
Uso de la histéresis en los comparadores de nivel de tensión

David Arturo Gutiérrez Begovich M. en C. UPIITA-IPN dgutierrezb@ipn.mx

Janet Argüello García M. en C. UPIITA-IPN jarguello@ipn.mx

Miguel Ángel Rodríguez Fuentes M. en C. UPIITA-IPN mrodriguezf@ipn.mx

Abstract

In an electronic system, making decisions about what happens at a stage can be done by considering both the use of analog electronics and digital electronics. In analog electronics, decision-making sometimes depends on a different voltage comparison. To ensure that this comparison is exposed as little as possible to external factors, such as electrical noise, it is necessary to use hysteresis. This work broadly describes the operation of a (non-inverting) comparator with hysteresis and, using a simulator, will show its improved response in the presence of a "noisy" signal compared to a comparator without hysteresis response.

Introducción

En un sistema electrónico, la toma de decisiones sobre lo que sucede en cierta etapa se puede realizar considerando tanto el uso de electrónica analógica como de electrónica digital. En electrónica analógica, la toma de decisiones depende en ocasiones, de una comparación entre diferentes valores de tensión. Para asegurar que esa comparación esté lo menos expuesta posible a factores externos, como por ejemplo a ruido eléctrico, es necesario el uso de la histéresis en la comparación. Este trabajo describe a grandes rasgos la operación de un circuito comparador de nivel de tensión con histéresis (no inversor) y se muestra, con la ayuda de una simulación, la respuesta mejorada de este ante la presencia de una señal "con ruido" en comparación con la respuesta de un comparador sin histéresis.

1. El comparador de nivel de tensión simple

Un comparador es un circuito cuyo objetivo es hacer la comparación entre los valores de tensiones presentes en sus terminales de entrada y en función del resultado de dicha comparación, proporcionará a la salida un valor de tensión de saturación correspondiente (Franco, 2005, p. 411). Este comparador se construye con la ayuda de un amplificador operacional en lazo abierto al que sólo es necesario conectar en una de sus terminales de entrada, un nivel de tensión constante que servirá como referencia para la comparación mientras que en su segunda terminal de entrada se inyecta la señal de interés.

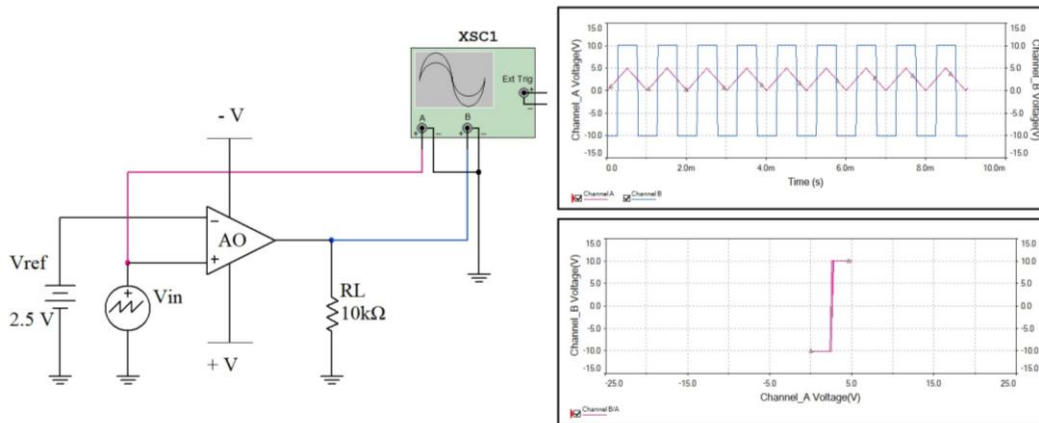


Fig. 1. Comparador de nivel de tensión en lazo abierto.

El comportamiento de este circuito se basa en el cumplimiento de las siguientes ecuaciones:

$$E_d = V_{in(+)} - V_{in(-)} \dots \text{ec.1}$$

$$V_{out} = E_d \times A_{OL} \dots \text{ec.2}$$

Donde:

E_d es a tensión diferencial

$V_{in(+)}$ es la tensión en la entrada no inversora

$V_{in(-)}$ es la tensión en la entrada inversora

A_{OL} es la ganancia del amplificador operacional en lazo abierto (*Open Circuit* por sus siglas en inglés)

V_{out} la tensión de salida del amplificador operacional

En la figura 1 se puede observar la configuración del comparador de tensión y claramente se aprecia que el amplificador operacional opera en lazo abierto. La señal de salida se mide sobre la resistencia de carga R_L . A la derecha, se puede apreciar tanto la gráfica de salida con respecto al tiempo, como la función de transferencia. Nótese que la señal inyectada a la entrada no inversora del amplificador operacional es triangular con valores de amplitud que van de 0V a 5V, misma que se compara con la tensión de referencia (2.5V) aplicada a la terminal inversora. Si se considera un amplificador operacional de matrícula TL084, la ganancia en lazo abierto $A_{OL}=200 \text{ V/mV}$. De modo que si, por ejemplo, V_{in} tome un valor de 2.501V, de las ecuaciones se obtiene que:

$$E_d = V_{in(+)} - V_{in(-)} = 2.501V - 2.5V = 1mV$$

$$\therefore V_{out} = E_d \times A_{OL} = 1mV \times 200 \text{ V/mV} = 200V$$

Recuerde que el máximo valor de tensión de salida del amplificador operacional (tensión de saturación V_{sat}) está definido por la tensión de alimentación, por lo que el operacional no podrá mostrar 200V en su terminal de salida, en su lugar, entregará $+V_{sat}$. De la figura 1, se aprecia que $+V_{sat}=+10V$. Este comportamiento se repetirá para cualquier valor de V_{in} por encima de $V_{ref}=2.5V$.

Por otro lado, considere que $V_{in}=2.499V$:

$$E_d = V_{in}(+) - V_{in}(-) = 2.499V - 2.5V = -1mV$$

$$\therefore V_{out} = E_d \times A_{OL} = -1mV \times 200 V/mV = -200V$$

Para este caso, el amplificador operacional no podrá entregar a la salida $-200V$, en su lugar, entregará $-V_{sat} = -10V$.

En el ejemplo anterior, V_{in} carece por completo de ruido eléctrico; sin embargo, en los circuitos reales, la presencia de ruido en nuestras señales de interés es muy común y en ese caso, el comportamiento del comparador de tensión en lazo abierto no es confiable.

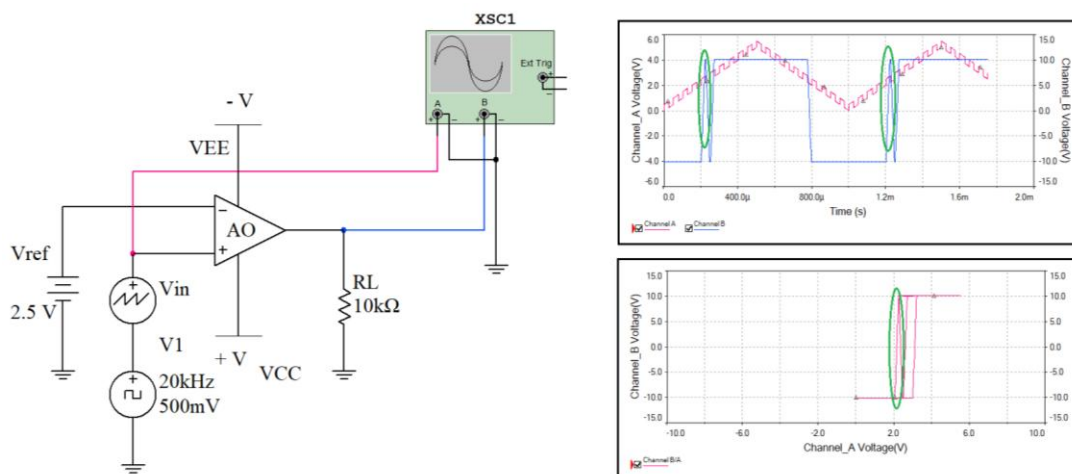


Fig. 2. Comportamiento erróneo del comparador de nivel de tensión de lazo abierto debido a la presencia de ruido eléctrico.

En el circuito de la figura 2, una señal cuadrada con amplitud y frecuencia bien conocida se empleó como ruido eléctrico agregado a la señal triangular de interés lo que dio como resultado una falsa activación del detector de nivel de tensión, misma que se repite periódicamente (Coughlin, 2006, p.87). En la realidad, es bien sabido que el ruido eléctrico es una señal aleatoria tanto en amplitud como en frecuencia por lo que se esperaría que evidentemente, provocará esta falsa activación de manera más frecuente. El comportamiento descrito anteriormente es indeseado. La pregunta es entonces, ¿Cómo se puede evitar que el circuito detector de nivel de tensión se vea afectado por la presencia de ruido eléctrico indeseado?

2. Detector de nivel de tensión no inversor con histéresis

La reducción de los efectos del ruido en un circuito comparador se logra al incluir el concepto de histéresis con la ayuda de la retroalimentación positiva del amplificador operacional. El detector de nivel de tensión no inversor con histéresis, también conocido como comparador no inversor con histéresis, considera el uso de dicha retroalimentación positiva en un amplificador operacional para eliminar los falsos positivos en la respuesta del circuito (Pertence, 1991, p.100). Con la ayuda de un resistor, una parte de la tensión de salida se retroalimenta a la terminal de entrada no

inversora mientras que en la terminal de entrada inversora se inyecta una tensión a modo de referencia que es igual o muy cercana a los niveles de tensión de comparación.

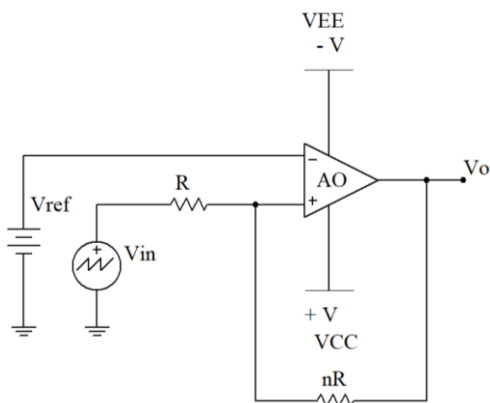


Fig. 3. Diagrama de un circuito detector de nivel de tensión con histéresis (no inversor).

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de este circuito son:

$$V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{V_{sat(-)}}{n} \dots \text{ ec. 3} \quad V_{LT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{V_{sat(+)}}{n} \dots \text{ ec. 4}$$

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{V_{sat(+)} - V_{sat(-)}}{n} \dots \text{ ec. 5}$$

$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) \dots \text{ ec. 6}$$

Donde:

V_{UT} es la tensión de umbral superior (*Upper Threshold* por sus siglas en inglés)

V_{LT} es la tensión de umbral inferior (*Lower Threshold* por sus siglas en inglés)

V_H es la tensión de histéresis

V_{ctr} es la tensión central

V_{ref} es la tensión de referencia

$V_{sat(+)}$ es la tensión de saturación positiva

$V_{sat(-)}$ es la tensión de saturación negativa

Así, la histéresis se define como el intervalo que se encuentra dentro de los valores límites de tensión que provocan el cambio de estado en la terminal de salida del amplificador operacional (Coughlin, 2006, p.92). Para comprender el funcionamiento del circuito de la figura 3, considere el siguiente ejemplo:

Diseñe un circuito detector de nivel de tensión no inversor que a la salida otorgue $V_{sat(+)}$ cuando la señal de entrada V_{in} tome valores por encima de +2V y que, otorgue $V_{sat(-)}$ cuando la señal de entrada V_{in} tome valores por debajo de +1.5V.

Datos: $V_{UT} = +2V$ y $V_{LT} = +1.5V$

Asumiendo que el amplificador operacional entrega como valores máximos a la salida $\pm V_{sat} = \pm 15V$

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} = 2V - 1.5V = 500mV$$

Ahora bien:

$$V_H = \frac{V_{sat}(+) - V_{sat}(-)}{n} \quad \therefore \quad n = \frac{V_{sat}(+) - V_{sat}(-)}{V_H} = \frac{15V - (-15V)}{500mV} = 60$$

Finalmente:

$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = \frac{2V + 1.5V}{2} = 1.75V \quad \therefore \quad V_{ref} = \frac{V_{ctr}}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} = \frac{1.75V}{\left(1 + \frac{1}{60}\right)} = 1.72V$$

Finalmente, se propone el valor de la resistencia $R=10k\Omega$ y, en consecuencia, se calcula nR :

$$nR = 60(10k\Omega) = 600k\Omega$$

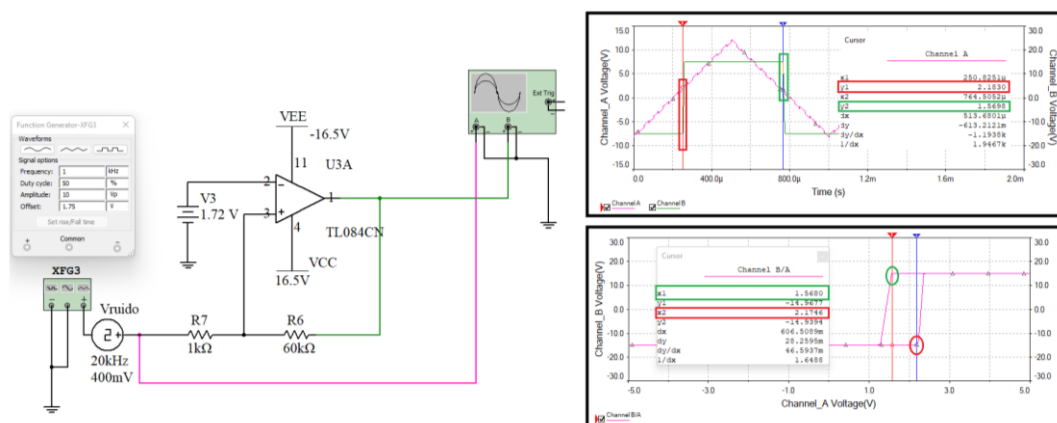


Fig. 4. Respuesta en tiempo y función de transferencia que muestra el comportamiento del circuito detector de nivel de tensión no inversor con histéresis.

En la figura 4, se aprecia claramente la apropiada respuesta del circuito detector de nivel de tensión no inversor con histéresis ante la presencia de una señal triangular a la que se le ha añadido "ruido" (tren de pulsos de amplitud 400mV y frecuencia 20kHz). Se observa, tanto en la gráfica en el dominio del tiempo como en la función de transferencia, que:

$$V_{UT} = 2.17V \quad y \quad V_{LT} = 1.56V$$

Muy cercanos a los esperados de 2V y 1.5V respectivamente. Cabe destacar, que para que el detector de nivel de tensión trabaje de manera apropiada, es importante considerar que el valor de la tensión de histéresis V_H debe ser mayor que la amplitud pico de la señal de ruido.

Conclusiones

La presencia de ruido en los circuitos eléctricos es inevitable; sin embargo, en los circuitos comparadores, el uso de la histéresis evita errores en la comparación y por lo tanto en la toma de decisiones que de ella derive. Si bien, al diseñar un circuito comparador con histéresis es importante aproximarse a los valores esperados de V_{UT} y V_{LT} , estos pueden variar ligeramente debido a la tensión de saturación real entregada por el amplificador operacional y a los valores reales de resistencias conectadas al circuito.

Referencias

Coughlin, R., Driscoll, F. (2006). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. México: Prentice-Hall.

Franco, S. (2005). *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos*. México: McGraw-Hill Interamericana.

Pertence, A. (1991). *Amplificadores operacionales y filtros activos. Teoría proyectos y aplicaciones prácticas*. México: McGraw-Hill.