

LABORATORIO CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

PRÁCTICA N° 5

1 TEMA

ANÁLISIS DEL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

2 OBJETIVOS

- 2.1 Determinar el funcionamiento de un amplificador diferencial.
- 2.2 Analizar diferentes configuraciones de un amplificador diferencial
- 2.3 Describir los modos de operación del amplificador diferencial.

3 MARCO TEÓRICO

Un amplificador diferencial es la etapa de entrada imprescindible de los amplificadores operacionales (OpAmp) que se verán en la siguiente práctica. Los OpAmp se fabrican en un circuito integrado, y esto complica el diseño de amplificadores internos ya que no se puede fabricar allí capacitores mayores a 50 pF (para los acoplamientos multietapa o el bypass de Emisor). La solución es el amplificador diferencial el cual tiene una impedancia de entrada muy alta, impedancia de salida muy baja y ganancia de voltaje alta. Además no usa capacitores y tiene una respuesta plana de frecuencia muy buena: Desde DC hasta algunos MHz.

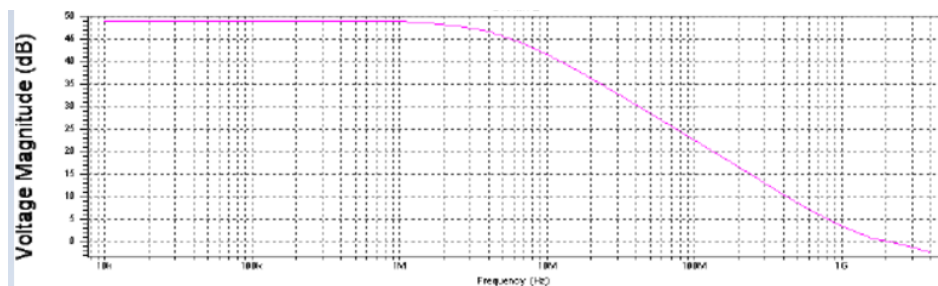


Fig 3.1.- Respuesta de frecuencia del amplificador diferencial

La característica principal del amplificador diferencial es que tiene dos entradas y amplifica solo la *diferencia* entre estas dos señales. No amplifica lo que ellas tengan en *común*. Por ejemplo si se ingresa una señal sinusoidal contaminada con ruido en la una entrada (queda en fase) y la misma señal a la otra entrada (queda en contrafase), se tendrá una señal sinusoidal pura casi sin ruido. La señales sinusoidales en fase y contrafase tienen mucha *diferencia*, mientras que el ruido se considera un parámetro *común* entre ellas.

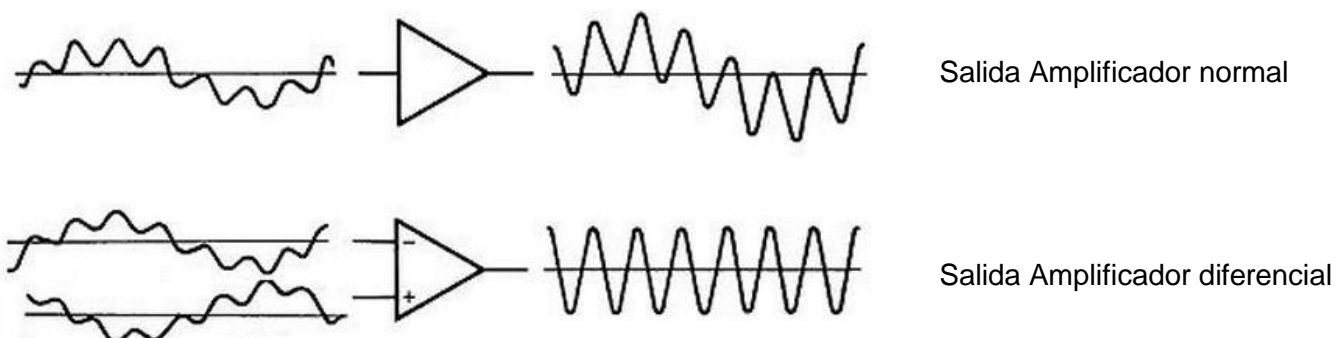


Fig 3.2.- Señales en un amplificador diferencial

El amplificador diferencial se implementa de la siguiente manera:

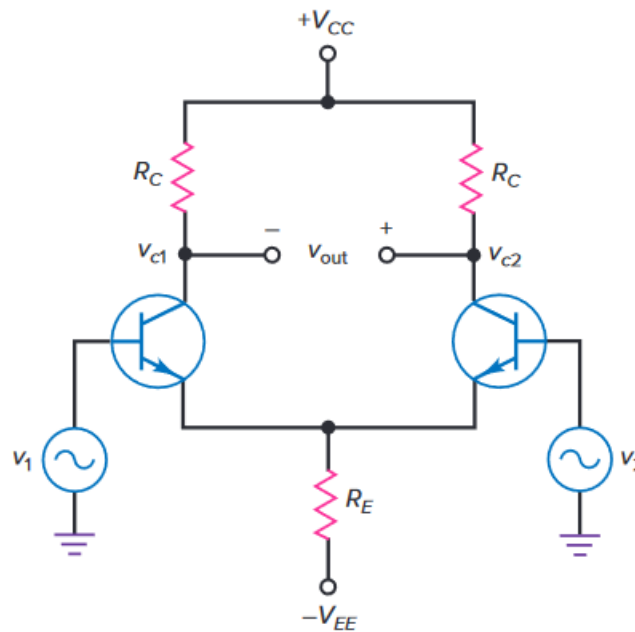


Fig 3.3.- Implementación del amplificador diferencial

$V_{out} = V_{C2} - V_{C1}$ (Nótese que se escoge la letra V minúscula ya que se trata de voltajes AC)

$$V_{out} = A_V \cdot (v_2 - v_1)$$

Idealmente, en un amplificador diferencial, las resistencias de los colectores y los transistores deberían ser exactamente iguales. Tendrían que afectarse de manera idéntica por factores como la temperatura y otros. En el mundo real se consigue una aproximación muy cercana a esto al tener todo empaquetado dentro de un mismo Circuito Integrado (IC). Esta identidad no se consigue con elementos discretos.

Si $v_2 > v_1$ se tendrá la polaridad de la figura. Sino se la tendrá invertida. V_{C2} y V_{C1} están en *contrafase*.

La entrada de v_1 a la izquierda se llama *no-inversora* ya que V_{out} está en fase con ella

La entrada de v_2 a la derecha se llama entrada *inversora* ya que V_{out} está en contrafase con ella

En algunas aplicaciones solamente se usa la entrada no-inversora mientras que la inversora se pone a tierra. En otras aplicaciones se procede vice-versa. Las fórmulas del circuito son:

$$A_V = \frac{R_C}{r_e'} \quad r_e' = \frac{26 \text{ mV}}{I_{EE}/2} \quad I_{EE} = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} \approx \frac{V_{EE}}{R_E} = I_{total}$$

$$V_{CC} = V_{EE} \quad Z_{in} = 2 \cdot \beta \cdot r_e'$$

(Z_{in} es la misma para cualquiera de las entradas)

Al conectar una carga en las salidas V_{out+} y V_{out-} del amplificador diferencial se la tendrá en modo *flotante* ya que no está referida a tierra. Esto es un inconveniente para la mayoría de cargas ya que éstas necesitan conectarse a tierra. Para resolver ese problema se procede de la siguiente manera:

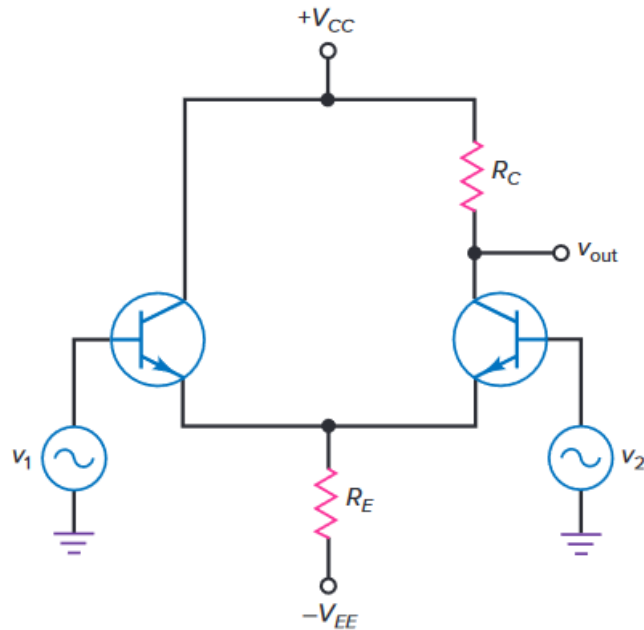


Fig 3.4.- Implementación del amplificador diferencial de una sola salida.

Esta implementación es usada ampliamente para conectarse a amplificadores EC, CC, etc. Se retira la R_C de la izquierda ya que no tiene ninguna utilidad. La ganancia de voltaje sigue siendo la misma que en el caso del amplificador diferencial normal. Pero el voltaje de salida es la mitad ya que solo se obtiene señal del colector del transistor de la derecha

A menudo solamente una de las entradas está activa mientras que la otra está aterrizada, como lo muestran las siguientes figuras:

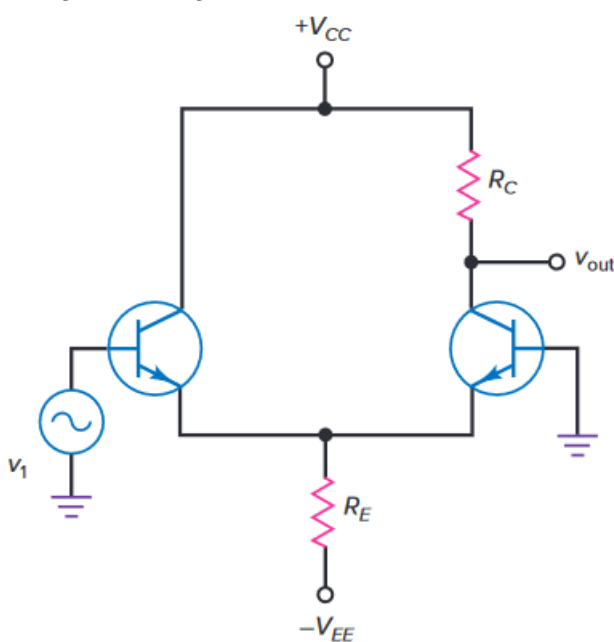


Fig 3.5.- Diff-Amp Entrada no-inversora/Una Salida

$$V_{out} = A_V \cdot v_1$$

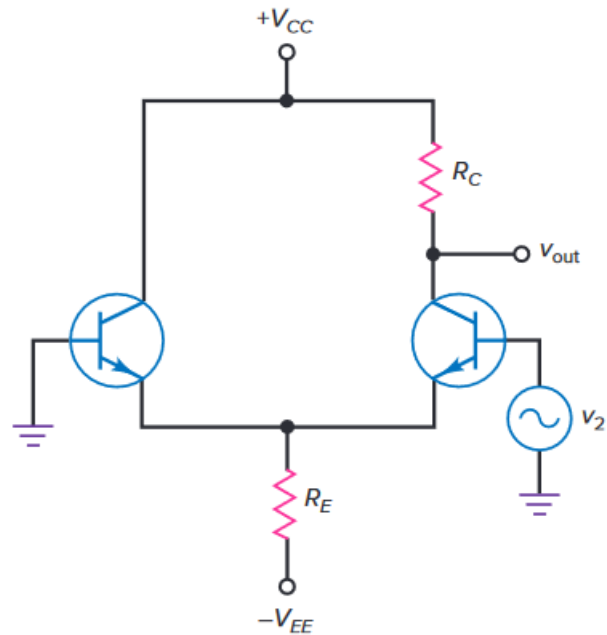


Fig 3.6.- Diff-Amp Entrada inversora/Una Salida

$$V_{out} = -A_V \cdot v_2$$

$$A_V = \frac{R_C}{r_e'}$$

GANANCIA EN MODO COMÚN:

Modo Común (CM) es el modo de operación del amplificador diferencial cuando se ingresa la misma señal a las dos entradas.

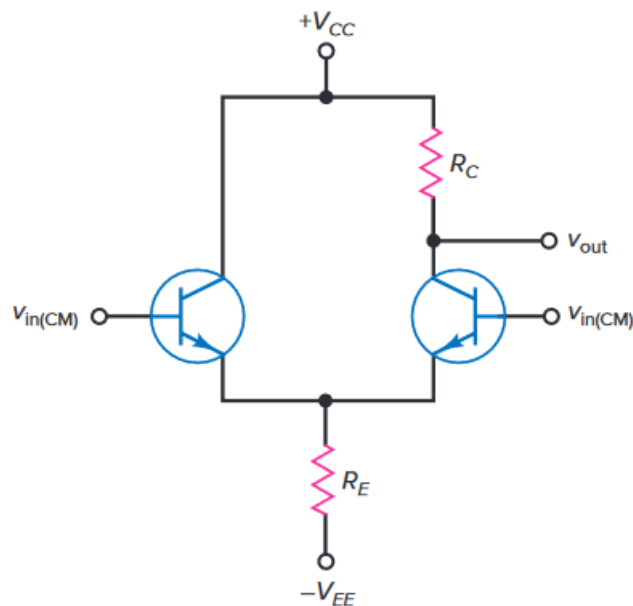


Fig 3.7.- Diff-Amp de Dos Entradas/Una Salida puesto en modo Común

Si el sistema fuese perfectamente simétrico, la salida sería *cero* ya que las dos entradas son iguales. Se mencionó anteriormente que dentro de un IC se podían llegar a componentes muy cercanos a la identidad, pero en la realidad nunca se la alcanza. Esto hace que haya una pequeña Ganancia en Modo Común, (Atenuación en realidad ya que es un valor típicamente de 0.5) definida aproximadamente por:

$$A_{V(CM)} = \frac{R_C}{2 \cdot R_E} \approx 0.5$$

RAZON DE RECHAZO EN MODO COMÚN (Common-Mode Rejection Ratio CMRR)

La CMRR está definida de la siguiente manera:

$$CMRR = \frac{A_V}{A_{V(CM)}}$$

Por ejemplo, si $A_V = 200$ y $A_{V(CM)} = 0.5$, $CMRR = 400$ (52dB). Mientras más alto, mejor. Normalmente se expresa en dB de la siguiente forma:

$$CMRR(dB) = 20 * \log CMRR$$

Una alta CMRR significa que el Diff-Amp está amplificando bien la señal deseada y discriminando el ruido de la misma.

Al conectar una carga se tiene los siguientes equivalentes de Thevenin que simplifican el análisis:

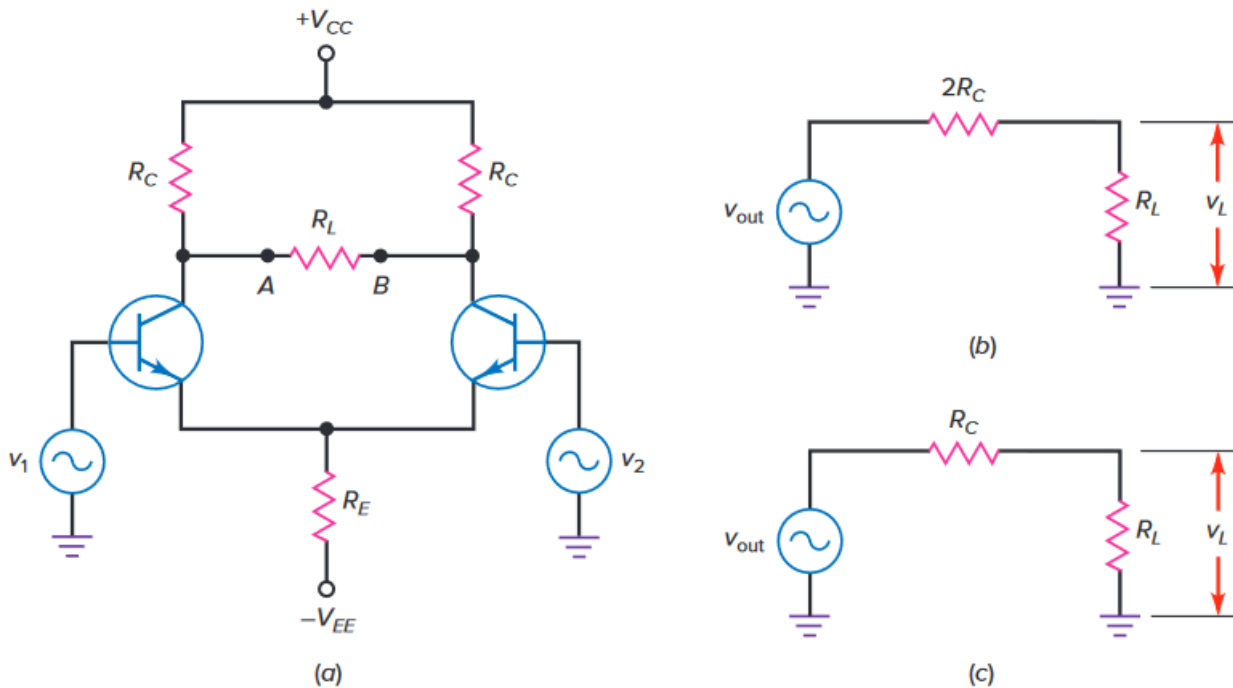


Fig 3.8.- (a) Diff-Amp con Resistencia de Carga R_L
 (b) Equivalente Thevenin para salidas diferenciales
 (c) Equivalente Thevenin para una sola salida

NOTA: Se puede añadir resistencias a los emisores de los transistores y poner cargas simétricas en las salidas para tener un Diff-Amp con estabilidad en ganancia como lo muestra el punto 4.2 del trabajo preparatorio. Al tener resistencias en el emisor la ganancia es casi independiente de r_e' y es:

$$A_V = \frac{R_C}{(R_{E1} + R_{E2} + 2r_e')} \approx \frac{R_C}{R_{E1} + R_{E2}}$$

APLICACIONES:

Consolas, amplificadores y procesadores de Audio, canceladores de ruido, telecomunicaciones, instrumentación, biónica, control industrial, aviónica, radiotelescopios. etc. (Es decir ambientes eléctricamente ruidosos donde una señal pequeña puede ser dañada por el efecto del ruido externo no deseado)

4 TRABAJO PREPARATORIO

4.1 Cuestionario:

- ¿qué es un amplificador diferencial?
- ¿cuáles son los modos de operación de amplificador diferencial?
- ¿qué es la razón de rechazo en modo común?

4.2 Analizar el circuito de la Figura 1 y realizar los siguientes literales:

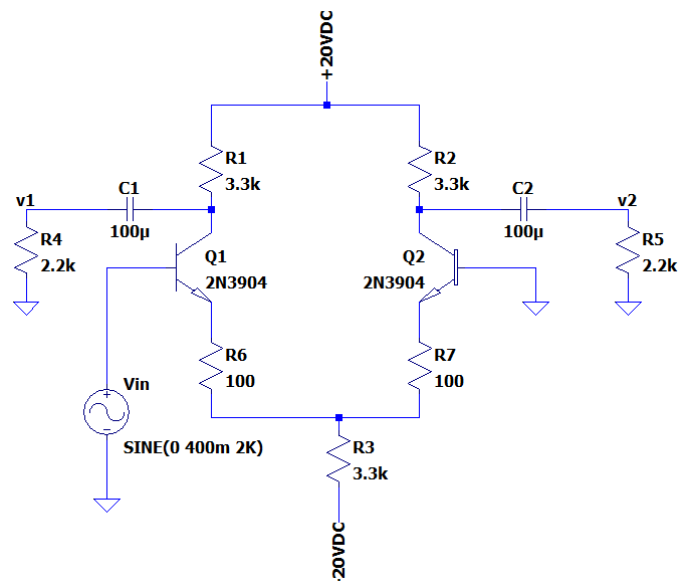


Figura 1. Amplificador diferencial con estabilidad en la ganancia.

- Si la señal de salida es v1, determinar el tipo de configuración y la ganancia.
- Si la señal de salida es v2, determinar el tipo de configuración y la ganancia.
- Realizar la simulación en LTSpice del circuito de la Figura 1, comprobar las ganancias calculadas y obtener los voltajes y corrientes de polarización.

4.3 Para el circuito de la Figura 2 obtener:

- Los voltajes y corrientes de polarización.
- Las formas de onda de V_{in1} , V_{in2} , V_{o1} y V_{o2} .
- El valor del CMRR en formato adimensional y en dB.

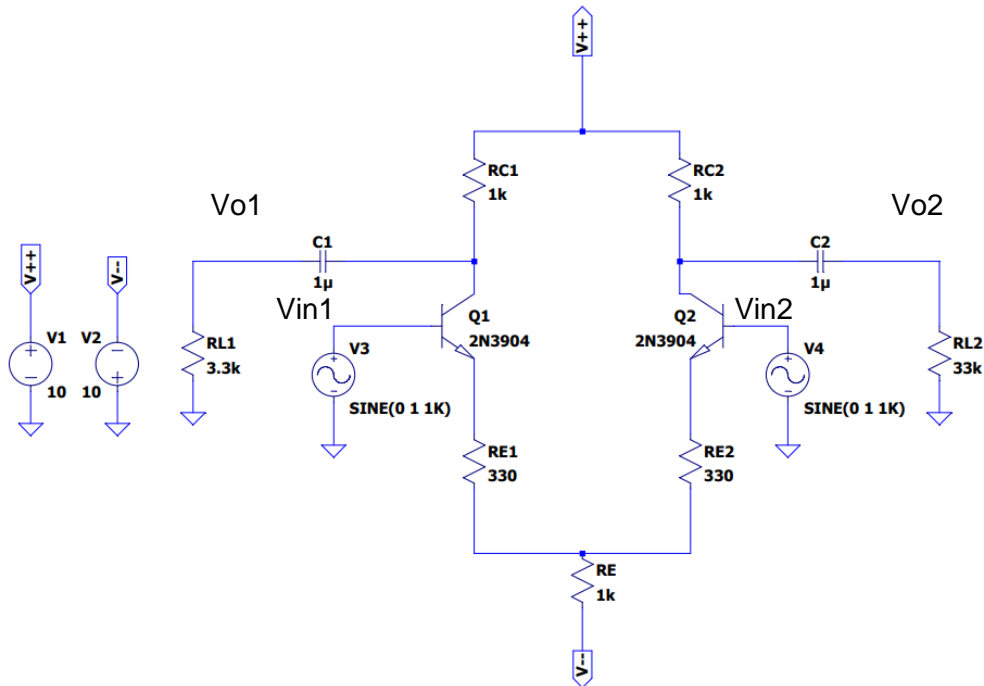


Figura 2. Amplificador con entradas en modo común

5 EQUIPO Y MATERIALES

5.1 Hardware

- *Protoboard*, cortadora y peladora de cables, puntas de prueba, multímetro.
- Elementos necesarios para armar los circuitos de las figuras 1 y 2. (resistencias, transistores, capacitores, cables).
-

6 PROCEDIMIENTO

- Implementar en protoboard los circuitos de las Figuras 1 y 2.
- Medir voltajes de polarización y calcular las corrientes de los circuitos implementados.
- Visualizar en el osciloscopio las señales de entrada/salida de cada circuito y comprobar la ganancia. Tomar los datos necesarios para realizar las gráficas para el informe.
- Realizar los cambios que el instructor indique.

7 INFORME

- 7.1 Presentar en un cuadro las mediciones DC y AC de los valores medidos en la práctica y los valores teóricos obtenidos en el preparatorio para cada circuito. Obtener los porcentajes de error y justificar.
- 7.2 Presentar las gráficas de entrada y salida de cada circuito.
- 7.3 Simular el circuito de la Figura 2 empleando una fuente de corriente constante. Observar las señales de entrada y salida.
- 7.4 Conclusiones y recomendaciones.

8 REFERENCIAS

- T. Floyd, Dispositivos Electrónicos, México, PEARSON EDUCACIÓN, 2008.
- R. Boylestad y Nashelsky, Electrónica: Teoría de circuitos y Dispositivos electrónicos, México, PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- A. Malvino, Electronic Principles 9th Edition, New York, McGraw-Hill Education, 2021
- Savant, Roden y Carpenter, Diseño electrónico. Circuitos y sistemas, España: Addison Wesley iberoamericana, 2000

Elaborado por: Msc. Roberto Maldonado, Ing. Marco Serrano

Revisado por: PhD Ricardo Llugin – PhD Pablo Lupera – Msc. Wilson Enriquez – Ing. William Coloma