

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.

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

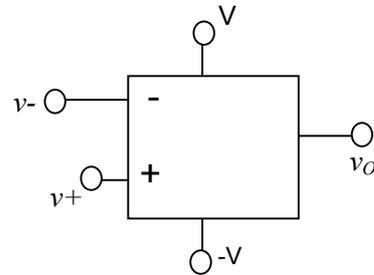


FIG. 1: ESQUEMA AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

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.

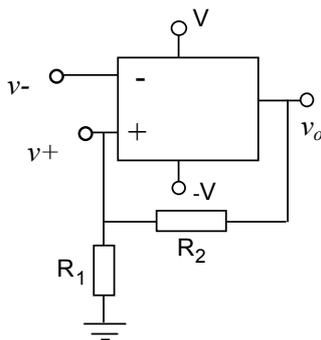


FIG. 1: ESQUEMA AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

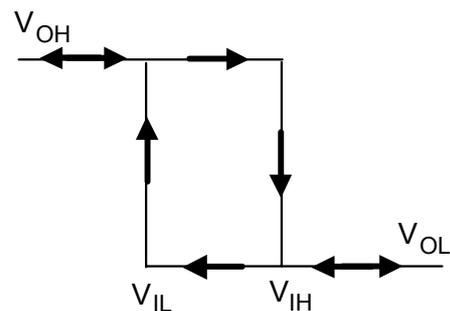


FIG. 2: FUNCION TRANSFERENCIA COMPARADOR CON HISTÉRESIS

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 .

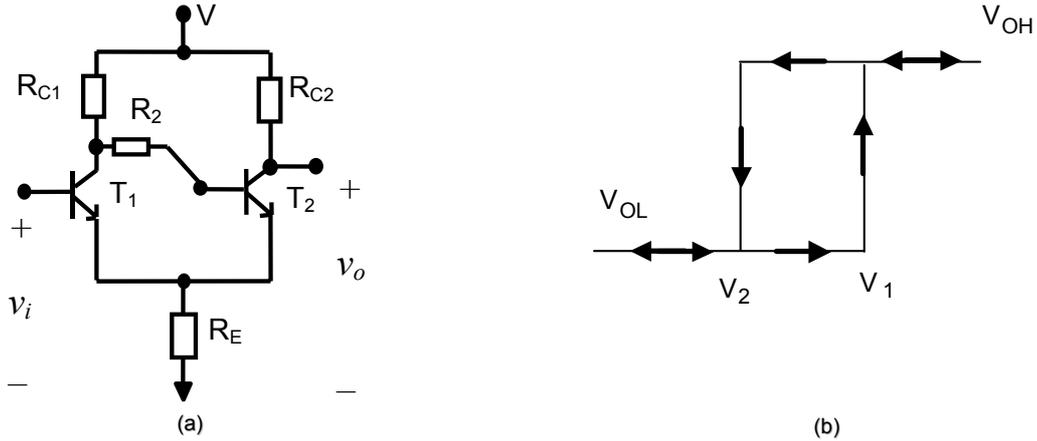


FIG. 3: (a) CIRCUITO GATILLO SCHMITT, (b) FUNCIÓN TRANSFERENCIA

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.

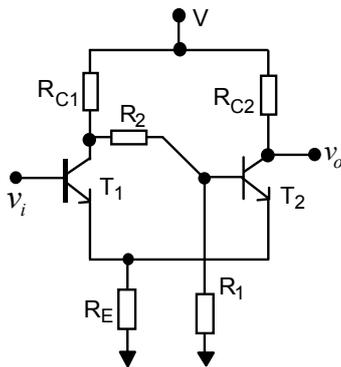


FIG. 4: GATILLO SCHMITT MODIFICADO

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:

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