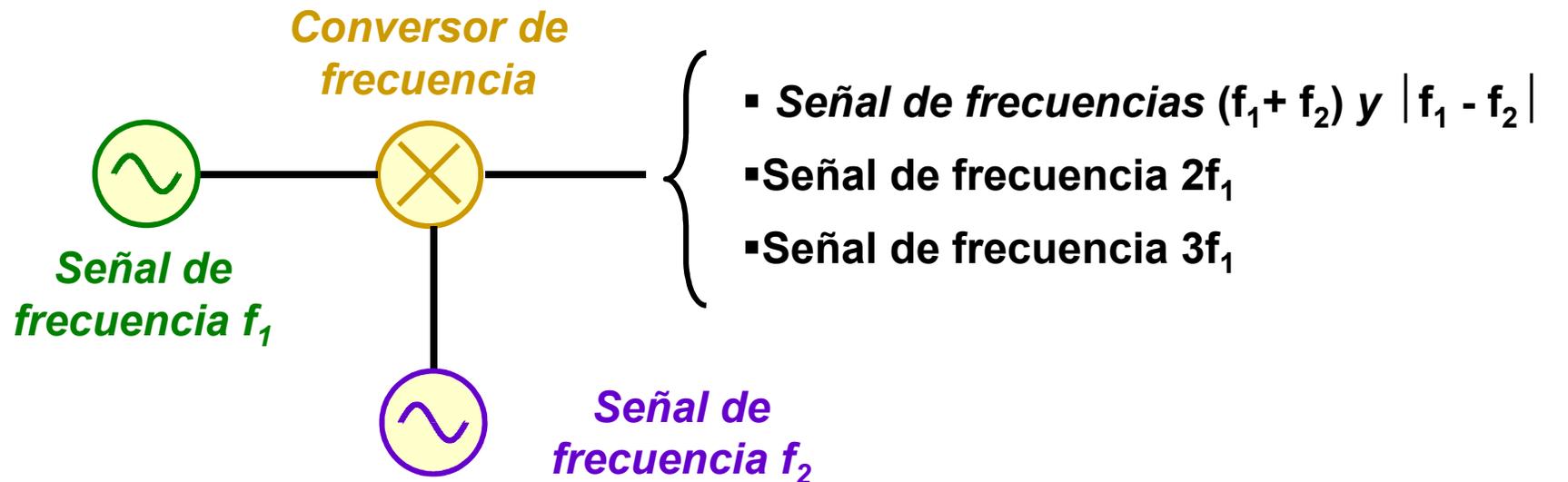


TEMA 6

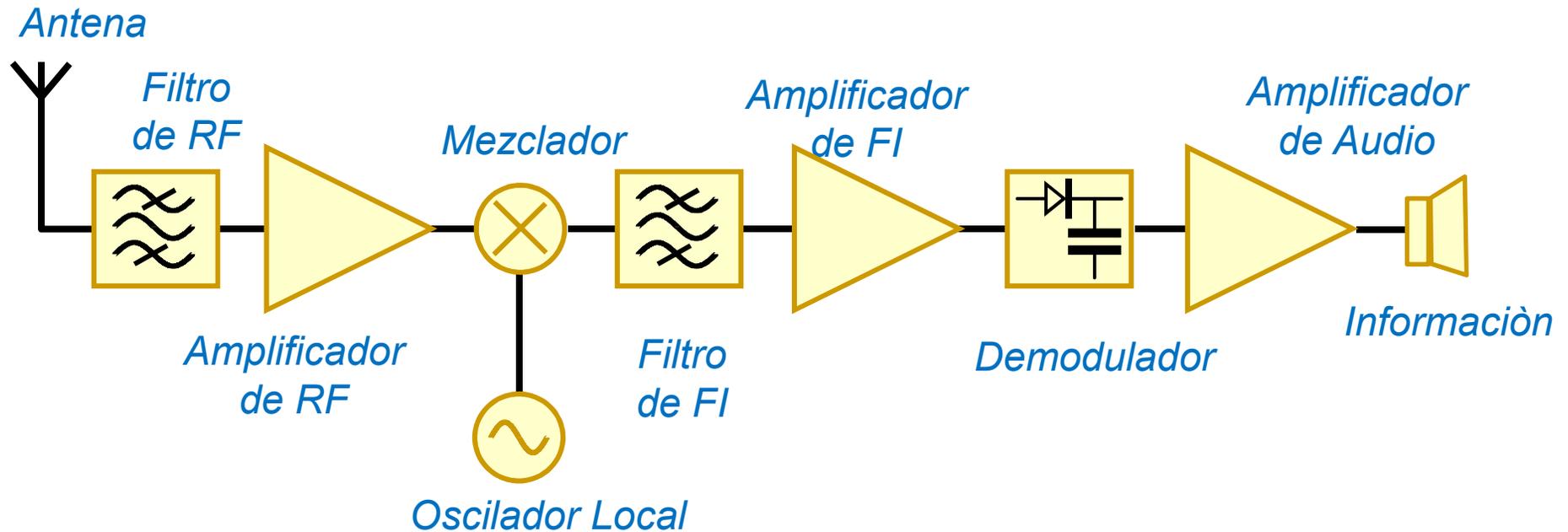
- × CONVERSIÓN DE FRECUENCIA
 - × Mezcladores
 - × Multiplicadores
 - × Moduladores
 - × Demoduladores

Objetivo:

Obtener a la salida una señal cuya frecuencia sea la suma o la diferencia de las frecuencias de entrada o el doble o el triple de la frecuencia de entrada



- Señal de frecuencias $(f_1 + f_2)$ y $|f_1 - f_2|$ → **Mezclador**
- O Señal de frecuencia $2f_1$
- O Señal de frecuencia $3f_1$ → **Multiplicador**



- El mezclador forma parte de todo sistema de comunicaciones.
- Es un dispositivo no lineal que desplaza la señal recibida a una frecuencia f_{RF} a la frecuencia intermedia f_{FI} .

Si para obtener las frecuencias sumas y diferencia es necesario multiplicar:

¿De que manera lograr el producto de dos señales?

Objetivo:

Obtener una señal cuya frecuencia sea la suma o la diferencia de la frecuencia de dos frecuencias de entrada

- **A la salida señal de frecuencias $(f_1 + f_2)$ y $|f_1 - f_2|$**
- Usando un multiplicador analógico (Mezclador balanceado)
- **Usando dispositivos de respuesta cuadrática:**

$$v_i(t) = v_1(t) + v_2(t)$$

$$i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t) + c v_i^3(t) + \dots$$

- Si se polariza en zona cuadrática $c \ll b$

$$i_o(t) = I_o + a V_1 \cos \omega_1 t + a V_2 \cos \omega_2 t + \frac{b}{2} V_1^2 + \frac{1}{2} b V_1^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{b}{2} V_2^2 + \frac{1}{2} b V_2^2 \cos 2\omega_2 t + b V_1 V_2 \cos(\omega_1 + \omega_2) t + b V_1 V_2 \cos(\omega_1 - \omega_2) t$$



$$i_o(t) = I_o + \frac{b}{2}V_1^2 + \frac{b}{2}V_2^2 +$$

$$+ aV_1 \cos \omega_1 t + aV_2 \cos \omega_2 t +$$

$$+ \frac{1}{2}bV_1^2 \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{2}bV_2^2 \cos 2\omega_2 t$$

$$+ bV_1V_2 \cos(\omega_1 + \omega_2)t + bV_1V_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t$$

Amplitud	Frecuencia
aV_1	f_1
aV_2	f_2
$\frac{1}{2}bV_1^2$	$2f_1$
$\frac{1}{2}bV_2^2$	$2f_2$
bV_1V_2	$f_1 + f_2$
bV_1V_2	$ f_1 - f_2 $

Componente de continua

Componente de frecuencia f_1

Componente de frecuencia f_2

Componente de frecuencia $2f_1$

Componente de frecuencia $2f_2$

Componente de frecuencia $f_1 + f_2$

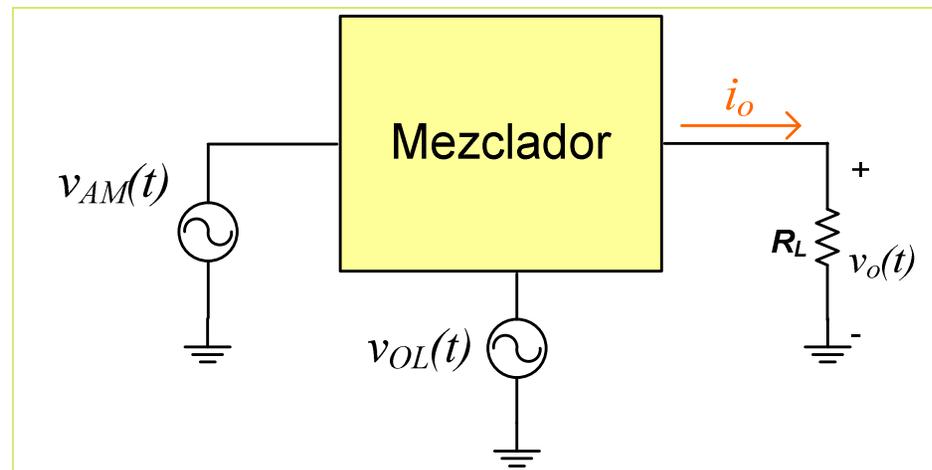
Componente de frecuencia $|f_1 - f_2|$

- Sobran las componentes de continua y de frecuencias f_1 , f_2 , $2f_1$ y $2f_2 \Rightarrow$ será necesario filtrarlas

Ejemplo:

$$v_1(t) = v_{OL}(t) = V_{OL} \cos \omega_{OL} t$$

$$v_2(t) = v_{AM}(t) = V_c \cdot \cos \omega_c t + V_{BL} \cos(\omega_c + \omega_m)t + V_{BL} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

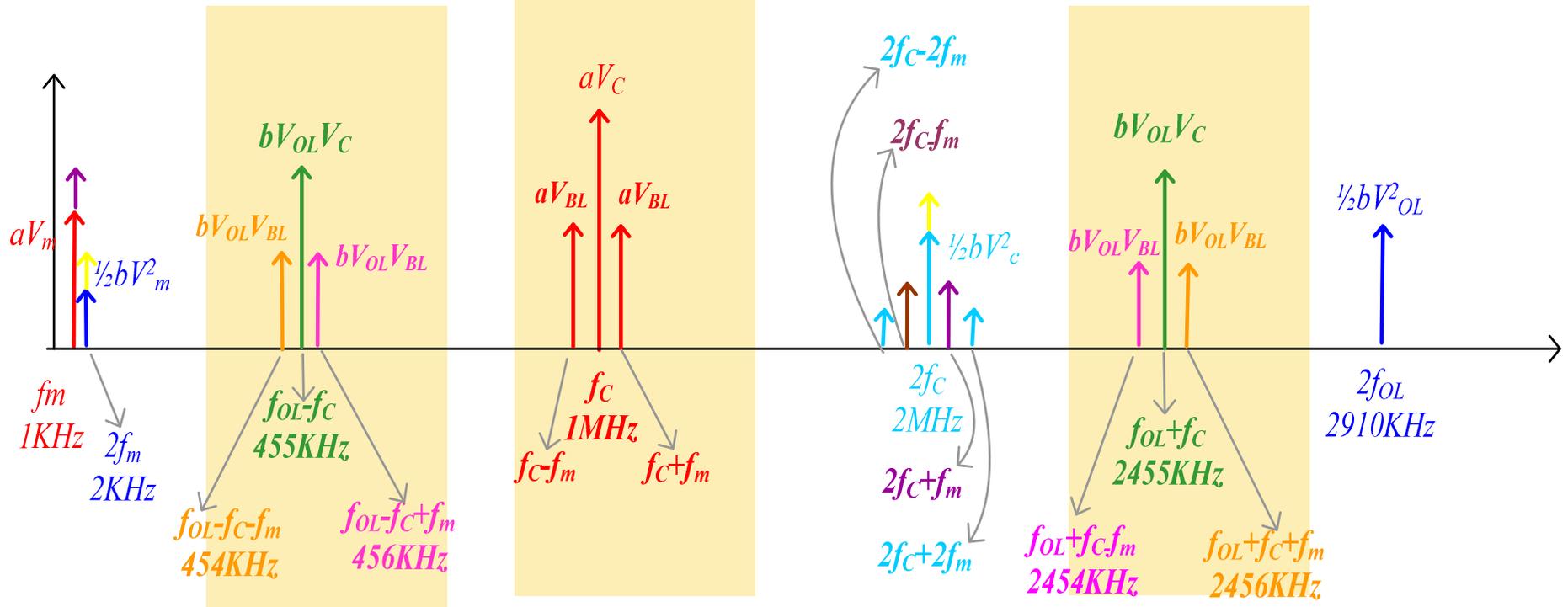


$$v_i(t) = V_{OL} \cos \omega_{ol} t + V_C \cos \omega_C t + V_{BL} \cos(\omega_C + \omega_m)t + V_{BL} \cos(\omega_C - \omega_m)t$$

$$\begin{aligned}
 i_o(t) = & aV_{OL} \cos \omega_{OL} t + aV_C \cdot \cos \omega_C t + aV_{BL} \cos(\omega_c + \omega_m)t + aV_{BL} \cos(\omega_c - \omega_m)t + \quad 7 \\
 & + \frac{1}{2}bV_{OL}^2 \cos 2\omega_{OL} t + \frac{1}{2}bV_C^2 \cos 2\omega_c t + \frac{1}{2}bV_{BL}^2 \cos 2(\omega_c + \omega_m)t + \frac{1}{2}bV_{BL}^2 \cos 2(\omega_c - \omega_m)t \\
 & + bV_{OL}V_C \cos(\omega_{OL} + \omega_C)t + bV_{OL}V_C \cos(\omega_{OL} - \omega_C)t + \\
 & + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} + (\omega_C + \omega_m))t + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} - (\omega_C + \omega_m))t + \\
 & + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} + (\omega_C - \omega_m))t + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_{OL} - (\omega_C - \omega_m))t + \\
 & + bV_CV_{BL} \cos(\omega_C + (\omega_C + \omega_m))t + bV_CV_{BL} \cos(\omega_C - (\omega_C + \omega_m))t + \\
 & + bV_CV_{BL} \cos(\omega_C + (\omega_C - \omega_m))t + bV_{OL}V_{BL} \cos(\omega_C - (\omega_C - \omega_m))t + \\
 & + bV_{BL}V_{BL} \cos((\omega_C + \omega_m) + (\omega_C - \omega_m))t + bV_{BL}V_{BL} \cos((\omega_C + \omega_m) - (\omega_C - \omega_m))t +
 \end{aligned}$$

Amplitud	Frecuencia		Amplitud	Frecuencia	Amplitud	Frecuencia
aV_{OL}	f_{OL}	Lineales	$bV_{OL}V_C$	$f_{OL} + f_C$	$bV_{BL}V_C$	$2f_C + f_m$
aV_C	f_C		$bV_{OL}V_C$	$f_{OL} - f_C$	$bV_{BL}V_C$	$-f_m$
aV_{BL}	$f_c + f_m$		$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} + f_C + f_m$	bV_CV_{BL}	$2f_C - f_m$
aV_{BL}	$f_c - f_m$		$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} - f_C - f_m$	bV_CV_{BL}	$+f_m$
$\frac{1}{2} bV_{OL}^2$	$2f_{OL}$	Cuadráticos puro	$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} + f_C - f_m$	$bV_{BL}V_{BL}$	$2f_C$
$\frac{1}{2} bV_C^2$	$2f_C$		$bV_{OL}V_{BL}$	$f_{OL} - f_C + f_m$	$bV_{BL}V_{BL}$	$2f_m$
$\frac{1}{2} bV_{BL}^2$	$2f_C + 2f_m$	Productos cruzados o de intermodulación				
$\frac{1}{2} bV_{BL}^2$	$2f_C - 2f_m$					

Ejemplo numérico: $f_{oL}=1455\text{KHz}; f_c=1\text{MHz}; f_m=1\text{KHz}$

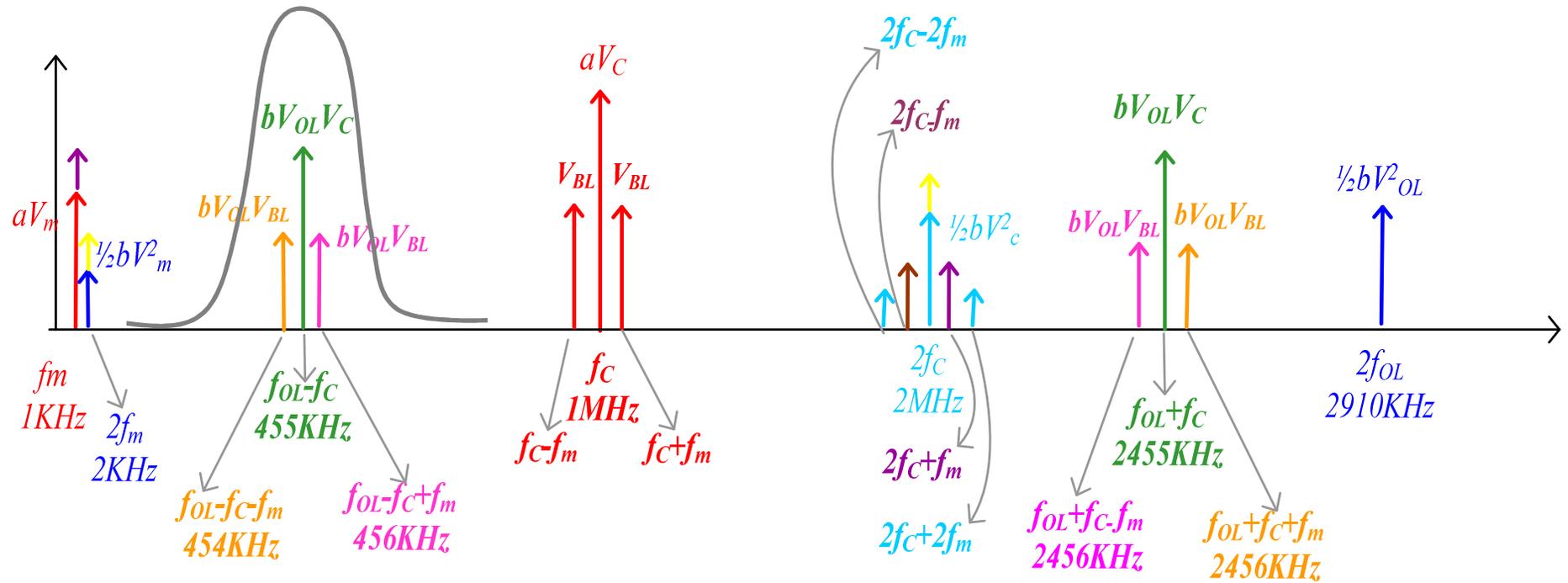


A la salida del mezclado aparece el espectro de la señal modulada en amplitud en 3 lugares distintos:

- a la misma frecuencia,
- a la frecuencia suma y
- a la frecuencia diferencia.

Observar: que los tres espectros mantienen las proporciones de amplitud que la señal de entrada. No así el de que aparece con $2f_c$ como frecuencia central.

En el ejemplo de abajo, el circuito de carga del mezclador, es un circuito tanque sintonizado a $f_{OL} + f_c$ (frecuencia suma); y Ancho de Banda $AB=2f_m$



- Cuando la frecuencia del oscilador local es mayor que la de portadora, se llama *inyección lateral alta*, o *inyección de oscilación superior*.
- Cuando la frecuencia del oscilador local es menor que la RF, se llama *inyección lateral inferior*, o *inyección de oscilación inferior*

MEZCLADORES

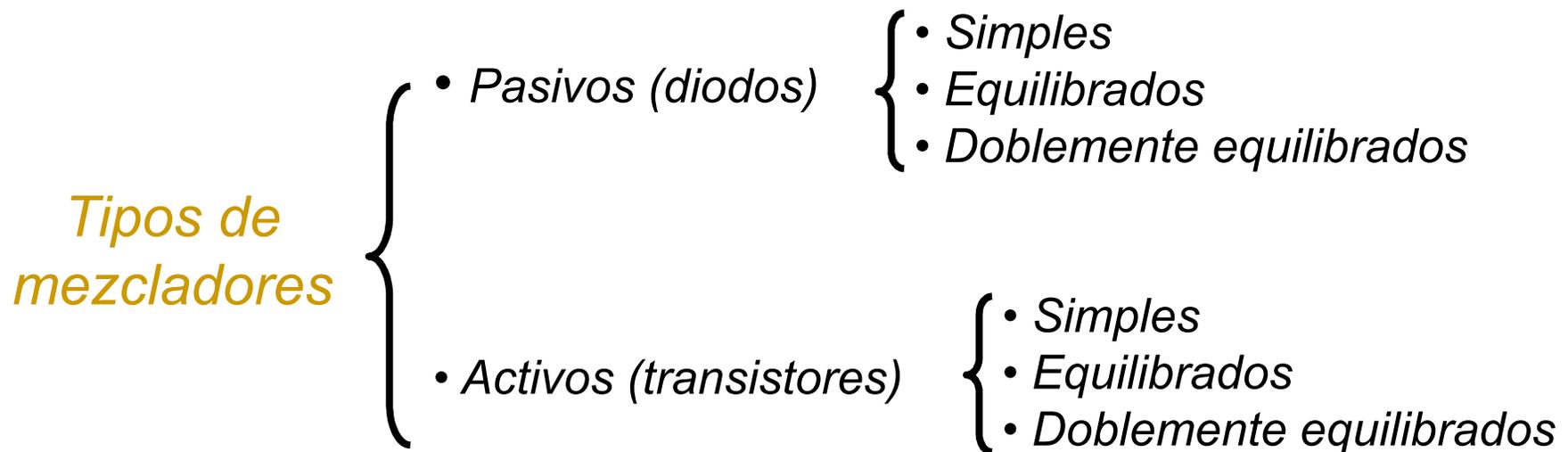
La salida del mezclador contiene una cantidad infinita de frecuencias armónicas y de producto cruzado, que incluyen las frecuencias de suma y diferencia entre la portadora deseada de RF y la del OL: $i_o(t) = I_o + a v_i(t) + b v_i^2(t) + c v_i^3(t) + \dots$

$$c v_i^3(t) = c v_1^3 + 3 v_1^2 v_2 + 3 v_1 v_2^2 + c v_2^3 \Rightarrow 3f_1; 3f_2; 2f_1 + f_2; 2f_1 - f_2; 2f_2 + f_1; 2f_2 - f_1$$

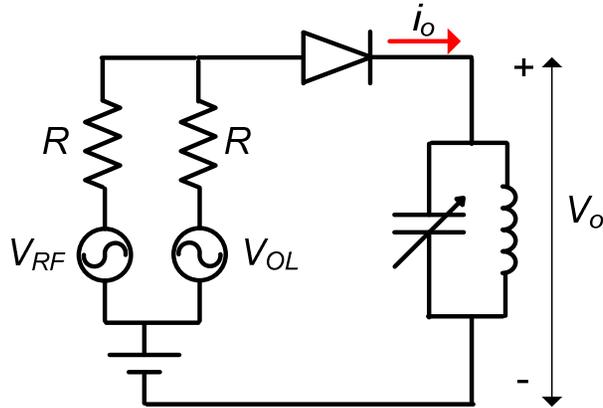
- Los *productos de tercer orden* caen con frecuencia dentro del ancho de banda del sistema, y producen una distorsión llamada *distorsión de intersección de tercer orden*.
- La distorsión de tercer orden es un caso especial de la distorsión por intermodulación, y es la forma principal de distorsión de frecuencia.
- También se debe considerar los componentes de intermodulación de tercer orden: frecuencias de producto cruzado que se producen cuando la segunda armónica de una señal se suma a la frecuencia fundamental de otra señal
- La distorsión de frecuencia se puede reducir usando un *dispositivo de ley cuadrada*, como un FET. Los dispositivos de ley cuadrada sólo producen componentes de segunda armónica y de intermodulación

Para el diseño de un mezclador es importante tener en cuenta:

- Comportamiento adecuado a las frecuencias de trabajo.
- Uso de dispositivos con comportamiento lo más parecido a cuadrático, sin términos apreciables en x , x^3 , x^4 , etc.
- Cancelación de componentes indeseadas por simetrías en los circuitos.



Convertidor a diodo



$$I = I_s [\exp (V_D/U_T) - 1]$$

$I_s = 1 \text{ mA}$
 $V_T = 26 \text{ mV}$

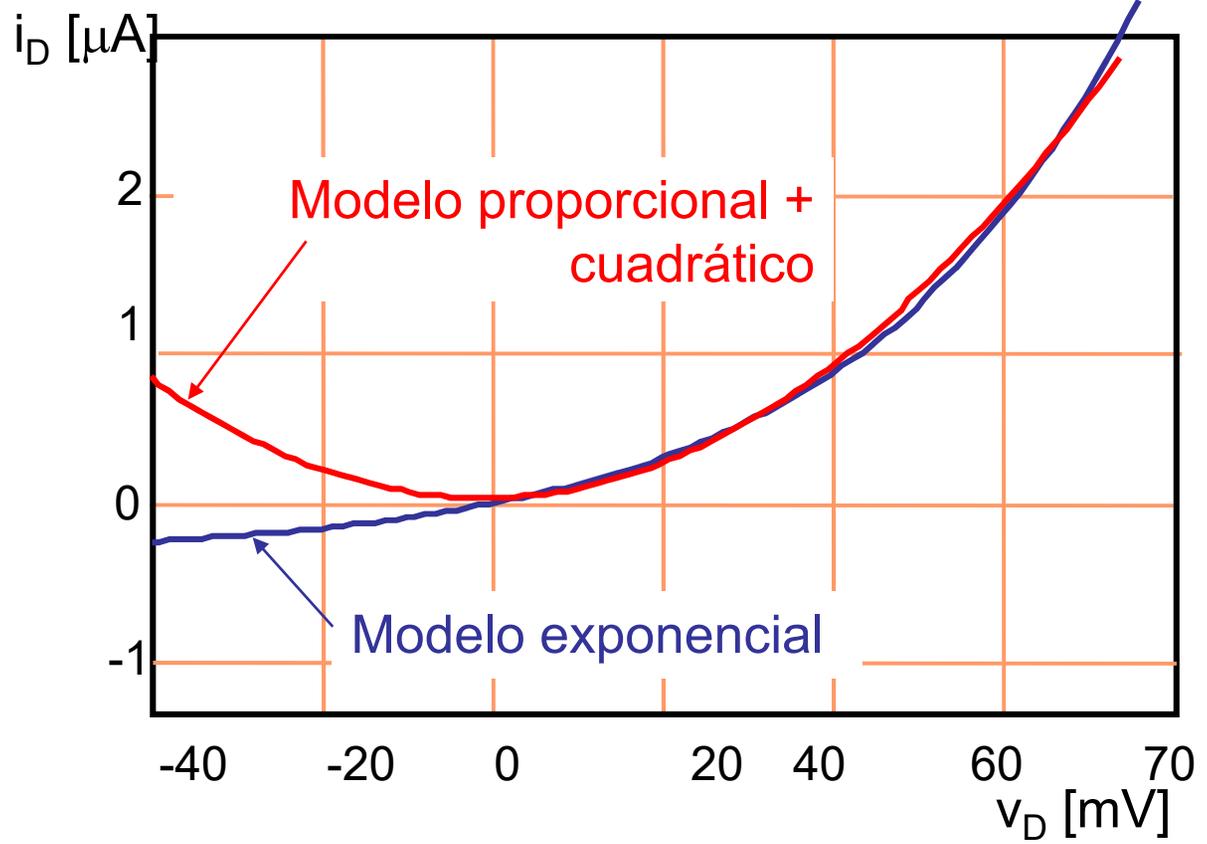
Se sintonizan el circuito de salida a la frecuencia suma o diferencia.

Ventajas:

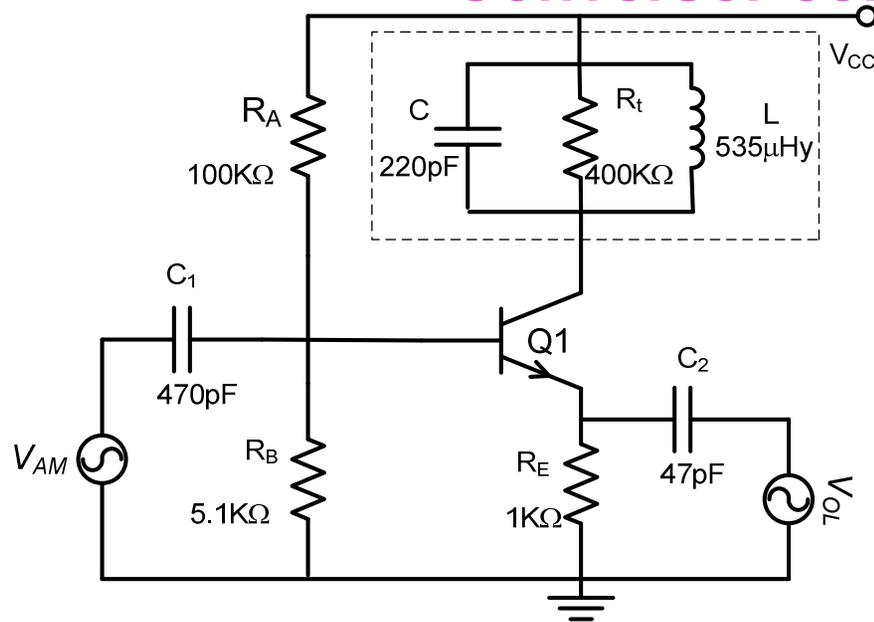
- Sencillez y economía del circuito

Desventajas:

- Mezclador ruidoso
- Presenta pérdidas en la conversión
- Tiene frecuencias no deseadas debido a términos de tercer orden y superiores
- No tiene aislación entre los puertos de entrada
- Tiene ganancia de conversión negativa



Convertor con TBJ



Ventajas:

- Muy buena ganancia de conversión en algunos casos alcanza los 20 dB
- Bajo NF

Desventajas:

- Presenta productos de IMD de tercer orden altos
- Pequeño rango dinámico

- Se polariza el circuito de entrada en zona no lineal: $V_{BE}=0,55mV$
- Se sintonizan el circuito de salida a la frecuencia suma o diferencia.

▪ Un transistor de efecto de campo tiene una respuesta “más cuadrática” \Rightarrow Sirve mejor para hacer mezcladores

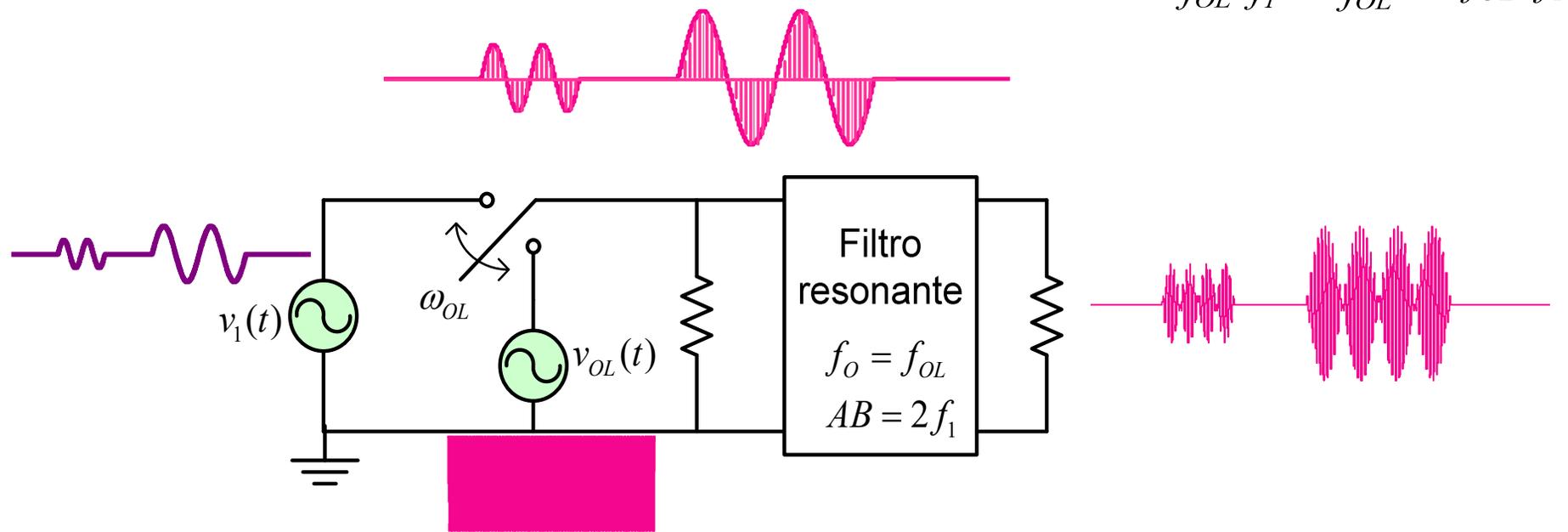
Mezclador Balanceado

14

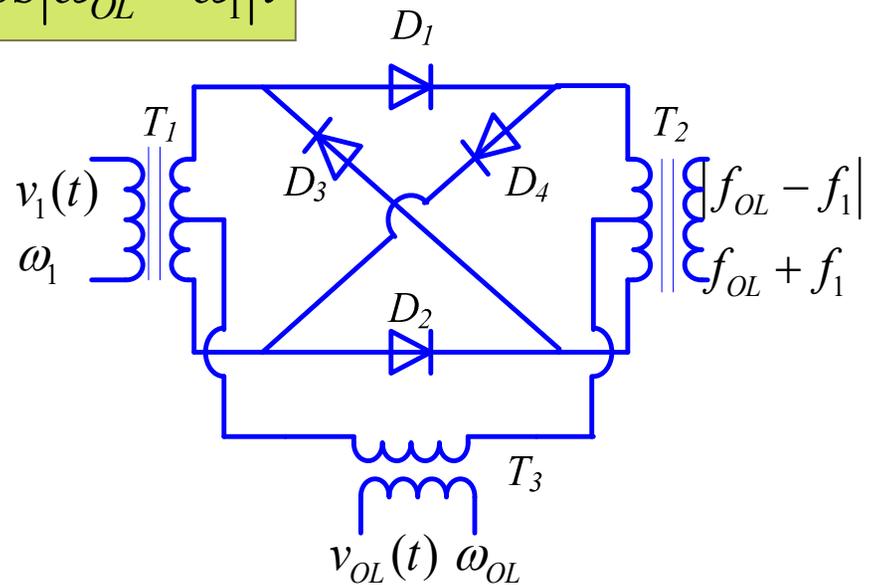
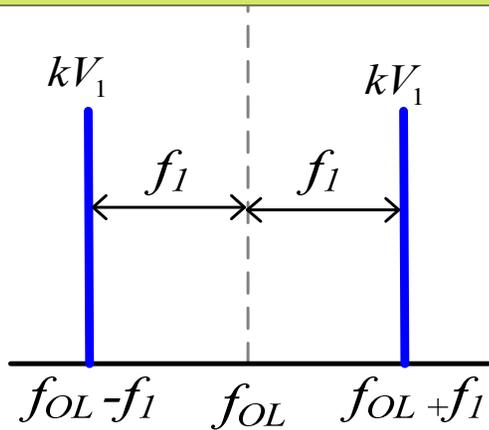
Los mezcladores balanceados son uno de los circuitos más importantes en los sistemas actuales de comunicaciones.

Un mezclador balanceado realiza el producto de las señales de entrada. A la salida solo aparecen la suma y la diferencia de frecuencias de entrada.

Principio de funcionamiento:



$$v_o(t) = KV_1 \cos(\omega_{OL} + \omega_1)t + KV_1 \cos|\omega_{OL} - \omega_1|t$$



Integrados SBL1, MC1496

- V_{OL} lo suficientemente grande para manejar la conducción de los diodos ($V_{OL} > V_1$).
- Equivalente a multiplicar por una cuadrada de $\pm 1V$ y frecuencia f_{OL}
- Las cuadradas: tienen $f_{OL}, 3f_{OL}, 5f_{OL}, 7f_{OL}, 9f_{OL}$. A la salida: $f_{OL}-f_1; f_{OL}+f_1; 3f_{OL}-f_1; 3f_{OL}+f_1; 5f_{OL}-f_1; 5f_{OL}+f_1; \dots$
- En caso de no estar bien balanceado el puente, a la salida aparecerán vestigios de f_{OL} .

Parámetros para la evaluación de un mezclador

Ganancia de conversión:

$$A_c [dB] = 10 \log \frac{P_{FI}}{P_{RF}}$$

Se define con este nombre a la relación en decibeles entre la potencia de salida P_{FI} y la Potencia de entrada P_{RF} , la primera tiene su señal a la frecuencia FI (frecuencia de salida del conversor) mientras que la segunda tiene las frecuencias de la señal de entrada.

Transconductancia de conversión:

Es el cociente entre la corriente de salida y la tensión de entrada, la corriente es de frecuencia intermedia (frecuencia de salida del conversor) mientras que la tensión tiene las frecuencias de la señal de entrada.

$$g_c = \frac{i_{FI}}{v_{RF}}$$

Cifra de ruido

Es la relación entre la relación señal ruido en la entrada respecto a la salida, expresado en decibeles.

$$NF = \frac{SNR_{RF}}{SNR_{FI}}$$

Aislación

Atenuación que presenta de cada una de las señales sobre los otros dos puertos

Compresión de conversión

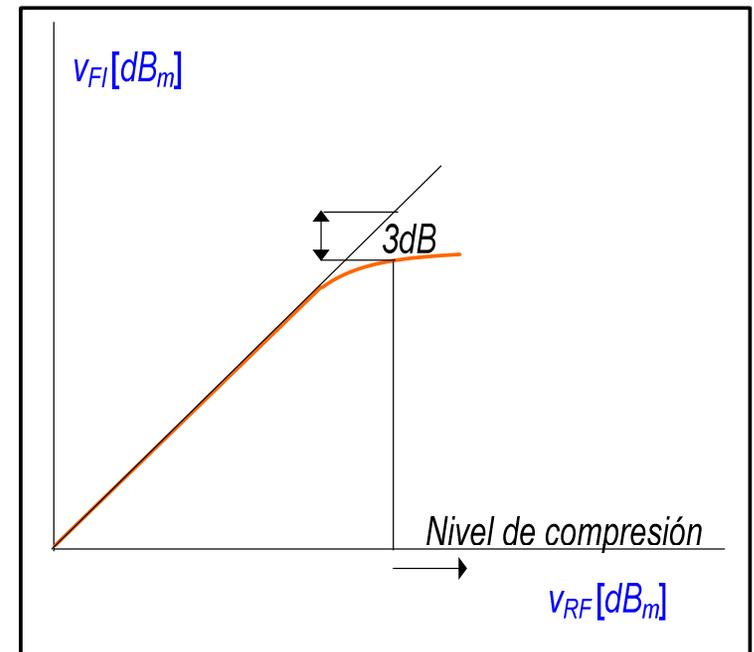
Pérdida en dB de la señal de salida por debajo de la recta ideal.

La **compresión de conversión** se refiere al nivel de potencia de entrada RF arriba del cual la curva de potencia de salida FI vs potencia de entrada RF se desvía de la linealidad.

Arriba de este nivel, un aumento adicional en el nivel de entrada RF no se traduce en un aumento proporcional en el nivel de salida.

Cuantitativamente, la compresión de conversión es la reducción del nivel de salida en dB abajo de la característica lineal.

Usualmente, el nivel de entrada en el que la compresión es de 1 o 3 dB se da en las especificaciones del mezclador.



¿Qué mas se puede hacer con un dispositivo que logra el producto de las señales de entrada?

1. Un mezclador, para trasladar (subir o bajar) en frecuencia una señal, sin alterar la información que pudiera llevar. Se carga con un filtro que deja pasar la señal deseada (mezclador ascendente o descendente)
2. Un modulador de AM si se hace $f_1=f_c$ y $f_2=f_m$ y se coloca como carga un filtro sintonizado a la frecuencia f_c y con un ancho de banda de $2f_{mmáx}$.
3. Un multiplicador de frecuencias por dos, si $f_1=f_c$ y $f_2=0$ y se utiliza como carga un filtro sintonizado a la frecuencia $2f_c$.
4. Un detector de señales de AM en sus distintas modalidades, si $f_2=f_c$ y en la entrada de f_1 se introduce una señal modulada en AM y la carga es un filtro pasa bajo que con frecuencia de corte igual o mayor que la frecuencia máxima de banda base. Es decir que su ancho de banda es $f_{mmáx}$. (Detector coherente)

Conversión de frecuencia: Multiplicador x2

Objetivo:

Obtener a la salida una señal de frecuencia doble de la de entrada

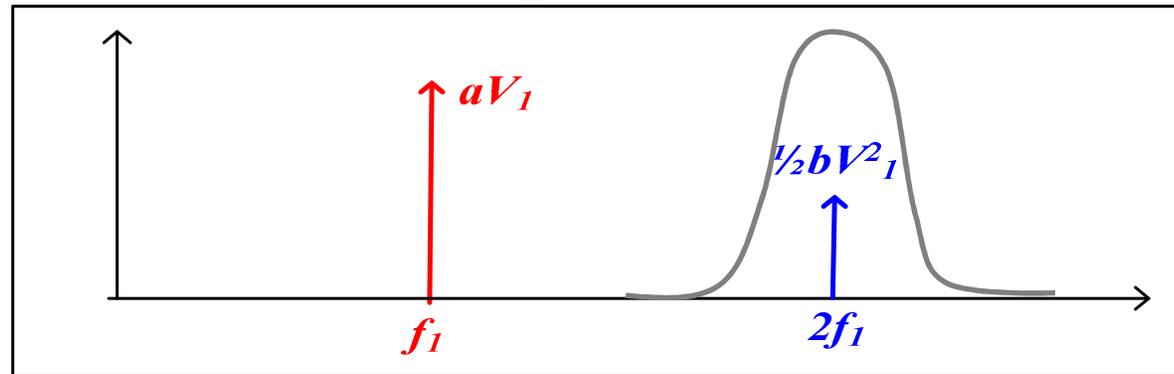
La corriente de salida i_o es:

$$i_o(t) = I_o + a v_1(t) + b v_1^2(t) + c v_1^3(t) + \dots$$



Si se polariza en zona cuadrática y se filtra la continua queda:

$$i_o(t) = a V_1 \cos \omega_1 t + \frac{1}{2} b V_1^2 \cos 2\omega_1 t$$



Amplitud	Frecuencia
aV_1	f_1
$\frac{1}{2} bV_1^2$	$2f_1$

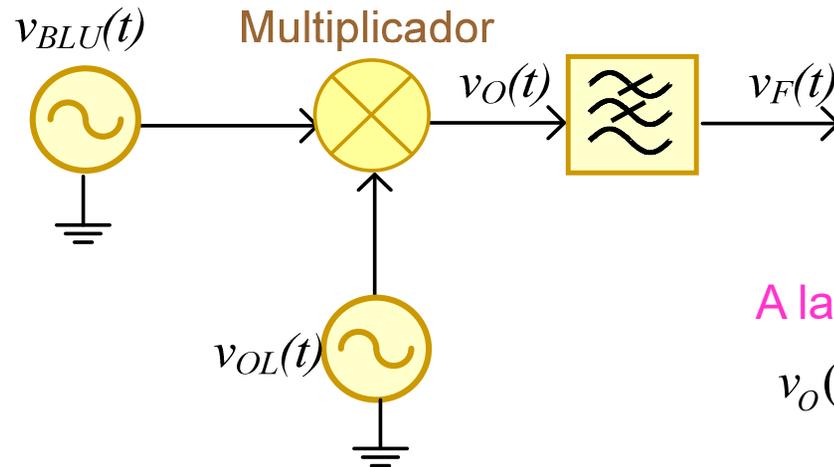
- Si la carga es circuito resonante con $f_0=2f_1$ se obtiene la frecuencia doble a la salida
- Para obtener la frecuencia triple se debe polarizar en zona cubica.

Resumen

- Un multiplicador es un amplificador no lineal cargado con un circuito sintonizado al valor de una armónica. Así si se sintoniza 2° armónica se obtiene un duplicador, si se sintoniza 3° armónica un triplicador.
- Solo se usan duplicadores y triplicadores, ya que los coeficientes de 4^a, 5^a Armónica son pequeños.
- Observar el efecto de multiplicar una señal de AM

Detector de Producto- BLU

Principio de operación



Señales de entrada:

$$v_{BLU}(t) = V_{BLS} \cos(\omega_C + \omega_m)t$$

$$v_{OL}(t) = V_{OL} \cos(\omega_{OL}t + \phi)$$

A la salida del multiplicador de señales:

$$v_O(t) = KV_{OL}V_{BLU} \cdot \cos(\omega_C + \omega_m)t \cdot \cos(\omega_{OL}t + \phi)$$

$$v_O(t) = KV_{OL}V_{BLU} \cdot \left\{ \cos[(\omega_C + \omega_m + \omega_{OL})t + \phi] + \cos[(\omega_C + \omega_m - \omega_{OL})t + \phi] \right\}$$

A la salida del filtro pasa bajos:

$$v_F(t) = KV_{BLU}V_O \cdot \cos[(\omega_C + \omega_m - \omega_{OL})t + \phi]$$

Si la señal del oscilador coincide en frecuencia y fase con la portadora, es decir,

$\omega_{OL} = \omega_C$ y $\phi = 0^\circ$, entonces:

$$v_F(t) = KV_{OL}V_{BLU} \cdot \cos \omega_m t = kV_{BLU} \cdot \cos \omega_m t$$

que es proporcional a $v_m(t)$ + una componente de continua, que se elimina como en el detector de envolvente

Detector de Producto(Coherente)- BLU

Observar :

- Si el oscilador local genera una frecuencia levemente diferente a la de portadora, por ejemplo: $\omega_{oL} = \omega_c + \Delta \omega_c$, entonces, cuando a la salida del filtro queda:

$$v_F(t) = KV_{BLU}V_O \cdot \cos(\omega_c + \omega_m - (\omega_c + \Delta\omega_c))t \quad \Longrightarrow \quad v_F(t) = KV_{BLU}V_O \cdot \cos(\omega_m - \Delta\omega_c)t$$

⇒ Se recupera en un tono diferente. No es tan grave, la señal es inteligible

- Para que se cancele ω_{oL} con ω_c ambas deben estar en fase (pensar en la resta de 2 señales senoidales). Por ejemplo si la señal del oscilador local tiene un desfase: $\omega_{oL} = \omega_c + \xi$

$$v_F(t) = KV_{BLU}V_O \cdot \cos(\omega_c + \omega_m - (\omega_c + \xi))t \quad \Longrightarrow \quad v_F(t) = KV_{BLU}V_O \cdot \cos(\omega_m - \xi)t$$

- **Depende del ángulo del desfase si la señal es inteligible o no.**
- Un método para conseguir $\omega_{oL} = \omega_c$ y $\phi = 0^\circ$, el transmisor envía una señal “piloto” de la portadora, que luego debe ser “recuperada y reconstituida” para ser insertada en el multiplicador.