

Mezcladores

October 13, 2021

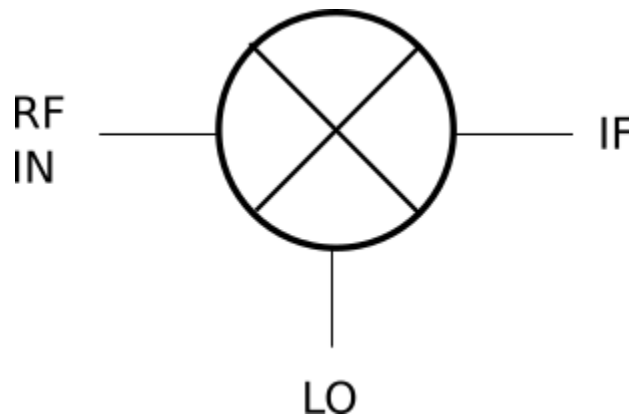
1 Mezcladores

Un mezclador permite realizar un desplazamiento en frecuencia de una señal de entrada, a otra centrada en otra frecuencia conservando su modulación.

Los mezcladores se emplean en circuitos transmisores y receptores, cuando es necesario trasladar las señales en banda base a una de banda de paso (modulación) o de una banda de paso a otra banda de paso (conversión). un mezclador es un dispositivo no lineal, al que se aplican dos señales de entrada con frecuencias diferentes, y produce una señal de salida de otro ancho de banda, generalmente en dos bandas o más, una igual a la suma y otra a la diferencia de las frecuencias de las señales de entrada. Esto es cierto a medias y válido sólo si a la salida del mezclador se utilizan filtros adecuados, ya que un mezclador produce por lo general, un número de señales de salida que se designan como espurios, que es necesario eliminar.

Un concepto importante en este tema, es que no debe confundirse un mezclador con un sumador. Este último, es un dispositivo lineal que puede considerarse como un combinador de señales, bien sea en potencia o en voltaje, pero manteniendo el espectro de cada una de las señales sumadas. El mezclador es un dispositivo no lineal que traslada y modifica el espectro de las señales mezcladas, pero no las suma, las multiplica en el dominio del tiempo o equivalentemente, las convoluciona en el dominio frecuencial. Esto es algo conceptualmente muy importante y con frecuencia suelen mezclarse o confundirse estos conceptos.

Al describir los mezcladores, se utiliza el siguiente diagrama:



Un mezclador tiene dos puertos de entrada y uno de salida. En una de las entradas se aplica, por lo general, la señal de un oscilador local y en la otra, la señal que se desea trasladar en el espectro de frecuencia y que puede ser o bien una señal en banda base o una señal modulada de radiofrecuencia.

Una forma simple de interpretar el comportamiento de un mezclador es como un multiplicador, en que la señal de salida es el producto de las dos señales de entrada. Los mezcladores se emplean para trasladar señales en una banda del espectro a otra banda.

Si la señal de entrada es una señal en banda base, el mezclador es, esencialmente, el modulador. Aunque los mezcladores son igualmente importantes en los transmisores y en los receptores, la terminología tradicionalmente utilizada se refiere más a los receptores, ya que fue en estos equipos en que se comenzaron a utilizar extensamente en los inicios de la radio, con la invención del receptor superheterodino. Así a la señal modulada de entrada se le designa como RF y la otra señal de entrada, de frecuencia fija, utilizada para trasladar el espectro de frecuencia de la señal de RF a otra banda, se la designa como portadora local y es generada por un oscilador local (LO o OL).

La salida del mezclador se designa como frecuencia intermedia (FI). Si la FI de salida es inferior a la de RF de entrada, se dice que el mezclador realiza una conversión descendente, en caso contrario, la conversión es ascendente. El término conversor o convertidor se emplea para designar un circuito que contiene al mezclador y al oscilador local.

1.1 Clasificación

Hay dos tipos de clasificaciones para los mezcladores, dependiendo de la ganancia o pérdida de conversión y dependiendo de la estructura utilizada para la implementación:

1. Mezcladores basado en dispositivos alineales: diodos, transistores bipolares, JFET, etc.
2. Lineales variantes en el tiempo: El circuito en cada instante es lineal, donde la señal de entrada es convertida a una frecuencia intermedia.

1.1.1 Clasificación según las ganancias o pérdidas de conversión

- a. Mezcladores pasivos: generalmente utilizan diodos como elementos no lineales, no tienen ganancia.
- b. Mezcladores activos: están basados en transistores los cuales requieren una polarización, tienen ganancia.

1.2 Mezcladores prácticos

Idealmente, un mezclador solo genera los productos de suma y diferencia, y nada más. Desafortunadamente, este nunca es el caso. En la práctica, los mezcladores adolecen de una variedad de imperfecciones que degradan el rendimiento.

A continuación se desarrollan algunas de estas características.

1.2.1 Aislación entre puertos

El aislamiento entre puertos es la cantidad de energía que se transfiere de un puerto a otro a la misma frecuencia. Un mezclador tiene tres puertos y las señales de cualquiera de ellos pueden filtrarse a cualquier otro puerto. Un mezclador ideal no tendrá f_{lo} y f_{rf} en su salida, sino solo $f_{lo} + f_{rf}$ y $f_{lo} - f_{rf}$.

Sin embargo, los mezcladores prácticos siempre tienen alguna fuga, y ambos (f_{lo} y f_{rf}) se encontrarán en el diagrama espectral de la señal de salida. Cuanto mayor sea el aislamiento de puerto a

puerto, menor cantidad de fuga que habrá y menos energía estas frecuencias no deseadas estaran presentes en la señal de salida. Se mide en dB.

1.2.2 Distorsión de intermodulación (IMD)

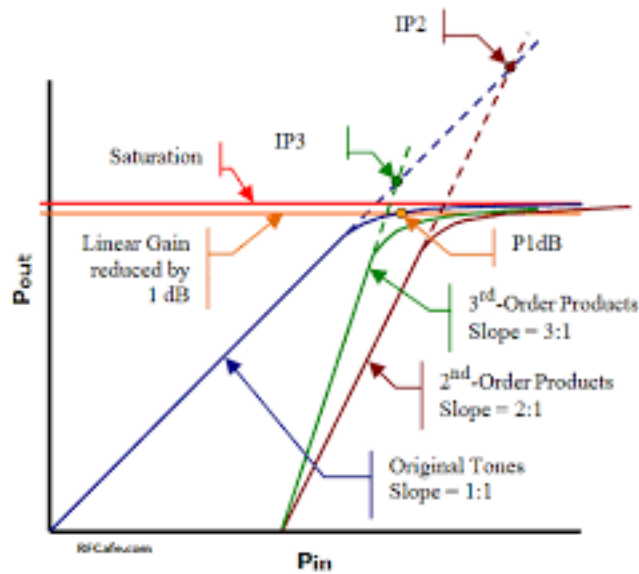
Cuando se utiliza en condiciones reales, el puerto de entrada de RF del mezclador no siempre se ocupará de una sola señal de frecuencia. A menudo, se enviarán numerosas señales con frecuencias cercanas al puerto de RF.

Por ejemplo, digamos que queremos recibir señal con frecuencia f_a , pero hay otra señal con frecuencia cercana a f_b . En este caso, un mezclador real no solo generará $f_a + f_{lo}$ y $f_a - f_{lo}$, sino que también generará un producto de tercer orden $f_a - 2f_b$ y $2f_a - f_b$ o superior $nf_a \pm mf_b$.

Los productos con un orden uniforme no importan mucho, ya que sus frecuencias están muy lejos de las frecuencias de salida deseadas, por lo que se pueden filtrar fácilmente. Sin embargo, la diferencia entre los productos de orden impar se acerca mucho a nuestras frecuencias deseadas y, por lo tanto, es mucho más difícil deshacerse de ella.

Los productos de intermodulación de nivel de potencia lo suficientemente alto como para degradar significativamente el rendimiento general del receptor influirán en el rendimiento del receptor.

Extender la línea de salida ideal y la línea de tercer orden nos da un punto de intercepción de tercer orden. Se puede hacer lo mismo para cualquier pedido. Para productos de terceros ordenada, este punto se denomina punto de intercepción de tercer orden, IP_3 . Cuanto más alto sea este punto, más resistente será nuestro mezclador a IMD y mejor será el rendimiento que podemos esperar de un receptor.



1.2.3 Ganancia de compresión

Al igual que para los amplificadores, la compresión de ganancia nos dice cuánta potencia de entrada podemos aplicar en el puerto de entrada de RF antes de que la amplitud de salida ya no siga linealmente a la tensión de entrada. Esto se ilustra en el diagrama de la subsección *IMD* anterior.

A menudo, se utiliza el punto de compresión de $1dB$: esto es cuando la potencia de salida se desvía de la potencia esperada en $1dB$.

Algunos mezcladores tienen ganancia, por lo que el término compresión de ganancia es adecuado. Muchos mezcladores no tienen ganancia. En este caso, usamos el término compresión de conversión.

La compresión de ganancia establece el límite superior de los niveles de potencia de RF que se pueden recibir.

1.2.4 Rango dinámico

El rango dinámico de un mezclador determina el rango de niveles de potencia de RF que puede manejar. Su límite superior lo establece su compresión de conversión (o ganancia), mientras que su límite inferior lo establece su cifra de ruido.

1.2.5 Pérdida o ganancia de conversión

Cuando se utiliza un mezclador pasivo, la potencia de salida siempre será menor que la potencia de RF de entrada. Esta pérdida de potencia, expresada en dB, se denomina pérdida de conversión. Es igual a la relación entre la potencia de entrada y la potencia P_{RF} de salida P_{IF} . Siempre es una cantidad positiva. Cuanto mayor sea la pérdida de conversión, menos eficiente será nuestro mezclador.

Los mezcladores activos, por otro lado, pueden tener ganancia. En este caso, la potencia de salida será mayor que la potencia de entrada. Esta ganancia de potencia, en dB, se denomina ganancia de conversión. Esta vez es igual a la relación entre la potencia de salida P_{IF} y la potencia de entrada P_{RF} . Sigue siendo una cantidad positiva.

1.3 Tipos de mezcladores

Hay dos métodos diferentes para crear un mezclador práctico: crear un mezclador analógico o crear un mezclador de conmutación.

Los mezcladores analógicos emplean componentes no lineales en dispositivos activos como diodos y transistores para realizar la multiplicación, mientras que los mezcladores de conmutación procesan repetidamente una señal para poder tener tanto sumas como productos diferentes en sus salidas.

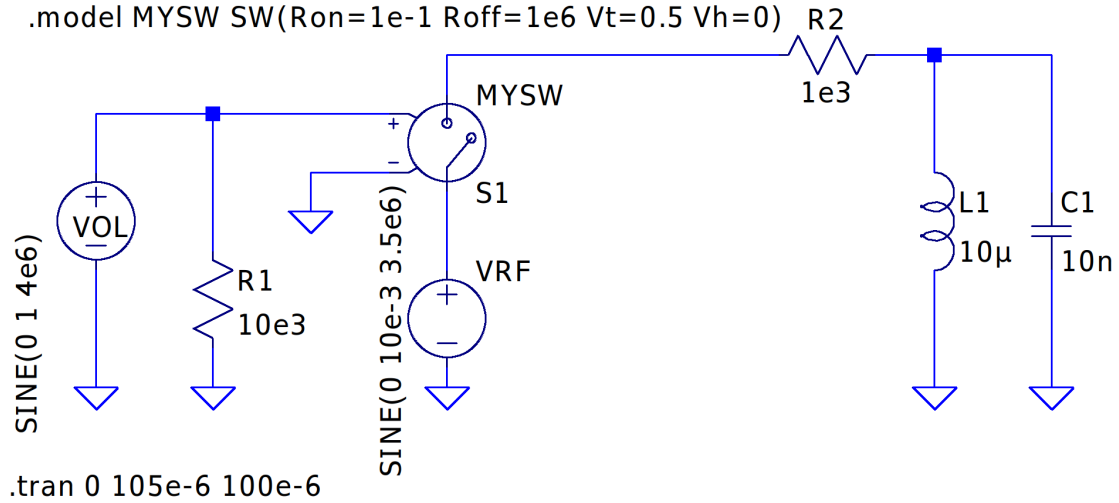
Los mezcladores de conmutación ofrecen un mejor rendimiento y son los más utilizados en las aplicaciones actuales, pero aquí cubriremos ambos.

1.3.1 Mezcladores de conmutación o lineales no invariantes en el tiempo

El método más popular para lograr la multiplicación es la conmutación de alta velocidad.

Esto significa multiplicar la señal de RF de entrada por $+1$ o -1 a una determinada frecuencia.

El mezclador mas basico se puede obtener mediante una llave que se abre y se cierra comandada mediante una señal periodica.



En el circuito vemos que el control de la llave se realiza mediante la tensión del oscilador local, que cuando supera el valor de umbral cambia de estado. Esto es similar a una resistencia que cambia de valor, en este caso, un valor de resistencia muy bajo (llave cerrada) y un valor muy alto (llave abierta).

Dado que la llave tiene idealmente solo dos estados posibles, matematicamente se puede representar como una multiplicación temporal donde la llave cerrada corresponde a 1 y la llave abierta corresponde a un cero. Entonces, podemos representar a la llave como un pulso periodico rectangular.

La serie de Fourier asociada a de la señal rectangular periodica se puede obtener mediante las siguiente expresiones.

$$f(t) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + b_n \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \right]$$

Donde a_0 , a_n y b_n son los coeficientes de la serie de Fourier que toman los valores:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) dt$$

Si suponemos que la función es rectangular, con amplitud unitaria y ciclo util del 50%.

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt = 0.5$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/4}^{T/4} 1 \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) dt$$

$$a_n = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} 1 \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) dt$$

$$a_n = \frac{4}{T} \left[\frac{\sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right)}{2n\pi} \right]_0^{T/4}$$

$$a_n = \frac{4}{T} \left[\frac{\sin(\frac{2n\pi}{T}t)}{\frac{2n\pi}{T}} \right]_0^{T/4}$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \left[\sin(\frac{2n\pi}{T}t) \right]_0^{T/4}$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \sin(\frac{2n\pi}{T}T/4)$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \sin(n\frac{\pi}{2})$$

Calculo de los coeficientes $a_1 = \frac{2}{\pi}$

$$a_2 = 0$$

$$a_3 = -\frac{2}{3\pi}$$

$$a_4 = 0$$

$$a_5 = \frac{2}{5\pi}$$

Por lo tanto, el espectro de la señal de salida será la convolución entre el espectro de la señal de RF y el espectro de la señal cuadrada anteriormente calculado.

Ejemplos [Mezclador doble balanceado](#)

1.3.2 Mezcladores alineales

Hay algunas formas de crear circuitos de multiplicación con componentes analógicos. El primero es crear literalmente un circuito de multiplicación con amplificadores operacionales. Esto es posible usando bloques de amplificador operacional log, sum y anti-log. Sin embargo, los amplificadores operacionales tienen un ancho de banda reducido, por lo que este método no se usa en RF.

Hay otra forma de generar un mezclador analógico. Primero, debemos reconocer que la multiplicación de frecuencias es una operación no lineal. Esto significa que se puede lograr mediante la explotación de componentes no lineales.

El mezclador analógico más simple utiliza un solo componente no lineal como el diodo.

Rara vez pensamos en una característica del diodo IV, utilizándola solo para bloquear la corriente para que no vaya en cierta dirección. Sin embargo, un diodo real no simplemente deja que la corriente fluya en una dirección y bloquea la corriente que fluye en la otra dirección. Si bien este enfoque simplificado es generalmente suficiente cuando el diodo está claramente en conducción o con polarización inversa muy clara, cerca de la caída de voltaje del diodo, ocurren fenómenos interesantes.

En esta área, la característica IV del diodo es:

$$I = I_S(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1)$$

Dónde:

I_S es la corriente de saturación

q es la carga de un electrón

T es la temperatura (en K)

k es la constante de Boltzmann

V_d es el voltaje aplicado a través del diodo

I La corriente fluye a través del diodo

Las constantes no nos importan mucho aquí, por lo que esta ecuación se puede simplificar como:

$$I = I_S(e^{AV_d} - 1)$$

Donde A es una cierta constante.

Usando la aproximación de la serie de Taylor, lo sabemos $e^x \approx 1 + x + \frac{x^2}{2}$. Por lo tanto:

$$I \approx I_S \times (AV_d + \frac{(AV_d)^2}{2})$$

Ahora agreguemos dos voltajes diferentes a través del diodo: v_1 y v_2 :

Ignorando las constantes para simplificar la ecuación, la corriente de salida sera:

$$(v_1 + v_2) + \frac{(v_1 + v_2)^2}{2} = (v_1 + v_2) + \frac{v_1^2}{2} + \frac{v_2^2}{2} + v_1 \times v_2$$

El último término nos da el producto.

Colocar una resistencia después del diodo nos proporciona una caída de voltaje proporcional a los términos anteriores. Por supuesto, también nos quedamos con otros términos no deseados. Sin embargo, sus frecuencias están muy lejos de nuestros productos deseados, por lo que se pueden filtrar fácilmente.

Este circuito fue solo para ilustrar cómo podemos explotar dispositivos no lineales para simular la multiplicación. Obviamente tiene problemas evidentes. Es necesario realizar una polarización muy cuidadosa, depende de la temperatura y no tiene aislamiento entre puertos, solo por nombrar algunos de los problemas.

1.3.3 Transistores de efecto de campo

De manera similar, en transistor de efecto de campo, y MOSFETs en particular, la transconductancia es el cambio en la corriente de Drain dividida por un pequeño cambio en el voltaje entre puerta (Gate) y fuente (Source) con un voltaje de Drain/Source constante. Los valores típicos de g_m para un transistor de efecto de campo de señal pequeña son de 1 a 30 mS.

MOSFET Usando el modelo del MOSFET con modulación por longitud de canal, la transconductancia puede expresarse como:

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$$

JFET La transconductancia de la unión FET viene dada por

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_c|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right),$$

donde V_c es la tensión de pinchoff y I_{DSS} es la corriente de Drain máxima.

Tradicionalmente, la transconductancia para el FET y el MOSFET, tal como se indica en las ecuaciones anteriores, se deriva de la ecuación de transferencia de cada dispositivo, utilizando cálculo diferencial como $\partial i_d / \partial v_{gs}$.

Sin embargo, Cartwright (<http://tij.org/issues/issues/fall09/Fall09/011.pdf>) ha demostrado que esto se puede hacer sin cálculo.

Transistores bipolares La transconductancia, g_m , de transistores de unión bipolar varía ampliamente, siendo proporcional a la corriente del colector. Tiene un rango típico de 1 a 400 milisiemens. El cambio de voltaje de entrada se aplica entre la Base/Emisor y la salida es el cambio en la corriente del Colector que fluye entre el Colector/Emisor con un voltaje constante del colector/emisor.

La transconductancia para el transistor bipolar puede expresarse como $g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T}$

donde I_C = corriente de colector en el punto Q , y $V_T = \frac{q}{kT}$, normalmente unos $V_T = 26mV$ a temperatura ambiente (300K).

La conductancia de salida en colector esta determinada por el efecto Early y es proporcional a la corriente del Colector. Para la mayoría de los transistores en funcionamiento lineal está muy por debajo de $100\mu S$.

1.3.4 Válvula termoiónica

Para la Válvula termoiónica, la transconductancia se define como el cambio en la corriente de la placa (ánodo) dividida por el cambio correspondiente en el voltaje entre grilla y cátodo, con una tensión entre placa (ánodo) y cátodo constante. Los valores típicos de g_m para una válvula termoiónica de señal pequeña son de 1 a 10 milisiemens.

Es una de las tres constantes características de una válvula termoiónica, siendo las otras dos su ganancia μ y su resistencia de placa r_p . La ecuación Hendrik van der Bijl define su relación como sigue:

$$gm = \frac{\mu}{r_p}$$

Ejemplos [Mezclador_JFET](#)

[Mezclador_Bipolar](#)

2 PORTAPAPELES:::

2.0.1 Terminología de mezcladores

Un mezclador de terminación única muy sencillo, se puede construir como se ilustra en la figura, como un diodo en serie con las entradas de RF y de oscilador local (LO), una fuente de polarización y un circuito sintonizado a la frecuencia de FI deseada.

Sin embargo, un mezclador como el mencionado tiene bastantes desventajas.

- a. Posee una cifra de ruido relativamente alta;
- b. pérdida por conversión, es decir, la salida de potencia de señal FI es menor que la entrada
- c. no linealidades de orden superior, dada la característica brusca de corte del diodo;
- d. ningún aislamiento entre el LO y las entradas de RF, incrementando así la posibilidad de que
- e. una corriente de salida relativamente intensa en la frecuencia del LO, tiende a sobrecargar

2.1 Principio analítico de los mezcladores de RF

Una tranferencia puede aproximarse empleando un polinomio o serie de potencias

$$i_o(v_i) = k_0 + k_1 v_i + k_2 v_i^2 + \dots + k_n v_i^n$$

Si la entrada corresponde a una señal alterna formada por un tono puro, la salida contendrá los armónicos de la señal de entrada.

Si se tienen varias frecuencias de entrada, se generarán frecuencias suma y diferencia, así como armónicas. Las frecuencias de suma y diferencia generadas por el término cuadrático en se llaman productos de intermodulación de segundo orden; las originadas por el término cúbico, productos de tercer orden.

Un dispositivo de con respuesta cuadratica es deseado para realizar un mezclador, pues solamente genera el número mínimo de frecuencias indeseables.

Si el dispositivo tiene tranferencia cuadratica tal como

$$i_o(v_i) = k_0 + k_1 v_i + k_2 v_i^2$$

Si ahora empleamos dos tonos en la entrada

$$v_i = V_a \cos(\omega_a t) + V_b \cos(\omega_b t)$$

la corriente de salida será:

$$i_d(v_i) = k_0 + k_1(V_a \cos(\omega_a t) + V_b \cos(\omega_b t)) + k_2(V_a \cos(\omega_a t) + V_b \cos(\omega_b t))^2$$

Término cuadrático

$$(\cos(a) + \cos(b))^2 = \cos(a)^2 + 2\cos(a)\cos(b) + \cos(b)^2$$

$$\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}\cos(a+b) + \frac{1}{2}\cos(a-b)$$

Resultando

$$i_d(v_i) = k_0 + k_1(V_a \cos(\omega_a t) + V_b \cos(\omega_b t)) + k_2(V_a^2 \cos(\omega_a t)^2 + V_b^2 \cos(\omega_b t)^2 + 2V_a V_b \cos(\omega_a t)\cos(\omega_b t))$$

Donde el termino que nos interesa es $2k_2 V_a V_b \cos(\omega_a t)\cos(\omega_b t)$, donde la amplitud de las componentes de frecuencia son proporcionales a las amplitudes de las señales de entrada.

Por lo general, en mezcladores de recepción, sólo se desea la componente de salida de frecuencia diferencia, de tal suerte que deben eliminarse las frecuencias originales, las armónicas y su suma, mediante filtrado o por otros medios.

Dado que los dispositivos presentan una respuestas a lineal, pero no perfectamente cuadratica, el resultado contendrá también los productos de intermodulación.

$$mf_a \pm nf_b$$