

CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

APLICACIONES LINEALES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Las aplicaciones lineales del A.O. se tienen cuando trabajando en lazo cerrado se realimenta negativamente

Para el análisis de estos circuitos se considera el A.O. ideal, es decir, fundamentalmente:

$$Z_i = \infty$$

$$Z_o = 0$$

Esto lleva consigo que consideremos las entradas inversora y no inversora en cortocircuito virtual, o sea que ambos terminales tienen igual tensión, dado que la impedancia de entrada es infinita y por tanto no puede circular corriente entre ellas, por lo que la caída de tensión entre ambas es nula.

Es fundamental que se tenga presente esto para analizar cualquier circuito de este tipo: $V_x = V_y$ $I_x = I_y = 0$

Los montajes para aplicaciones lineales del A.O. fundamentales, son:

AMPLIFICADOR INVERSOR

AMPLIFICADOR NO INVERSOR

AMPLIFICADOR SUMADOR INVERSOR

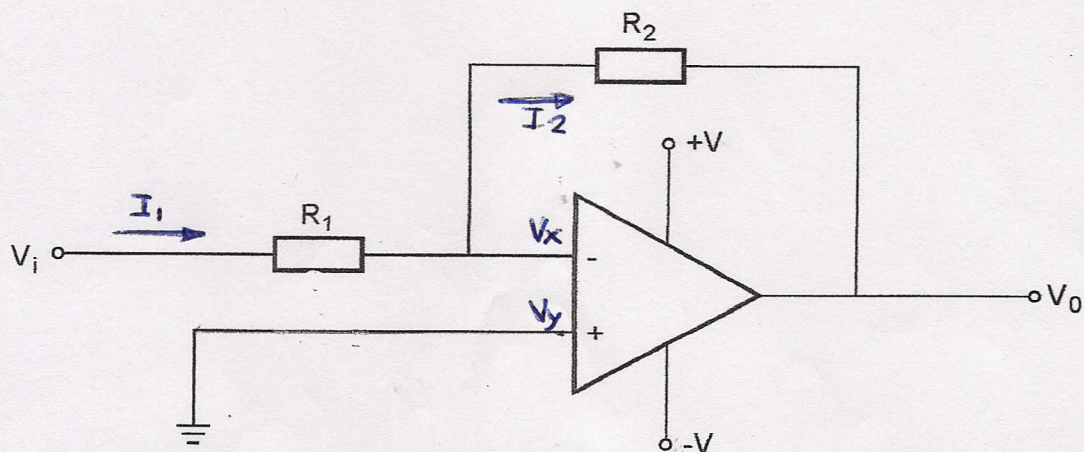
AMPLIFICADOR SUMADOR NO INVERSOR

AMPLIFICADOR RESTADOR

AMPLIFICADOR DERIVADOR O DIFERENCIADOR

AMPLIFICADOR INTEGRADOR

1. AMPLIFICADOR INVERSOR



Observamos que:

$V_x = V_y = 0$, ya que V_y se encuentra conectada a masa.

$I_1 = I_2$, ya que al $\Delta.O.$ no entra la corriente al tener Impedancia de entrada ∞ .

Por tanto, y aplicando la ley de Ohm, calculamos I_1 e I_2 y después igualamos

$$I_1 = \frac{V_i - V_x}{R_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{V_x - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_i - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_2} \quad \text{sustituyendo el valor de } V_x$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \quad \text{despejando } V_o$$

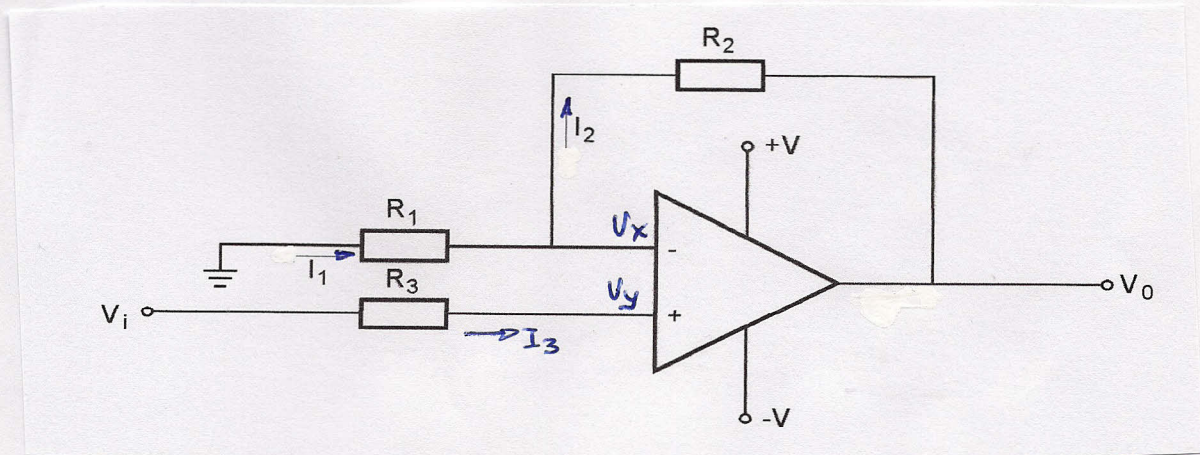
$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

donde $-\frac{R_2}{R_1} = A$ (ganancia)

Es decir, la tensión en la salida V_o será la tensión de entrada invertida (ya que esta se aplica en la entrada inversora) multiplicada por la ganancia, que es el cociente entre R_2 y R_1 .

NOTA: A VECES SE DISPONE ENTRE LA ENTRADA NO INVERSORA Y MASA UNA R_3 (CUYO VALOR ES $R_3 = R_1 // R_2$)

2. AMPLIFICADOR NO INVERSOR



$I_3 = 0$ (al d.o. no entra corriente por que $Z_i = \infty$)
 $V_x = V_y = V_i$ (ya que si $I_3 = 0$ no hay caída en R_3 y $V_y = V_i$)

$I_1 = I_2$ (ya que al d.o. no entra corriente)

$$I_1 = \frac{0 - V_x}{R_1} ; \quad I_2 = \frac{V_x - V_o}{R_2} \quad (\text{igualando}).$$

$$\frac{0 - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_o}{R_2} \quad \text{sustituyendo } V_x$$

$$\frac{-V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_o}{R_2} \quad \text{despejando } V_o$$

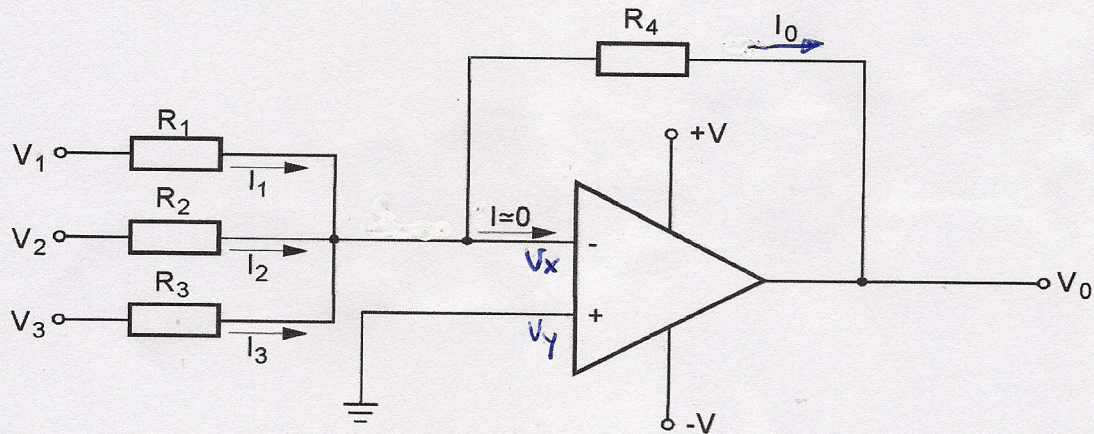
$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_i$$

donde $\frac{R_1 + R_2}{R_1}$ es la ganancia de tensión A

$$V_o = A \cdot V_i$$

NOTA: R_3 NO ES IMPRESCINDIBLE, AUNQUE ES CONVENIENTE PONERLA

3. SUMADOR INVERSOR



$$V_x = V_y = 0 \quad ; \quad I_1 + I_2 + I_3 = I_0$$

$$I_1 = \frac{V_1 - V_x}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2 - V_x}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_3 - V_x}{R_3}$$

$$I_0 = \frac{V_x - V_0}{R_4}$$

Substituyendo y sumando:

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = -\frac{V_0}{R_4}$$

$$V_0 = -\left[\frac{R_4}{R_1} V_1 + \frac{R_4}{R_2} V_2 + \frac{R_4}{R_3} V_3 \right]$$

donde: $-\frac{R_4}{R_1} = A_1$ (ganancia entrada 1)

$-\frac{R_4}{R_2} = A_2$ (" " 2)

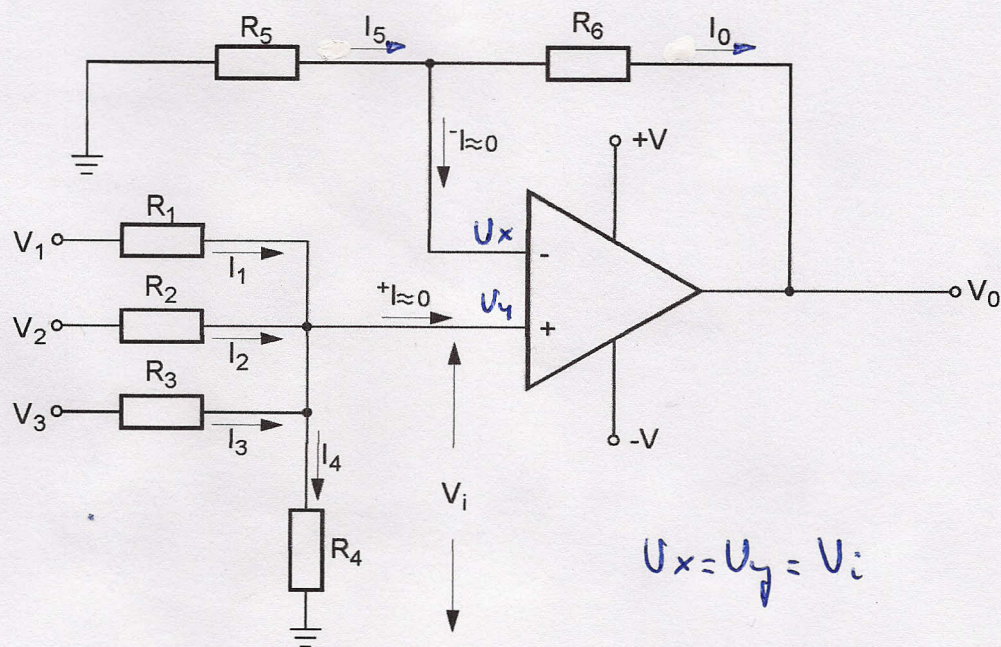
$-\frac{R_4}{R_3} = A_3$ (" " 3)

Si hacemos $R_1 = R_2 = R_3 = R'$

$$V_0 = -\frac{R_4}{R'} (V_1 + V_2 + V_3)$$

V_0 es proporcional a la suma de las entradas

4. SUMADOR NO INVERSOR



$$V_i = R_4(I_1 + I_2 + I_3) \quad (I)$$

Suponiendo R_4 mucho menor que las resistencias de entrada, se puede pasar con mucha aproximación:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} ; I_2 = \frac{V_2}{R_2} ; I_3 = \frac{V_3}{R_3} \text{ sustituyendo en (I)}$$

$$V_i = R_4 \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

Por otro lado: $I_5 = I_0$

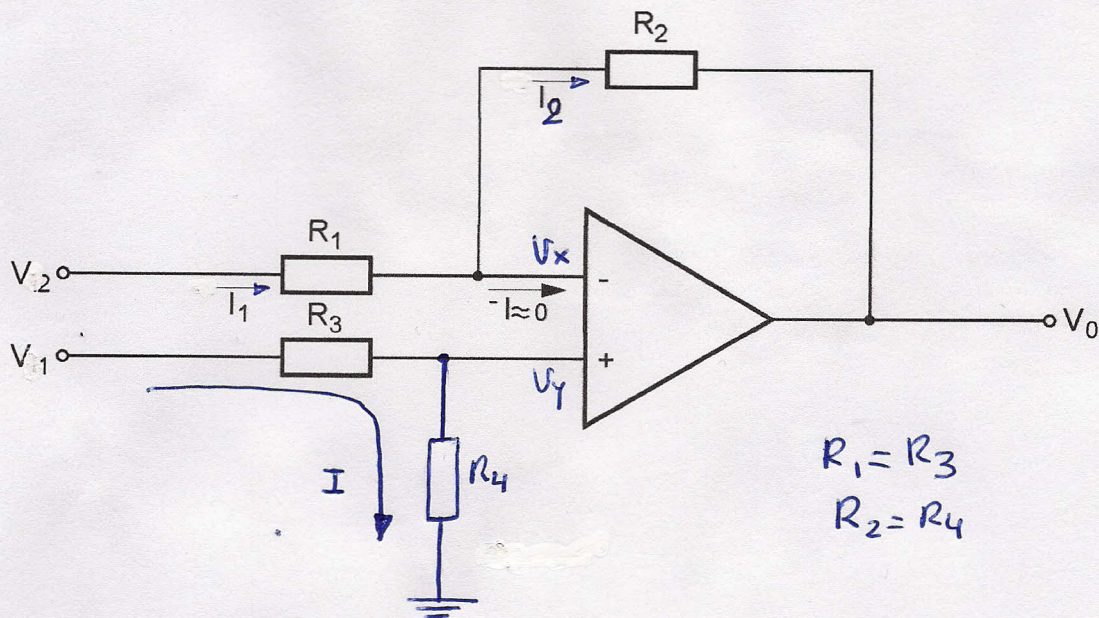
$$I_5 = \frac{0 - V_i}{R_5} ; I_0 = \frac{V_i - V_0}{R_6} ; \text{igualando y despejando } V_0:$$

$$V_0 = V_i \left(\frac{R_5 + R_6}{R_5} \right) \text{ sustituyendo en esta ecuación}$$

V_i por su valor:

$$V_0 = R_4 \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) \left(\frac{R_5 + R_6}{R_5} \right)$$

5. RESTADOR



$$V_x = V_y = U_1 \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

$$I_1 = I_2 \Rightarrow I_1 = \frac{V_2 - V_x}{R_1} ; I_2 = \frac{V_x - V_0}{R_2}$$

$$\frac{V_2 - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_0}{R_2} \Rightarrow R_2 V_2 - R_2 V_x = R_1 V_x - R_1 V_0$$

$$R_1 V_0 = U_1 \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) (R_1 + R_2) - R_2 V_2$$

Como $R_1 = R_3$ y $R_2 = R_4$

$$R_1 V_0 = U_1 R_4 - R_2 V_2$$

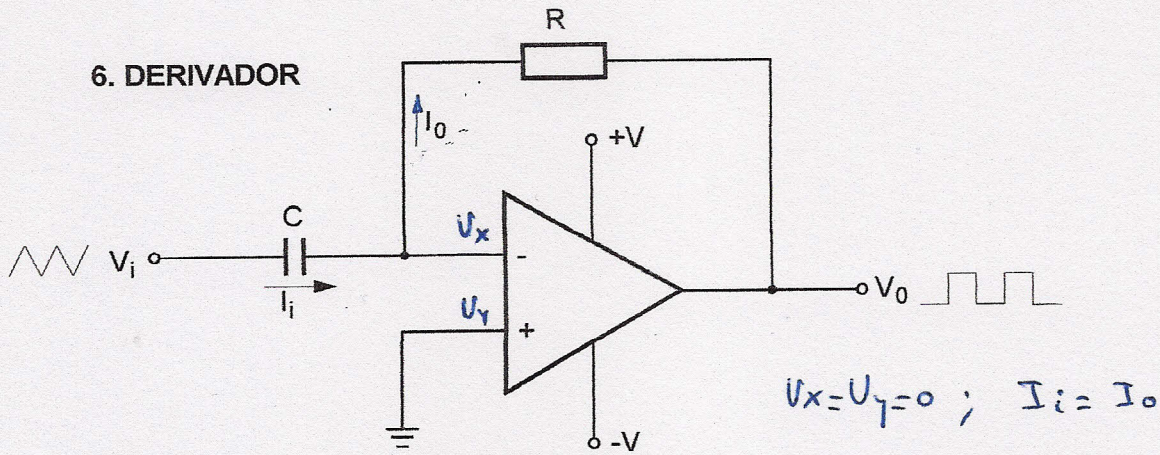
$$R_1 V_0 = R_2 (U_1 - V_2)$$

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1} (U_1 - V_2)$$

$$V_0 = A (U_1 - V_2)$$

de donde la ganancia $A = \frac{R_2}{R_1}$

6. DERIVADOR

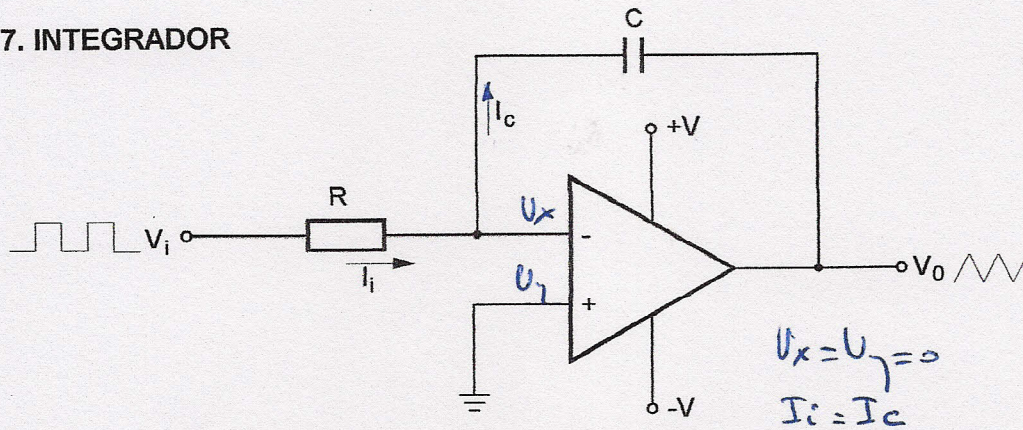


La I que circula por un condensador es: $I_i = C \frac{\Delta U_c}{\Delta t}$
 pero $U_c = V_i$, luego: $I_i = C \frac{\Delta V_i}{\Delta t}$

$$I_0 = \frac{0 - V_0}{R} \Rightarrow I_0 = -\frac{V_0}{R}; \text{ como } I_i = I_0$$

$$C \frac{\Delta V_i}{\Delta t} = -\frac{V_0}{R} \text{ despejando } V_0 = -RC \frac{\Delta V_i}{\Delta t}$$

7. INTEGRADOR

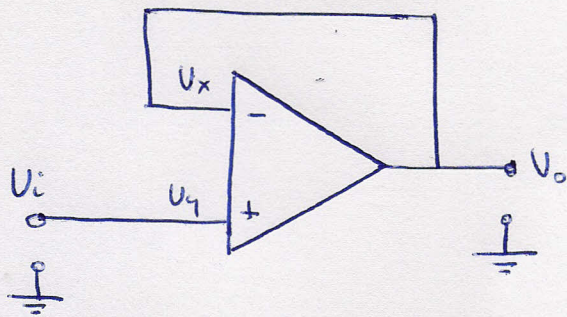


Haciendo un razonamiento similar al anterior y
 sustituyendo V_0 por V_i y V_i por V_0

$$V_i = -RC \frac{\Delta V_0}{\Delta t} \text{ por lo que la rampa}$$

$$\text{de salida será: } \frac{\Delta V_0}{\Delta t} = -\frac{V_i}{RC}$$

8. SEPARADOR O BUFFER



$$\text{Dado que } U_x = U_y = U_i$$

$$U_o = U_x$$

$$U_o = U_i$$

En principio puede parecer que no tiene utilidad práctica, pero no es así, dado que se utiliza como adaptador de impedancias, ya que extrae la señal del circuito anterior, presentando una Z_i muy elevada y la cede al circuito de carga con una Z_o prácticamente nula.

Los valores tanto de la Z_i como de la Z_o serán:

$$Z_i = Z_{iA} (1 + A_d)$$

donde $Z_{iA} = Z_i$ en caso abierto

$A_d =$ ganancia en caso abierto

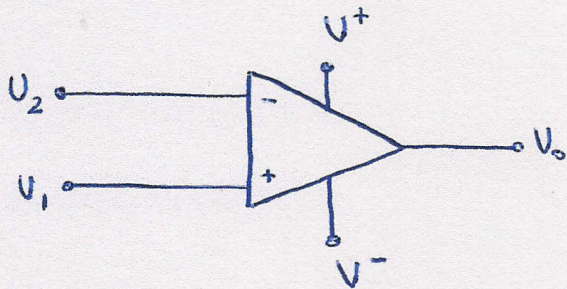
$$Z_o = \frac{Z_{oA}}{(1 + A_d)}$$

donde: $Z_{oA} = Z_o$ en caso abierto

APLICACIONES NO LINEALES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Las aplicaciones no lineales son aquellas en las que se utiliza el A.O. en lazo abierto, o en lazo cerrado con realimentación positiva.

1. MONTAJE EN LAZO ABIERTO. COMPARADOR



Si $V_1 > V_2 \Rightarrow V_0 = A(V_1 - V_2) = V^+$ SATURACIÓN POSITIVA.

Si $V_1 < V_2 \Rightarrow V_0 = A(V_1 - V_2) = V^-$ SATURACIÓN NEGATIVA.

COMO LA GANANCIA EN LAZO ABIERTO ES DEL ORDEN DE 200.000, POR MUY PEQUEÑA QUE SEA LA DIFERENCIA ENTRE V_1 Y V_2 AL MULTIPLICARLA POR UN VALOR TAN ELEVADO, LLEVARÁ AL OPERACIONAL A SATURACIÓN + ó -

CON ESTE MONTAJE COMPARAREMOS DOS TENSIONES, DICIÉNDONOS EN LA SALIDA, CUAL DE ELLOS ES MAYOR DE LAS DOS, PERO NO EN QUE CANTIDAD LO ES.

2. MONTAJE CON REALIMENTACION POSITIVA. BASCULA SCHMITT (COMPARADOR REGENERATIVO)

Mediante realimentación positiva del A.O., figura 1.48, es posible construir un comparador regenerativo o báscula de Schmitt. Partiendo inicialmente, según se ve en el diagrama de histéresis, del estado $V_0 = V^+$, el nivel de tensión existente en el terminal (+) dependerá del divisor de tensión, según la relación:

$$V_{(+)} = \frac{V^+ R_1}{R_1 + R_2}$$

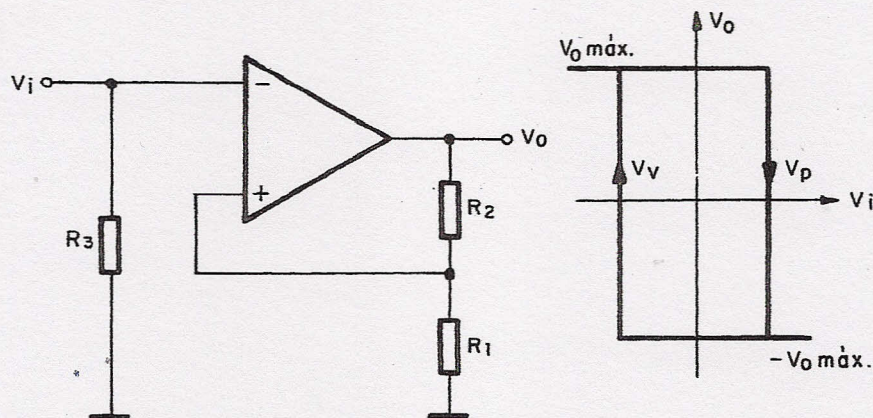


Fig. 1.48.

Si queremos que la salida de la báscula cambie de estado, es evidente que deberemos aplicar en la entrada (-) un valor de tensión designado por tensión de pico V_p , cuyo valor crítico será precisamente igual o mayor que el de la entrada no inversora; esto es:

$$V_p = \frac{V^+ R_1}{R_2 + R_1}$$

Una vez aplicado V_p la salida pasa a V^- , por lo que ahora en $V_{(+)}$ habrá:

$$V_{(+)} = \frac{V^- R_1}{R_2 + R_1}$$

Si la báscula debe retornar nuevamente al estado inicial, $V_0 = V^+$, es preciso aplicar en la entrada un valor de tensión denominado tensión de valle V_v , que coincidirá numéricamente con:

$$V_v = \frac{V^- R_1}{R_2 + R_1}$$

La misión de R_3 es la de hacer que la corriente de entrada sea independiente de la salida y de la realimentación positiva, ya que esta corriente fluye a través de R_3 . Este circuito puede ser usado para convertir datos analógicos en datos lógicos estándar.