

ELECTRÓNICA AVANZADA 1

Práctica de Laboratorio 1.

PAR DIFERENCIAL

El objetivo de la práctica es diseñar un amplificador diferencial con transistores BC548 y medir sus características. Para ello la práctica se divide en 2 secciones que deben ser realizadas en el orden que se presentan. Para cada sección se deberán realizar los cálculos, simulaciones y medidas correspondientes. Al final de la letra se detalla el contenido requerido para el informe. En general, uno de los objetivos de las prácticas de laboratorio es contrastar la teoría y modelos con la realidad. En este sentido es más importante que el alcanzar en las medidas los requerimientos pedidos con gran precisión, el entender el posible origen de las diferencias entre lo esperado, simulado y medido.

IMPORTANTE:

Para el día de la defensa, los estudiantes deben traer las configuraciones (“Workspace”, archivos .dwf3work) necesarias para medir el circuito con el software WaveForms y todos los circuitos diseñados en esta práctica listos para ser probados. El docente podrá solicitar a un estudiante particular repetir alguna medida, esperando que sea capaz de realizar dicha tarea en forma fluida y sin errores. También deben traer los netlist o esquemáticos utilizados para simular el circuito en LTspice, el cual podría ser solicitado por el docente si lo considera necesario.

El informe debe ser entregado a través del eva del curso en formato .zip incluyendo:

1. El informe en formato PDF incluyendo todo lo pedido en la letra. Como anexo se debe incluir también los cálculos realizados, los cuales pueden ser escaneos de hojas escritas a mano.
2. Todos los archivos de Ltspice utilizados para simular los circuitos diseñados. Esos archivos deben estar armados de forma tal que puedan ser abiertos y simulados por los docentes. Para esto es recomendable leer (recordar) el [Manual de entrega de archivos LTSpice para laboratorios](#).
3. Todos los archivos del diseño eagle (ver punto: /Para el informe/Amplificador diferencial/Diseño/c)

I) Fuente de corriente

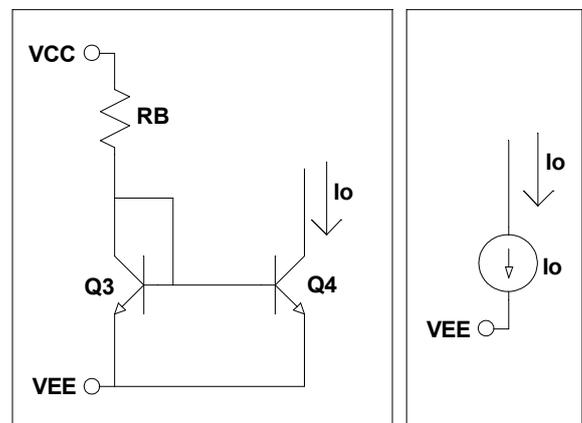
Objetivo: diseñar y construir la fuente de corriente mostrada en la Figura 1 que se basa en la estructura llamada “espejo de corriente” formada por Q3 y Q4. Esta fuente será luego utilizada para polarizar el amplificador diferencial en la sección II.

Requerimientos:

- $V_{CC} = -V_{EE} = 5\text{ V}$
- $I_o = 1\text{ mA}$. Se sugiere que R_B sea (o tenga en serie) un preset multivuleta que permita un ajuste fino ($\pm 20\ \mu\text{A}$) de la corriente de salida.

Armado y Medidas:

- Arme el circuito de la Figura 1. A efectos de poder medir la corriente de salida de la fuente de corriente (I_o), coloque una resistencia adecuada a V_{CC} desde el



Implementación de fuente de Corriente con transistores bipolares

Circuito Ideal

Figura 1

terminal de salida (Resistencia de test). Con un multímetro mida el valor de dicha resistencia.

- Ajuste el preset multivuelta hasta lograr la corriente de salida deseada. Calcule la corriente de salida a partir de la tensión de salida y el valor medido para la resistencia que colocó en esta terminal.
- Luego de ajustado el preset, mida la tensión de base.
- Mida la RB total luego de ajustarla.

II) Amplificador diferencial

Objetivo: diseñar e implementar el amplificador diferencial mostrado en la figura 2. Para esto, utilice la misma fuente de corriente implementada en la sección I.

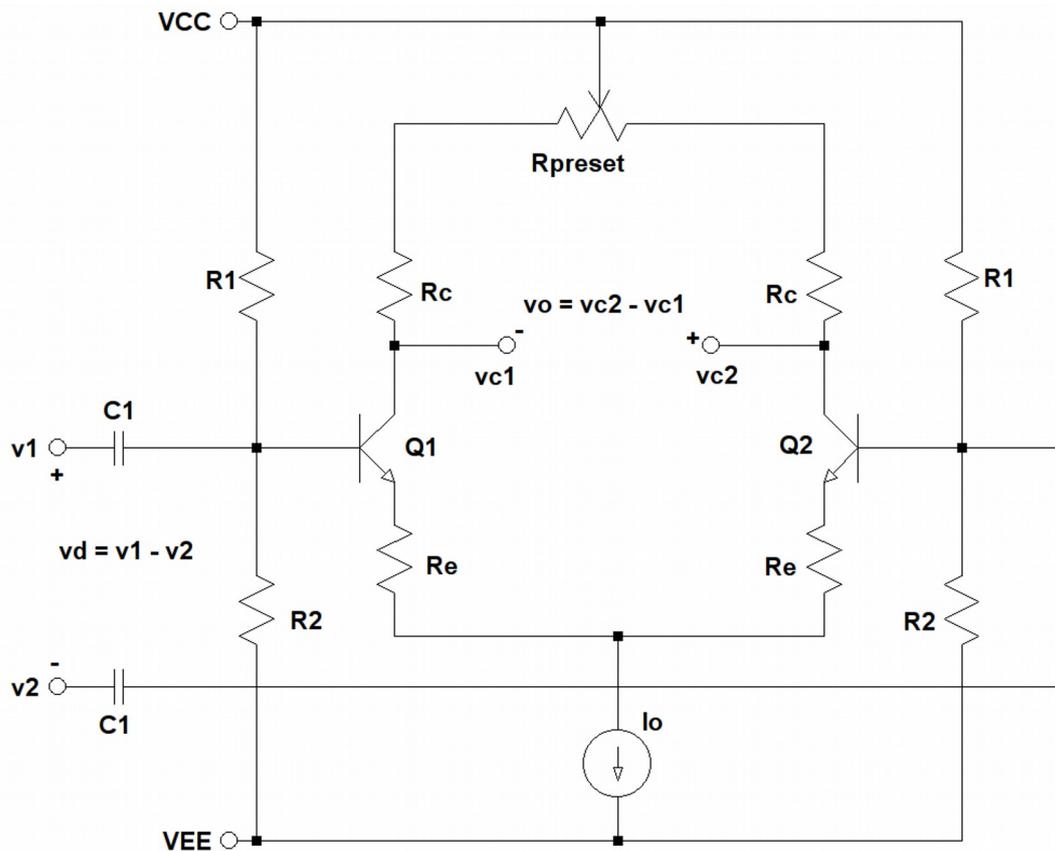


Figura 2

Se deben calcular las resistencias Re y Rc en las siguientes condiciones:

- $V_{CC} = -V_{EE} = 5\text{ V}$
- Máxima excursión posible
- Ganancia diferencial con salida diferencial, $G=30\text{ V/V}$
- $I_o=1\text{ mA}$ (misma fuente de corriente implementada en la sección I), $I_c=500\text{ }\mu\text{A}$
- Frecuencia de corte inferior menor a 1 kHz.

Los divisores resistivos formados por R1 y R2 deben balancearse para que generen la misma tensión de polarización. Para ello sustituya una de las 4 resistencias por una resistencia variable.

Para el circuito diseñado, mida:

- Punto de operación (con v_1 y v_2 a tierra, mida todos los nodos pertinentes)
- Offset equivalente a la entrada, Ganancia en modo común
- Ganancia del circuito en banda pasante ($(v_{e2} - v_{e1})/v_d$), CMRR, resistencia de entrada, frecuencias de corte inferior y superior, y ancho de banda.
- Excursión de salida.

PARA EL INFORME

En el informe se deberán utilizar los mismos nombres para los componentes que los presentados en las figuras de la práctica. El informe deberá contener las siguientes secciones donde se debe explicar de forma clara y concisa lo solicitado en el orden aquí establecido. **Anexe al informe todos los cálculos realizadas para obtener todos los diseños, y todos los cálculos que haya realizado para responder las preguntas del informe.** Al final del informe, y en otro anexo, los estudiantes pueden agregar medidas o discusiones adicionales en caso que deseen incluirlas.

Fuente de corriente

1. Diseño
 - a. ¿En que zona opera el transistor Q3? ¿En qué zona debe operar el transistor Q4 para que el espejo de corriente y la fuente funcionen como se desea?
 - b. Calcule en forma teórica qué valor debería tener R_B para tener la corriente de salida deseada.
 - c. Indique exactamente cómo implementa la resistencia R_B .
 - d. ¿Qué condición debería cumplir la resistencia de test para el correcto funcionamiento del espejo de corriente, y sea posible su caracterización?
 - e. Incluya un diagrama del circuito donde se detalle cómo realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente cómo conectó cada componente, y qué terminales del AnalogDiscovery utilizó y dónde los conectó.
2. Medidas
 - a. Punto de operación
 - i. Indique las tensiones de base y la tensión de la terminal de salida (colector de Q4 en Figura 1) cuando se conecta la adecuada Resistencia de test, y luego de ajustar la resistencia R_B al valor deseado.
 - ii. Reporte los valores medidos de R_B y la resistencia de test.
 - iii. Justifique en no más de 100 palabras por qué hay un valor adecuado para la resistencia de test, muestre cuál es.
 - iv. Fundamente en no más de 100 palabras las posibles causas de la diferencia entre la corriente por R_B medida y la corriente I_o medida.

Amplificador diferencial

1. Diseño
 - a. Indique los valores de los componentes utilizados ($R_1, R_2, R_e, R_c, R_{\text{preset}}$ y C_1).
 - b. Incluya un diagrama del circuito donde se detalle cómo realizó las conexiones. Este diagrama debe indicar claramente cómo conectó cada componente, y qué terminales del AnalogDiscovery utilizó y dónde los conectó
 - c. Diseñe en Eagle el esquemático y el correspondiente layout del circuito de la Figura 2 (incluyendo la implementación de la fuente de corriente con transistores). Este archivo debe ser entregado junto con el informe como se detalla al principio de la letra.

2. Medidas

- a. Ajuste del circuito.
 - i. Balance de las tensiones de base: Desconecte las bases del par diferencial y utilice el voltímetro para equilibrar el puente formado por los dos pares de resistencias R1 y R2.
 - ii. Ajustando el preset que está conectado a las resistencias R_c y a V_{cc} , asegúrese que las resistencias vistas por colector (hacia V_{cc}) sean iguales.
- b. Punto de operación
 - i. Indique en una tabla los valores calculados, simulados y medidos (con v_1 y v_2 a tierra). En particular muestre los voltajes DC en base, emisor y colector de cada transistor de la Figura 2, y la salida diferencial ($V_{c2} - V_{c1}$)
 - ii. Utilizando un multímetro, mida el valor de cada resistencia utilizada y calcule la corriente I_c de cada transistor.
 - iii. Justifique en no más de 100 palabras las diferencias entre este I_c calculado y el deseado para el diseño ($I_c=500 \mu A$)
- c. Cancelación de la tensión de OFFSET y ganancia en modo común
 - i. Estime y mida la tensión de offset del circuito. Indique cómo lo realiza.
 - ii. Estime y mida la ganancia en modo común del circuito. Justifique.
 - iii. Des-balancear las resistencias de colector hasta cancelar la tensión de offset. Volver a medir la ganancia en modo común.
 - iv. Responda en no más de 200 palabras las siguientes preguntas:
 1. ¿Cómo afecta la ganancia en modo común las manipulaciones sobre el preset al corregir el offset? ¿Porque?
 2. ¿Qué sucede con estos parámetros (tensión de offset y ganancia en modo común) si los transistores están a distinta temperatura?
- d. Ganancia diferencial, CMRR y resistencia de entrada del circuito.
 - i. Presente las medidas de las señales utilizadas para calcular la ganancia diferencial del circuito. ¿Cómo inyecta una entrada diferencial en el circuito?
 - ii. Indiqué en una tabla la ganancia diferencial medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Calcular el CMRR del amplificador diferencial.
 - iv. Indique cómo realiza la medida de la resistencia de entrada diferencial del circuito
 - v. Indique en una tabla la resistencia de entrada del circuito medida, simulada, y calculada teóricamente.
- e. Frecuencias de corte y ancho de banda
 - i. Reporte las amplitudes de las señales de entrada y salida medidas a la frecuencia de corte inferior.
 - ii. Indiqué en una tabla la frecuencia de corte inferior medida, simulada, y calculada teóricamente.
 - iii. Reporte la frecuencia de corte superior y el ancho de banda medidos.
 - iv. Incluya una gráfica de la respuesta en frecuencia en amplitud del circuito utilizando la herramienta “Network” del software “WaveForms”.
- f. Excursión de salida
 - i. Incluya una señal de salida donde se aprecie claramente la distorsión por corte y saturación indicando qué distorsión se debe al corte y cuál a la saturación del transistor.

- ii. Incluya una señal de salida con la máxima excursión posible.
- iii. En una tabla compare la excursión de salida medida, simulada y calculada teóricamente, incluyendo las expresiones teóricas utilizadas y el cálculo.
- iv. Fundamente en no más de 200 palabras las posibles causas de la diferencia.