

## PRACTICA 6.-

### CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

#### 1. OBJETIVOS.

- Análisis de los diferentes circuitos.
- Determinación de los valores de offset de entrada.
- Ajuste del circuito.
- Comprobación de los efectos de realimentación negativa en el control de la ganancia de tensión de un amplificador, así como de la validez de las ecuaciones que definen esta ganancia.

#### 2. INTRODUCCIÓN.

El Amplificador Operacional es un amplificador con realimentación que se encuentra en el mercado como una pastilla de circuito integrado. Es difícil enumerar la totalidad de las aplicaciones de este circuito. De modo general, podemos decir que sus aplicaciones están presentes en los sistemas electrónicos de control industrial, en instrumentación nuclear, en instrumentación médica, en los equipos de telecomunicaciones y de audio, etc. El que utilizaremos normalmente será el LM741, mostrado a continuación:

La Fig.6.1 muestra las funciones de cada una de las patillas del citado integrado, indicar que la alimentación se hará a  $\pm 15V$  como valor normal pudiéndose alimentar entre  $\pm 3V$  y  $\pm 22V$ .

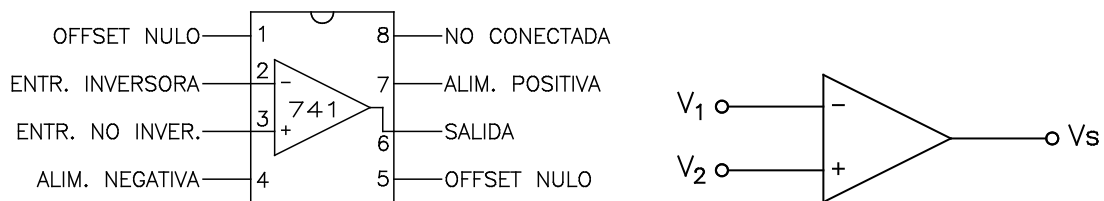


Fig.6.1: LM741. Simbología de un Operacional.

En la Fig.6.2 el circuito equivalente de un amplificador operacional, con ella veremos las características más importantes de los amplificadores operacionales:

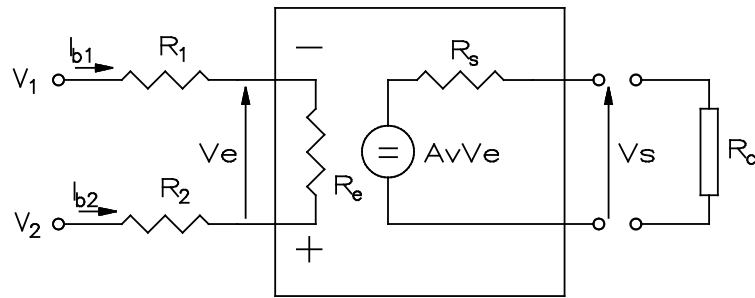


Fig.6.2: Circuito equivalente de un A.O.

- La ganancia en tensión que en cualquier circuito se define como la relación entre las tensiones de salida y entrada se puede considerar  $A_v = V_s / V_e \approx \infty$ .
- El ancho de banda también se puede considerar como infinito. Aunque en la realidad en lazo abierto la ganancia cae con una pendiente de 20db/década y para cada frecuencia existe un valor máximo de  $V_s$  (Slew-rate).
- La impedancia de entrada  $R_e \approx \infty$  por lo que no actúa como carga (no consume corriente) y  $V_1 - V_2 = V_e$ .
- La impedancia de salida es  $R_s \approx 0$  por lo que la tensión  $V_s$  es independiente de la existencia de carga y  $V_s = A_v V_e$ .
- Puede trabajar en un amplio margen de temperaturas.

### 3. PARÁMETROS DE TENSIÓN Y CORRIENTE QUE PUEDEN APARECER EN UN A.O.

**Tensión offset de salida:** el hecho de que los transistores de la etapa diferencial de entrada no sean idénticos provoca un desequilibrio interno del que resulta una tensión (del orden de mV) en la salida, denominada tensión de Offset de salida, aun cuando las entradas estén puestas a tierra.

Para la corrección de esta tensión de offset se coloca un potenciómetro entre las patillas 1 y 5 del LM741 y el cursor se lleva a la patilla 4. La importancia de este ajuste se aprecia en las aplicaciones en que se trabaja con señales pequeñas como en instrumentación (en el área petroquímica, nuclear, electromedicina, etc).

**Tensión offset de entrada ( $V_{eo}$ ):** es la tensión que debe aplicarse entre los terminales de entrada para que la tensión de salida sea cero

**Corriente offset de entrada ( $I_{eo}$ ):** es la diferencia entre las corrientes de entrada de un amplificador equilibrado:

$$I_{eo} = I_{b1} - I_{b2} \quad \text{cuando} \quad V_s = 0$$

Es importante conseguir, para un funcionamiento correcto de los montajes, que las corrientes de polarización sean iguales para poderse compensar. Para ello es necesario que el paralelo de las resistencias conectadas a cada una de las entradas sean iguales.

**Corriente de polarización de entrada ( $I_b$ ):** se define como la semisuma de las corrientes de entrada en un amplificador equilibrado:

$$I_b = \frac{I_{b1} + I_{b2}}{2} \quad \text{cuando } V_S = 0$$

**Tensión de saturación:** es la tensión máxima que puede dar un operacional a la salida. Este valor máximo es del orden del 90% del valor de la tensión de alimentación. Así, si alimentamos a  $\pm 15V$  la tensión de saturación será  $\pm 13,5V$ .

#### 4. CONFIGURACIONES PRINCIPALES.

**Configuración en lazo abierto:** o sin realimentación. En ella la ganancia viene determinada por el propio fabricante y sobre ella no se tiene ningún control. Esta configuración se utiliza para circuitos comparadores.

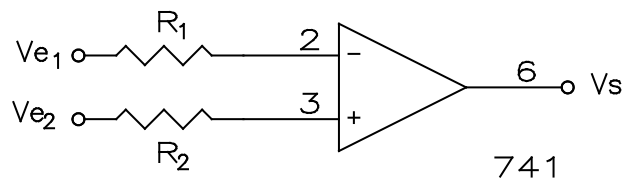


Fig.6.3: Montaje en lazo abierto.

**Configuración con realimentación positiva:** este tipo de configuración se denomina en bucle cerrado y tiene el inconveniente de desestabilizar el circuito. Una aplicación práctica de la realimentación positiva se da en los circuitos osciladores.

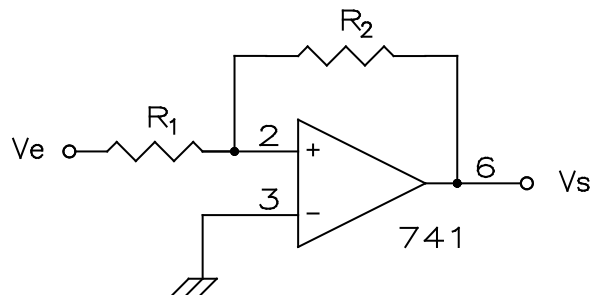


Fig.6.4: Montaje con realimentación positiva.

**Configuración con realimentación negativa:** es la configuración en bucle cerrado más importante en circuitos con operacionales, y sus aplicaciones más comunes pueden ser: amplificador no inversor, amplificador inversor, sumador amplificador diferencial, diferenciador, integrador, filtros activos, etc.

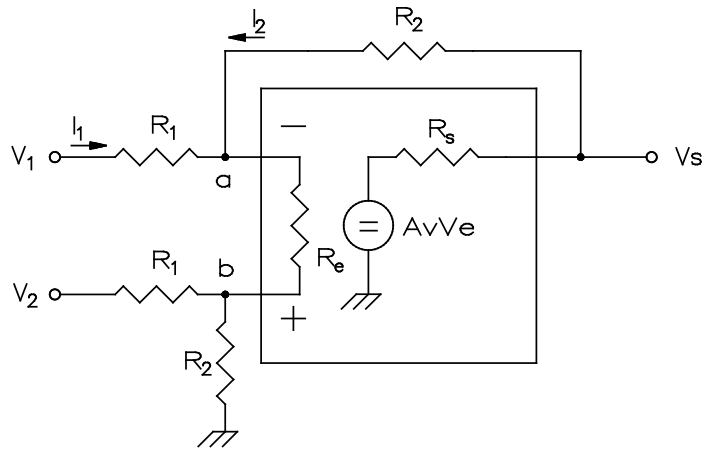


Fig.6.5: Montaje con realimentación negativa.

Las corrientes de polarización son del orden de nA, por lo que se pueden considerar nulas y podremos escribir  $I_1 + I_2 = 0$ . Aplicando Kirchhoff tenemos:

$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} + \frac{A_v V_e - V_a}{R_s + R_2} = 0 \quad (6.1)$$

Sustituyendo  $V_e = V_b - V_a$  en la ecuación anterior obtendremos:

$$V_b = \frac{V_a (A_v R_1 + R_s + R_1 + R_2) - V_1 (R_s + R_2)}{A_v R_1} \quad (6.2)$$

Tomando el límite de  $V_b$  para  $A_v$  tendiendo a infinito

$$\lim_{A_v \rightarrow \infty} (V_b) = V_a \Rightarrow V_e = 0 \quad (6.3)$$

Hemos llegado a la conclusión de que existe un cortocircuito virtual entre las entradas inversora y no inversora en el montaje con realimentación negativa, es decir, que en dicho montaje las dos entradas se encuentran a la misma tensión.

Dentro de esta configuración podemos distinguir:

**Configuración inversora:** en este montaje  $R_3$  es igual al paralelo de  $R_1$  y  $R_2$ . La ganancia de este amplificador es:

$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (6.4)$$

Así, si introducimos una señal senoidal de amplitud B por la patilla inversora y medimos la señal de salida, veremos que esta es también senoidal de amplitud  $BR_2/R_1$  y desfasada  $180^\circ$  con la de entrada.

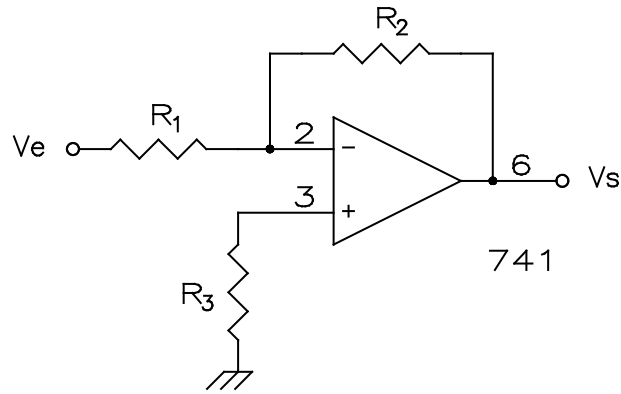


Fig.6.6: Montaje inversor.

**Configuración no inversora:** al igual que en el anterior  $R_3$  es igual al paralelo de  $R_1$  y  $R_2$ . Para el análisis debemos de tener en cuenta que en el circuito de entrada inversora lo que existe es un circuito serie de dos resistencias alimentadas a la tensión  $V_s$ , ya que no se desvía ninguna corriente por el operacional:

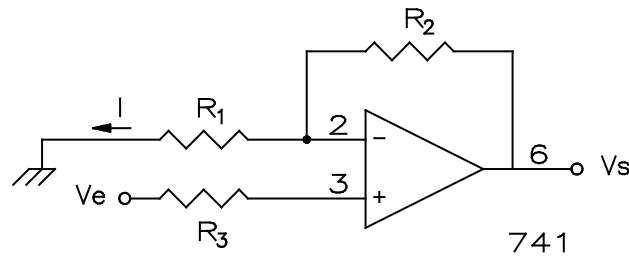


Fig.6.7: Montaje no inversor.

$$I = \frac{V_s}{R_1 + R_2} \quad (6.5)$$

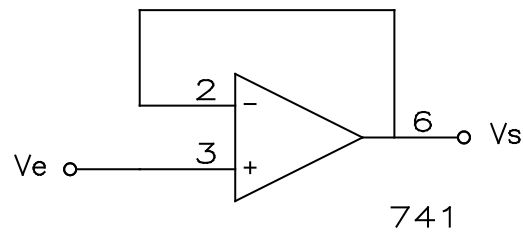
Por otro lado sabemos que la tensión en la entrada inversora es  $V_e$  ya que por la no inversora no existe corriente y por tanto en  $R_3$  no hay c.d.t., luego:

$$V_e = IR_1 \quad (6.6)$$

La ganancia del montaje será:

$$V_e = \frac{V_s}{R_1 + R_2} R_1 \Rightarrow A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (6.7)$$

**Seguidor de tensión:** si para la configuración anterior hacemos  $R_1 = \infty$  y  $R_2 = 0$  obtenemos el seguidor de tensión o *Buffer*. Este circuito presenta las características de impedancia de entrada y salida más próximas a las ideales



**Fig.6.8: BUFFER o seguidor de tensión.**

En algunos casos, el seguidor de tensión recibe la señal a través de una resistencia en serie, con el terminal no inversor. Entonces, con el fin de equilibrar la ganancia y las corrientes, se coloca otra resistencia del mismo valor en el circuito de realimentación. Esto no es necesario cuando la tensión de entrada es relativamente alta.

Este montaje se utiliza como adaptador de impedancias, como por ejemplo entre un generador de señal y un amplificador de baja impedancia de entrada.