

TRABAJO PRÁCTICO N° 2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL

2.1 Amplificador diferencial

Arme el circuito de la figura 2.1. Estime cuál debería ser la tensión de colector del transistor de la derecha en el punto de reposo. Estime la ganancia en modo diferencial y en modo común (no se olvide de r_e).

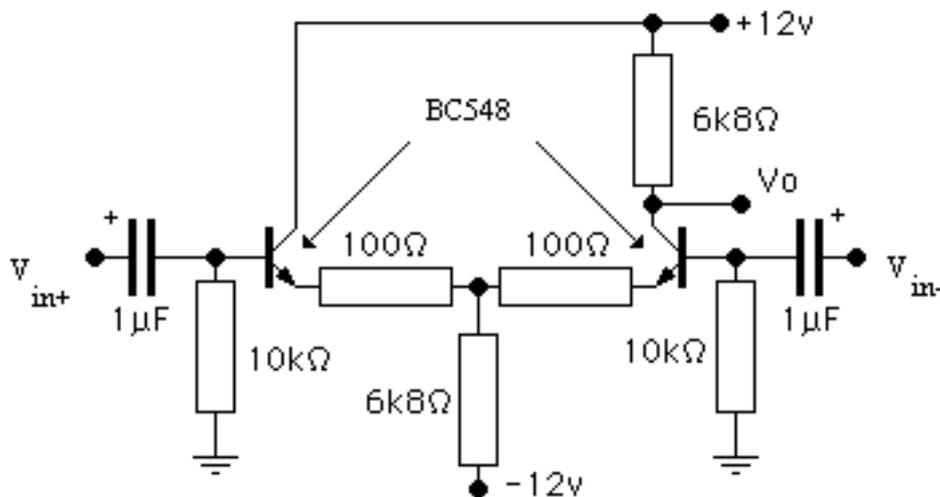


Fig. 2.1 – Amplificador diferencial

Ahora mida esas cantidades: para G_{diff} coloque a masa una entrada y aplique una pequeña señal a la otra; para G_{cm} una ambas entradas y aplique una señal moderada, por ejemplo $1V_{pp}$.

2.2 Ganancia en lazo abierto del amplificador operacional.

Arme el circuito de la figura 2.2. (Nota: Casi todos los circuitos de la práctica son pequeñas modificaciones de los que armó en el punto anterior. No desarme los circuitos que usó antes de ver si no le sirve para el punto siguiente). Observe la tensión de salida al hacer girar el eje del potenciómetro de $50 K\Omega$. ¿Encuentra la respuesta del circuito consistente con las especificaciones que proclaman "Ganancia (típica) = 200.000"?

A continuación abra el circuito en el punto marcado con "X". Conecte unidas las dos entradas a una resistencia en serie de $1 M\Omega$, de manera tal que pueda medir la

(pequeña) corriente de entrada como caída de tensión en la resistencia usando un multímetro digital en el rango de 2 V (Verifique que la impedancia de entrada del multímetro sea de $10\text{M}\Omega$. Si es menor corrija la medición) ¿Cuánto vale la corriente de entrada medida? A partir del signo de dicha corriente deduzca si los transistores de entrada del 741 son NPN o PNP. Consiga el circuito interno del 741 y verifíquelo. ¿Es consistente el valor de la corriente de entrada medido con el valor especificado I_{BIAS} (típica) 80 nA, I_{BIAS} (máxima) 500 nA?

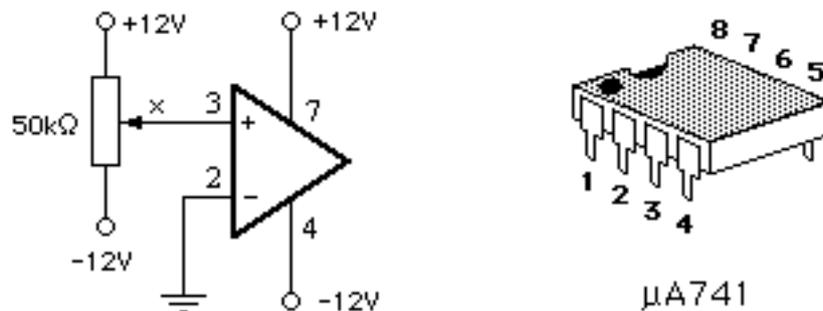


Fig. 2.2 – Circuito para ensayo a lazo abierto

Si bien las corrientes de entrada del 741 son muy pequeñas en relación con los valores típicos de los transistores comunes y es usualmente despreciada en las aplicaciones simples, hay circunstancias en las que hay que tenerlas en cuenta. En estos casos hay que utilizar amplificadores operacionales de mejores características, tal es el caso del popular 355 que emplea transistores de efecto de campo en su etapa de entrada, con corrientes de entrada órdenes de magnitud menores que las del 741 (ver hojas de datos).

Reemplace el 741 por un 355 (tiene la misma distribución de patas) ¿Puede medir con su circuito el valor especificado de I_{BIAS} (típica) 30 pA, I_{BIAS} (máxima) 200 pA?

2.3 Amplificador inversor

Construya el amplificador inversor de la figura 2.3 (en estas experiencias utilice las fuentes de $\pm 12\text{V}$ para todos los circuitos de amplificadores operacionales a menos que se indiquen explícitamente otros valores), inyéctele a la entrada una señal sinusoidal de 1 kHz de milivolts de amplitud. ¿Cuánto vale la ganancia? ¿Cuál es la máxima excursión en la tensión de salida? ¿Recorta simétricamente? Cambie la alimentación de $+12\text{V}$ por $+5\text{V}$ y vea cómo recorta ahora.

Vuelva a conectar los +12V. ¿Cómo es la linealidad del amplificador (pruebe con una onda triangular)? Pruebe con ondas sinusoidales de distintas frecuencias. ¿Por arriba de qué frecuencia el amplificador deja de funcionar bien? ¿Depende dicha frecuencia de la amplitud?

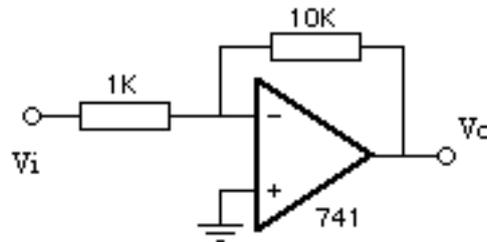


Fig. 2.3 – Amplificador inversor

Retorne a las ondas sinusoidales de 1 kHz. Mida la impedancia de entrada de este amplificador. Mida (inténtelo al menos) la impedancia de salida (note que no hace falta un capacitor de bloqueo ¿por qué?). Dado que el OpAmp no puede entregar más que unos pocos mA de corriente de salida, se debe mantener una amplitud muy pequeña en la señal de entrada para esta medición. Si no lo hace observará recortes en la señal de salida. Observe que un valor bajo de impedancia de salida *no significa necesariamente* que se disponga de grandes cantidades de potencia. Para terminar de convencerse, dibuje el gráfico V-I de una fuente de tensión con impedancia moderada, y luego el de una fuente ideal con límite de corriente.

2.4 Amplificador no inversor

Arme el circuito amplificador no inversor de la figura 2.4.

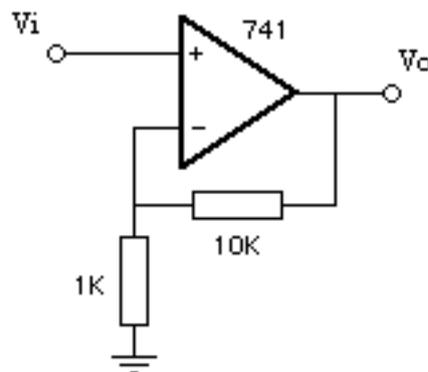


Fig. 2.4 – Amplificador no-inversor

¿Cuál es la ganancia de tensión (ayuda: no es la del circuito anterior)? Mida la impedancia de entrada, a 1 kHz, poniendo una resistencia de 100 k Ω o 1 M Ω en serie con la entrada. ¿Mantiene este circuito la misma baja impedancia de entrada que midió en el amplificador inversor?

2.5 Seguidor

Construya un seguidor con un 741. Compruebe su comportamiento: mida en particular (si es posible) Z_{IN} y Z_{OUT} . ¿Puede seguir una señal de alta frecuencia? En el próximo punto experimentaremos más a fondo en el tema de las limitaciones de los amplificadores operacionales.

2.6 Limitaciones del amplificador operacional.

2.6.1 Slew-rate

Comience midiendo el slew-rate en el circuito de la figura 2.5.

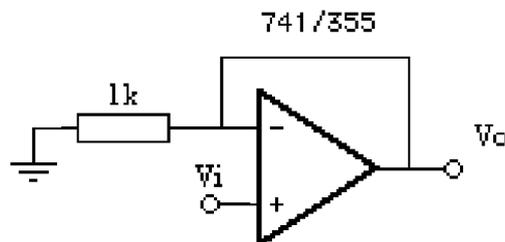


Fig. 2.5 – Circuito de medición del Slew-rate. La resistencia en serie previene el daño que ocurriría si la señal de entrada sobrepasa la máxima tensión admisible por el circuito integrado.

a) Coloque una señal de onda cuadrada en la entrada, de una frecuencia del orden del kilohertz y observe la salida en el osciloscopio. Mida el slew-rate observando la pendiente de las transiciones. Observe qué sucede si se varía la amplitud de la señal de entrada.

b) Cambie a una señal senoidal y mida la frecuencia a la que la amplitud de la tensión de salida comienza a caer, manteniendo siempre la entrada a 10 V pico a pico. ¿Es consistente con el punto a)?

c) A continuación repita las mediciones reemplazando el 741 por un 355. El 741 tiene un valor típico de slew-rate de $0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$ y el 355 de $5 \text{ V}/\mu\text{s}$. Compare con los valores obtenidos.

2.6.2 Tensión de offset

Construya el amplificador no inversor de ganancia 1000 de la figura 2.6. Mida la tensión de offset, usando el propio circuito para amplificar el offset a niveles medibles. Piense **cuidadosamente** qué hacer con la terminal no inversora del op-amp (punto marcado como V_i) para que su medición no se vea confundida por los efectos de las corrientes de polarización de entrada (input bias current), cuyo valor típico es de $0.08 \mu\text{A}$. Compare su resultado con la tensión de offset esperada $V_{os} = 2\text{mV}$ (Típ.), 6mV (máx).

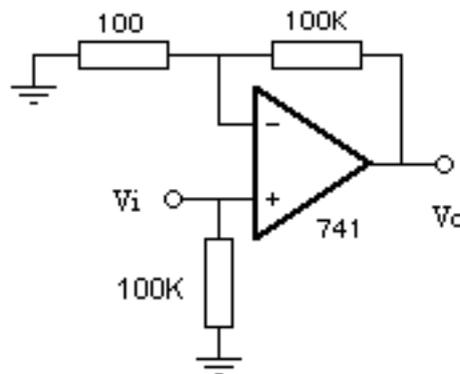


Fig. 2.6 – Circuito de medición de offset

2.6.3 Red de ajuste de offset

Ajuste la tensión de offset a cero utilizando la red recomendada (Fig. 2.7).

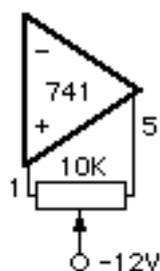


Fig. 2.7 – Red de ajuste de tensión de offset

2.6.4 Corriente de polarización de entrada (*input bias current*)

Para poder medir la corriente de polarización saque el terminal V_i de masa, como debe haberlo usado para medir la tensión de offset. Explique porqué la resistencia de entrada de $100\text{k}\Omega$ le permite medir I_{BIAS} . Luego compare sus mediciones con las especificaciones: I_{BIAS} $0.08\mu\text{A}$ (típ.), $0.5\mu\text{A}$ (máx.).

2.6.5 Corriente de offset

Altere el circuito del punto anterior de manera tal que ambas entradas del amplificador operacional "vean" una resistencia equivalente a $100\text{k}\Omega$. (Ayuda: Sólo es necesario agregar una resistencia en algún lugar). Una vez que haya hecho esto, los efectos de la corriente de polarización estarán cancelados, y sólo permanecerá como causa de error la corriente de offset. Mídalos observando el nivel residual de continua a la salida. Compare con las especificaciones: I_{OFFSET} $0.02\mu\text{A}$ (típ.), $0.2\mu\text{A}$ (máx.).

2.7 Circuitos recortadores pasivos y activos

En la figura 2.8 se muestran cinco circuitos recortadores pasivos. Si los mira detenidamente verá que los cinco son variaciones de la misma idea, pero dando vuelta el diodo, intercambiándolo con la resistencia, y/o cambiando la tensión de referencia de 0V a 5V . No los estudie todos en detalle. Piense que debería verse en cada uno de ellos y pruebe en un par.

Alimente los que elija con una señal senoidal de 10V p.a.p. y observe la salida. Luego reduzca la amplitud a 1V p.a.p., observe y compare con el caso anterior (Ud. está estudiando una señal variable, ¿Tiene que acoplar la entrada del osciloscopio en alterna o no?). ¿Qué diferencia tiene con el comportamiento teórico del modelo ideal del diodo?

Pruebe el circuito recortador activo de la figura 2.9. (Note que la salida del circuito no está tomada de la salida del op-amp.) ¿Qué significado tiene esto en términos de la impedancia de salida? Aplique una señal senoidal de 1kHz y observe la salida. ¿Qué pasa a frecuencias altas? ¿Por qué? Invierta el diodo. ¿Qué debería pasar? ¿Qué mejoras produce el uso del OpAmp?

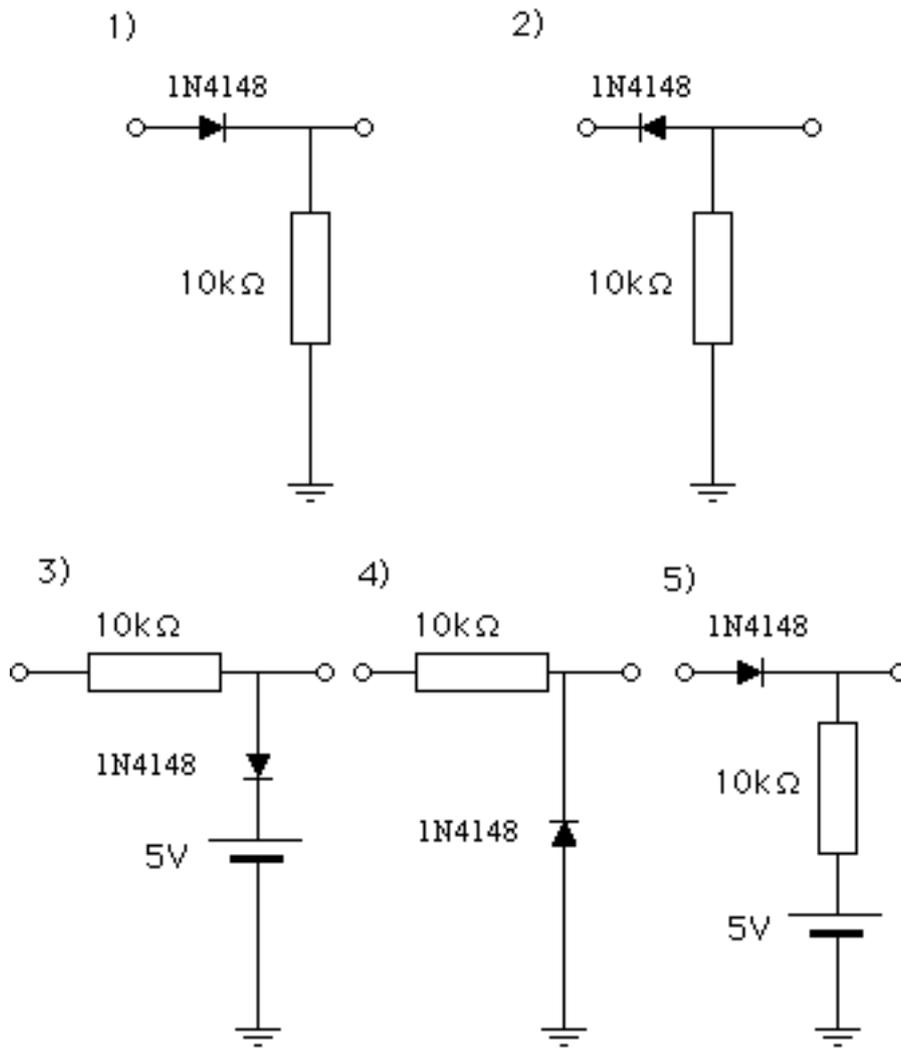


Fig. 2.8 – Circuitos recortadores pasivos

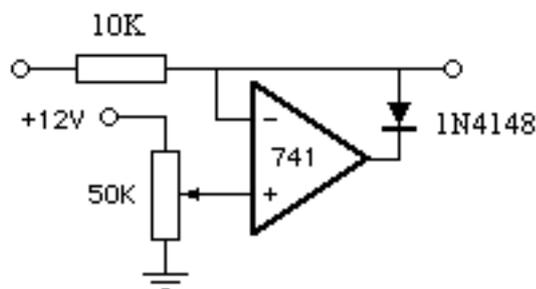


Fig. 2.9 – Circuito recortador activo

2.8 Circuitos enclavadores pasivos y activos

En la figura 2.10 tiene cuatro circuitos enclavadores pasivos, nuevamente variaciones de la misma idea. No los estudie todos en detalle. Piense que debería verse en

cada uno de ellos y pruebe en uno. Estudie su comportamiento frente a señales senoidales tal como lo hizo en la sección 2.7, comparando el resultado cuando está sin carga (como en la figura 2.10) y cuando está cargados con una resistencia de 4.7 kΩ.

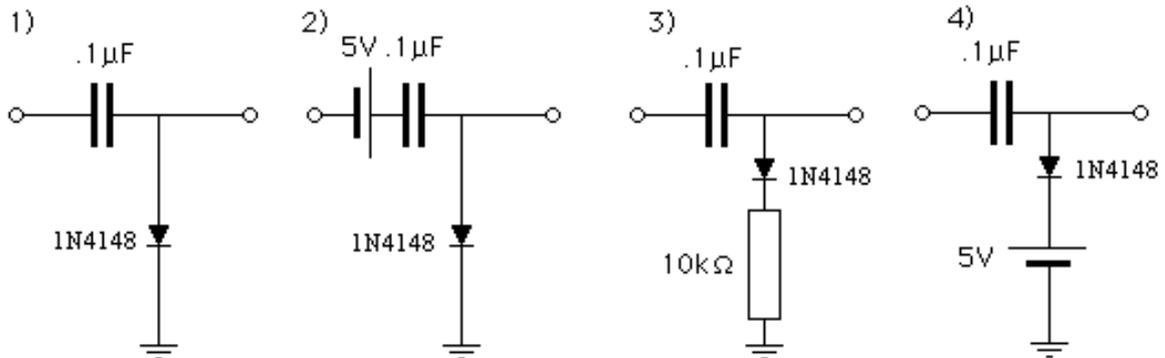


Fig. 2.10 – Circuitos enclavadores pasivos

Pruebe el circuito enclavador activo de la figura 2.11. (Note que la salida del circuito nuevamente no está tomada de la salida del op-amp.) Aplique una señal senoidal de 1 kHz y observe la salida. Invierta el diodo. ¿Qué debería pasar? ¿Qué mejoras produce el uso del OpAmp? Note que cambiando la tensión de offset de la fuente y el preset estará en los casos equivalentes a las figuras 2.10.1, 2.10.2 ó 2.10.4.

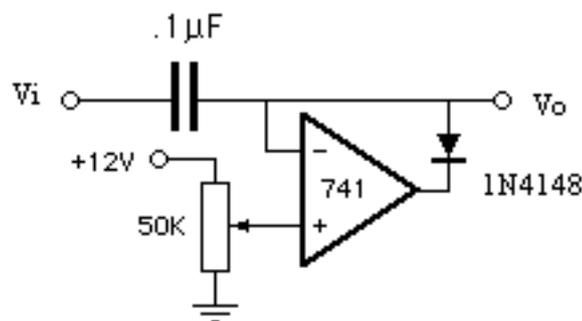


Fig. 2.11 – Circuitos enclavadores activo

2.9 Comparador

Ensaye el circuito de la figura 2.12 usando un 741 como comparador. Excite al circuito con una onda senoidal con frecuencias entre 1 y 10 kHz. Observe la "onda cuadrada" de salida. ¿Cuál limitación del OpAmp es la causa de este problema?

Ahora sustituya por un 311. ¿Obtiene alguna mejora? ¿Observa alguna evidencia de las oscilaciones por las que el 311 tiene tan mala fama?

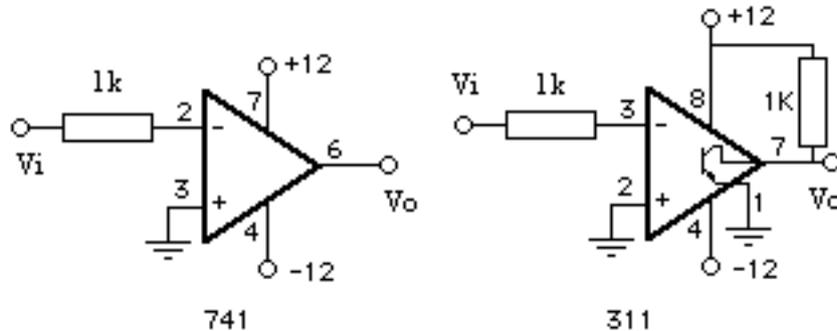


Fig. 2.12 – Comparadores simples

2.10 Schmitt trigger

Conecte un 311 en la configuración de la figura 2.13 y haga una predicción del valor del umbral de disparo.

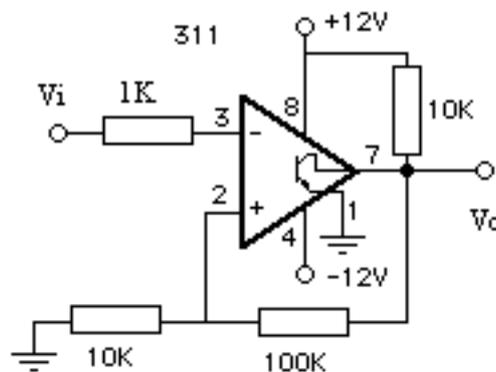


Fig. 2.13 – Schmitt trigger

- Excite al circuito con una onda senoidal (cuide que su amplitud no exceda los límites máximos que soporta la entrada). Observe cómo el disparo se interrumpe cuando la amplitud de la onda senoidal es menor que un valor crítico. Explíquelo. Mida la histéresis (puede hacerlo observando entrada y salida en el osciloscopio en XY). Observe que las rápidas transiciones en la salida son independientes de la forma de onda de entrada y de su frecuencia. Mida ambos terminales de entrada del comparador. ¿Algo para comentar?
- Reconecte el terminal de masa del 311 (pata 1) a -12 V y observe a la salida. ¿Qué

función cumple este terminal de masa? El diagrama esquemático provisto por el fabricante (ver por ejemplo "National Semiconductor Linear Data Book") lo muestra como el emisor del transistor NPN de la salida, cuyo colector está a circuito abierto, y actúa como una llave saturada.

c) Ahora conecte una red RC entre la salida y la entrada, tal como se muestra en la figura 2.14. ¿Qué deberá ocurrir? Observe la señal a la salida y luego a la entrada inversora (punto X). Una vez más, ¿qué ocurre con la *primera regla de oro* (que dice que en un circuito con realimentación negativa las tensiones en ambas entradas son iguales)? ¿Puede predecir la frecuencia de oscilación?)

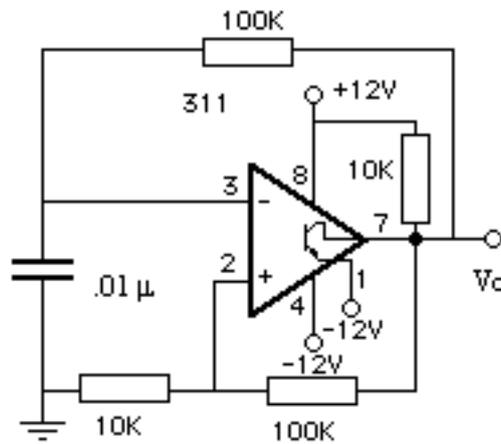


Fig. 2.14 – Oscilador de relajación RC