

AMPLIFICADORES OPERACIONALES.

1. INTRODUCCIÓN

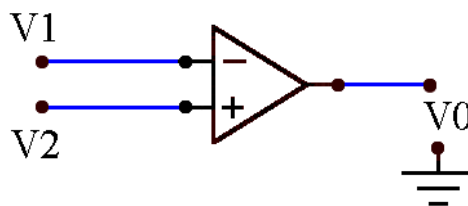
Los A.O.'s fueron desarrollados en los años 40 y estaban destinados a realizar operaciones matemáticas: sumas, restas, multiplicaciones, resolución de ecuaciones diferenciales, etc....

En principio estaban contruidos con válvulas de vacío, y no fue hasta los años 60 en que estos circuitos se construyeron en forma monolítica. A partir de ese momento comenzó su utilización de forma masiva para el desarrollo de todo tipo de circuitos electrónicos: amplificadores, filtros, osciladores, circuitos regenerativos, etc....

Actualmente su estudio es indispensable, ya que por su versatilidad y características prácticamente ideales es utilizado en una gran mayoría de circuitos.

2. EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

Se representa por el símbolo de la figura:



La patilla (-) es la entrada inversora, y la (+) es la entrada no inversora.

La salida es asimétrica, es decir, referida a masa.

Normalmente se encuentra alimentado por dos fuentes de alimentación $\pm V_{cc}$, que no se representan.

El amplificador operacional ideal tiene las características fundamentales siguientes:

- Ganancia de tensión: infinita.

$$A = - \frac{V_o}{V_i} = \infty$$

donde : $V_i = V^- - V^+$

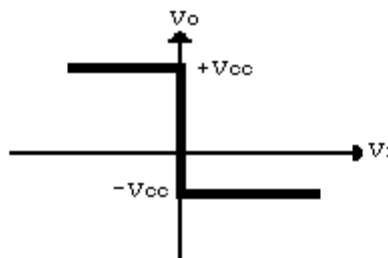
- Impedancia de entrada R_i : infinita.
- Impedancia de salida R_o : nula.

A estas características pueden añadirse otras:

- Ancho de banda: infinito.
- Margen dinámico $\pm V_{cc}$.
- Tiempo de conmutación: nulo.
- Ruido: nulo.
- Equilibrio perfecto $V_o = 0$ cuando $V_1 = V_2$
- Ausencia de desviación de las características con la temperatura

A la vista de estas características, podemos indicar que la etapa de entrada será un amplificador diferencial, con alta impedancia de entrada. La etapa de salida será un amplificador en colector común y entre ambas, habrá dos o más amplificadores, para obtener una impedancia de tensión muy elevada.

La función de transferencia del operacional ideal es:



donde se pone de manifiesto que :

- Si $V_i \neq 0$, al ser la ganancia infinita, la señal de salida tendría que ser infinita, pero queda limitada a la tensión de las fuentes de alimentación $\pm V_{cc}$.
- Si $V_i > 0$, la patilla inversora hace que la salida sea negativa y viceversa.
- Solamente en el caso en el que $V_i = 0$, la salida queda indeterminada,

$$V_o = -A_v V_i = \infty \cdot 0$$

pudiendo tener cualquier valor comprendido entre $\pm V_{cc}$, y que quedará determinado por el circuito exterior.

- La pendiente de la gráfica, indica la ganancia del operacional en lazo abierto, por lo que cuando $V_i \neq 0$, la ganancia es nula, diciéndose que el amplificador está SATURADO.

- En $V_i = 0$, la ganancia es infinita, y el operacional se comporta como amplificador. Esta zona de la gráfica se denomina ZONA LINEAL, y es la que se utilizará fundamentalmente en este capítulo.

3. ZONA DE FUNCIONAMIENTO DE UN A.O.

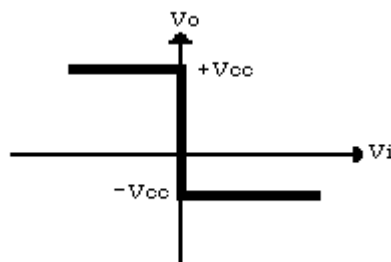
Un amplificador operacional puede estar funcionando de tres formas diferentes dentro de un circuito electrónico:

- Sin realimentación
- Con realimentación positiva
- Con realimentación negativa

Un circuito se dice que está realimentado cuando la salida del mismo está conectada, directa o indirectamente, a la entrada de ese circuito. De este modo, se lleva una muestra de la señal de salida a la entrada, lo que puede producir cambios importantes en el funcionamiento del circuito.

3.1 A.O. sin realimentación. (Lazo abierto)

En este caso la salida está completamente aislada de cualquiera de la dos entradas del operacional. El comportamiento del circuito está definido por su función de transferencia $V_o = f(V_i)$:

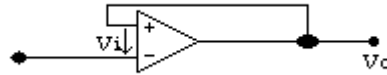


Si $V_i > 0$ ($V^- > V^+$), entonces el amplificador está saturado con una salida de valor $-V_{cc}$. En caso contrario: $V_i < 0$ ($V^+ > V^-$), el A.O. tiene a su salida una tensión de $+V_{cc}$ voltios. Como la pendiente en la zona lineal tiende a infinito, es muy difícil que el amplificador funcione en esta zona, ya que cualquier ruido o variación de tensión, llevaría el punto de funcionamiento a una de las dos zonas de saturación.

Por ello, un A.O. sin realimentación jamás se utilizará en un circuito lineal. Como se verá en un tema posterior, se puede emplear el amplificador operacional en lazo abierto en circuitos comparadores de tensión.

3.2 A.O. con realimentación positiva.

La salida del amplificador está conectada a la entrada no inversora del operacional. Un ejemplo es el siguiente circuito:



Supongamos que en un instante determinado el circuito está trabajando en zona lineal. En esas condiciones $V_i = 0$ y la tensión de salida es igual a la de entrada. Pero si por cualquier ruido se incrementa la tensión en la entrada inversora, entonces v_i aumenta y según la función de transferencia, la salida se dirige hacia una tensión $-V_{cc}$, con lo que V^+ se hace más negativa y v_i aumenta más, hasta que al final el amplificador ha llegado a la zona de saturación negativa. Este efecto se puede representar de la siguiente manera :

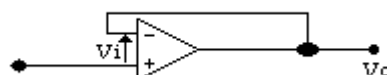


El circuito se encuentra en un equilibrio inestable, ya que ante cualquier variación en las condiciones del mismo, éste se iría a una de las zonas de saturación.

Por ello tampoco es posible diseñar un circuito lineal con un A.O. con realimentación positiva.

3.3 A.O. con realimentación negativa

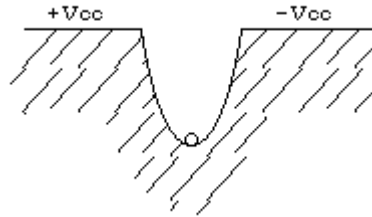
La señal de salida está conectada, directa o indirectamente, a la entrada inversora. Por ejemplo:



Si en un principio el amplificador está funcionando en la zona lineal, entonces $V_i=0$ y $V^+ = V^-$. Si cualquier variación hace que aumente la tensión en la entrada no inversora V^+ , entonces la tensión de salida y con ella V_i , crecen por lo que tiende a

desplazarse hacia el nivel de saturación $+V_{cc}$, pero como $V_o = V^-$, entonces V^- también aumenta y en definitiva v_i decrece, oponiéndose al incremento anterior y obligando al amplificador a volver a su zona inicial de funcionamiento.

Intuitivamente:



Por eso el amplificador se mantiene siempre en su zona lineal y en estas condiciones se cumple que:

$$V^+ = V^-$$

Por ello, a la hora de analizar un circuito con A.O. deben seguirse los siguientes pasos :

- Estudiar el tipo de realimentación que tiene el operacional. Debe tenerse en cuenta que si la ganancia tiende a infinito, entonces cualquier conexión entre la salida y una de las entradas, provoca los efectos descritos. Esto es, si por ejemplo entre la salida y la entrada inversora del circuito existe una impedancia distinta de infinito, el circuito tiene realimentación negativa.

- Si el A.O. está realimentado negativamente, entonces $V^+ = V^-$ y se puede analizar el circuito considerando las otras propiedades del integrado: corrientes nulas por las entradas, impedancia de salida nula, etc....