

# TEMA 4: MEZCLA Y CONVERSIÓN DE FRECUENCIA

## Comunicaciones Inalámbricas

---

Marina Zapater

Primavera 2015

Departamento de Física Aplicada III, Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID

Introducción: El mezclador básico

Especificaciones

Dispositivos mezcladores

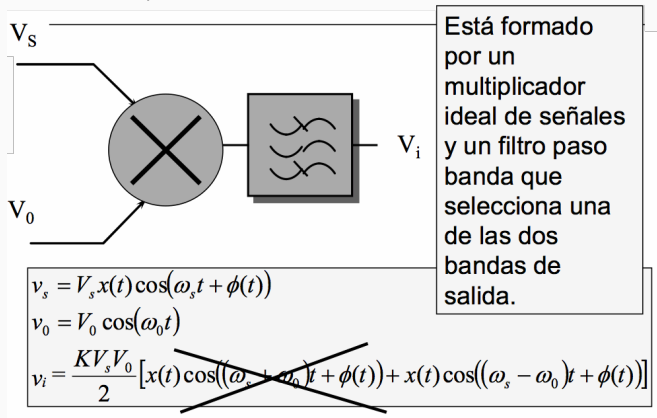
Circuitos mezcladores

Ejercicios

# INTRODUCCIÓN: EL MEZCLADOR BÁSICO

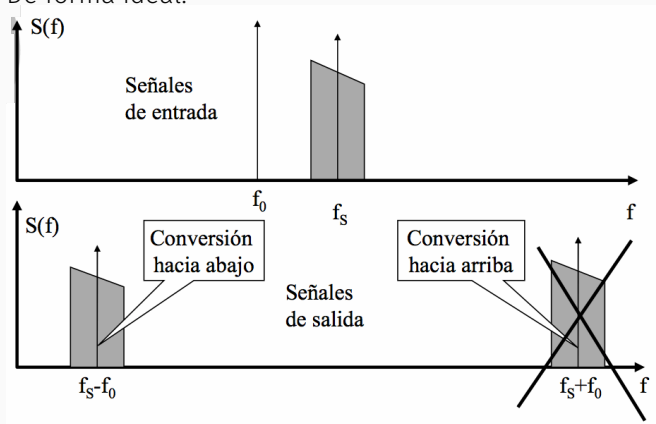
---

Dispositivo cuya tensión de salida es proporcional al producto de las tensiones aplicadas a la entrada.



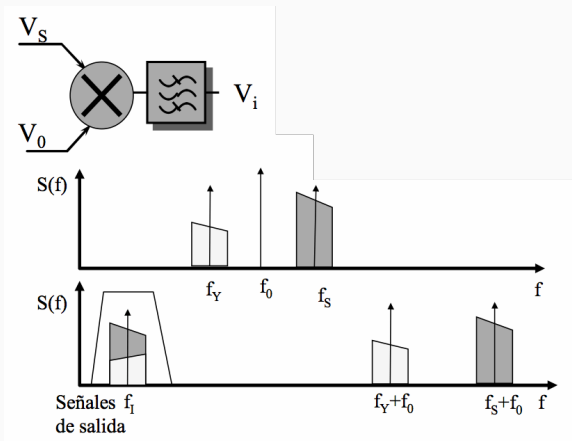
# EL MEZCLADOR BÁSICO: BANDAS

De forma ideal:



# EL MEZCLADOR BÁSICO: PROBLEMA DE LA BANDA IMAGEN

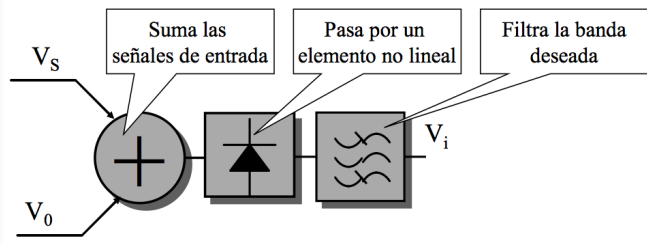
- La banda imagen ( $f_Y$  ó  $f_{im}$ ) es una frecuencia interferente que se convierte también en la banda de frecuencia intermedia y pasa el filtro de FI



- La banda imagen se corresponde a la frecuencia
$$f_Y = f_s + 2f_{FI} \text{ (para } f_s < f_0)$$
- La única forma de evitar este problema es impedir que la frecuencia imagen llegue al mezclador (filtrándola previamente).

# DISPOSITIVO NO LINEAL USADO COMO MEZCLADOR

- En la práctica no existe el mezclador básico
- La implementación práctica de un multiplicador de dos señales se realiza mediante elementos con respuesta no lineal (diodos o transistores).





- Y asumimos que la respuesta del cuadripolo no lineal puede aproximarse por una función polinómica:

$$\begin{aligned} v_i &= K_1(v_s + v_o) + K_2(v_s + v_o)^2 + K_3(v_s + v_o)^3 + \dots = \\ &= \dots 2K_2v_s v_o + \dots \end{aligned}$$

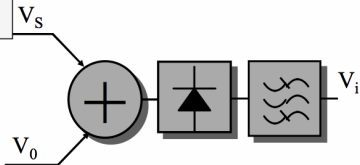
- La señal de salida está formada por una serie de señales entre las que aparece el producto de señales de entrada y que depende sólo del coeficiente de segundo grado
- Si lo podemos aislar (mediante filtrado) podemos usar elementos no lineales para construir conversores de frecuencia.

Todos los términos de la forma  $K_{m,n}v_s(t)^m v_o(t)^n$  dan lugar a mezclas espúreas que generan señales en frecuencias  $mf_s \pm nf_0$

**No solo aparecen la suma y diferencia de frecuencias de entrada, sino la suma y diferencia de sus armónicos**

$$v_s = V_s \cos(\omega_s t)$$

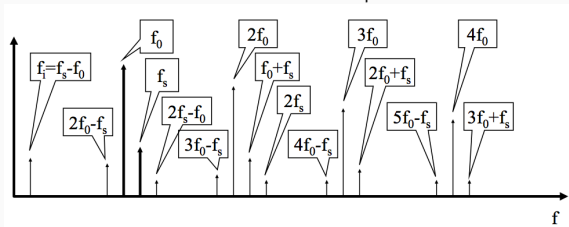
$$v_o = V_o \cos(\omega_o t)$$



$$v_i = K_1(v_s + v_o) + K_2(v_s + v_o)^2 + K_3(v_s + v_o)^3 + \dots =$$

$$= \sum_n \sum_m A_{m,n} v_s^m v_o^n = \sum_n \sum_m C_{m,n} V_s^m V_o^n \cos[(m\omega_s \pm n\omega_o)t]$$

Normalmente el oscilador es de mayor potencia que la señal RF, y sus armónicos son los más importantes



## ESPECIFICACIONES

---

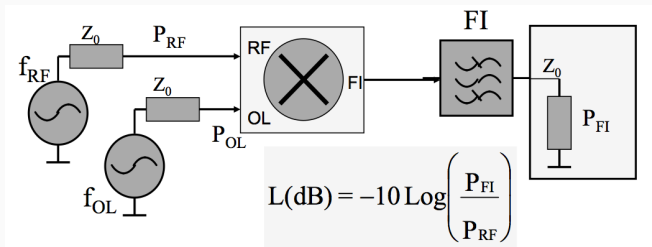
- Frecuencia de funcionamiento
- Pérdidas de conversión
- Aislamiento
- Coeficiente de reflexión
- Figura de ruido
- Generación de armónicos y espurios
- Saturación

Dan lugar a dos tipos de mezcladores:

- Mx de banda estrecha
  - Utilizan filtros para separar las bandas
  - Las bandas no se solapan
  - Usan mezcladores de 1 solo componente
  - Para electrónica de consumo o de muy alta frecuencia
  
- Mx de banda ancha
  - Combinan varios componentes
  - Separan las bandas con circuitos híbridos
  - Son más complejos y con mejores prestaciones
  - Aplicaciones profesionales hasta microondas

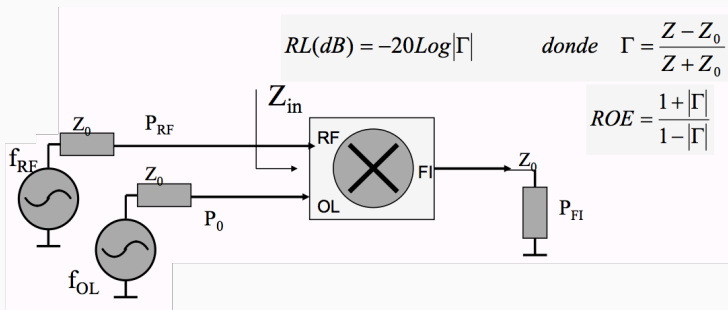
# PÉRDIDAS DE CONVERSIÓN: MEDIDA DE UN MX

- Se basa en dos señales de entrada con frecuencia variable:
  - La potencia de la señal de RF es variable  $P_{RF}$
  - La potencia del oscilador es constante  $P_{OL}$
  - La impedancia asociada a generador y carga es la nominal  $Z_0$
- Las pérdidas son independientes de la potencia de señal
- Se determinan en función de la frecuencia de RF
- A veces se da para varias potencias de oscilador



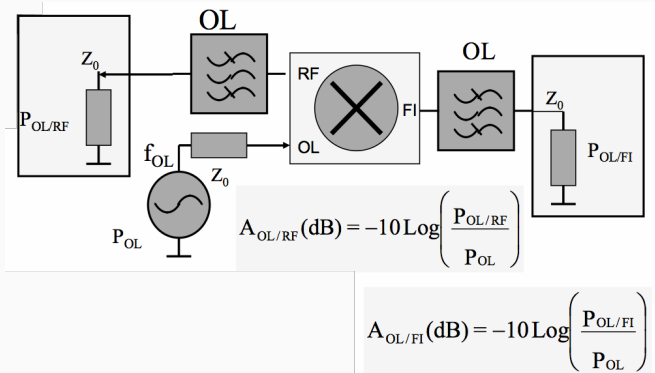
# IMPEDANCIAS NOMINALES Y ADAPTACIÓN

- Para minimizar las pérdidas por desadaptación de impedancias, la impedancia que presenta el mezclador en cada puerta debe ser igual a la nominal ( $Z_0$ ).
- Las impedancias de entrada y salida se comparan con la nominal
- Se suelen definir las pérdidas de retorno (RL) o la relación de onda estacionaria (ROE o VSWR).



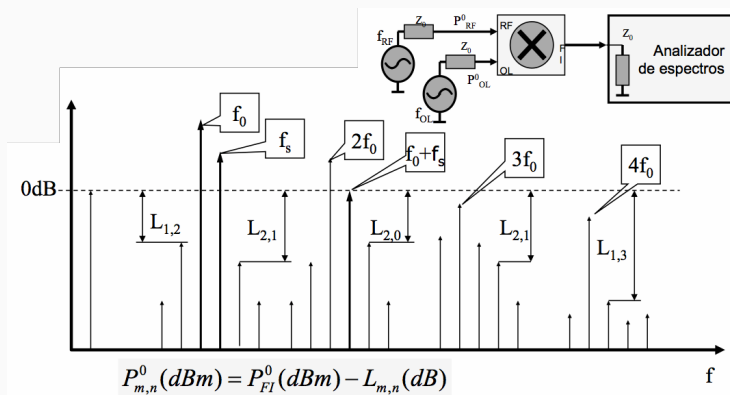


- En principio las señales de la entrada (OL/RF) no deben aparecer en ninguna de las otras puertas.
- Sin embargo, suelen existir unos ciertos acoplos entre puertas, por lo que podemos definir los **aislamientos** como pérdidas que sufre una señal al pasar de una puerta a otra sin conversión. Hay tres tipos:
  - Aislamiento RF-FI ( $A_{RF/FI}$ )
  - Aislamiento OL-FI ( $A_{OL/FI}$ )
  - Aislamiento OL-RF ( $A_{OL/RF}$ )
- El aislamiento se mide en dB y nos lo da el fabricante en el datasheet del mezclador.



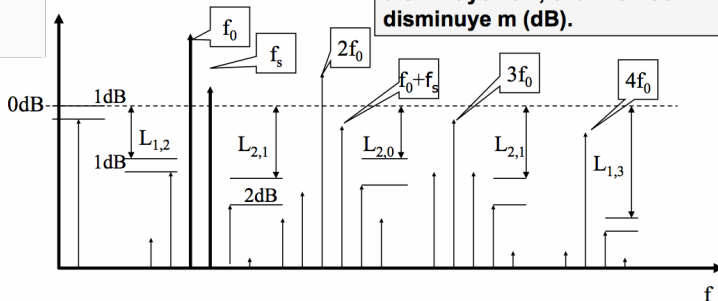
El elemento que más potencia tiene es OL, y es el que más problemas puede darnos.

- Se especifica la atenuación  $L_{m,n}$  con respecto a la mezcla principal ( $f_0 + f_s$ )



$$P_{m,n}(\text{dBm}) = P_{m,n}^0(\text{dBm}) + m \left[ P_{FI}(\text{dBm}) - P_{FI}^0(\text{dBm}) \right]$$

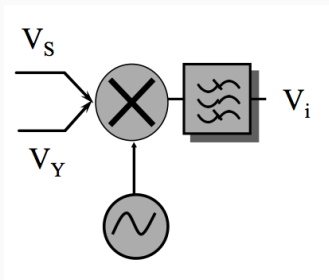
Cuando la señal de entrada disminuye 1dB, el armónico m disminuye m (dB).



- El ruido de entrada procede de dos bandas:

- banda de señal ( $f_s$ )
- banda imagen ( $f_V$ )

porque ambas generan ruido a la frecuencia intermedia



- El proceso de conversión no es igual en ambas bandas, así que podemos asignar a cada banda una ganancia  $g_s$  y  $g_Y$  y una temperatura de ruido del generador a la entrada  $T_s$  y  $T_Y$
- La potencia de ruido que genera el mezclador a su salida  $P_n$  no depende del ruido que proceda de cada banda

La potencia total de ruido a la salida será:

$$P = kB(T_s g_s + T_Y g_Y) + P_n$$

Intentamos calcular el ruido equivalente en el cuadripolo. En qué banda se inyecta el “ruido equivalente a la entrada”?

- Se define la temperatura equivalente en simple banda ( $T_{SSB}$ ) como la equivalente inyectada en la banda de señal
- Se define como temperatura en doble banda ( $T_{DSB}$ ) como la equivalente inyectada en las dos bandas

$$P = kB((T_s + T_{SSB})g_s + T_Y g_Y) = kB((T_s + T_{DSB})g_s + (T_Y + T_{DSB})g_Y)$$

- Y tenemos:

$$T_{SSB} = T_{DSB} \frac{g_s + g_Y}{g_s}$$

- Si las ganancias en señal e imagen son similares, ambas definiciones se relacionan por un factor dos:

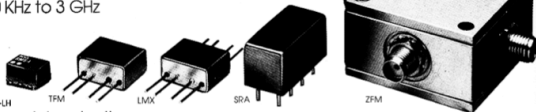
$$T_{SSB} = 2T_{DSB}$$

# EJEMPLO: ESPECIFICACIONES DEL MEZCLADOR

broadband high dynamic range

## Frequency Mixers

LEVEL 10 (+10 dBm LO, up to +5 dBm RF)  
50 KHz to 3 GHz



RMS-LH

TFM

LMX

SRA

ZFM

case style selection

outline drawings see Table of Contents

MODEL NO.	FREQUENCY MHz		CONVERSION LOSS dB		LO-RF ISOLATION, dB			LO-IF ISOLATION, dB			PRICE \$	DISTRIBUTOR									
	LO/RF $f_1-f_u$	IF	Mid-Band m	Total Range	L	M	U	L	M	U		Qty. [1-9]	F A C T O R Y	L O C A L							
	Typ.	Max.	Typ.	Max.	Typ.	Min.	Typ.	Min.	Typ.	Min.	Typ.	Min.	Typ.	Min.							
<b>NEW</b> RMS-1LH case TT100	2-500	DC-600	5.7	7.0	6.0	8.0	58	46	44	25	30	20	55	40	25	28	17	8.95	•	•	
RMS-2LH	5-1000	DC-1000	6.5	8.0	7.0	9.5	58	40	39	20	22	16	52	30	30	17	18	11	10.45	•	•
TFM case B13	TFM-15 10-3000	10-800	6.3	8.0	6.5	8.5	35	25	35	25	35	25	30	20	30	20	30	20	49.95	•	•
TFM-150 case B048	TFM-150 10-2000	DC-1000	6.0	8.0	6.5	8.0	32	25	35	25	35	25	33	20	30	20	30	20	45.45	•	•
LMX case B048	LMX-123 10-3000	10-1000	7.5	8.0	7.5	8.5	35	25	35	20	30	15	35	25	30	25	30	20	69.95	•	•
LMX-148 case B048	LMX-148 10-1500	DC-1500	6.0	7.0	6.0	10	45	40	35	30	25	20	40	35	35	25	20	12	29.95	•	•
SRA-2CR case A01	SRA-2CR 10-1000	5-500	6.0	7.5	7.0	8.0	50	40	40	30	30	20	40	25	30	18	25	15	17.95	•	•
SRA-215 case A01	SRA-215 .05-1500	.05-500	6.0	7.5	7.0	9.0	25	20	35	25	30	20	25	20	35	25	25	15	28.95	•	•
SRA-220 case A01	SRA-220 .05-2000	.05-500	6.0	8.0	7.0	9.0	25	20	40	30	30	20	25	20	40	30	25	15	31.95	•	•
ZFM case K18	ZFM-15 10-3000	10-800	6.3	8.0	6.5	8.5	35	25	35	25	35	25	30	20	30	20	30	20	89.95	•	•
ZFM-150 case K18	ZFM-150 10-2000	DC-1000	6.0	8.0	6.5	8.0	32	25	35	25	35	20	33	20	30	20	20	20	69.95	•	•

L=low range ( $10 f_L$  to  $10 f_U$ )

M=mid range ( $10 f_L$  to  $f_U/2$ )

U=upper range ( $f_U/2$  to  $f_U$ )

m=mid band ( $2 f_L$  to  $f_U/2$ )



# EJEMPLO: ESPECIFICACIONES DEL MEZCLADOR

## harmonic attenuation

Harmonics RF Order	RF	MODEL TFM-15											
	CAL												
1	0	0	31	17	42	32	48	47	52	65	59		
2	83	38	45	39	48	46	76	69	70	64	71		
3	87	39	49	37	52	42	57	63	65	65	65		
4	89	64	60	58	56	59	60	62	69	74	70		
5	90	74	69	59	72	55	74	58	71	67	72		
6	83	83	76	74	67	69	67	72	70	74	78		
7	83	76	83	81	79	69	71	66	70	69	77		
8	84	75	76	81	82	77	77	80	78	78	77		
9	84	77	76	75	82	80	81	82	80	79	80		
10	81	76	76	74	75	80	81	81	81	80	81		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Harmonic LO Order

MODEL: TFM-15

LO: +10 dBm 969.01 MHz.

RF: 0 dBm 999.01 MHz.

### NSN GUIDE

MCL NO. NSN

ZFM-150 5995-01-217-0878

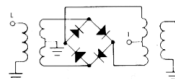
### NOTES:

#### ■ NON-HERMETIC

- Below 10 MHz IF, conversion loss increases up to 6dB higher as frequency decreases to DC.

1. For qualify control procedures, environmental specifications, and Hi-Rel, Mk, and TX description see Table of Contents.
2. Absolute Maximum Ratings, RF power 50 mW/level 10, 200 mW/level 13, except RMS-MH 150 mW. Peak IF current 40 mA, see Table of Contents.
3. For connector types and case mounting options, see case style outline drawings, see Table of Contents.
4. Prices and specifications subject to change without notice.

### schematic



## Características básicas

Frecuencia (MHz)	RF/LO	10-3000
	IF	10-800
Potencia LO (nominal)		10 dBm
Impedancia nominal		50 ohm
ROE		2:1 máx.
Pérdidas de conversión		6.5 dB (8.5 máx)
Aislamiento	LO-RF	25 dB mín.
	LO-IF	20 dB mín.
Punto de compresión 1 dB (Potencia de entrada en RF)		
	P(1dB)	5 dBm

## EJEMPLO 1: CONVERSIÓN DE FRECUENCIA

El mezclador se utiliza en un receptor para trasladar la banda de recepción, centrada en 1500 MHz, a una frecuencia intermedia centrada en 70 MHz. La señal de entrada de RF es de 1500 MHz con un nivel de  $-50\text{dBm}$  y la de OL de  $10\text{dBm}$ . Determine la frecuencia de la señal en la puerta de OL y los niveles a la salida en FI.

## EJEMPLO 2: GENERACIÓN DE MEZCLAS ESPÚRIAS

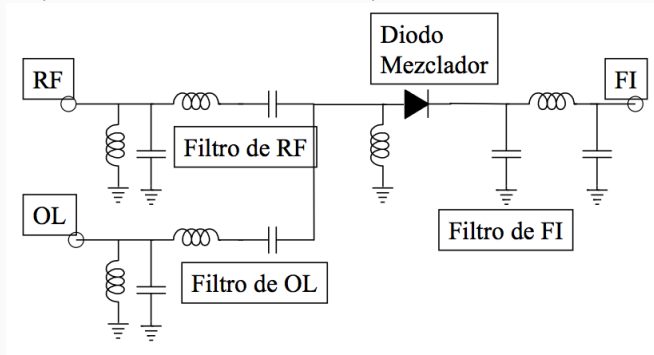
Considere el cuadro de atenuación de armónicos correspondiente al mezclador de banda ancha del ejemplo anterior. Considere el espurio (3,5), que procede de la mezcla del tercer armónico de la señal de entrada con el quinto del oscilador. Determine su nivel a la salida para:

1. Un nivel de 0dBm de la señal de entrada
2. Un nivel de -5dBm de la señal de entrada

## DISPOSITIVOS MEZCLADORES

---

Esquema de un mezclador simple de banda estrecha:



- Las entradas RF y OL se separan mediante un filtro de doble entrada → adaptar impedancia y obtener buen aislamiento
- En general, el mezclador es de frecuencia fija.
- Filtro de salida: deja pasar FI, intenta filtrar el resto de componentes.
- Sólo tenemos elementos reactivos para no cargar el diodo

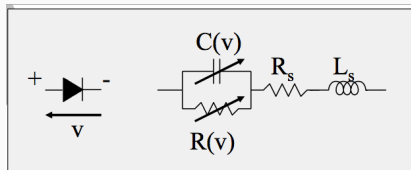




- Diodos de barrera Schottky
- Diodos varactores (poco usado, peor que el Schottky)
- Transistores bipolares (mucho ruido)
- Transistores MESFET
- Circuitos integrados

# DISPOSITIVOS MEZCLADORES: DIODO SCHOTTKY

- Es el dispositivo más empleado. Cubre un amplio margen de frecuencia (10MHz a 1000GHz).
- Nivel de pérdidas de entre 4 y 10dB y figura de ruido del mismo orden.
- En general se utilizan en mezcladores equilibrados.
- Son diodos de unión metal-semiconductor (tipo N). El proceso de mezcla se centra en la resistencia variable.
- La capacidad y resistencia serie limitan la frecuencia útil



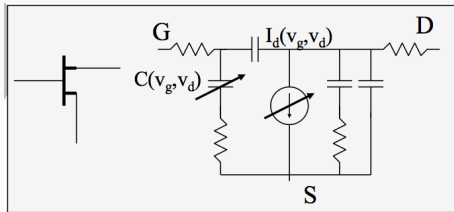
$$C(v) = \frac{C_0}{\left(1 - \frac{v}{\phi_b}\right)^{1/2}}$$

$$G(v) = \frac{1}{R(v)} = \frac{I_0}{\Delta V} 10^{\left(\frac{v}{\Delta V}\right)}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_s C_0}$$

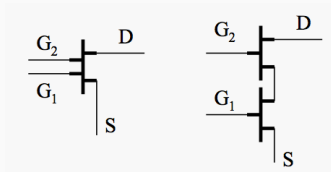
# DISPOSITIVOS MEZCLADORES: TRANSISTOR MESFET

- Trabajan desde algunos MHz a 10GHz.
- Son transistores de efecto de campo (FET) de unión metal-semiconductor. El proceso de mezcla se centra en la transconductancia no lineal.
- Ofrecen ganancia de conversión (en vez de pérdidas), mejores prestaciones de ruido que un bipolar y necesitan menor potencia del oscilador local.

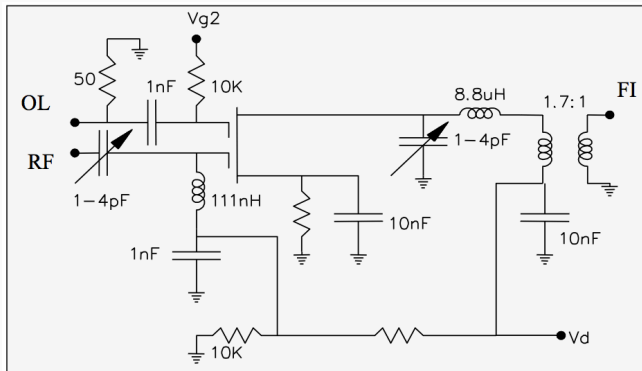


$$I_d(v_g, v_d) = \beta(v_g - v_t)^2(1 - \lambda v_d) \text{Tanh}(\alpha v_d)$$

- El MESFET de doble puerta permite trabajar con entradas independientes de RF y OL.
- El proceso de mezcla se centra en la transconductancia no lineal
- Ofrecen ganancia de conversión, buen aislamiento y baja potencia de OL.



Esquema de un mezclador con MESFET de doble puerta:



Comparación entre mezcladores:

<b>MEZCLADORES</b>	<b>Diodos Schottky</b>	<b>MESFET's</b>	<b>Bipolares</b>
Frecuencia máxima:	<i>1000 GHz</i>	<i>50 GHz</i>	<i>200 MHz</i>
Espúreos:	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Malo</i>
Ganancia:	<i>-3 a -10 dB</i>	<i>5 a 10 dB</i>	<i>10 a 20 dB</i>
Figura de ruido:	<i>3 a 10 dB</i>	<i>6 a 10 dB</i>	<i>10 a 15 dB</i>
Tecnología:	<i>Si/AsGa</i>	<i>AsGa</i>	<i>Si</i>
Aplicaciones:	<i>Circuitos Híbridos de Microondas</i>	<i>1p: CI microondas 2p: componentes discretos</i>	<i>Circuitos integrados RF</i>

## CIRCUITOS MEZCLADORES

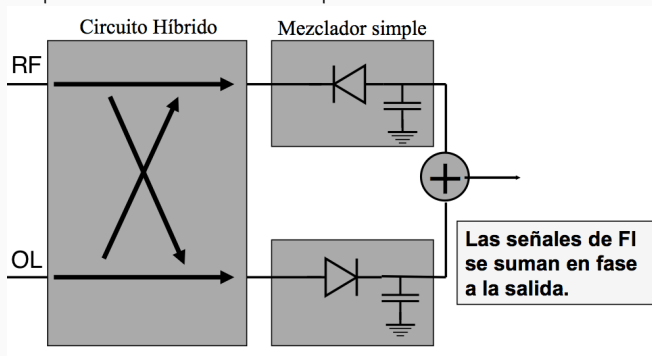
---

- Mezcladores equilibrados
- Mezclador doblemente equilibrado
- Mezclador con rechazo de imagen

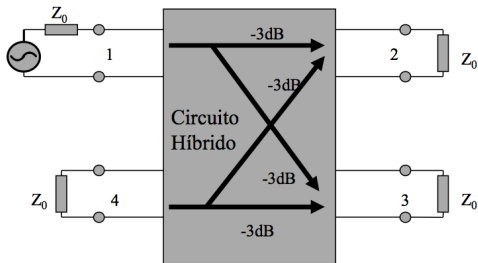


- En el mezclador simple, separábamos señales RF y OL a base de filtrado
  - Se complica si trabajamos con señales de banda ancha
  - o si las frecuencias RF y OL son muy cercanas
- El mezclador equilibrado separa RF y OL sumando en fase las señales deseadas y restando las no deseadas.
- Usa dos mezcladores simples idénticos conectados por una red pasiva (circuito híbrido)

Esquema del mezclador equilibrado:

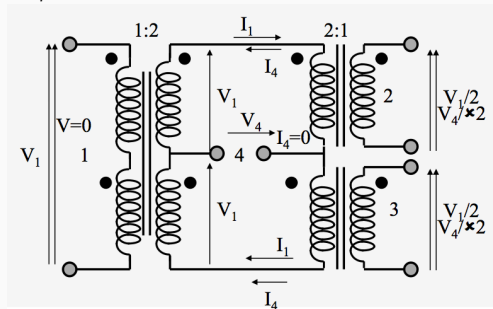


Qué es el circuito híbrido?

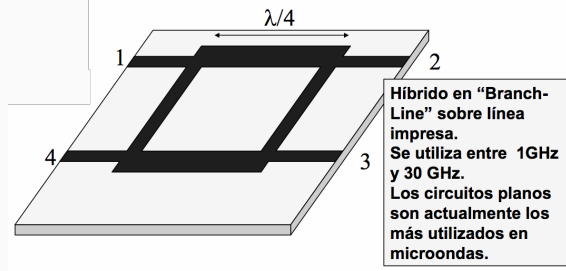


**Divide las señales de entrada (1 y 4) en partes iguales.  
Combina en las puertas de salida las señales de entrada.  
Aísla las puertas de entrada entre si.**

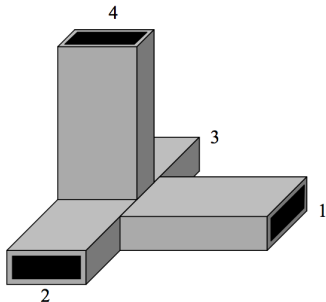
Implementación del circuito híbrido con transformadores:



Circuito híbrido en microtira: “Branch-Line”.

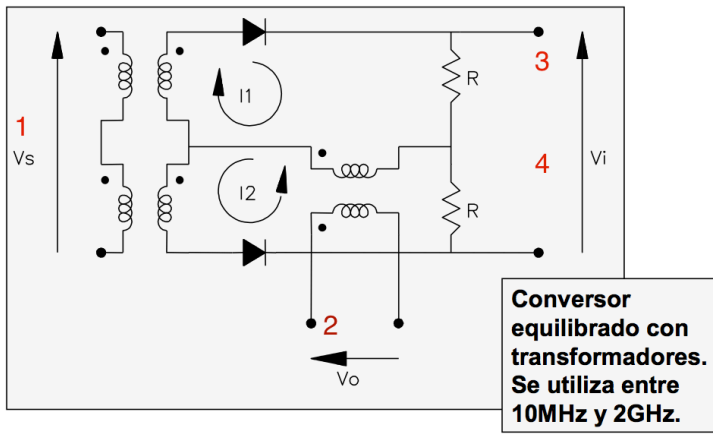


Circuito híbrido en guía onda: "T mágica".

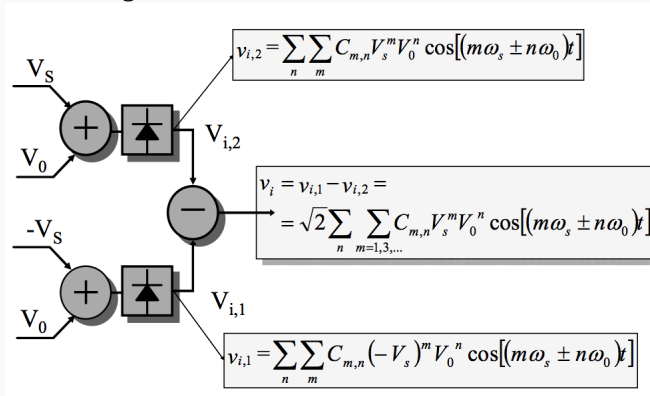


**Híbrido en guía de onda rectangular. Se utiliza en frecuencias superiores a 2GHz. Los circuitos planos ofrecen ventajas de tamaño, peso y precio.**

# MEZCLADOR EQUILIBRADO



De forma general...





$$v_i = v_{i,1} - v_{i,2} = \sum_n \sum_m C_{m,n} V_s^{2m+1} V_0^n \cos[\{(2m+1)\omega_s \pm n\omega_0\}t]$$

- Sólo hay potencias impares de la señal.
- Y múltiplos impares de su frecuencia

- No hay OL
- No hay armónicos de OL
- No hay armónicos pares de la señal
- No hay combinaciones de los anteriores

¿Si el equilibrio no es perfecto?

$$A = -10 \log \left( \frac{1 + R^2 - 2R \cos \phi}{2R} \right)$$

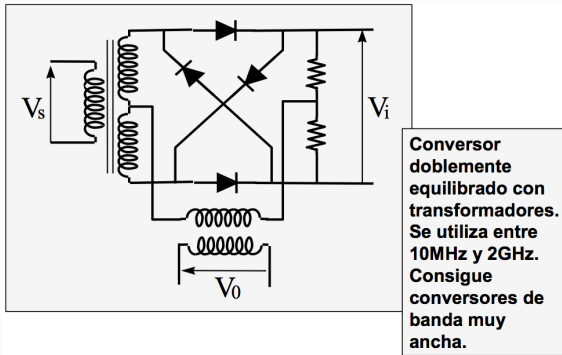
- R: equilibrio de amplitud (cociente entre tensiones)
- $\phi$ : diferencias de fase

- Usa 4 elementos no lineales para eliminar los productos de mezcla correspondientes a todos los armónicos pares (tanto de RF como de OL).
- La tensión a la salida en función de las tensiones a la entrada sólo depende de los armónicos impares:

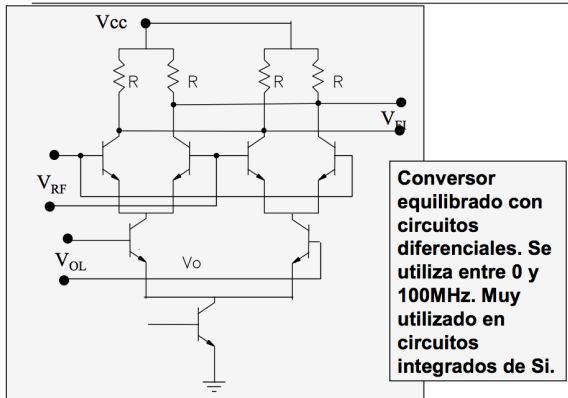
$$f = (2n - 1)f_0 \pm (2m - 1)f_p$$

- Se puede implementar con:
  - Diodos o transistores
  - En microondas, a partir de dos mezcladores equilibrados más otro circuito híbrido

# MEZCLADOR DOBLEMENTE EQUILIBRADO

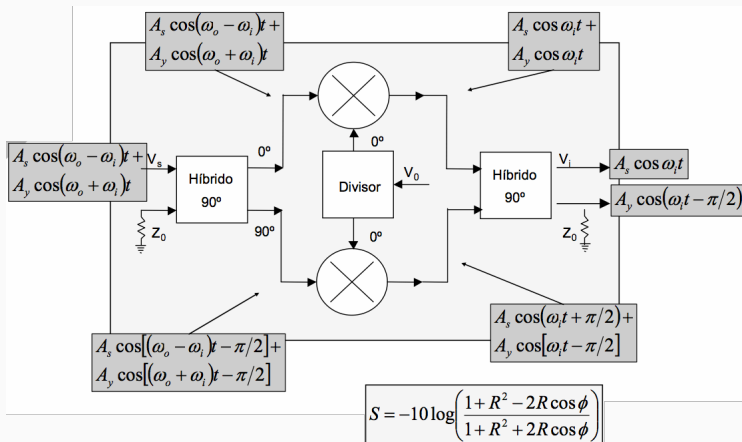


# MEZCLADOR DOBLEMENTE EQUILIBRADO



- Útiles cuando resulta difícil filtrar la frecuencia imagen a la entrada del mezclador
- Utiliza dos mezcladores doblemente equilibrados a los que aplica la señal con un híbrido  $90^\circ$  para obtener la FI.
- El rechazo de la banda imagen se obtiene trasladando la banda imagen a una frecuencia diferente de la frecuencia intermedia.
- Si la estructura fuera totalmente equilibrada, no habría frecuencia imagen a la salida (en FI).

# MEZCLADOR CON RECHAZO DE IMAGEN



## EJERCICIOS

---

En un conversor de frecuencia que utiliza el mezclador TFM15 se conecta un oscilador de 10 dBm y 1200 MHz a la entrada de OL y una señal de 1010 MHz en la puerta de RF con una potencia de -10 dBm.

1. Determine la frecuencia de las señales obtenidas a la salida por combinación de las señales de entrada y sus armónicos de orden 5.
2. Determine los niveles de potencia a la salida y dibuje un esquema de lo que se vería en un analizador de espectros entre 0 y 800 MHz



PREGUNTAS?