

## Circuitos Comparadores

Los comparadores se utilizan para cuantificar o determinar la amplitud de una señal analógica respecto a una tensión de referencia de valor conocido. Para realizar la comparación se puede utilizar un amplificador diferencial cuya tensión en la salida depende de la diferencia entre las tensiones que excitan sus entradas.

Si se analiza el amplificador diferencial como un circuito con dos entradas, una inversora y otra no inversora y una salida que en la zona de funcionamiento lineal resulta proporcional a la diferencia de las entradas, en fase con la entrada no inversora y en contrafase con la entrada inversora.

$$v_o = A_v(v_{(+)} - v_{(-)})$$

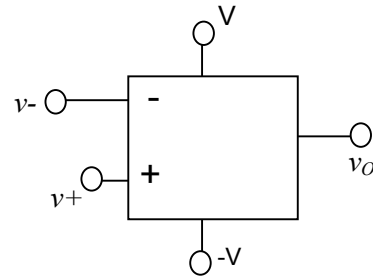


FIG. 1: ESQUEMA AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

El valor de la ganancia  $A_v$  es en general grande de manera que una pequeña diferencia de tensión en las entradas saca al circuito de funcionamiento lineal. Cuando el circuito deja de funcionar linealmente alguno de los transistores deja de tener corriente y la salida, según corresponda al signo de la diferencia de tensión aplicada en la entrada, toma su valor máximo ( $V_{OH}$ ) o mínimo ( $V_{OL}$ ), situación que se identifica como saturación positiva o negativa del amplificador respectivamente.

Si una de las entradas, por ejemplo la inversora, se conecta a un valor fijo de tensión predeterminado, la salida en ( $V_{OL}$ ) o ( $V_{OH}$ ) indica si la señal presente en la otra entrada (inversora) es respectivamente mayor o menor que el valor prefijado. Si bien este circuito se utiliza como comparador, en muchas aplicaciones la presencia de señales espurias (ruido) puede provocar conmutaciones no deseadas debido a su alta sensibilidad. Para evitar cualquier tipo de conmutación no deseada se recurre a los comparadores con histéresis. En estos circuitos la conmutación en un sentido requiere una tensión en la entrada  $V_{IH}$  ligeramente diferente de la tensión necesaria para provocar la conmutación en el sentido contrario,  $V_{IL}$ . La forma de lograr este efecto es utilizando una conexión desde la salida a la entrada no inversora, red realimentación positiva, que provoca un efecto regenerativo (figura 1). En la figura 2 se muestra la forma de la función transferencia del circuito ideal.

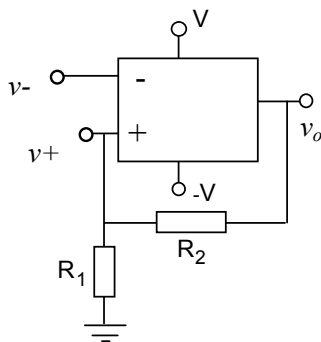


FIG. 1: ESQUEMA AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

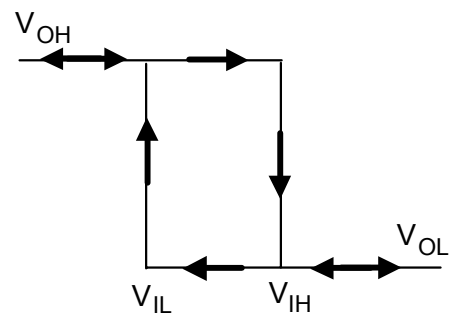


FIG. 2: FUNCION TRANSFERENCIA COMPARADOR CON HISTÉRESIS

### Comparador con histéresis con transistores bipolares: Gatillo Schmitt

Es un circuito con dos transistores conectados según se muestra en la figura 3 (a). Los componentes se adoptan para que el circuito funcione como comparador con histéresis con una función transferencia no inversora tal como se muestra en la figura 3 (b).

En ausencia de señal en la entrada conduce el transistor  $T_2$ . La tensión en el emisor de los transistores es función de la relación de resistencias que determina la zona de trabajo de  $T_2$ .

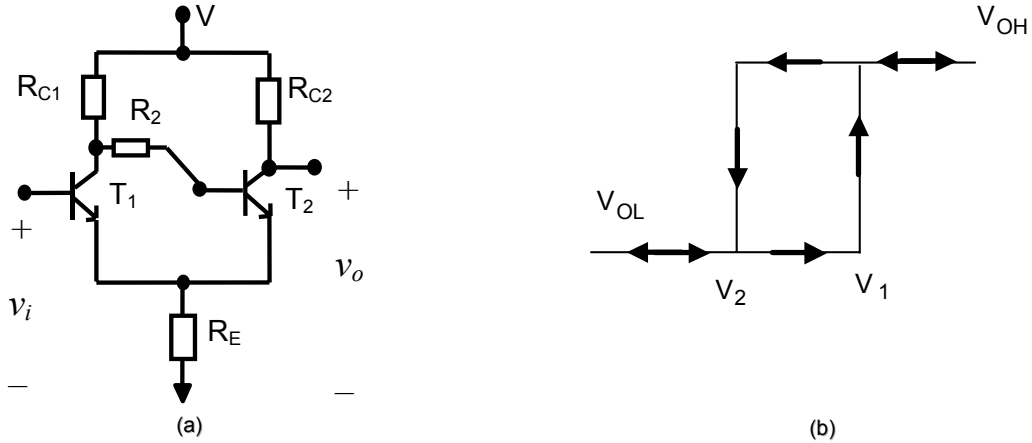


FIG. 3: (a) CIRCUITO GATILLO SCHMITT, (b) FUNCIÓN TRANSFERENCIA

El circuito puede diseñarse para que en ausencia de señal aplicada (base de  $T_1$  abierta)  $T_2$  conduzca en zona activa o en saturación. Si en estas condiciones  $T_2$  conduce en zona activa se cumplen las siguientes relaciones:

$$\text{Si } R_{C1} + R_2 > \beta_2 R_{C2} \Leftrightarrow I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \approx I_{E2}$$

$$I_{B2}(R_{C1} + R_2) + I_{E2}R_E = V - V_{BE2}$$

$$I_{C2}R_{C2} + I_{E2}R_E = V - V_{CE2}$$

A partir de estas ecuaciones se determinan las corrientes y en consecuencia el valor del potencial de emisor cuando conduce  $T_2$ :

$$\frac{I_{C2}}{\beta_2}(R_{C1} + R_2) + \frac{\beta_2 + 1}{\beta_2} I_{C2}R_E = V - V_{BE2}$$

$$I_{C2} = \frac{(V - V_{BE2})\beta_2}{R_{C1} + R_2 + (\beta_2 + 1)R_E} \quad \Rightarrow \quad V_{E2} = I_{E2}R \approx \frac{(V - V_{BE2})\beta_2 R_E}{R_{C1} + R_2 + (\beta_2 + 1)R_E}$$

En estas condiciones la salida se mantiene en un valor bajo que queda determinado por:

$$V_{OL} = V - I_{C2}R_{C2}$$

Si ahora se conecta una tensión  $v_i$  en la base de  $T_1$ , mientras esta tensión se mantenga por debajo del valor que supere a la caída de tensión en la resistencia  $R_E$  en una tensión que permita el encendido de  $T_1$  el circuito permanece en el estado indicado ( $T_1$  cortado,  $T_2$  conduce). A medida que la tensión  $v_i$  crezca, en un momento alcanzará el valor necesario para polarizar directamente la juntura base emisor de  $T_1$ , este transistor arranca, y al saturarse fuerza el corte de  $T_2$  y la salida toma el valor  $V_{OH} = V$ .

$$\text{Si } v_i > V_1 = V_{\gamma 1} + V_{E2} \quad T_1 \text{ conduce y } T_2 \text{ está cortado}$$

$$V_1 = V_{\gamma 1} + \frac{(V - V_{BE2})\beta_2 R_E}{R_{C1} + R_2 + (\beta_2 + 1)R_E}$$

Mientras la entrada se mantenga por encima de este valor que identificamos con  $V_1$ ,  $T_1$  conduce y  $T_2$  se mantiene cortado. En este circuito, para que esta situación sea posible  $T_1$

debe conducir saturado, de esta manera el potencial de colector-emisor de  $T_1$  saturado ( $v_{CE1SAT}$ ) mantiene la tensión base-emisor de  $T_2$  por debajo de su tensión de encendido.

Mientras la entrada se mantenga alta ( $v_i > V_1$ ) se mantiene el estado del circuito ( $T_1$  conduce,  $T_2$  cortado). Si la entrada comienza a decrecer habrá un valor de  $v_i$  que provoca la conducción de  $T_2$  y el consiguiente corte de  $T_1$ . Para que  $T_2$  arranque  $T_1$  debe estar saliendo de saturación y entrando en zona activa de manera que la tensión colector-emisor de  $T_1$  polarice directamente la juntura base-emisor de  $T_2$ . Para simplificar el cálculo se supone que  $T_1$  está en el borde de zona activa con una tensión colector-emisor igual a la tensión base-emisor, en consecuencia:

$$I_{C1}(R_{C1} + R_E) + V_{CE1} = V \Big|_{V_{CE1}=V_{BE1}} \Rightarrow I_{C1} = \frac{V - V_{BE1}}{R_{C1} + R_E}$$

$$\text{Si } v_i < V_2 = \frac{V - V_{BE1}}{R_{C1} + R_E} R_E + V_{BE1} \quad T_1 \text{ se corta y } T_2 \text{ conduce}$$

El circuito funciona como un comparador con histéresis siempre que  $V_1 > V_2$ :

$$V_1 = V_{\gamma I} + \frac{(V - V_{BE2})\beta_2 R_E}{R_{C1} + R_2 + (\beta_2 + 1)R_E} > V_2 = V_{BE1} + \frac{V - V_{BE1}}{R_{C1} + R_E} R_E$$

En la figura 4 se muestra una variante de este circuito que permite que aún con  $T_1$  conduciendo en zona activa  $T_2$  esté cortado, y de esta manera se logra mayor libertad para la elección de los umbrales de la histéresis.

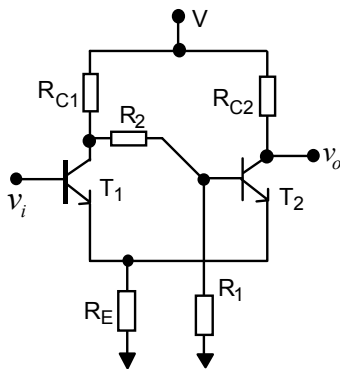


FIG. 4: GATILLO SCHMITT MODIFICADO

Si  $T_1$  está cortado y  $T_2$  conduce en zona activa:

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} \quad I_{E2} = \frac{\beta_2 + 1}{\beta_2} I_{C2}$$

$$(I_{B2} + I_2)(R_{C1} + R_2) + I_2 R_1 = V$$

$$I_2 R_1 = V_{BE2} + \frac{\beta_2 + 1}{\beta_2} R_E I_{C2}$$

$$\frac{V_{BE2} + \frac{\beta_2 + 1}{\beta_2} R_E I_{C2}}{R_1} = \frac{V - \frac{I_{C2}}{\beta_2} (R_{C1} + R_2)}{R_1 + R_2 + R_{C1}}$$

$$I_{C2} = \beta_2 \frac{VR_1 - V_{BE2}(R_1 + R_2 + R_{C1})}{(R_{C1} + R_2)R_1 + (\beta_2 + 1)R_E(R_1 + R_2 + R_{C1})}$$

$$V_{E2} = I_{E2} R_E \approx \frac{[VR_1 - V_{BE2}(R_1 + R_2 + R_{C1})]}{(R_1 + R_2 + R_{C1})} \approx \frac{V}{\left(1 + \frac{R_2 + R_{C1}}{R_1}\right)} - V_{BE2}$$

$$V_1 = V_{\gamma I} + V_{E2}$$

si  $v_i > V_1 \Rightarrow T_1$  conduce y  $T_2$  está cortado

Mientras  $T_1$  conduce en zona activa:

$$I_{C1}(R_{C1} + R_E) + V_{CE1} + I_2 R_{C1} = V$$

$$V_{CE1} = I_2(R_1 + R_2) - I_{C1}R_E$$

$$I_{C1}R_{C1} + I_2(R_{C1} + R_1 + R_2) = V$$

Mientras la tensión de entrada se mantenga alta T1 conduce y T2 está cortado. Si la tensión de entrada comienza a decrecer, decrecen las corrientes de T1 y su tensión colector va aumentando hasta que para un determinado valor de tensión de entrada ( $v_i = V_2$ ) T2 comienza a conducir y T1 se corta.

$$\text{Si } v_i = V_2 \Rightarrow V_{CE1} - I_2 R_2 = V_{\gamma 2}$$

Un momento antes de la conmutación T1 está conduciendo en zona activa, en consecuencia:

$$(I_{C1} + I_2)R_{C1} + I_2(R_1 + R_2) = \frac{V_2 - V_{BE1}}{R_E} R_{C1} + I_2(R_{C1} + R_1 + R_2) = V$$

$$I_2 R_1 - I_{C1} R_E = I_2 R_1 - V_2 + V_{BE1} = V_{\gamma 2}$$

$$I_2 = \frac{V R_E - (V_2 - V_{BE1}) R_{C1}}{(R_{C1} + R_1 + R_2) R_E} = \frac{V_2 + V_{\gamma 2} - V_{BE1}}{R_1}$$

$$V_2 = \frac{R_1 (V R_E + V_{BE1} R_{C1}) + (V_{BE1} - V_{\gamma 2}) (R_{C1} + R_1 + R_2) R_E}{(R_{C1} + R_1 + R_2) R_E + R_1 R_{C1}}$$

El ancho de la histéresis queda determinado por:

$$V_2 - V_1 = \frac{R_1 (V R_E + V_{BE1} R_{C1}) + (V_{BE1} - V_{\gamma 2}) (R_{C1} + R_1 + R_2) R_E}{(R_{C1} + R_1 + R_2) R_E + R_1 R_{C1}} - V_{\gamma 1} - \left( 1 + \frac{R_2 + R_{C1}}{R_1} \right) + V_{BE2}$$