

Sistemas de Radiofrecuencia

Tema 4. Mezcladores de frecuencia



Almudena Suárez Rodríguez
Franco Ramírez Terán
Mabel Pontón Lobete

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



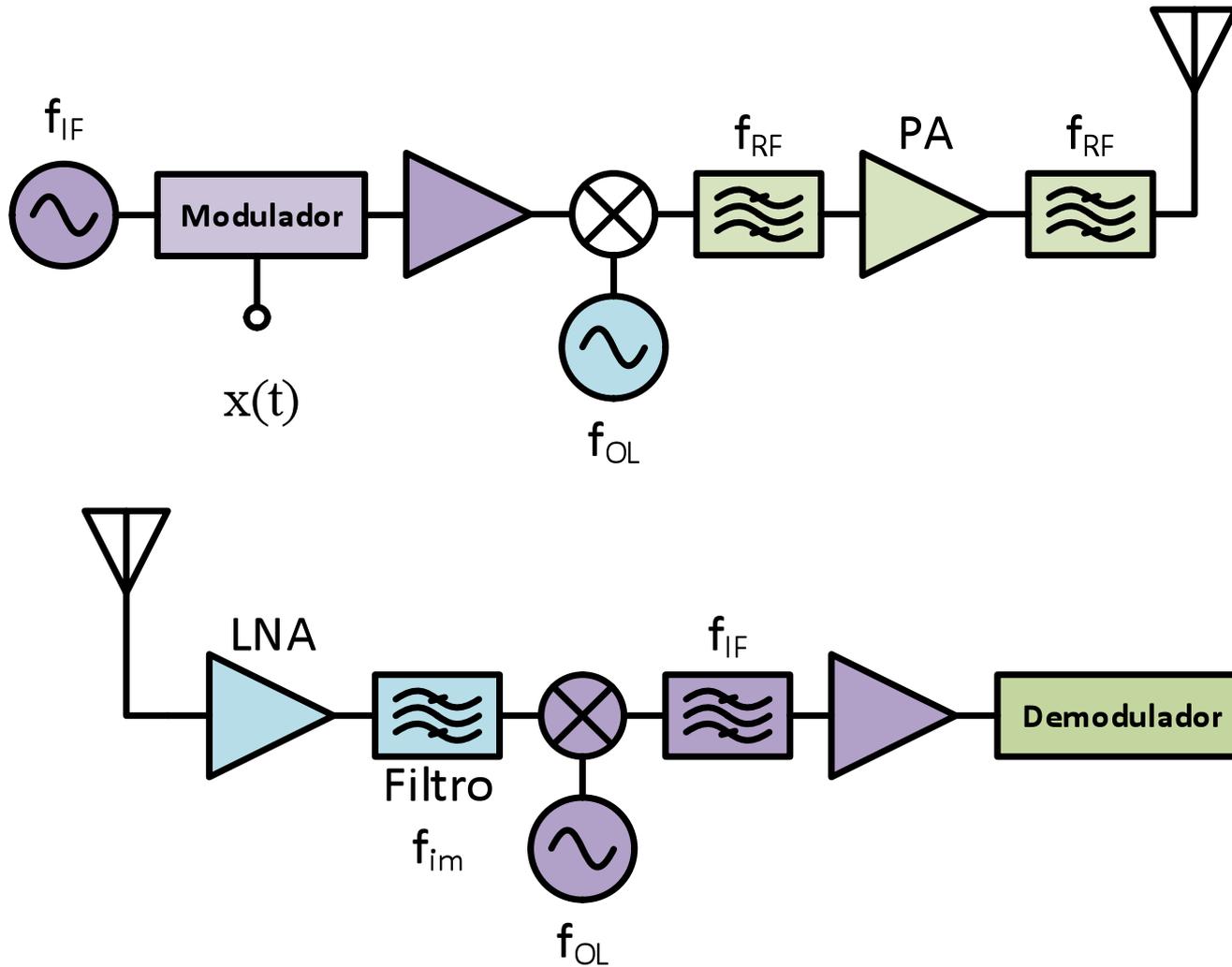
Índice

- Introducción.
- Principales características.
- Tipos de mezcladores.

Introducción

- Diagrama bloques transmisor receptor.
- Concepto conversión de frecuencia.
- Frecuencia imagen.

Introducción



Características

- Ganancia de conversión.
- Aislamiento.
- Linealidad:
 - P1dB.
 - IP3.
- Factor de ruido.
- Rango dinámico.

Ganancia de conversión

La ganancia (o pérdida) de conversión se define como:

$$g_C = \frac{\text{potencia de señal deseada a la salida}}{\text{potencia de la señal de entrada}}$$

Down-converter

$$g_C = \frac{\text{potencia IF}}{\text{potencia RF}}$$

$$G_{C,d} (\text{dB}) = P_{IF} (\text{dBm}) - P_{RF} (\text{dBm})$$

Up-converter

$$g_C = \frac{\text{potencia RF}}{\text{potencia IF}}$$

$$G_{C,u} (\text{dB}) = P_{RF} (\text{dBm}) - P_{IF} (\text{dBm})$$

Ganancia de conversión

$$g_c = \frac{\text{potencia de señal deseada a la salida}}{\text{potencia de la señal de entrada}}$$

- La potencia de OL no influye en el cálculo de g_c .
- Los mezcladores activos presentan ganancia de conversión positiva.
- Valores típicos de ganancia de conversión: de -6 a -9 dB.
- ❖ Las pérdidas incluyen la desadaptación entre generador y entrada, resistencia serie (mezcladores a diodo), términos de intermodulación orden superior, etc.

Aislamiento

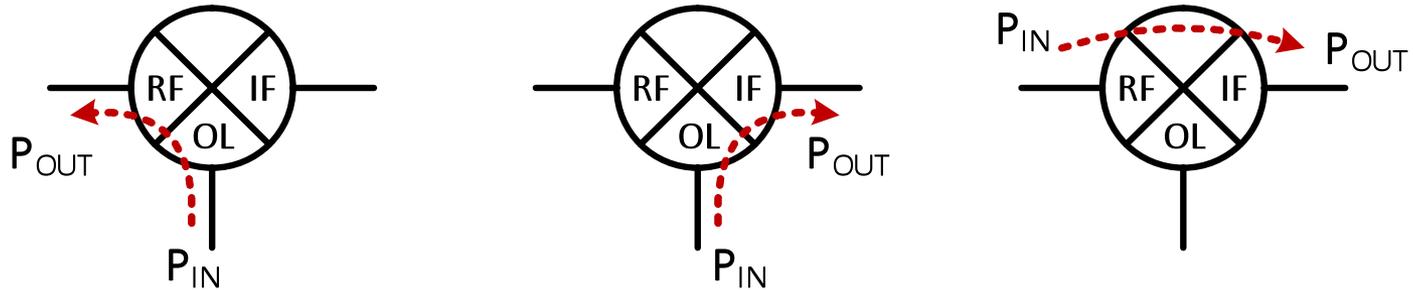
Parámetro que mide el acoplamiento ('leakeage') entre puertos del mezclador.

El acoplamiento de la señal del oscilador local es particularmente importante: la de mayor amplitud de las tres.

Se define el aislamiento como la diferencia de potencia entre la señal a la entrada de un puerto y la potencia a la misma frecuencia en otros, como resultado del acoplamiento.

$$P_{ISO} = P_{IN} - P_{OUT}$$

Aislamiento



L-R: Aislamiento entre el puerto OL y RF.

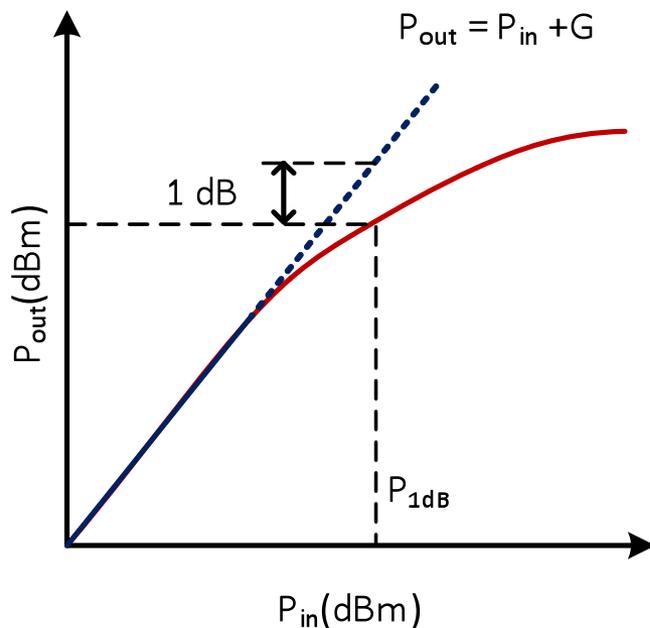
L-I: Aislamiento entre el puerto OL e IF.

R-I: Aislamiento entre el puerto RF e RF.

Punto de compresión de 1 dB

El punto en el que la salida deja de seguir linealmente a la entrada y se desvía en 1 dB.

Se observa a medida que la potencia de la señal de RF se incrementa.

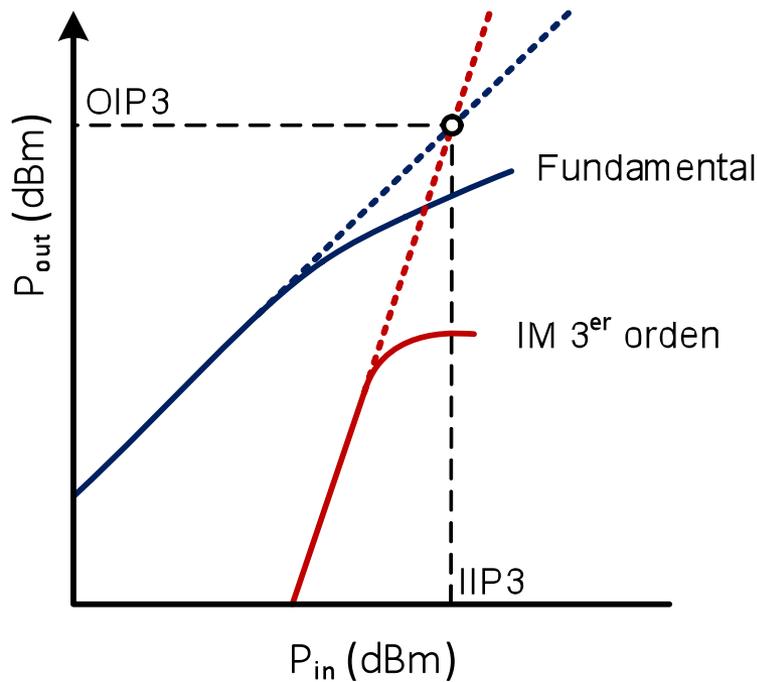


- En régimen lineal, la señal de OL es mayor y domina.
- En compresión ambas señales (OL y RF) 'compiten' y el funcionamiento del mezclador se ve comprometido.

Punto de intercepción de tercer orden

El punto en el que los productos de tercer orden igualan a la señal de salida deseada.

Es un punto ficticio dado que en la práctica el dispositivo saturará antes.

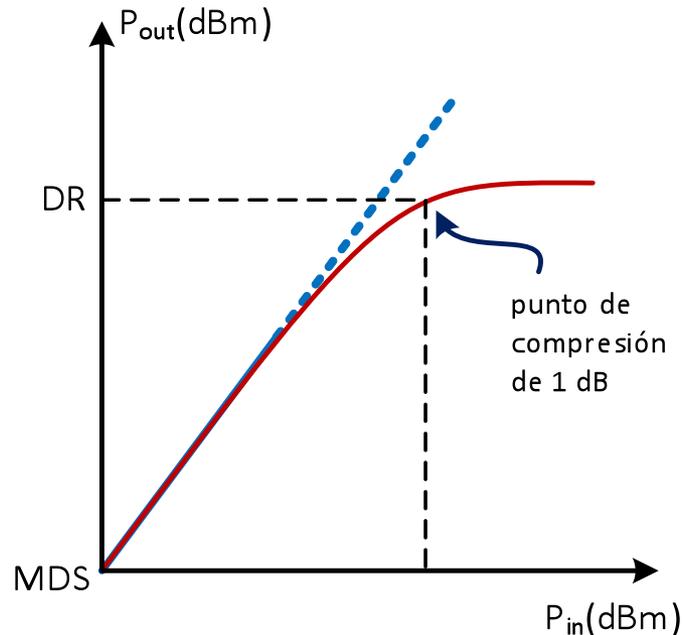


- Análisis de dos tonos espaciados Δf en frecuencia.
- Un valor alto de IIP3 garantiza un valor alto de DR y de P_{1dB} .

Rango dinámico

Márgen de niveles de potencia de entrada para los cuales la potencia de salida es ***proporcional linealmente*** a dicha potencia de entrada.

La constante de proporcionalidad es la ganancia (pérdida de conversión).



- El límite inferior corresponde a la mínima señal detectable (MDS).
- El límite superior viene dado por el punto de compresión de 1 dB.

Factor de ruido, F

En un mezclador está generalmente definido para un sistema de banda lateral simple:

$$F_{SSB} (dB) = G_C (dB) + 10 \log_{10} \left(\frac{\text{potencia de ruido a IF}}{\text{potencia de ruido a RF}} \right)$$

Definición para simple banda (se rechaza la banda imagen).

$$F_{DSB} (dB) = F_{SSB} (dB) - 3dB$$

Definición para doble banda (se contempla la banda imagen).

Tipos de circuitos mezcladores

Mezcladores pasivos – Diodos:

- Diodo Schottky:
 - Velocidad de conmutación alta.
 - Frecuencia máxima de operación mayor.
 - Tensión umbral menor a los diodos PN.
-

Mezcladores activos:

- Transistor bipolar.
- FET:
 - Frecuencia máxima menor al diodo.
- HBTs, HEMT, etc.

Tipos de circuitos mezcladores

Mezcladores pasivos:

- Pérdidas de conversión.
 - Alta tolerancia a los productos de intermodulación.
 - Requieren transformadores/baluns externos.
-

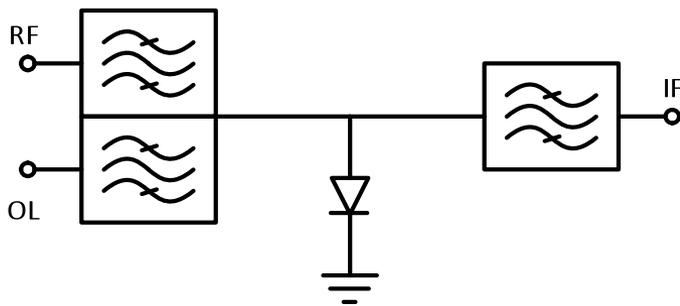
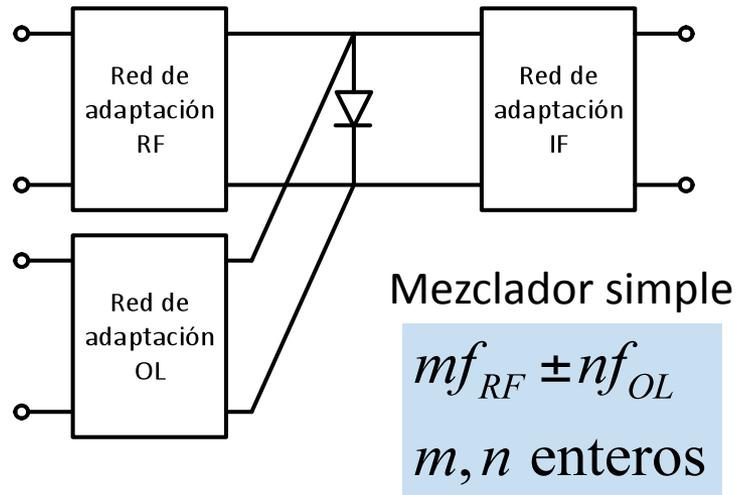
Mezcladores activos:

- Pueden proporcionar ganancia.
- Balunes activos – adecuados para integración IC.
- Peor comportamiento de intermodulación.

Tipos de circuitos mezcladores

- Simple.
- Balanceado.
- Doblemente balanceado.
- Triplemente-balanceado.

Mezclador simple



El mezclador más simple. Utiliza un diodo Schottky.

Se utiliza un diplexor para combinar las señales de RF y OL:

- Aislamiento bajo entre RF y OL.
- No existe supresión de espurios.

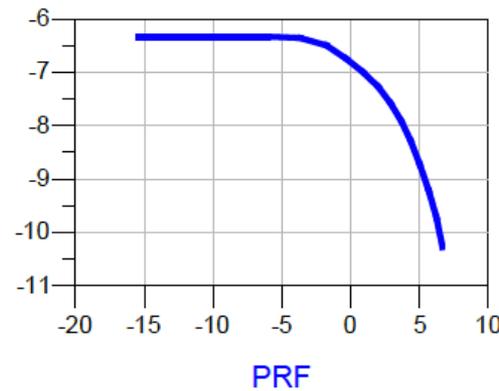
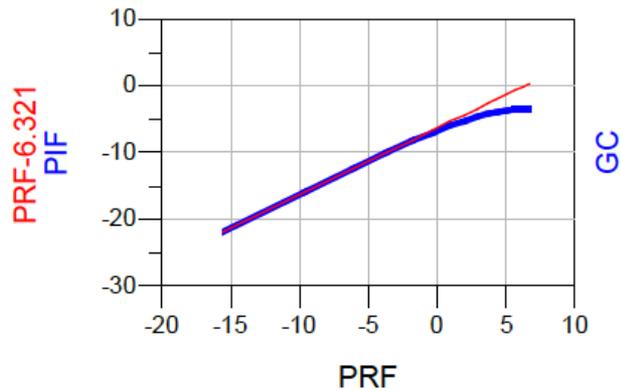
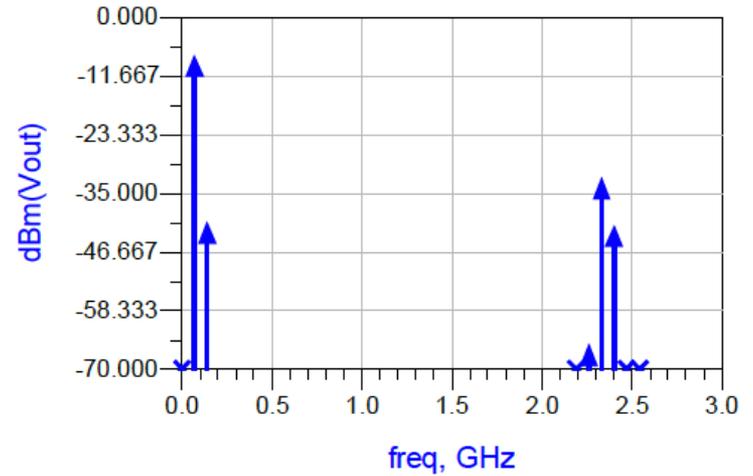
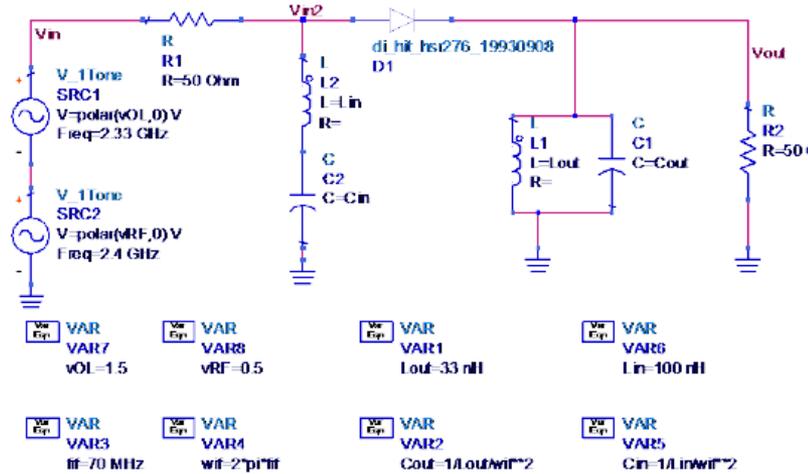
No presenta ganancia de conversión.

A pesar de sus limitaciones es útil a frecuencias muy altas donde otras técnicas no son totalmente aplicables.

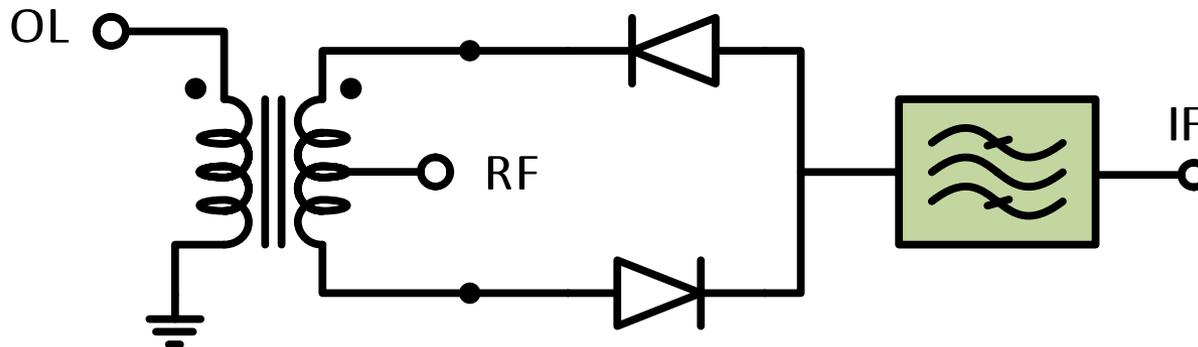
Ejemplo mezclador simple

HARMONIC BALANCE

HarmonicBalance
HB1
Freq[1]=2.33 GHz
Freq[2]=2.4 GHz
Order[1]=5
Order[2]=5



Mezclador balanceado

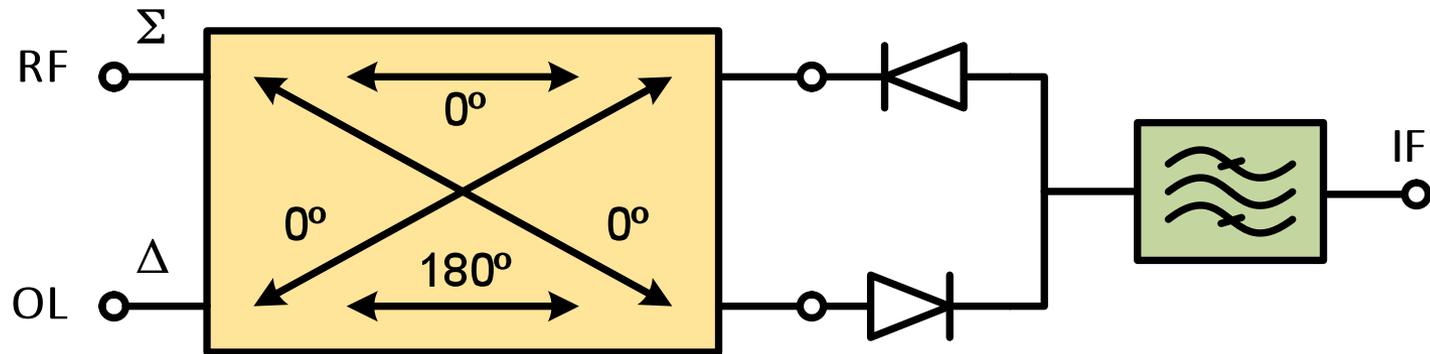


Se cancelan determinados productos de intermodulación OL – RF.
Se reducen los productos de intermodulación en un 50%.

Características:

- El aislamiento OL – RF mejora, pero depende de la adaptación de impedancia de los diodos.
- Se suprimen (rechazan) los armónicos pares de la señal OL.
- Rechazo del ruido AM del oscilador local.

Mezclador balanceado



Mezclador balanceado con híbrido de 180°.

Características (cont.):

- Se requiere mayor potencia de OL.
- Se suprimen los armónicos pares de la señal balanceada.
- Las señales OL y RF se conectan en un par de puertos mutuamente aislados (ISO).
- Los diodos se conectan con polaridades opuestas.

Mezclador balanceado

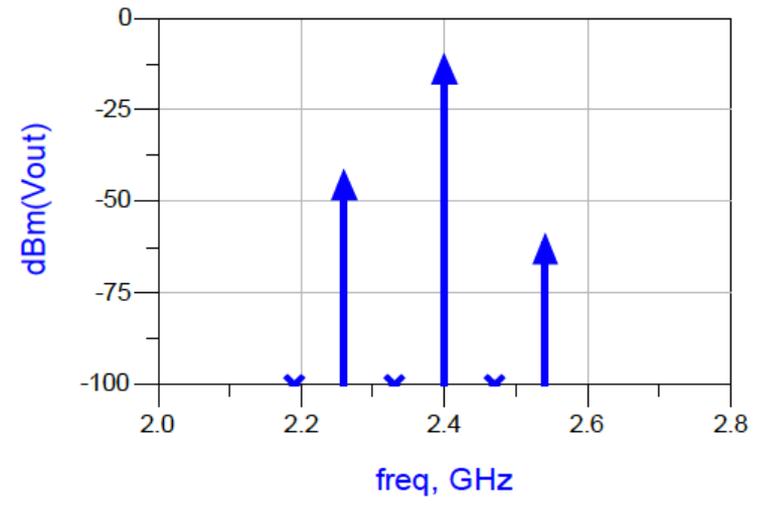
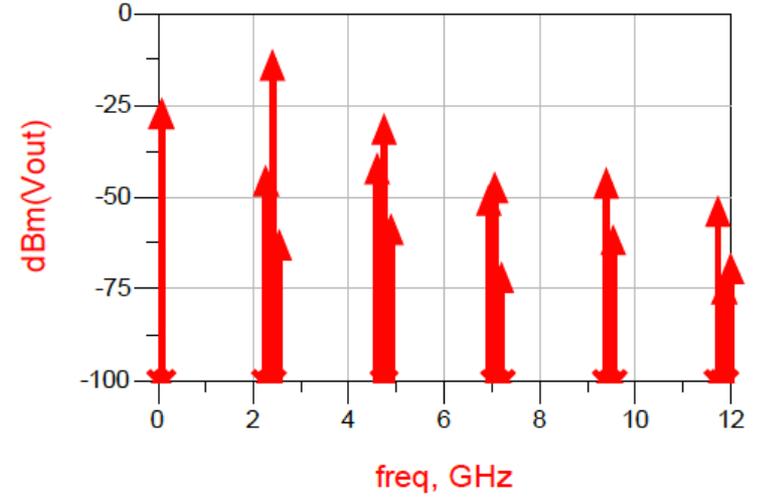
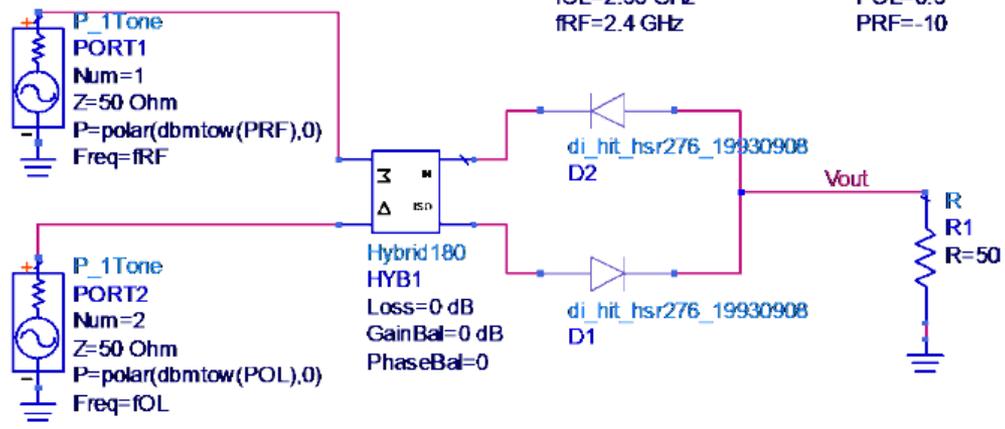
Ejemplo de diseño (I)

HARMONIC BALANCE

HarmonicBalance
 HB1
 Freq[1]=fOL
 Freq[2]=fRF
 Order[1]=5
 Order[2]=-5

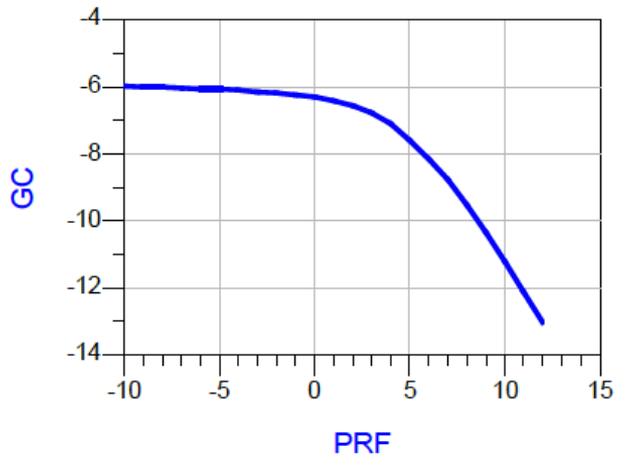
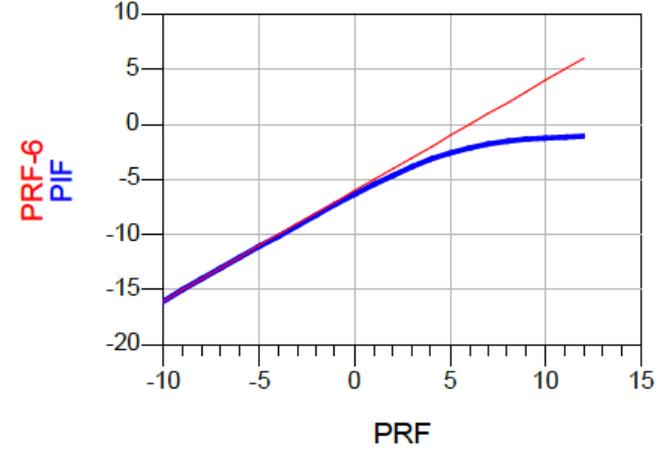
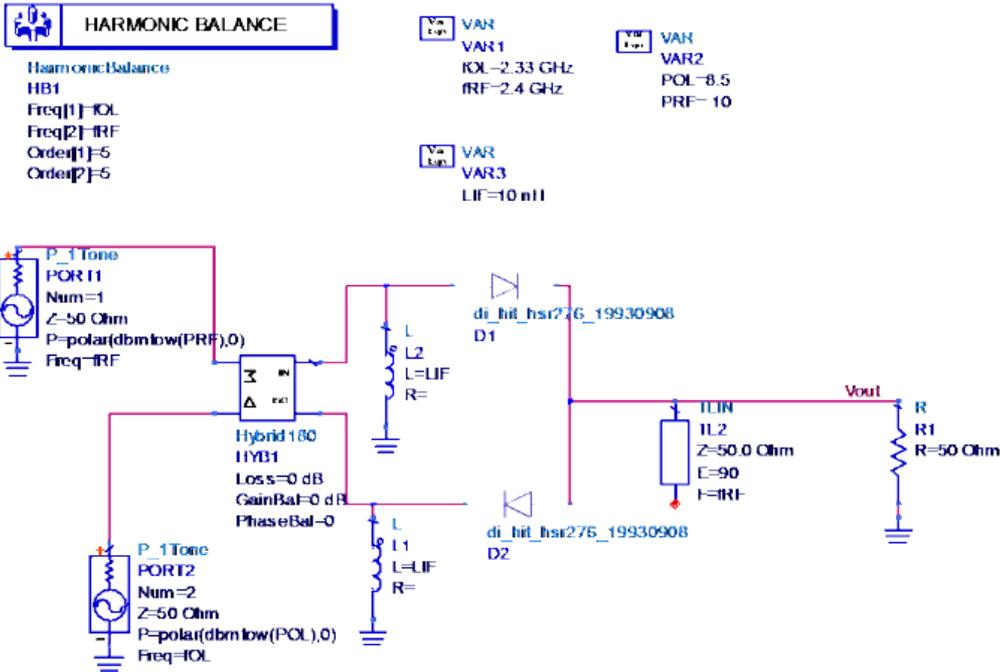
VAR
 VAR1
 fOL=2.33 GHz
 fRF=2.4 GHz

VAR
 VAR2
 POL=8.5
 PRF=-10



Mezclador balanceado

Ejemplo de diseño (II)

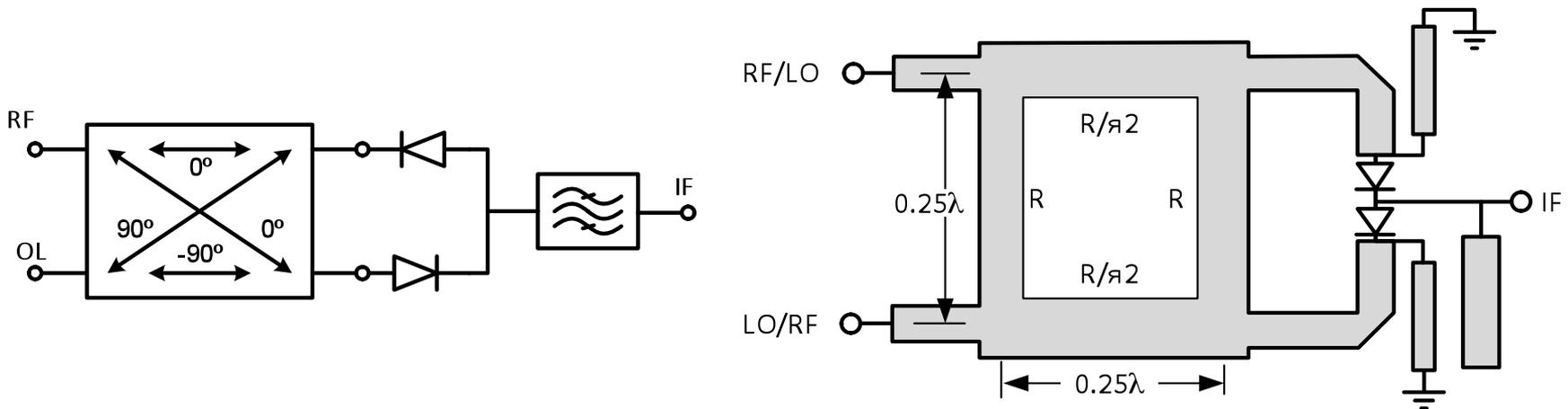


Las bobinas se implementan para conseguir el llamado 'retorno de IF' y proporcionan un camino de dc a los diodos.

La línea a la salida, es un corto circuito a RF: minimiza las pérdidas de conversión.

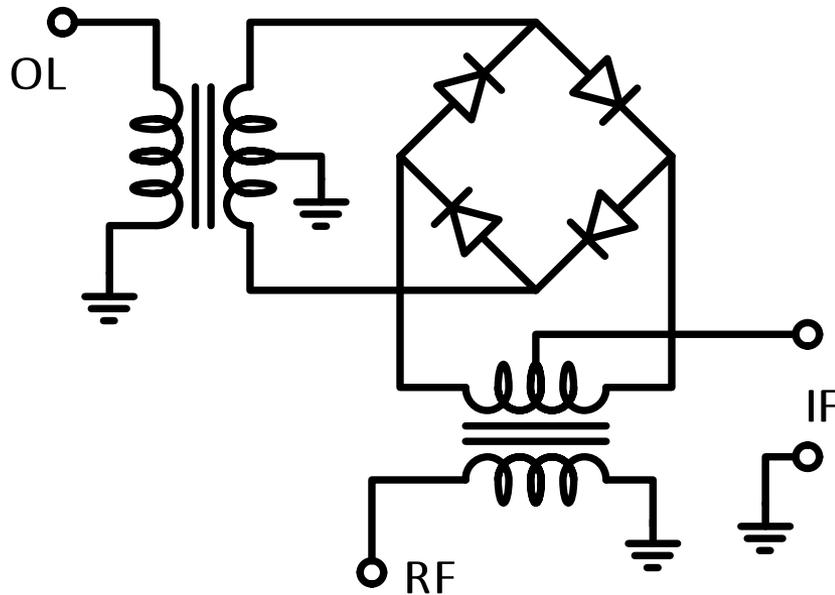
Mezclador balanceado

Mezclador balanceado con híbrido de 90° .



- Peor aislamiento RF-OL (10 dB típico) comparado con el híbrido de 180° .
- Los anchos de banda de RF y OL pueden ser distintos.
- No se rechazan productos de orden (2, 1) y (1, 2).
- La adaptación en los puertos RF y OL es mucho más crítica.

Mezclador doblemente balanceado



Utiliza cuatro diodos en configuración anillo (estrella).

Las señales de OL y RF están balanceadas y aisladas entre ellas.

Ventajas:

- Aislamiento entre todos los puertos.
- Mejora la linealidad.
- Mejora la supresión de espurios.

Desventajas:

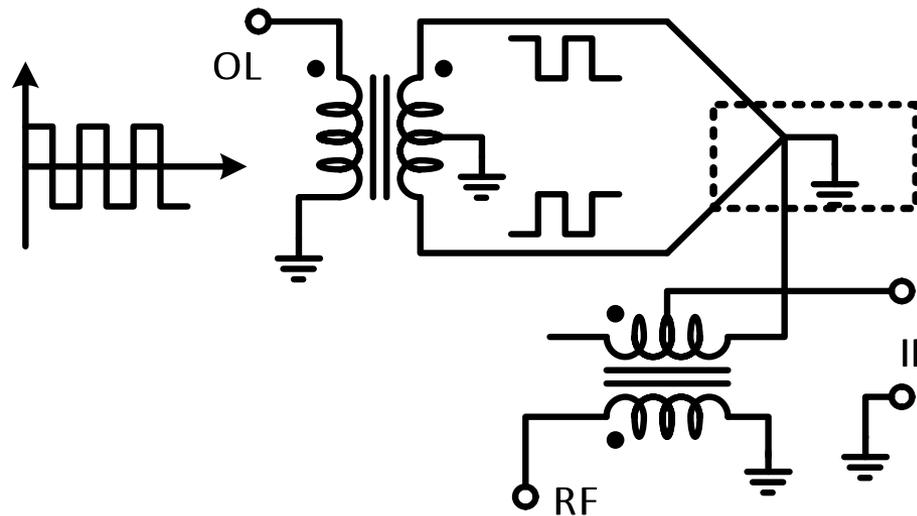
- Cuatro diodos y dos híbridos.
- Requiere más potencia de OL.

El voltaje de OL debe ser suficientemente alto para que los diodos actúen como conmutadores.

Mezclador doblemente balanceado

Principio de funcionamiento

En la parte positiva del ciclo de OL:

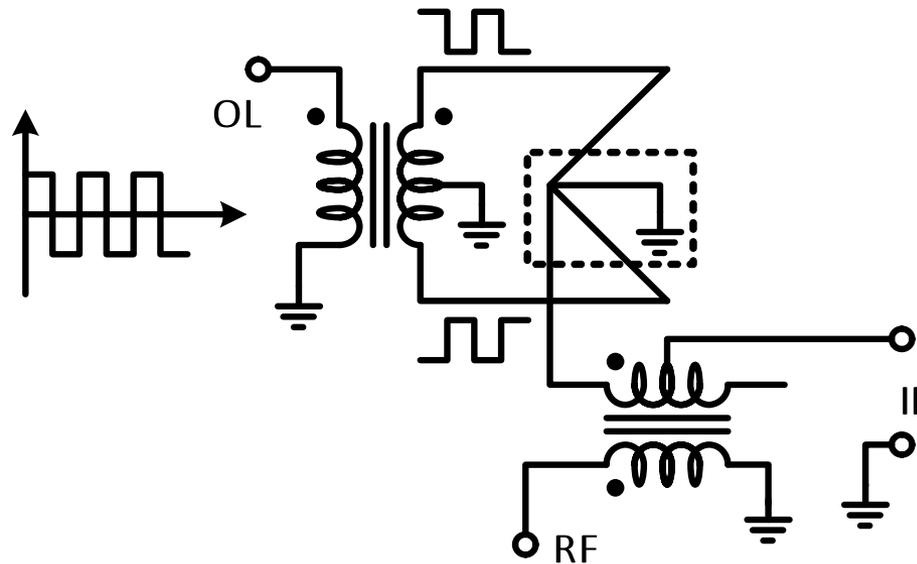


$$V_{IF} = V_{RF}$$

Mezclador doblemente balanceado

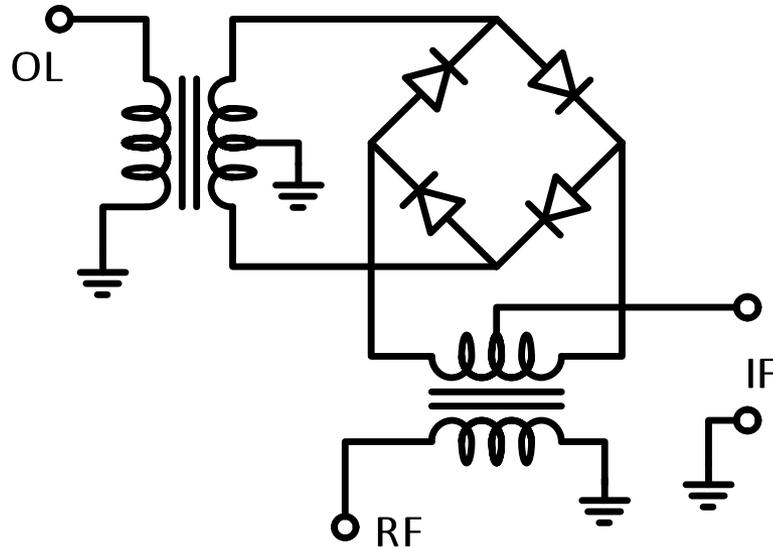
Principio de funcionamiento

En la parte positiva del ciclo de OL:



$$V_{IF} = -V_{RF}$$

Mezclador doblemente balanceado



La salida en el puerto IF es la multiplicación de la señal en el puerto RF, multiplicado por una señal cuadrada (@ f_{OL}) de amplitud 1.

$$v_{IF} = V_{RF} \cos(\omega_{RF}t) \text{sgn}(\omega_{OL})$$

Mezclador doblemente balanceado

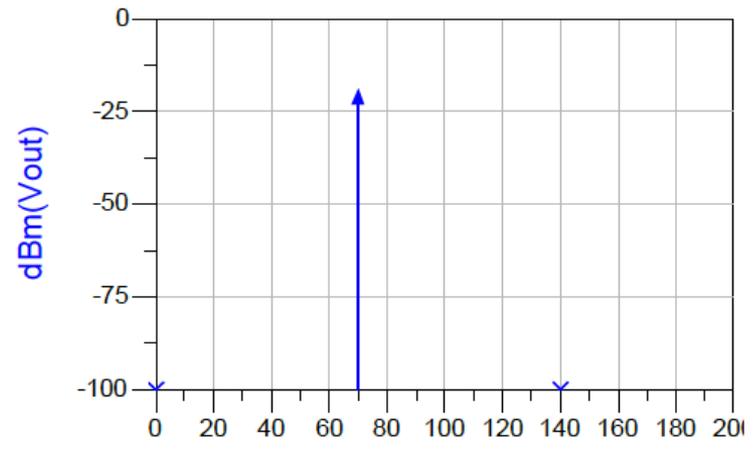
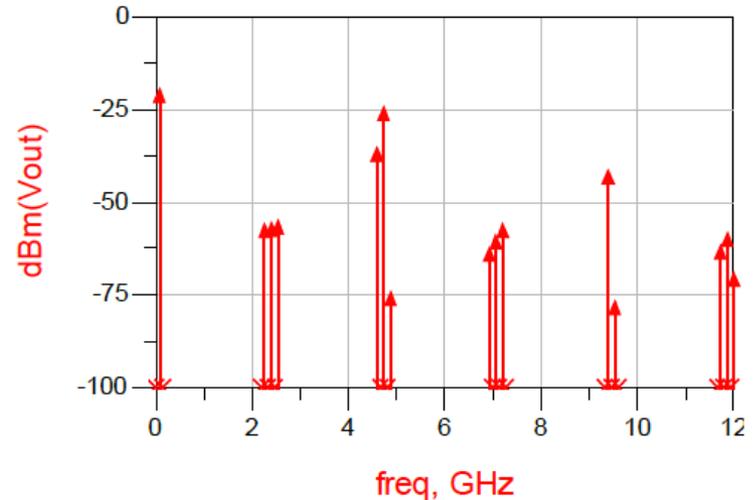
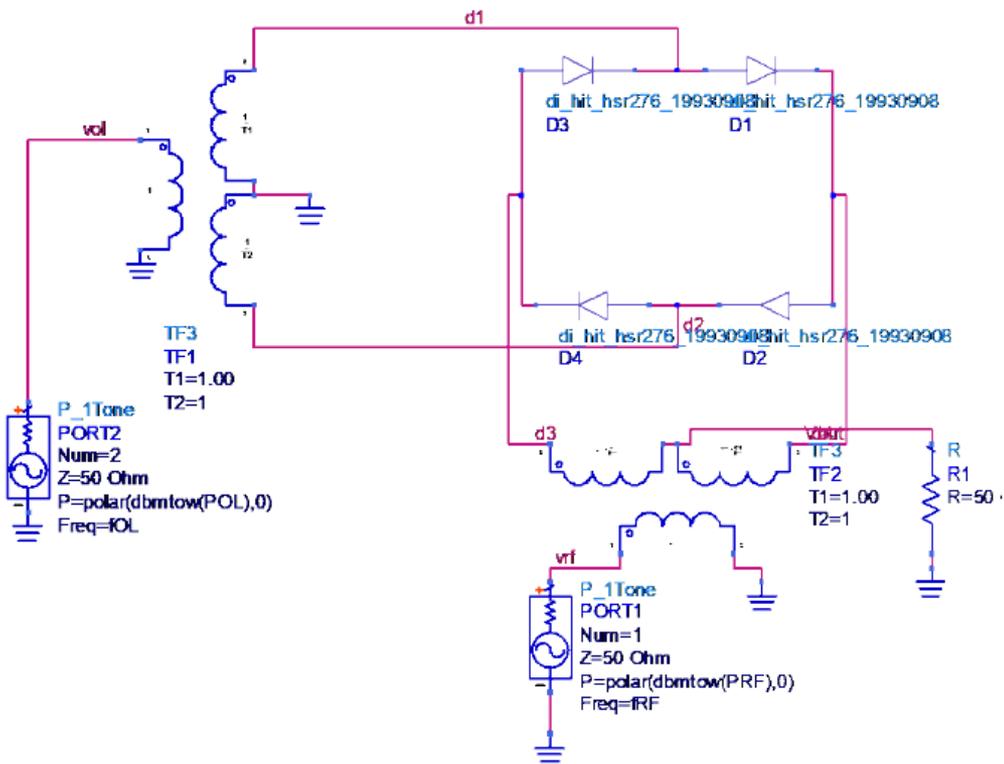
Ejemplo Down-Conversion (I)

HARMONIC BALANCE

HarmonicBalance
HB1
Freq[1]=fOL
Freq[2]=fRF
Order[1]=5
Order[2]=5

VAR
VAR1
fOL=2.33 GHz
fRF=2.4 GHz

VAR
VAR2
POL=7
PRF=10



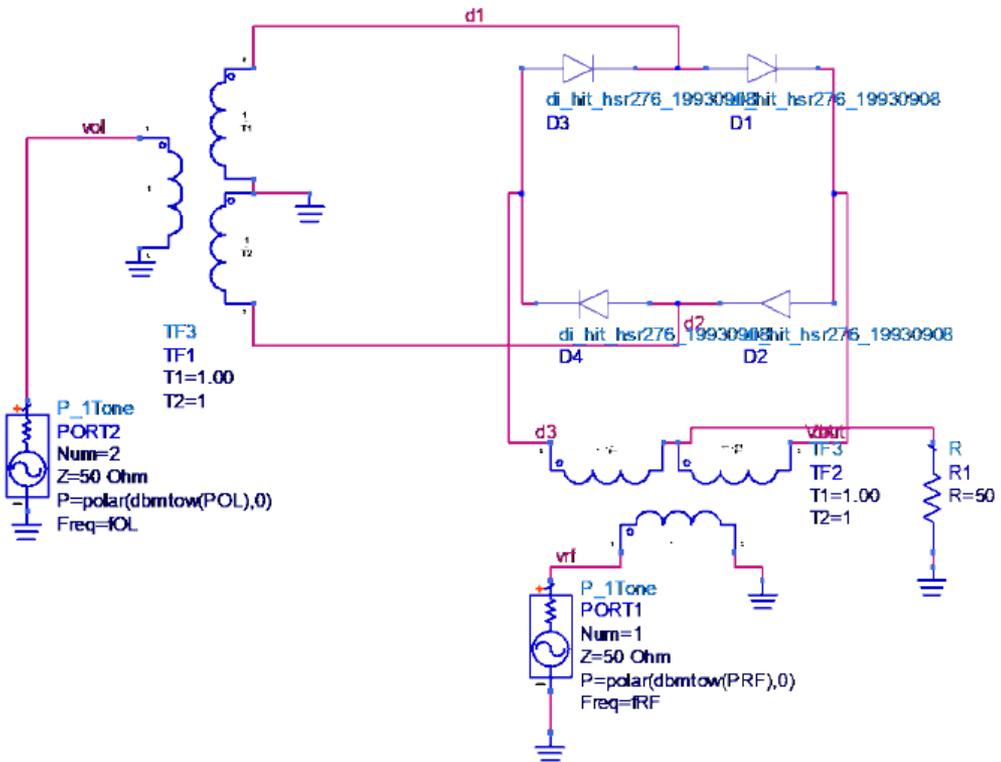
Mezclador doblemente balanceado Ejemplo Down-Conversion (II)

HARMONIC BALANCE

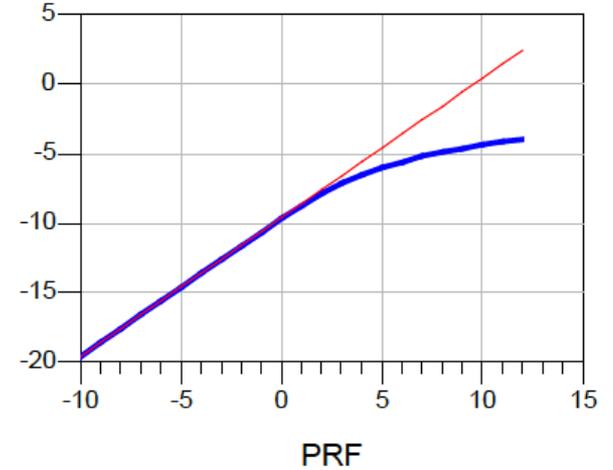
HarmonicBalance
HB1
Freq[1]=fOL
Freq[2]=fRF
Order[1]=5
Order[2]=5

VAR
VAR1
fOL=2.33 GHz
fRF=2.4 GHz

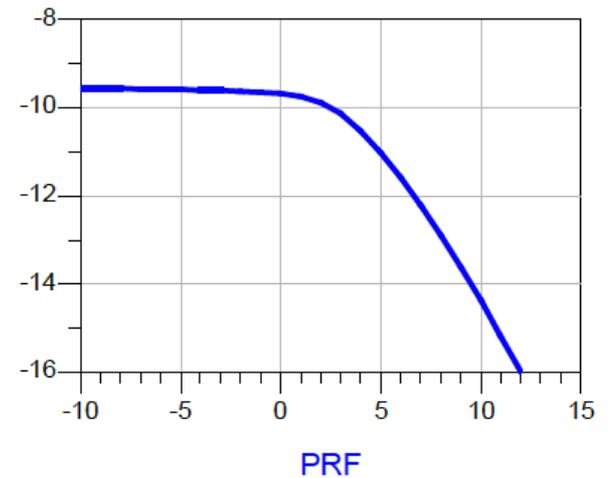
VAR
VAR2
POL=7
PRF=-10



PRF-9.578
PIF

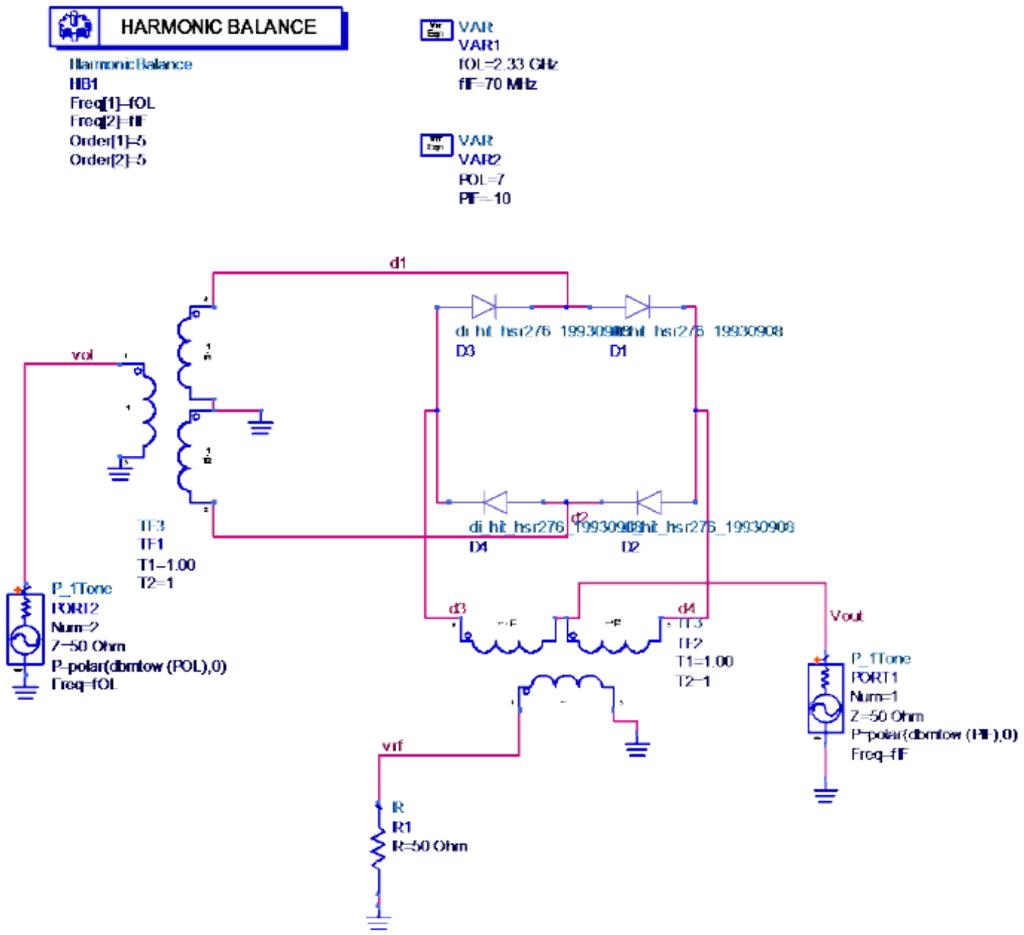


GC

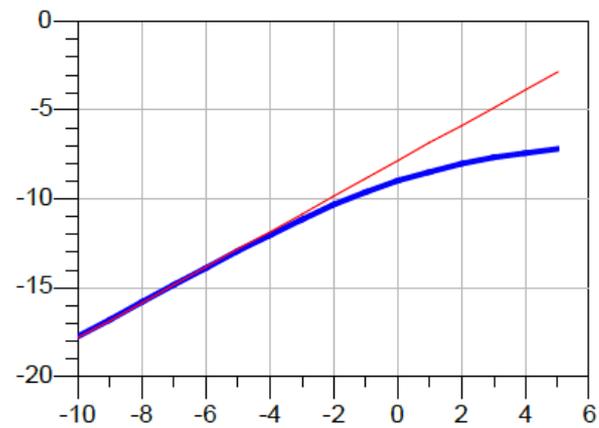


Mezclador doblemente balanceado

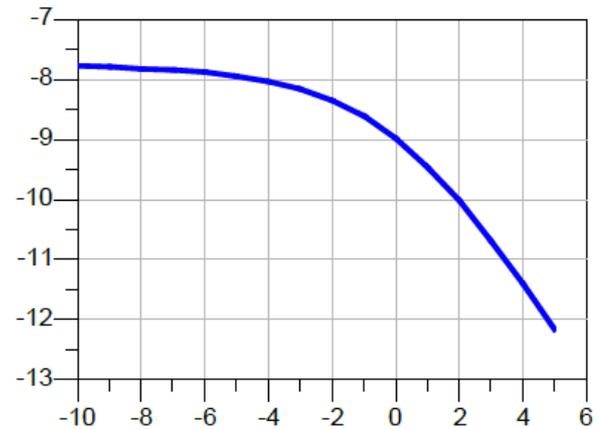
Ejemplo Up-Conversion (II)



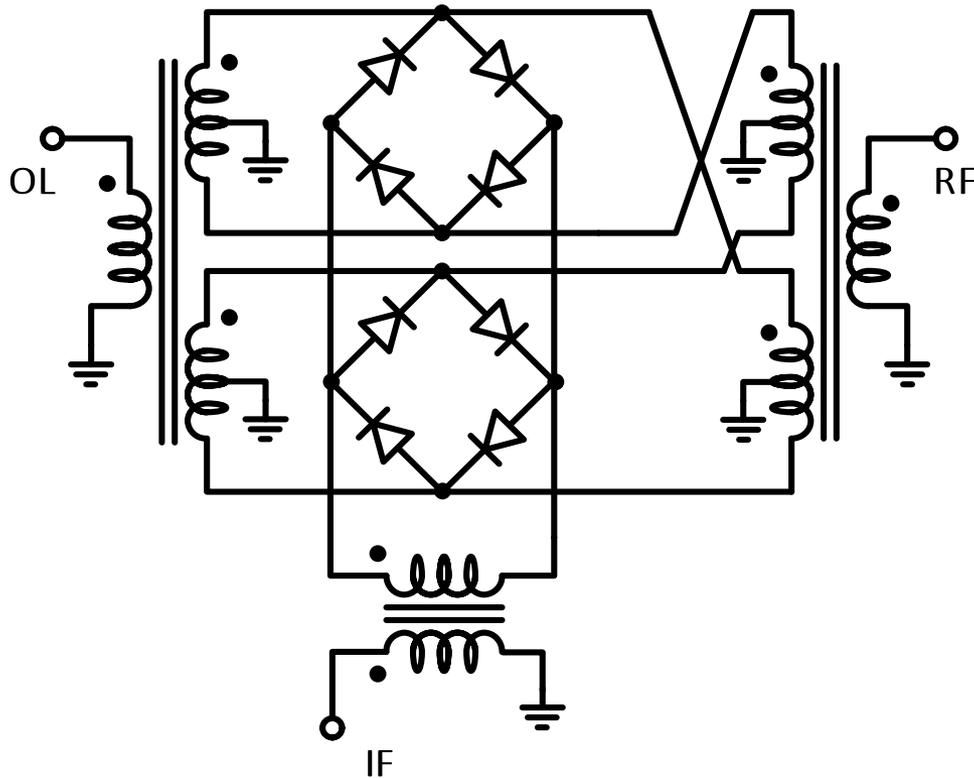
PIF-7.847
PRF



GC



Mezclador triplemente balanceado



Consta de dos mezcladores doblemente balanceados:

- Aislamiento entre puertos.
- Gran ancho de banda.
- Anchos de banda superpuestos para RF, OL e IF.
- Mayor supresión de armónicos.

Mezcladores pasivos - Resumen

Tipo de Mezclador	Ventajas	Desventajas
Simple	<ul style="list-style-type: none"> • Sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento entre puertos.
Balanceado	<ul style="list-style-type: none"> • Rechazo de ciertos espurios. • Supresión del ruido AM del OL. • Aislamiento OL/RF y RF/OL. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere mayor nivel de OL.
Doblemente balanceado	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los puertos están aislados. • Mayor supresión de espurios. • Ancho de banda. • Puntos de intercepción relativamente altos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mayores niveles de OL. • Requiere 2 baluns y 4 diodos. • Se requiere que los diodos sean 'idénticos'. • Transformadores distribuidos aumentan la complejidad.
Triplemente balanceado	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor linealidad. • Anchos de banda de RF, OL e IF superpuestos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor complejidad (3 baluns y 8 diodos). • Requiere mayores niveles de OL.

Mezcladores activos

Utilizan un dispositivo no lineal que combina mezclado y amplificación en un solo componente.

Ventajas:

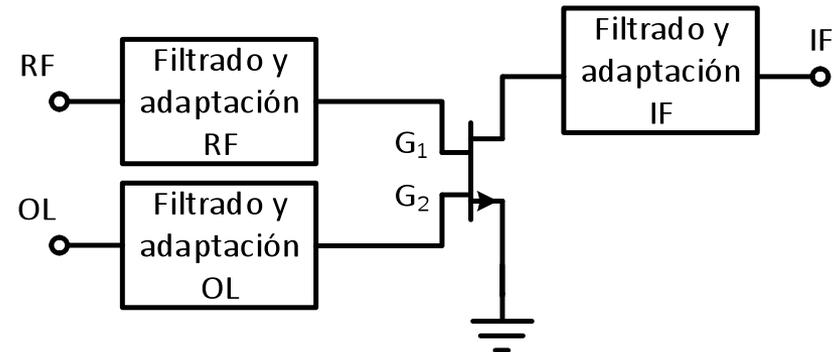
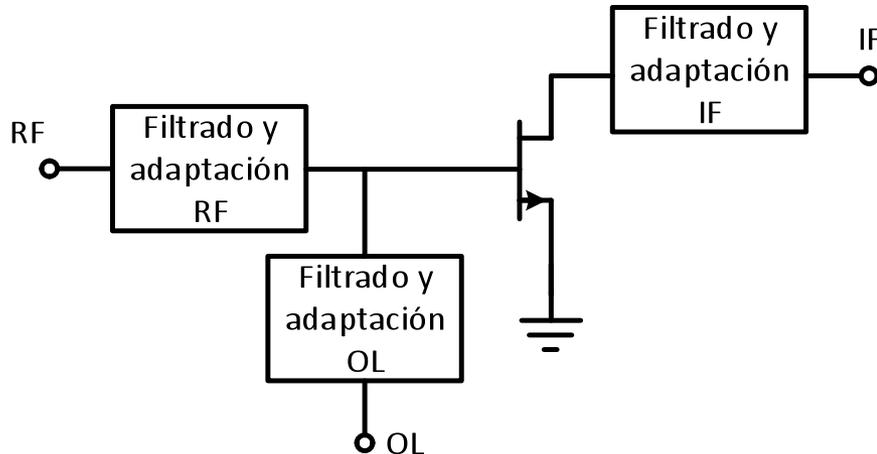
- Pueden presentar ganancia de conversión.
- Compatibilidad con circuitos integrados monolíticos.
- Sencillez. Aptos para utilizarse en circuitos balanceados.
- Requieren menor nivel de señal de OL.

Pueden utilizarse FETs, HBTs, o HEMTs como dispositivos no lineales.

Mezclador a FET

En los mezcladores a FET se tiene mejor aislamiento IF – OL e IF – RF dado que se puede considerar como dispositivo unilateral ($S_{21} \approx 0$).

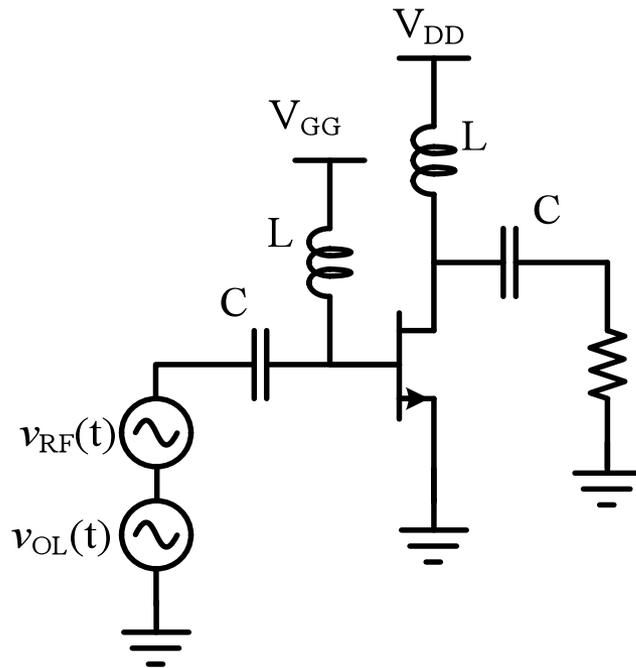
Si se utilizan dispositivos de puerta dual se obtiene un aislamiento inherente entre los puertos RF – OL.



Una desventaja de los FET es el mayor ruido $1/f$, pero puede evitarse en parte utilizando un mayor valor de f_{IF} .

Mezclador a FET

El mecanismo principal de mezclado es la transconductancia variable en el tiempo.



$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$g_m = \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} = g_{mo} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)$$

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{V_P}$$

Mezclador a FET

Considerando sólo la señal de OL, suficientemente grande, está presente a la entrada del FET:

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

La transconductancia en el punto de operación Q (V_{GG} , I_{DS}):

$$g_{mQ} = g_{mo} \left(1 - \frac{V_{GG}}{V_T} \right)$$

Mezclador a FET

La transconductancia del FET modulada por la señal OL es:

$$g_m(t) = g_{mQ} + \frac{g_{mo}}{|V_P|} V_{OL} \cos \omega_{OL} t$$

Si se inyecta una señal de RF tal que $V_{RF} \ll V_{OL}$:

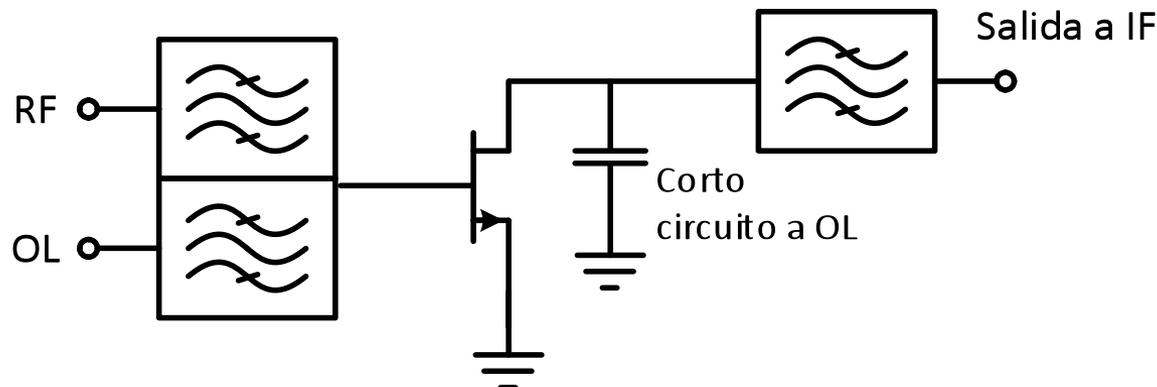
$$\begin{aligned} i_D(t) &= g_m(t) V_{RF} \cos \omega_{RF} t \\ &= g_{mQ}(t) V_{RF} \cos \omega_{RF} t + \frac{g_{mo}}{V_P^2} V_{OL} V_{RF} \cos \omega_{RF} t \cos \omega_{OL} t \end{aligned}$$

Mezclador a FET

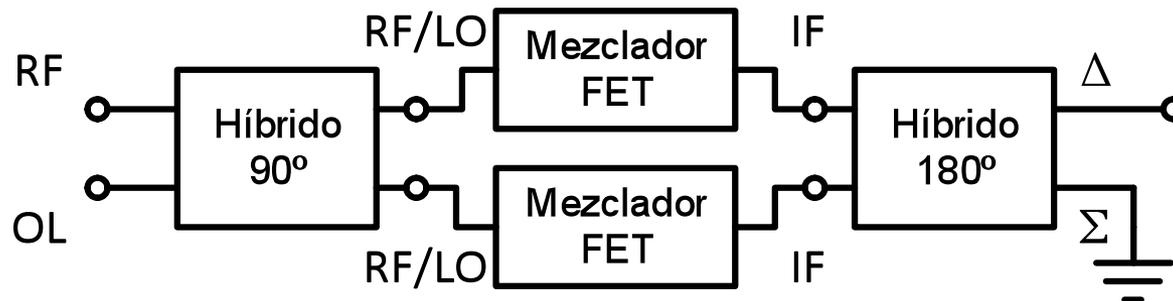
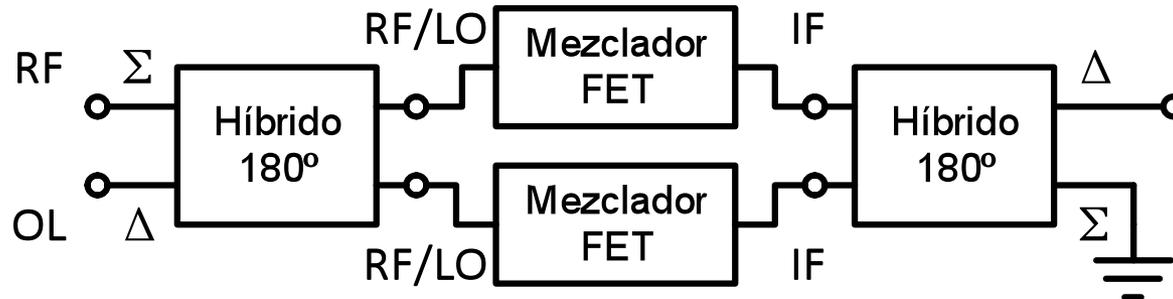
Para maximizar la ganancia de conversión se maximiza el margen de variación de la transconductancia.

Polarizar el transistor cerca del valor de *pinch-off* para que el transistor permanezca en la región de saturación la mayor parte del ciclo de OL.

Para ello se cortocircuita el terminal de drenador a la frecuencia de OL y sus armónicos.



Mezcladores a FET balanceados



- Mejoran el aislamiento RF – OL.
- Rechazo al ruido AM del OL.
- Menores espurios.
- Mayor rango dinámico.