

COMPARADORES

INTRODUCCION

Un comparador analiza una señal de voltaje en una entrada, con el voltaje de referencia presente en la otra entrada. Anteriormente se presentaron circuitos detectores del nivel de voltaje que muestran lo fácil que es utilizar los amplificadores operacionales para resolver cierto tipo de aplicaciones relativas a la comparación de señales, sin necesidad de conocer mucho acerca de ellos. El amplificador operacional de propósito general se ha utilizado como sustituto de los CI diseñados específicamente para aplicaciones de comparación.

Por desgracia, el voltaje de salida del amplificador operacional no cambia con mucha velocidad. Además, su salida se modifica dentro de los límites fijados por los voltajes de saturación, $+V_{sat}$ y $-V_{sat}$, los cuales están comprendidos entre ± 13 V. Por lo tanto, su salida no puede servir para alimentar dispositivos (como es el caso de los CI de lógica digital TTL) que requieren niveles de voltaje comprendidos entre 0 y +5V. Se han eliminado estas desventajas, utilizando un circuito integrado diseñado específicamente para funcionar como comparador. Dispositivos de este tipo son los comparadores 311 y 339.

Tanto el amplificador operacional de propósito general, como el comparador, no funcionan adecuadamente si hay ruido en cualquier entrada. Para resolver este problema se mostrará que, agregando una *retroalimentación positiva*, se resuelve el problema del ruido. Hay que tomar en cuenta que la retroalimentación positiva no elimina el ruido, sino que logra que el amplificador operacional responda menos a él. Estos circuitos mostrarán cómo obtener mejores detectores de nivel de voltaje y también nos permitirán comprender cómo funcionan los generadores de onda cuadrada (multivibradores), así como los generadores de pulso único (multivibradores monoestables).

EFECTO DEL RUIDO EN LOS CIRCUITOS COMPARADORES

La señal de entrada E_i se aplica a la entrada (-) de un amplificador operacional 301 como se aprecia en la figura 17 (el 301 es un amplificador operacional de propósito general). Si no hay ruido, el circuito funciona como un detector inversor de cruce por cero, debido a que $V_{ref} = 0$.

El voltaje de ruido se presenta como una onda cuadrada en serie con E_i , para mostrar el efecto del voltaje de ruido. El voltaje de la señal de entrada del amplificador operacional se ilustra con y sin ruido en la figura 18. La forma de onda de V_o en función del tiempo muestra claramente cómo la suma del ruido da como resultado señales falsas a la salida. V_o debe indicar sólo los cruces de E_i , no los cruces de E_i más el voltaje de ruido. Si E_i se aproxima muy lentamente a V_{ref} , o se mantiene cercano a este valor, V_o puede seguir todas las oscilaciones del voltaje de ruido, o bien iniciar bruscamente una oscilación de alta frecuencia. Estos cruces en falso se pueden eliminar mediante la *retroalimentación positiva*.

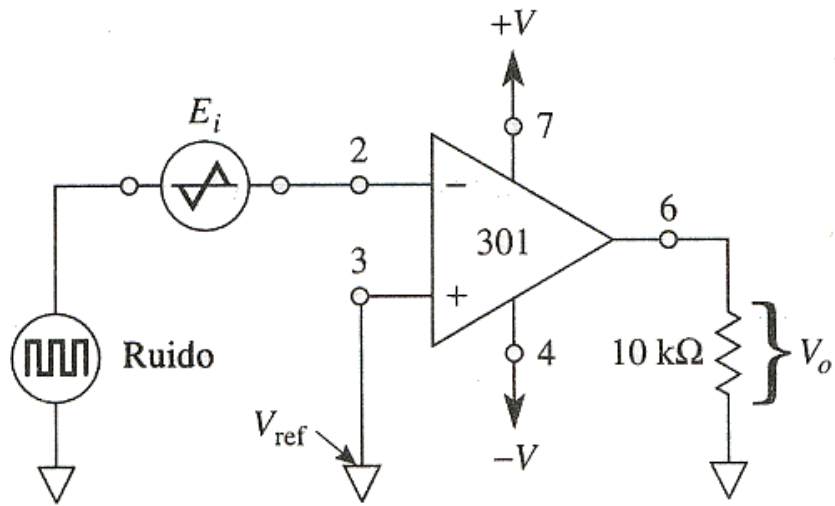


FIGURA 17 Detector inversor de cruce por cero.

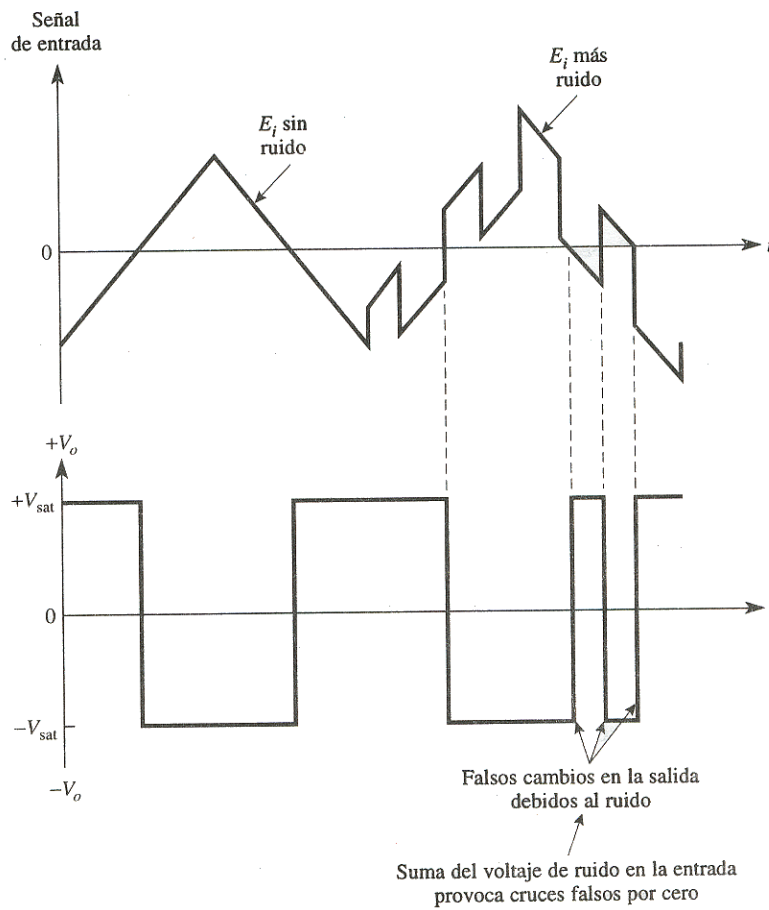


FIGURA 18 Efecto del ruido en un detector de cruce por cero.

RETROALIMENTACIÓN POSITIVA

Introducción

La retroalimentación positiva se realiza tomando una fracción del voltaje de salida V_o y aplicando ésta a la entrada (+). En la figura 19(a) el voltaje de salida V_o se divide entre R_1 y R_2 . Una fracción de V_o se retroalimenta a la entrada (+) y crea así un voltaje de referencia que depende de V_o . Ahora se describirá qué es la retroalimentación positiva y cómo servirse de ella para eliminar cambios falsos en la salida provocados por el ruido.

Voltaje de umbral superior

En la figura 19(a), como se mencionó, el voltaje de salida V_o se divide entre R_1 y R_2 , donde una fracción de V_o se retroalimenta a la entrada (+). Cuando $V_o = +V_{sat}$ el voltaje retroalimentado se denomina *umbral superior de voltaje*, V_{UT} . Este voltaje se expresa en función del divisor de voltaje de la siguiente manera:

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sat})$$

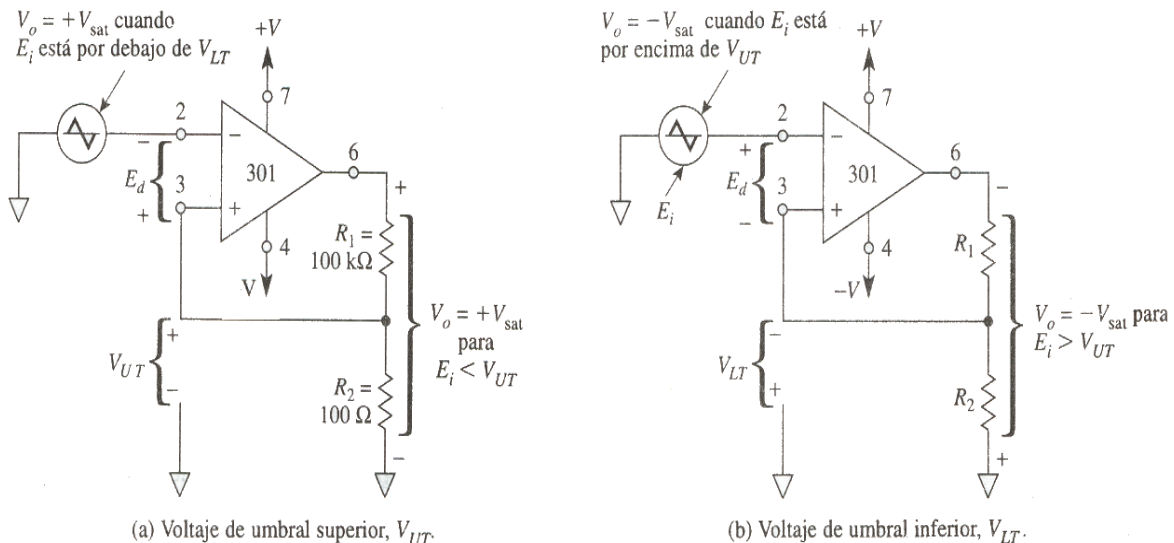


FIGURA 19 R_1 y R_2 retroalimentan un voltaje de referencia de la salida a la terminal de entrada (+).

Para valores de E_i inferiores a V_{UT} , el voltaje en la entrada (+) es mayor que el voltaje en la entrada (-). Por lo tanto, V_o se fija como $+V_{sat}$.

Si E_i se vuelve ligeramente más positivo que V_{UT} , la polaridad de E_d , como se muestra, se invierte y el valor de V_o comienza a descender. Ahora la fracción de V_o retroalimentada en la entrada positiva es menor, de modo que E_d se incrementa. V_o descende con mayor

rapidez y llega pronto al valor $-V_{sat}$; de esta manera, el circuito es estable, de acuerdo con lo que se muestra en la figura 19(b).

Voltaje de umbral inferior

Cuando V_o está en $-V_{sat}$, el voltaje de retroalimentación en la entrada (+) se denomina *umbral inferior de voltaje*, V_{LT} . y se expresa como:

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat})$$

Observe que V_{LT} es negativo con respecto a tierra, por lo que V_o permanecerá en $-V_{sat}$, en tanto E_i sea mayor o positivo con respecto a V_{LT} , y V_o cambiará, regresando a $+V_{sat}$ si E_i se vuelve más negativo que V_{LT} . o queda por debajo de éste.

Se concluye así que la retroalimentación positiva induce una acción casi instantánea que permite cambiar V_o de un límite a otro con gran velocidad. Una vez que V_o comienza a cambiar, provoca una acción regeneradora que genera un cambio aún más rápido de V_o . Si los voltajes de umbral resultan mayores que los voltajes pico del ruido, la retroalimentación positiva eliminará las transiciones falsas de salida.

DETECTOR DE CRUCE DE CERO CON HISTÉRESIS

Definición de histéresis

Existe una técnica estándar que sirve para mostrar el comportamiento de un comparador por medio de una sola gráfica en vez de dos. Al graficar E_i en el eje horizontal y V_o en el vertical, se obtiene la característica de voltaje de entrada y salida, como se muestra en la figura 20. Cuando E_i es menor que V_{LT} . $V_o = +V_{sat}$. La línea vertical (a) muestra que V_o va de $+V_{sat}$ a $-V_{sat}$ conforme E_i se va haciendo mayor que V_{UT} . La línea vertical (b) muestra a V_o cambiando desde $-V_{sat}$ hasta $+V_{sat}$ cuando E_i se vuelve menor que V_{LT} . La diferencia de voltajes entre V_{UT} y V_{LT} se denomina *voltaje de histéresis*, V_H .

Siempre que un circuito cambia de un estado a otro con cierta señal y luego regresa del segundo al primer estado con una señal de entrada *diferente*, se dice que el circuito presenta *histéresis*. En el caso del comparador con retroalimentación positiva, la diferencia en las señales de entrada es la siguiente:

$$V_H = V_{UT} - V_{LT}$$

Si el voltaje de histéresis está diseñado para que sea mayor que el voltaje de ruido *pico a pico*, no habrá cruces falsos de salida. Por consecuencia, V_H indica qué tanto ruido pico a pico es capaz de soportar el circuito.

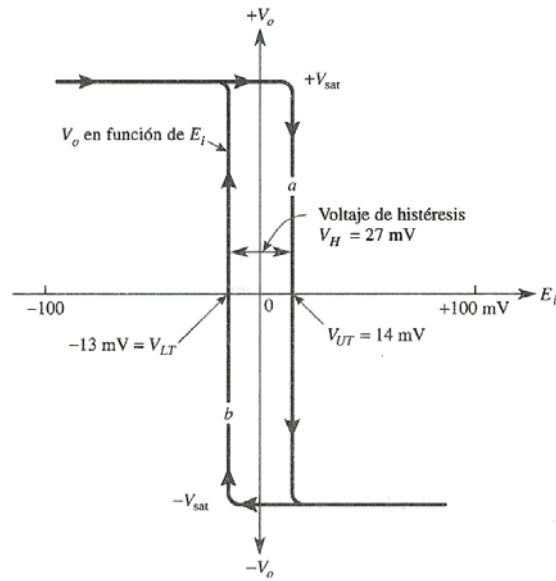


FIGURA 20 La gráfica de V_o en función de E_i sirve para ilustrar la cantidad de voltaje de histéresis en un circuito comparador.

Detector de cruce de cero con histéresis como un elemento de memoria

Si E_i tiene un valor comprendido entre V_{LT} y V_{UT} , es imposible predecir el valor de V_o a menos que éste *ya se conozca*. Por ejemplo, suponga que E_i se sustituye por tierra ($E_i = 0$ V) en la figura 19 y se enciende la fuente de poder. El amplificador operacional pasará *ya sea* a $+V_{sat}$ o a $-V_{sat}$, dependiendo de la presencia inevitable del *ruido*. Si el amplificador operacional pasa a $+V_{sat}$, entonces E_i deberá *ir* arriba de V_{UT} para cambiar la salida. Si V_o ha pasado a $-V_{sat}$ entonces E_i tendrá que ir por abajo de V_{LT} para poder cambiar V_o .

Por lo tanto, el comparador con histéresis presenta la propiedad de *memoria*. Esto es, si E_i cae entre V_{UT} y V_{LT} (dentro del voltaje de histéresis), el amplificador operacional recuerda que el último valor de cambio de E_i estuvo arriba de V_{UT} o abajo de V_{LT} .

DETECTOR DE VENTANA

Introducción

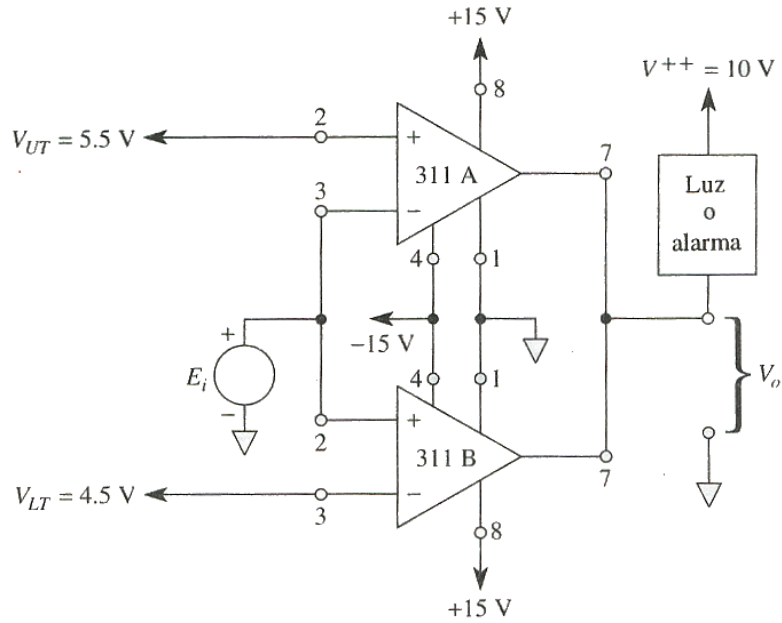
El circuito de la figura 21 está diseñado para monitorear un voltaje de entrada e indicar cuando este voltaje se encuentra por arriba o por abajo de los límites prescritos. Por ejemplo, las fuentes de alimentación de los circuitos integrados lógicos TTL se deben regular a 5 V. Si el voltaje de alimentación excede a 5.5 V la lógica puede resultar dañada,

y si la alimentación de voltaje desciende por debajo de 4.5 V. la lógica puede funcionar de una manera no deseada. Por lo tanto los límites de la fuente de alimentación de TTL son 4.5 y 5.5 V. La fuente de alimentación deberá observarse a través de una ventana cuyos límites están entre 4.5 y 5.5 v. Por lo anterior se le ha dado el nombre de *detector de ventana*. Este circuito a veces se conoce también como *detector límite de doble extremo*.

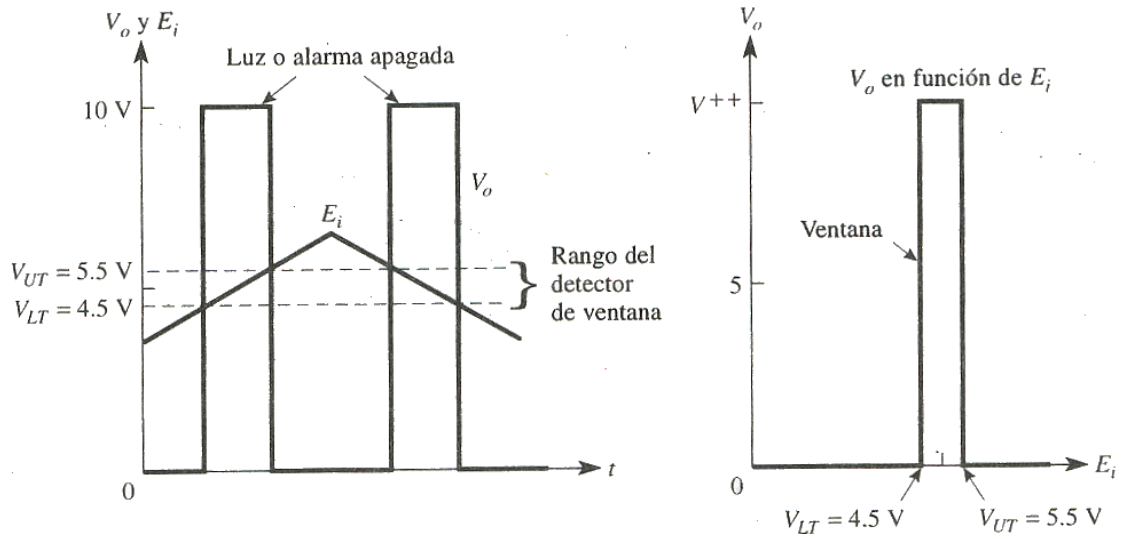
En la figura 21, el voltaje de entrada E_i se conecta a la entrada (-) del comparador A ya la entrada (+) del comparador B . El límite superior V_{UT} se aplica a la entrada (+) de A , en tanto que el límite inferior V_{LT} se aplica a la entrada (-) de B . cuando E_i desciende y queda entre V_{LT} y V_{UT} . la luz de la alarma está apagada. Pero cuando E_i desciende por debajo de V_{LT} o asciende por encima de V_{UT} . la luz de alarma se enciende para indicar que E_i no está dentro de los límites prescritos.

Funcionamiento del circuito

El circuito funciona de la manera siguiente. Suponga que $E_i = 5$ v. Dado que E_i es mayor que V_{LT} y menor que V_{UT} , el voltaje de salida de ambos comparadores está a V^{++} pues los dos interruptores de salida están abiertos. La lámpara/alarma está apagada. Ahora, suponga que $E_i = 6.0$ V, o $E_i > V_{UT}$. La entrada en la terminal 3 de A es más positiva que la de la terminal 2, de modo que la salida A está al potencial de la terminal 1 o tierra. Esta tierra enciende la lámpara y $V_o = 0$ V. Ahora suponga que E_i desciende al valor 4.0 V, o $E_i < V_{LT}$. La entrada (+) de B es menor que su entrada (-), de modo que la salida B queda en 0 V (el voltaje en su terminal 1). Una vez más, esta tierra hace que la lámpara/alarma se encienda. Observe que esta aplicación muestra que las terminales de salida del 311 pueden conectarse juntas y que la salida está a V^{++} sólo cuando la salida de cada comparador se encuentra a V^{++} .



(a) Circuito detector de ventana.



(b) Formas de onda del detector de ventana.

FIGURA 21 Los voltajes de umbral superior e inferior se ajustan de manera independiente en el circuito detector de ventana.