

Guía 4: Fuente de corriente con MOSFET y amplificador diferencial BJT

Juan Miguel David Becerra Tobar
José Demetrio Martínez M

14 de abril de 2012

1. Resumen

En la presente práctica vamos a familiarizarnos con el espejo que se basa en MOSFETS. Como los espejos de corriente requieren dispositivos apareados en sus parámetros, no es fácil implementarlos con dispositivos discretos; así que en el caso del espejo con MOSFETs continuaremos utilizando el integrado TC4007 que como sabemos contiene tres transistores de canal P y tres de canal N apareados.

También vamos a familiarizarnos con uno de los circuitos electrónicos mas importantes de la electrónica analógica: el amplificador diferencial. Este dispositivo encuentra un amplio campo de aplicación en la tecnología de los circuitos integrados, especialmente como bloque básico de entrada de amplificadores operacionales, comparadores de voltaje, amplificadores de instrumentación y otros, aunque también se utiliza en forma discreta en amplificadores de audio de alta fidelidad

2. Espejo de Corriente Simple con MOSFET

Para esta parte de la práctica volveremos a aprovechar el circuito integrado TC4007, ya que con el mismo podemos implementar espejos tanto con transistores de canal N, como con transistores de canal P. Aquí nos centraremos en un espejo simple con MOSFET canal N.

La topología de dicho espejo, es la que se muestra en la Figura 1 (1) y (2). Los Mosfet están conectados por sus fuentes, y el Mosfet Q_1 está conectado como diodo, y alimentado por una fuente de corriente en (1) o por una resistencia como en (2), para obtener la corriente de referencia I_{ref} . Como el voltaje $V_{GS1} = V_{GS2}$, y los dispositivos están apareados, la corriente I_{ref} se replica en Q_2 haciéndose exactamente igual a I_0 . Aquí no hay degradaciones de ningún tipo pues la compuerta aislada de los dispositivos no permite desviar ninguna parte de la corriente por allí.

El dispositivo Q_1 debido a su conexión, se encuentra siempre en saturación (que aquí es equivalente a decir región lineal de operación). Mientras el dispositivo Q_2 permanezca también en la región saturada, el trabajo de la fuente será perfecto, pero ello dependerá de la carga que se conecte al drenador de Q_2 . Observe que para el transistor Q_1 en la figura 1(2), se cumple que:

$$I_{ref} = \frac{V_{CC} - V_{GS}}{R} \quad (1)$$

Y como $I_{ref} = I_{D1}$ también se cumple que:

$$I_{ref} = kn(V_{CC} - V_{GS})^2 \quad (2)$$

Las ecuaciones 1 y 2 permiten diseñar la fuente de corriente, es decir, calcular el valor de R necesario para una determinada corriente de referencia; o alternatively, dado un valor de R, calcular la corriente de referencia que aparece. Por otro lado es necesario asegurarse que el Mosfet Q_2 , cumpla siempre la condición para saturación:

$$V_{DS} \leq (V_{GS} - V_t) \quad (3)$$

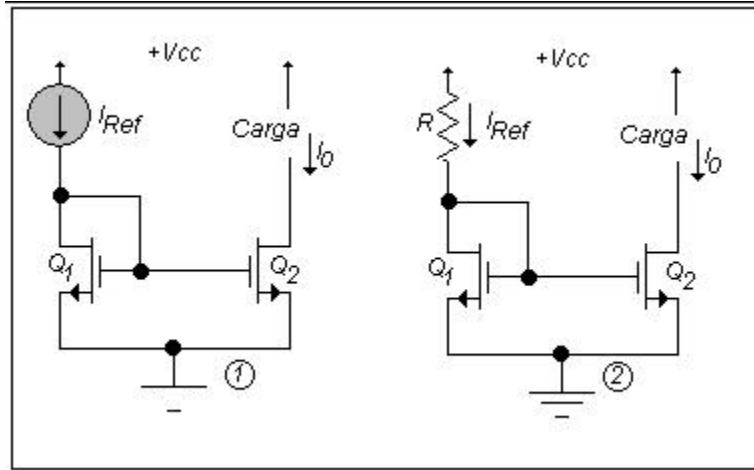


Figura 1: Espejo de Corriente con MOSFETS canal N.

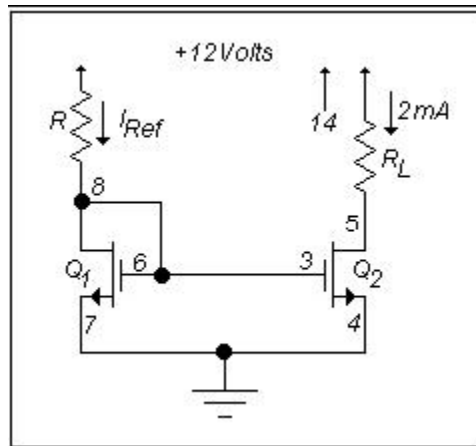


Figura 2: Diseño de Espejo de Corriente con MOSFETS N.

2.1. Prelaboratorio

Con anterioridad a la sesión de laboratorio deben diseñar el espejo de corriente que se muestra en la figura 2, utilizando los Mosfet 768 y 345 del circuito integrado 4007, cuyos terminales se indican allí. Utilizaremos un voltaje $V_{CC} = +12V$, por seguridad del circuito integrado, y no nos olvidaremos de conectar la terminal 14 del sustrato a $+12Volts$. La terminal 7 quedará conectada al potencial de tierra por el hecho de utilizar el transistor 768. La corriente de salida del espejo la hemos fijado como al igual que se hizo en el espejo con BJT, en 2mA. El diseño en este caso consiste en calcular el valor requerido de la resistencia de programación de la corriente de referencia R , teniendo en cuenta las ecuaciones 1 y 2. El valor de R obtenido, se normalizara al valor mas cercano dentro del seriado E-24 al 5 %, pero de todas maneras se medirá y anotará. Seguramente la corriente de salida no será exactamente 2mA debido a la normalización. Todos los cálculos y aproximaciones deben quedar constituidos por arreglos consignados en su bitácora de laboratorio. Los valores de V_t y de k_n de los Mosfet de canal N de este circuito integrado, ya son conocidos por nosotros desde anteriores experiencias.

A continuación deben determinar el valor máximo de la resistencia de carga R_L , para lo cual requieren utilizar la condición expresada en la ecuación 3.

2.2. Laboratorio

Lleven al laboratorio siete resistencias normalizadas comenzando con 100, y que vayan creciendo hasta llegar a un valor superior al R_L máximo que de acuerdo a sus cálculos llevaría al Mosfet Q_2 fuera de la región de saturación. Midanlas cuidadosamente y anoten esos valores.

Con base en sus medidas, construyan una gráfica de la corriente de salida de la fuente en función de la resistencia de carga. Utilicen papel semilogarítmico y agréguenla en su bitácora. Ahora construyan una gráfica del voltaje entre drenador y fuente V_{DS} de Q_2 , en función de la resistencia de carga utilizada. Utilicen papel semilogarítmico. ¿Qué conclusión se puede sacar de la misma?

¿Qué tanta exactitud (de acuerdo con sus medidas), tuvo el cálculo de la máxima resistencia de carga que podría alimentar este espejo de corriente sin que cambiaran los 2mA aproximados que esperamos del mismo? ¿Para que valor de la resistencia de carga se hace máxima la disipación de potencia del transistor Q_2 ? Justifiquen su respuesta y calculen el valor de dicha potencia. ¿Porqué razón el transistor Q_1 se encuentra siempre en saturación en esta fuente de corriente?

3. Amplificador Diferencial BJT con carga resistiva

3.1. Prelaboratorio

Para la practica utilizaremos 2 transistores BJT apareados de los CI LM3046 o LM3086, del cual utilizaremos como par diferencial para todo lo que sigue, los transistores Q_1 y Q_2 (terminales 1,2,3 y 3,4,5), ya que se garantiza su apareamiento dentro de tolerancias muy estrechas y sus emisores se encuentran conectados. Para construir la fuente de corriente de polarización, utilizaremos el transistor Q_3 (terminales 6,7,8), un diodo zéner y dos resistencias.

Los voltajes de alimentación que se utilizarán en la práctica son +15V y -10V y la polarización que utilizaremos para Q_1 y Q_2 , es de $(2-X*0.2)$ mA para su I_C , y de aproximadamente 8V para su V_{CE} , donde X es el numero de su grupo. Observe que el potencial DC en los emisores de esos transistores, es ligeramente negativo debido a la caída del voltaje en conducción V_{BE} de Q_1 y Q_2 , y a la caída de tensión en R_B debida a la corriente de polarización en la base.

Calculen las resistencias R_C de colector de Q_1 y de Q_2 y normalicenlas al seriado E96 al $\pm 1\%$ a fin de aparearlas lo mejor posible. Para las resistencias de base de los transistores, utilicen un valor de aproximadamente tres veces las anteriores ($R_B = 3R_C$), normalizandolo también al seriado E96 al 1% . Con esto ya tendremos los valores de las cuatro resistencias apareadas: dos R_C y dos R_B .

El diseño de la fuente de corriente se limita ahora a escoger un diodo zéner y las resistencias R_Z y R_E de la figura 3 El diodo zéner debería escogerse alrededor de los 5 voltios y de pequeña potencia. De su selección dependerá el valor de R_Z ; la resistencia R_E es la de programación de la fuente, y ambas, deben normalizarse al seriado E24, al 5% . Seguramente la corriente de la fuente no quedará exactamente en 2mA, pero debe estar cerca después de la normalización. Se sugiere diseñar y probar primero la fuente de corriente, antes de continuar.

R_L sera de $15K\Omega$ mientras los condensadores de acople serán de 1uF a 16V.

3.2. Laboratorio

Antes de aplicar señal al circuito, conecten los voltajes de alimentación empezando por el negativo; midan los dos voltajes, así como los potenciales de los terminales (3), (1), y (5), y utilizando el valor de R_C , calculen la corriente de polarización de cada transistor y sus voltajes V_{CE} . Anótenlos en la bitácora, pues los necesitaran para los cálculos de señal.

Si la polarización está razonablemente bien, pueden proceder a conectar el generador de señal con onda sinusoidal a la entrada, y el osciloscopio a la salida, procurando obtener la mayor señal de salida posible sin distorsión. Utilicen una frecuencia de 1KHz: Una vez que todo está estabilizado, midan la amplitud de las ondas de entrada y de salida y anótenlas, así como el desfase que pueda existir entre las dos señales.

Desconecten momentáneamente las alimentaciones y sin alterar la amplitud de la señal del generador lleve el condensador de acoplo de carga del terminal (5) al terminal (1), es decir al otro colector. Enciendan de

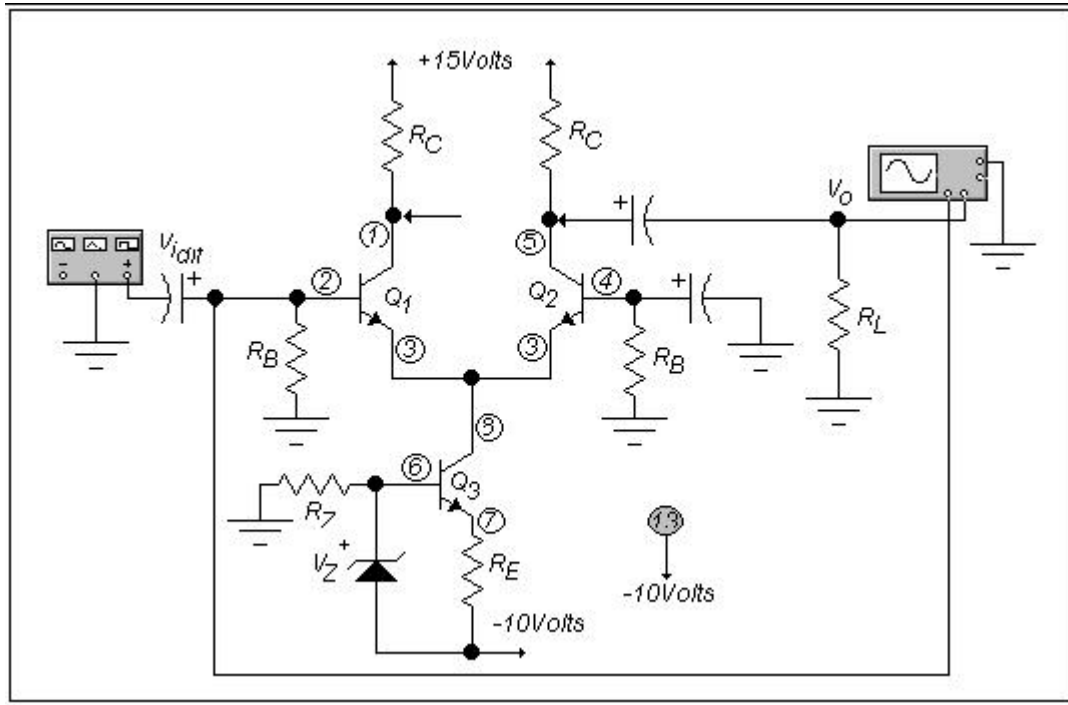


Figura 3: A.D en Modo Diferencial, con Fuente de Corriente.

nuevo y midan nuevamente la amplitud de las ondas de entrada y de salida anotándolas, así como el desfase entre la señal de entrada y la de salida.

Como habíamos dicho la señal en modo común es aquella que aparece simultáneamente en las dos entradas del amplificador diferencial. En la práctica esto lo logramos conectando las dos bases en un mismo punto, y la entrada de señal común allí. El amplificador no sufre ningún otro cambio por lo cual la polarización permanece igual que antes.

Conecten el generador de señal con una onda de salida sinusoidal de 1Khz, y de la misma amplitud que la utilizada en el montaje diferencial, y traten de leer en el osciloscopio la magnitud de la onda de salida. Si es necesario, aumenten la magnitud de la onda de entrada. Anoten sus observaciones en la bitácora. Repitan las mediciones anteriores llevando el condensador de acoplo de carga del terminal (5) al terminal (1), es decir tomando la salida en el transistor Q1. Anoten los resultados obtenidos.

Con base en los valores de polarización medidos, y utilizando el semicircuito en el modo diferencial, calculen la ganancia de voltaje en dicho modo, anotando todos los cálculos en la bitácora. estimen la resistencia de salida de los transistores del circuito integrado.

A continuación, y con base en los valores de polarización medidos en el laboratorio, procedan utilizando el semicircuito en el modo común, a calcular la correspondiente ganancia de voltaje. Aquí interviene en el semicircuito la resistencia Norton de la fuente de corriente, que deberán calcular cuidadosamente. Se sugiere revisar para los detalles de dicho cálculo, así como el de la propia ganancia en el modelo resultante, las referencias citadas al final. Anoten todos los detalles del cálculo en su bitácora de laboratorio.

Finalmente con base en los dos resultados anteriores, calculen la relación de rechazo al modo común (CMRR) del amplificador diferencial.

4. Amplificador Diferencial con Cola Resistiva

4.1. Prelaboratorio

En este caso reemplazaremos la fuente de corriente zéner con una resistencia la cual debe ser calculada para que circule la misma corriente del montaje anterior. Normalizar dicha resistencia al seriado E-24 al 5 %.

4.2. Laboratorio

empiecen por verificar la polarización sin conectar señal, midiendo los dos voltajes de alimentación, así como los potenciales de los terminales (3), (1), y (5), y utilizando el valor de R_C , calculen la corriente de polarización de cada transistor y sus voltajes V_{CE} anotándolos en sus bitácoras.

El resto del experimento es similar al efectuado con el amplificador diferencial polarizado con fuente de corriente, por lo que no se repetirán las instrucciones nuevamente. La idea es la medición de las ganancias de voltaje diferencial con cada uno de los dos transistores y observar la ganancia de voltaje en el modo común.