

Informe Trabajo Práctico N° 3: Mezcladores

Gagnotto, Martín, González, Rametta

06/26/18

Abstract

The need of a conversion from medium to high frequencies is achieved by using a mixer. This is significant, because it can carry information over long distances, the design complexity of post or previous steps is minimal and, hence, get a cost reduction of the overall system. In this report, it will develop an analysis of three mixers configurations: a single ended mixer, a single balanced mixer and a double balanced mixer. It consists in implement each one configuration in a software simulator and get the spectrum of the three ports: RF, LO and IF. Then, take measure of 4 parameters: conversion lost, compression lost, noise figure and isolation, to characterize each configuration. And finally, make a comparison among all. The software used was Qucs V.0.0.19.

1 Introducción

1.1 Definición

Un mezclador se podría definir como aquel dispositivo que genera una frecuencia resultante de la suma o diferencia de otras dos frecuencias. La frecuencia de entrada es la de la señal de Radio Frecuencia (RF), que se mezcla con la señal del Oscilador Local (LO) para generar la Frecuencia Intermedia (FI). La capacidad de producir una nueva frecuencia mediante otras dos, es debido al uso de dispositivos no lineales, figura 1, tales como diodos, BJT o FET, los que producen frecuencias resultantes de la suma y diferencia de ambas, además de sus armónicos correspondientes, siendo estos últimos llamados Productos de Intermodulación. Generalmente se precisa solo de una

de las frecuencias resultantes, la suma o la diferencia (upconverter o downconverter), por lo que se emplean filtros para eliminar la otra y los productos de intermodulación.

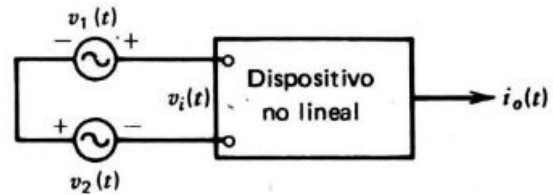


Figure 1: Dispositivo no lineal usado como mezclador.

Upconverter y Downconverter Un mezclador Upconverter es aquel empleado para producir una frecuencia FI más elevada que la frecuencia RF y LO, o sea su suma, generalmente se emplean en moduladores para la etapa de transmisión. Por otro lado, un mezclador Downconverter es el que produce una frecuencia FI menor debido a la diferencia de las otras dos, este es empleado generalmente en demoduladores en la etapa de recepción. Por lo general, estos dispositivos son *sistemas completos* que poseen, además del mezclador, un oscilador local con sintetizador, etapas amplificadoras y filtros para los productos indeseados.

1.2 Tipos de Mezcladores

Según las exigencias del diseño, no en todos los casos se debe permitir que una o varias componentes de frecuencia aplicada en un puerto se filtren en otro, esto

se define como la aislación entre puertos. Una forma de eliminar o atenuar estas componentes de frecuencia, es empleando un número par de dispositivos dispuestos en forma simétrica. Los tipos de mezcladores se pueden clasificar según su balanceo o equilibrio, es decir según la simetría de la configuración y paridad entre sus dispositivos. Las configuraciones más comunes son:

1. Mezcladores de terminación única (con diodo o transistor).
2. Mezcladores de balanceo simple.
3. Mezcladores de balanceo doble.

1.2.1 De terminación única

Son aquellos mezcladores que emplean un único dispositivo alineal, ya sea un diodo o un transistor. Al poseer un solo dispositivo (impar), no hay simetrías que permitan eliminar frecuencias no deseadas en algunos de los terminales. En el caso de emplear un transistor, se logran niveles de aislación interesantes más por la unilateralidad que por simetría. Generalmente se emplean FETs, debido a su característica de transferencia más cuadrática que los BJT (generan menor cantidad de productos de intermodulación), permitiendo ganancias de conversión mayor que uno ($G_c = P_{IF}/P_{RF}$), y cierta aislación de OL dada por la unilateralidad del dispositivo. En aplicaciones no muy comprometidas, su uso se justifica en los costos.

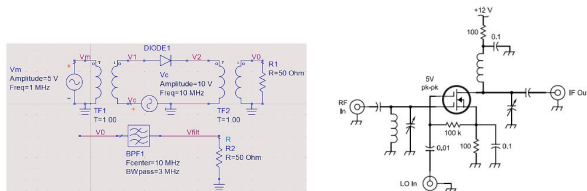


Figure 2: Ejemplos de mezcladores de terminación única a diodo y a transistor.

1.2.2 De balanceo simple

Son aquellos mezcladores que usan un número par de dispositivos alineales, generalmente diodos o FETs,

dispuestos en forma equilibrada de forma que un terminal de entrada queda aislada de los otros terminales. Un terminal aislado quiere decir que una señal aplicada al terminal no produce efecto alguno en los otros terminales.

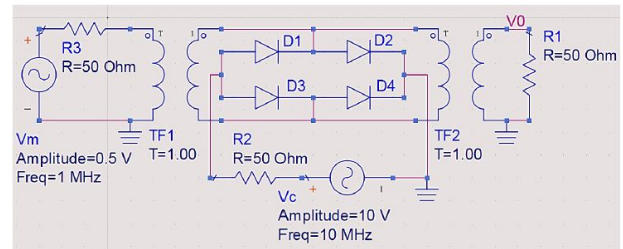
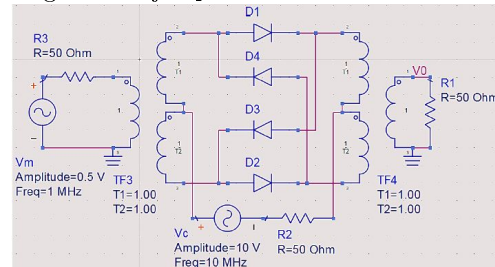


Figure 3: Ejemplo de mezclador de balanceo simple.

1.2.3 De balanceo doble

Estos mezcladores poseen todos los terminales aislados entre sí, por lo que las frecuencias de las señales de entrada no aparecen a la salida.

Figure 4: Ejemplo de mezclador de balanceo doble.



1.3 Terminología de Mezcladores

1.3.1 Pérdida por conversión (C_L)

Es el parámetro mas importante de un mezclador. Se define como la diferencia de la potencia RF a la entrada y la potencia IF a la salida, esto se vé en la ecuación 1 .

$$C_L = P_{RF} - P_{IF} \quad (1)$$

Dado que solo se desea uno de los productos de mezcla, el otro producto se filtra, haciendo que la

mitad de la potencia convertida se pierda, por lo que un mezclador ya tiene de base una pérdida de 3 [dB]. Así también existen pérdidas debido a los productos de orden superior, disipación en las resistencias serie de los diodos, desequilibrios, etc.

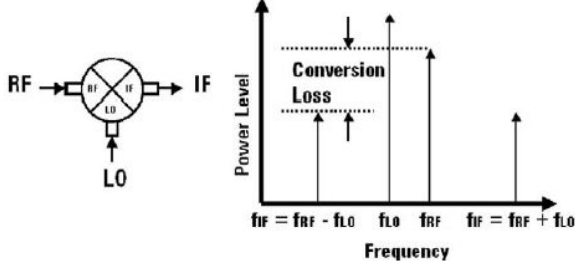


Figure 5: Descripción gráfica de la pérdida por conversión.

1.3.2 Aislación entre puertos (*ISO*)

La aislación es una medida de la cantidad de potencia que se fuga o filtra de un puerto a otro del mezclador. La aislación se obtiene por balanceo del mezclador, tanto de los elementos lineales del circuito como el apareamiento de los diodos o transistores, o por el uso de dispositivos unilaterales. Aunque siempre existen alguna pequeña cantidad de pérdidas entre puertos RF, LO e IF.

Se define como la diferencia de potencia entre la entrada de señal en un puerto y la potencia de la misma frecuencia fugada a otro puerto. Por ejemplo, si se aplica una señal de entrada en el puerto del LO y se mide la potencia disponible en el puerto RF en la frecuencia del LO, la aislación está dada según la ecuación 2 .

$$ISO_{(LO-RF)} = P_{inLO(freqLO)} - P_{outRF(freqLO)} \quad (2)$$

Generalmente, las aislaciones tienen un comportamiento aproximadamente recíproco, la aislación entre el puerto 1 y el puerto 2 es similar a la aislación entre el puerto 2 y el puerto 1. Por lo que una sola medición basta para determinar la aislación en ambas direcciones.

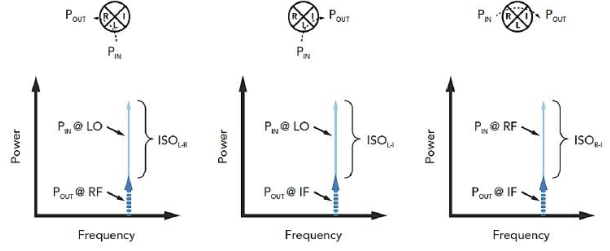


Figure 6: Descripción gráfica de la aislación entre puertos.

1.3.3 1 dB de compresión

En condiciones de funcionamiento normales las pérdida por conversión en un mezclador es constante, independientemente de la potencia RF de entrada. Sin embargo, para potencias de RF demasiado grandes esto no se cumple. El punto de 1 dB de compresión define la linealidad del mezclador, osea el límite superior del rango dinámico de potencia para la señal RF, el cuál está en función de la potencia de la señal LO, y dado que generalmente esta última es mucho mayor que las potencias RF e IF empleando parte de su potencia para la polarización de los dispositivos alineales, cuando la potencia de RF se equipara a la de LO el sistema se desequilibra.

Se define como la entrada de potencia de RF necesaria para aumentar la pérdida de conversión en 1 dB del valor ideal.

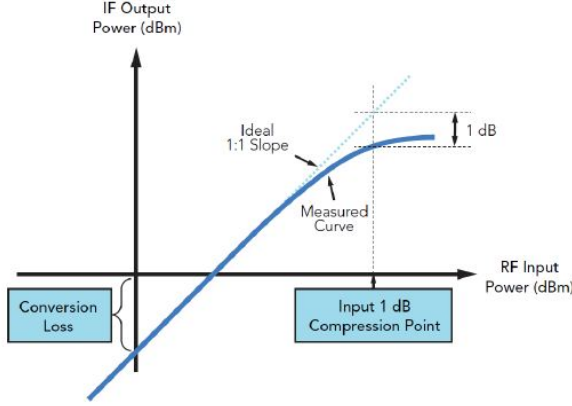


Figure 7: Descripción gráfica del punto a 1dB de compresión.

1.3.4 Figura de ruido de banda lateral única (NF SSB)

La figura de ruido es la cantidad de ruido aportado por el mixer a la señal convertida, sumada las pérdidas por conversión, ecuación 4. Por definición, es el cociente entre la relación señal-ruido RF en la entrada y la relación señal-ruido FI en el puerto de salida, como se describe en la ecuación 3.

$$NF_{SSB}(dBm) = 10 \cdot \log \frac{SNR_i}{SNR_o} = 10 \cdot \log \frac{\frac{P_{RF_{in}}}{P_{RUIDO_{in}}}}{\frac{P_{IF_{out}}}{P_{RUIDO_{out}}}} \quad (3)$$

$$NF_{SSB}(dBm) = 10 \cdot \log \frac{P_{RF_{in}}}{P_{RUIDO_{in}}} - 10 \cdot \log \frac{P_{IF_{out}}}{P_{RUIDO_{out}}}$$

$$NF_{SSB}(dBm) = 10 \cdot \log P_{RF_{in}} - 10 \cdot \log P_{RUIDO_{in}} +$$

$$-10 \cdot \log P_{IF_{out}} + 10 \cdot \log P_{RUIDO_{out}}$$

$$NF_{SSB}(dBm) = [P_{RF_{in}}(dBm) - P_{IF_{out}}(dBm)] +$$

$$+[P_{RUIDO_{out}}(dBm) - P_{RUIDO_{in}}(dBm)]$$

$$NF_{SSB}(dBm) = C_{LSSB} + P_{RUIDO_{Mixer}} \quad (4)$$

Se debe considerar que salvo solamente en casos específico de poseer diodos o transistores muy ruidosos, la figura de ruido es aproximadamente igual a la pérdida de conversión. En hojas de datos, generalmente, se especifica la figura de ruido de banda única (NF SSB), ya que aunque el producto de la mezcla produce ambas bandas, inferior y superior, solo se desea uno de esos productos descartando el otro, causando que se pierda la mitad de la potencia de entrada y haciendo que la figura de ruido de banda lateral única esté 3 decibels por encima de la figura de ruido de doble banda lateral (NF DSB). Esta consideración se toma a menudo, debido a que medir la figura de ruido de doble banda lateral es sencillo.

El ruido aportado, contiene principalmente 3 componentes: Térmico (Johnson), ruido de disparo (Shot) y ruido de flicker. Generalmente, la figura de ruido de banda única está alrededor de los 0,5 dB por encima de la pérdida por conversión.

2 Experiencia Práctica

2.1 Enunciado

1. Diseñar, calcular y simular diferentes mezcladores para ser utilizados en un receptor superheterodino de FM con las siguientes características:

- $f_{IF} = 10,7[Mhz]$
- $f_{RF} = 88 - 108[Mhz]$; $P_{RF} = -10[dBm]$
- $P_{LO} = 8[dBm]$

2. Simular los siguientes tipos de mezcladores:

- (a) de terminación única (diodo o transistor).
- (b) de balance único.
- (c) de doble balance.

3. Realizar las siguientes mediciones para cada caso:

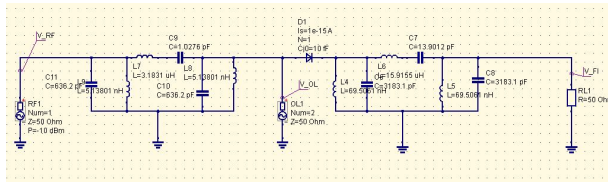
- Pérdida por conversión.

- Pérdida por compresión.
- Figura de Ruido.
- Aislación.

4. Enumerar ventajas y desventajas de cada caso.

2.2 Desarrollo

2.2.1 Mezclador de terminación única



2.2.2 Mezclador de Balanceo Simple

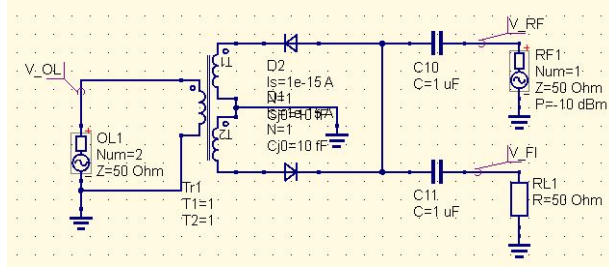


Figure 13: Esquema de mezclador de Balanceo Simple

Esquema

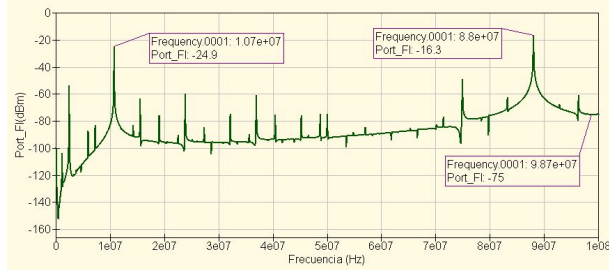


Figure 14: Puerto FI

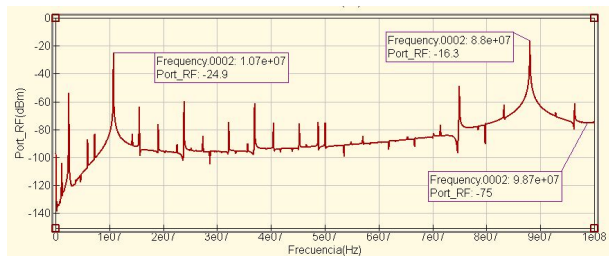


Figure 15: Puerto RF

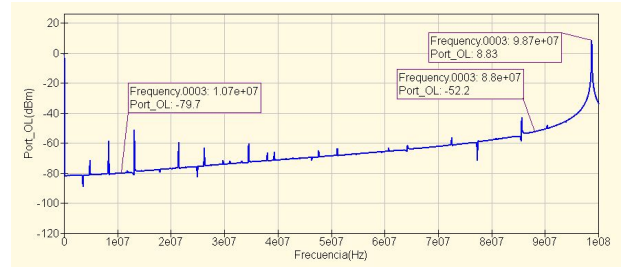


Figure 16: Puerto OL

Simulación

Mediciones

- Pérdidas por conversión: $C_L = 14,937[dBm]$
- Figura de Ruido: $NF_{SSB} \cong 14,937[dBm]$
- Aislación:

Puertos	Aislación [dBm]
LO-RF	82,9 (aislado)
RF-LO	35,9 (aislado)
LO-IF	83 (aislado)
IF-LO	54,8 (aislado)
RF-IF	0 (aislación nula)
IF-RF	0 (aislación nula)

- Pérdidas por compresión:

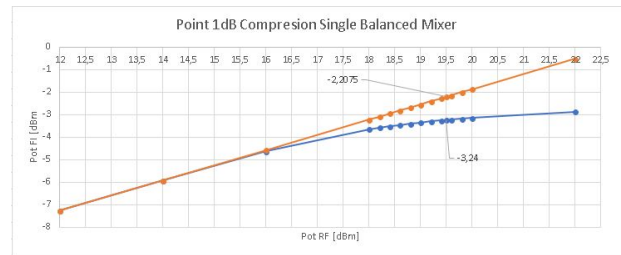


Figure 17: Punto 1dB de compresión

$$-1dB_{CompressionPoint} = 19,5[dBm]$$

2.2.3 Mezclador de doble balance

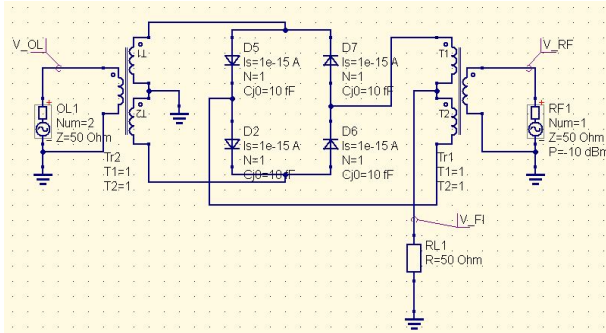


Figure 18: Esquema de mezclador de Balanceo Simple

Esquema

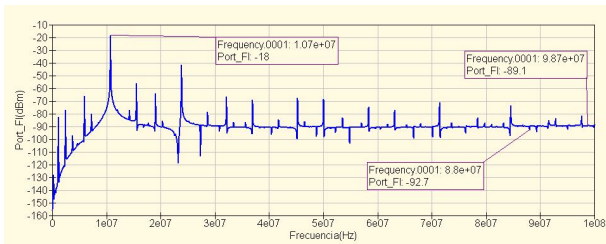


Figure 19: Puerto FI

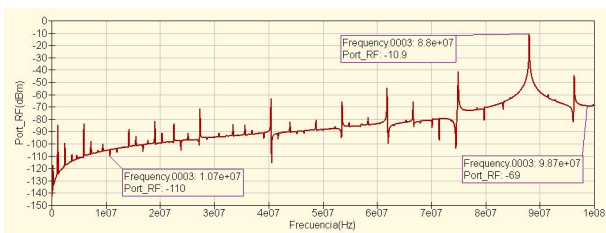


Figure 20: Puerto RF

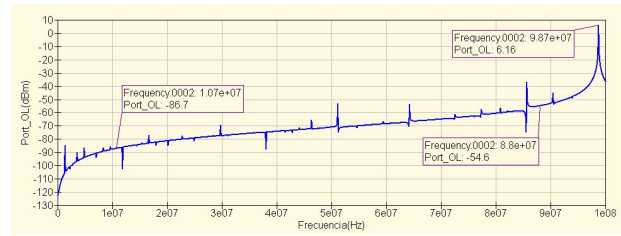


Figure 21: Puerto OL

Simulación

Mediciones

- Perdidas por conversión: $C_L = 8,019[dBm]$
- Figura de Ruido: $NF_{SSB} \cong 8,019[dBm]$
- Aislación:

Puertos	Aislación [dBm]
LO-RF	77 (aislado)
RF-LO	44,6 (aislado)
LO-IF	97,1 (aislado)
IF-LO	68,7 (aislado)
RF-IF	79,5 (aislado)
IF-RF	92 (aislado)

- Pérdidas por compresión:

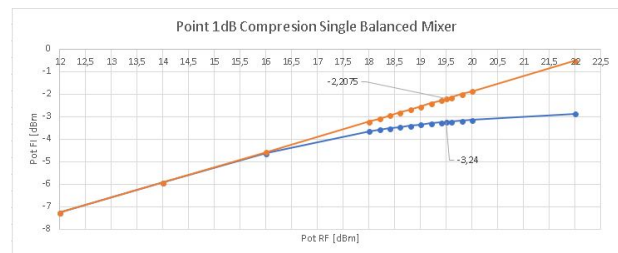


Figure 22: Punto 1dB de compresión

$$-1dB_{CompresionPoint} = 8,3[dBm]$$

3 Conclusiones

Observando los resultados obtenidos se estableció una comparación entre los 3 tipos de configuraciones anal-

izadas, considerando que se independizó del dispositivo alineal empleado, ya que se empleó un diodo genérico para los 3 casos, y que existen programas de simulación que imitan en mayor medida el comportamiento y las condiciones reales en RF.

Analizando desde el punto de vista de la aislación entre puertos, el esquema de doble balance posee un mejor desempeño, ya que existe una aislación total (galvánica) en ambos sentidos, entre los 3 puertos, producto del empleo de transformadores de punto medio donde los amperes por vuelta de cada secundario son iguales y están en contrafase, anulando cualquier componente de cada puerto en los demás, lo que se visualiza en los espectros de la simulación. Esto hace notar la relevancia de la paridad entre los dispositivos alineales. Luego, en el circuito de balance simple se observa una aislación total, en este caso, solamente en el puerto del oscilador, mientras que los demás puertos poseen una aislación nula y que se podría compensar mediante el uso de filtros. Por último, en la configuración de terminación única se puede remarcar que existe algún tipo de aislación desde el puerto FI hacia los demás puertos, debido a la unilateralidad del diodo.

Por otro lado, analizando las pérdidas por conversión se visualiza que el mezclador de doble posee el mejor rendimiento, convirtiendo en mayor medida la potencia de entrada RF en potencia de salida FI, luego sigue en comparación el mezclador de balance simple y por último el de terminación única.

Observando las figuras de ruido de banda única, no se puede establecer un criterio de comparación debido a que el ruido aportado por los dispositivos es despreciable, lo que podría ser debido a limitaciones del simulador, siendo la figura de ruido idéntica a las pérdidas por conversión.

Si se toman en cuenta las pérdidas por compresión, se obtuvo un comportamiento lineal (en la conversión) más amplio para el caso del mezclador de balance simple, luego el de doble balance y por último el de terminación única.

Una configuración de terminación única se lo emplea en aplicaciones donde se busca reducir costes o donde existen frecuencias muy elevadas, destacando su simplicidad y añadiendo solamente filtros selectivos.

References

- [1] RF Electronics Design and Simulattion, CJ Kikkert.
- [2] Apunte de Mezcladores EAIII, Rabinovich, Oros, Paz.
- [3] Complete Wireless Dessign, Cotter Sayre.
- [4] Wj Mixers: Part 1, Bert C. Henderson.