

Práctica N° 5

AMPLIFICADORES OPERACIONALES.

1. INTRODUCCION.

El concepto original del *amplificador operacional* procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en la década del 40. El nombre de amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador DC (amplificador acoplado en corriente continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas (suma, división, etc.); en gran medida las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación. El desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

El uso generalizado de los amplificadores operacionales no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante diseño discreto de estado sólido. En unos pocos años los amplificadores operacionales integrados se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de los computadores analógicos.

En esta práctica realizaremos algunas aplicaciones básicas de los amplificadores operacionales, sin entrar en detalles sobre su funcionamiento.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

El amplificador operacional es un circuito integrado o *chip*. En la Fig. 1 se muestra un esquema del circuito equivalente. Básicamente consiste en una impedancia de entrada R_{int} conectada entre dos entradas $V_-(t) = V_a(t)$ y $V_+(t) = V_b(t)$ y una salida $V_o(t)$, todas ellas referidas a tierra. El circuito de salida consiste en una fuente controlada de tensión en serie con una resistencia de salida R_o .

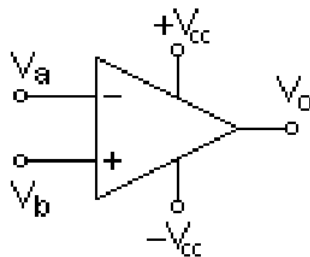


Figura 1

Al la izquierda, se esquematiza amplificador operacional, mientras que a la derecha se exhibe una fotografía de un chip típico.

El chip tiene además conexiones para alimentación V_{cc} (tensión de continua) y tierra GND. Las conexiones de alimentación y tierra se suelen omitir de los diagramas por simplicidad. Es conveniente leer atentamente la hoja de datos del chip que se usará para realizar las conexiones en forma correcta.

3. Modelo Lineal para Amplificadores Operacionales.

Para describir someramente el funcionamiento de un amplificador operacional, consideraremos un modelo lineal. Para ello, se puede suponer que está compuesto por dos circuitos independientes: uno para las señales de entrada y otro para los de salida. Estos circuitos quedan acoplados a través de la constante **A**, denominada **ganancia**.

El circuito de entrada consiste esencialmente en una resistencia R_{int} entre las dos entradas de tensión V_+ y V_- . El circuito de salida consiste de una fuente cuyo voltaje es proporcional a la diferencia de tensión aplicados en la entrada, es decir $A \cdot (V_+ - V_-) = A \cdot \Delta V$. Entre la fuente y la salida hay una resistencia en serie R_0 . De esta forma, el operacional se define por estos tres parámetros característicos: *ganancia, impedancia de entrada e impedancia de salida*.

4. Amplificadores Operacionales Ideales.

Algunas características importantes de los amplificadores operacionales son las siguientes:

- La ganancia de tensión puede ser considerada infinita ($A = \infty$).
- La impedancia de entrada es del orden de $100K\Omega$, por lo que en la práctica también puede ser considerada infinita.
- La impedancia de salida es del orden de 100Ω , por lo que puede ser considerada nula para la mayoría de las aplicaciones.
- La tensión de entrada, $V_i = V_+ - V_-$ es nula ($\Delta V = 0$).

En estos casos decimos que el operacional es *ideal*, y el voltaje de salida es finito.

5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Los estudiantes deberán montar un circuito para cada una de las siguientes configuraciones. El operacional que utilizaremos será TL071. Recomendamos ver la hoja de datos que se encuentra en el laboratorio para las conexiones.

6. Amplificador inversor.

En la Fig. 2 se muestra un esquema del amplificador inversor. En este circuito, la entrada (+) está a tierra, y la señal se aplica a la entrada (-) a través de R_1 , con realimentación desde la salida a través de R_2 .

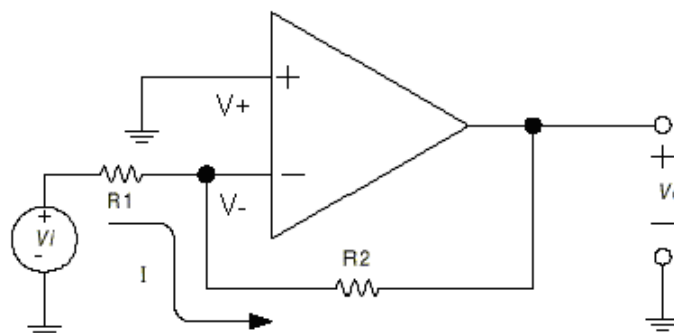


Figura 2.

Esquema de un circuito inversor.

Vamos a aplicar las propiedades del amplificador operacional ideal a este circuito. La ganancia $A = \frac{V_o}{V_i}$ se puede hallar teniendo en cuenta que toda la corriente I que circula por R_1 pasará por R_2 , ya que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita). Por lo tanto:

$$i_1 = \frac{V_i + V_d}{R_1} = i_2 = \frac{V_d - V_o}{R_2}$$

Dado que el amplificador tiene ganancia infinita, $V_d = 0$, por lo que se obtiene:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

La denominación de *amplificador inversor* es debida al signo negativo de la ganancia. Típicamente se eligen las resistencias R_1 y R_2 de forma tal que la ganancia sea menor que 50Ω y $R_2 < 100\text{ K}\Omega$.

7. Amplificador no inversor.

La segunda configuración que analizaremos es la del *amplificador no inversor*. En la Fig. 3 se muestra un esquema del circuito.

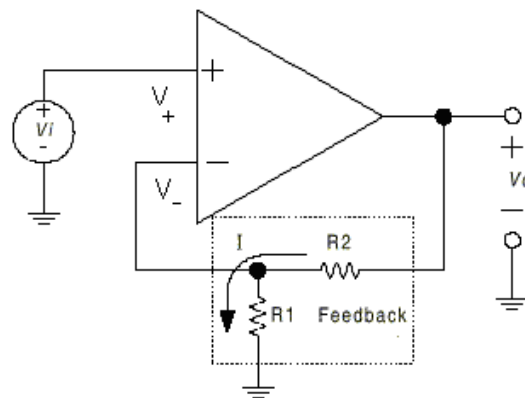


Figura 3

Esquema de un circuito no inversor.

Con este circuito, se obtiene un amplificador con ganancia total de tensión mayor o igual a la unidad, e impedancia de entrada casi infinita.

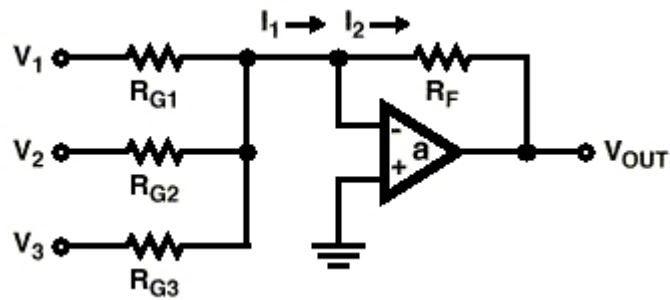
En este caso la **ganancia A**, está dada por:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

La cual puede verificarse directamente siguiendo las corrientes a lo largo de la alimentación negativa.

8. Circuito Sumador.

En la Fig. 4 se muestra un esquema del circuito sumador inversor, donde la salida es proporcional a la suma de tensiones a la entrada.



$$I_1 = \frac{V_1}{R_{G1}} + \frac{V_2}{R_{G2}} + \frac{V_3}{R_{G3}} \quad I_2 = -\frac{V_{OUT}}{R_F}$$

$$V_{OUT} = -\left(V_1 \cdot \frac{R_F}{R_{G1}} + V_2 \cdot \frac{R_F}{R_{G2}} + V_3 \cdot \frac{R_F}{R_{G3}} \right)$$

Figura 4

Esquema de un circuito sumador inversor.

9. Circuito Integrador.

En la figura 5 se muestra un esquema de un circuito integrador.

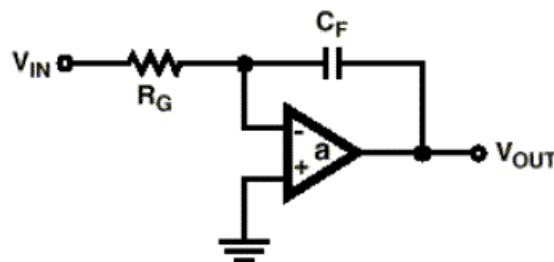


Figura 5

Esquema de un circuito integrador.

Nuevamente, V_- es una tierra virtual, por lo que:

$$V_0 = q/C_F \quad \Rightarrow \quad q = \int i \, dt, \text{ donde se tiene además que: } i = -\frac{V_i}{R}$$

$$\Rightarrow V_0 = -\frac{1}{RC} \int V_i \, dt \quad (4)$$

La Ec.(4) muestra que el circuito integra la señal de entrada.

- Utilice una onda cuadrada para la entrada del circuito. ¿Qué espera encontrar a la salida?

10. Circuito derivador.

En la Fig. 6 se muestra un esquema de un circuito derivador.

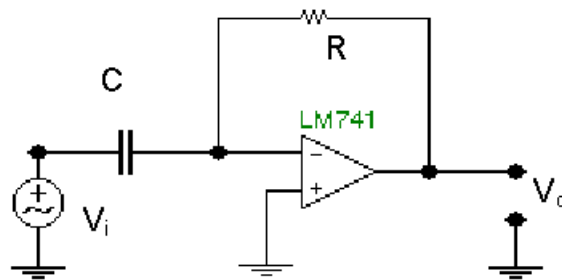


Figura 6

Esquema de un circuito derivador.

En este tipo de circuitos la salida está dada por:

$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}.$$

- Utilice una onda cuadrada para la entrada del circuito. ¿Qué espera encontrar a la salida?

11. BIBLIOGRAFÍA.

- SCHILLING & BELOVE. **Circuitos electrónicos, discretos e integrados.** Boixareu Editores, 2ª Edición, 1985.
- BROPHY, **Electrónica fundamental para científico.** Ed. Reverté, 1979.
- HOROWITZ & HILL, **Art of electronics.** 2º ed. Cambridge University Press, 1989.