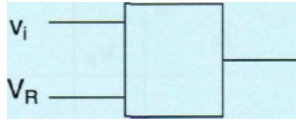


Comparatori

Un comparatore è un dispositivo che confronta una tensione di ingresso v_i con una certa tensione di riferimento V_R . In uscita fornisce due livelli di tensione v_o , alto o basso, a seconda che abbia la prevalenza la v_i o la V_R , cioè che la tensione di ingresso sia superiore od inferiore a quella di riferimento.

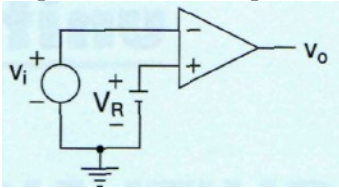


Un comparatore analogico o rivelatore ha quindi due ingressi (uno è normalmente una tensione di riferimento costante e l'altra è un segnale che varia nel tempo) e una uscita. Il comparatore ideale ha una uscita che è costante $v_o = V(0)$ se $v_i < V_R$, ed ha un diverso valore costante $v_o = V(1)$ se $v_i > V_R$.

E' evidente come l'uscita sia digitalizzata in uno dei due stati: livello 0 di tensione $V(0)$ e livello 1 di tensione $V(1)$. In altre parole il comparatore si comporta come un convertitore analogico-digitale ad un bit. Un amp. op. (ad anello aperto) può essere utilizzato come comparatore.

Un amp. op. a catena aperta, cioè senza retroazione, è un comparatore data la sua struttura differenziale di ingresso ed il suo guadagno elevatissimo.

Si può avere un comparatore invertente.

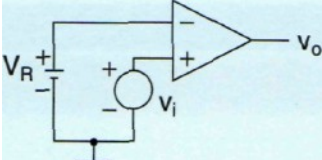


Essendo l'op. a catena aperta, l'uscita si satura appena si applica una piccola differenza di potenziale Δv tra il morsetto + ed il morsetto - dell'op.

Così se $v_i > V_R$ ha la prevalenza il morsetto - e l'uscita va a $-V_{sat}$

se $v_i < V_R$ ha la prevalenza il morsetto + e l'uscita va a $+V_{sat}$

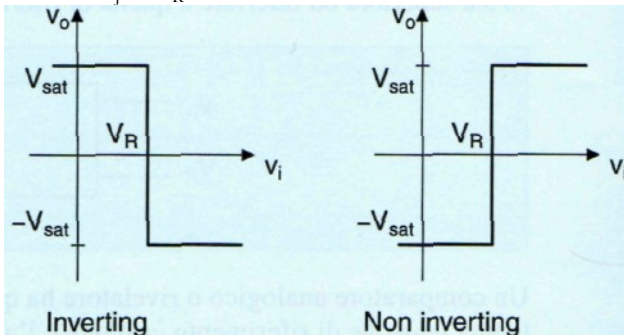
Viceversa si può avere un comparatore non invertente.



Essendo l'op. a catena aperta, l'uscita si satura appena si applica una piccola differenza di potenziale Δv tra il morsetto + ed il morsetto - dell'op.

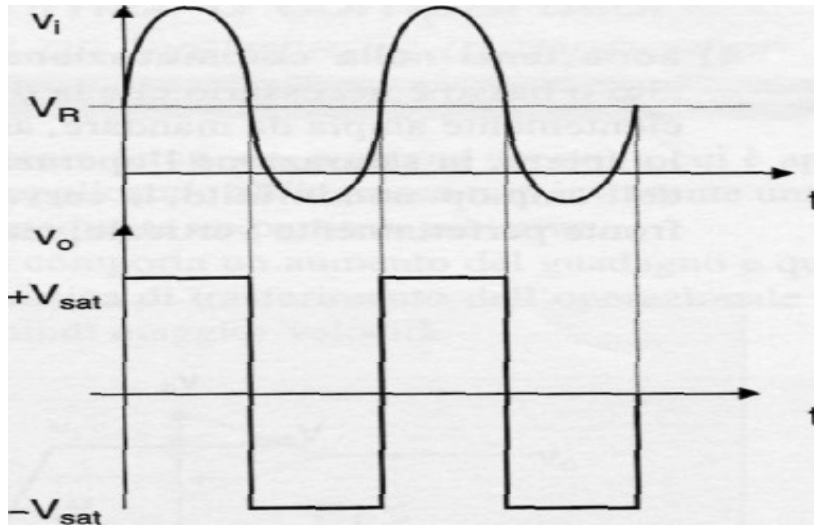
Così se $v_i > V_R$ ha la prevalenza il morsetto + e l'uscita va a $+V_{sat}$;

se $v_i < V_R$ ha la prevalenza il morsetto - e l'uscita va a $-V_{sat}$.



CARATTERISTICA DI TRASFERIMENTO

Il comparatore è uno **squadratore** di onde. Infatti, se applichiamo all'ingresso un segnale qualunque, questo in uscita produce un'onda quadra. Consideriamo per esempio il comparatore non invertente, si ottengono le seguenti forme d'onda.

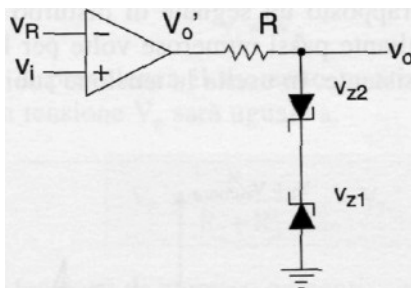


Infatti per e per

$$\begin{array}{ll} v_i < V_R & \text{l'uscita vale } v_o = -V_{sat} \\ v_i > V_R & \text{l'uscita vale } v_o = +V_{sat} \end{array}$$

Se nei circuiti di invertente e non invertente la tensione di riferimento è posta uguale a zero, si ottiene un circuito chiamato **rivelatore di zero**. Se all'uscita di questo circuito si collega un derivatore, si ottengono degli impulsi in corrispondenza di ogni passaggio per lo zero dell'onda di ingresso.

Per ottenere tensioni di uscita di valore limitato, che siano indipendenti dalle tensioni di alimentazione, si aggiungono due diodi zener uno rovesciato rispetto all'altro ed una resistenza, come indicato in figura. Il valore della resistenza è scelto in modo che i diodi valanga lavorino alla corrente di zener opportuna.



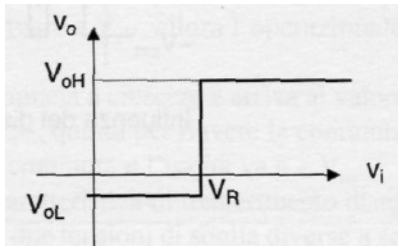
La tensione di uscita è limitata ai valori:

positivo $V_{OH} = V_{D2} + V_{Z1} = 0,7 + V_{Z1}$

negativo $-V_D = -0,6V$ $V_{OL} = -V_{Z2} + V_{D1} = -V_{Z2} - 0,7$

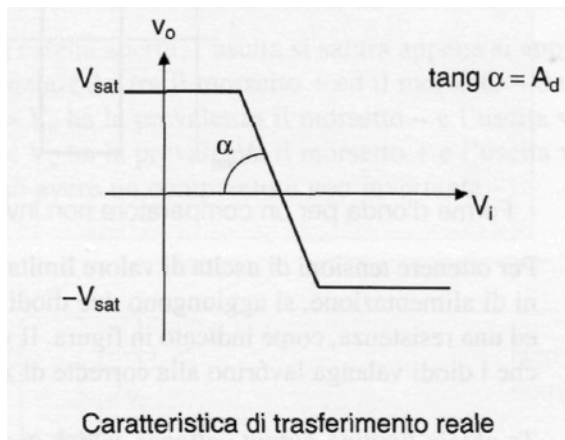
Caratteristiche di trasferimento

Infatti quando $v_o' = +V_{sat}$ il diodo 2 conduce direttamente e il diodo 1 conduce inversamente. Situazione opposta si verifica quando $v_o' = -V_{sat}$. La caratteristica di trasferimento (non invertente) è:

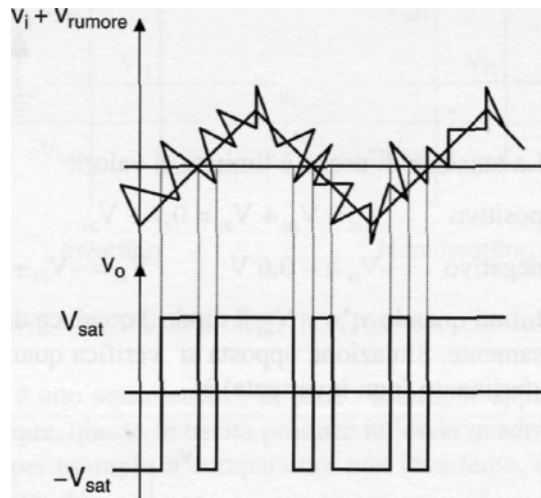


I circuiti comparatori hanno tutti due inconvenienti fondamentali:

1) **sono lenti nella commutazione** in quanto, per ottenere in uscita il livello alto o basso è necessario che la differenza delle tensioni in ingresso sia sufficientemente ampia da mandare, amplificata dal guadagno di tensione ad anello aperto, in saturazione Toperazionale. In pratica, cioè, essendo il guadagno **del amp.op.** non infinito, la curva di trasferimento del comparatore non ha un fronte perfettamente verticale, ma leggermente inclinato



2) **sono molto sensibili ai disturbi che** provocano commutazioni indesiderate. Consideriamo, per esempio un rivelatore di zero in cui al segnale utile si è sovrapposto un segnale di disturbo; si nota come la forma d'onda risultante passi numerose volte per lo zero, segnalando un cambio di livello inesistente. In uscita la tensione subisce diverse commutazioni errate.

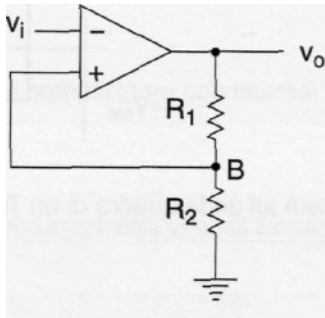


Influenza dei disturbi sul comparatore

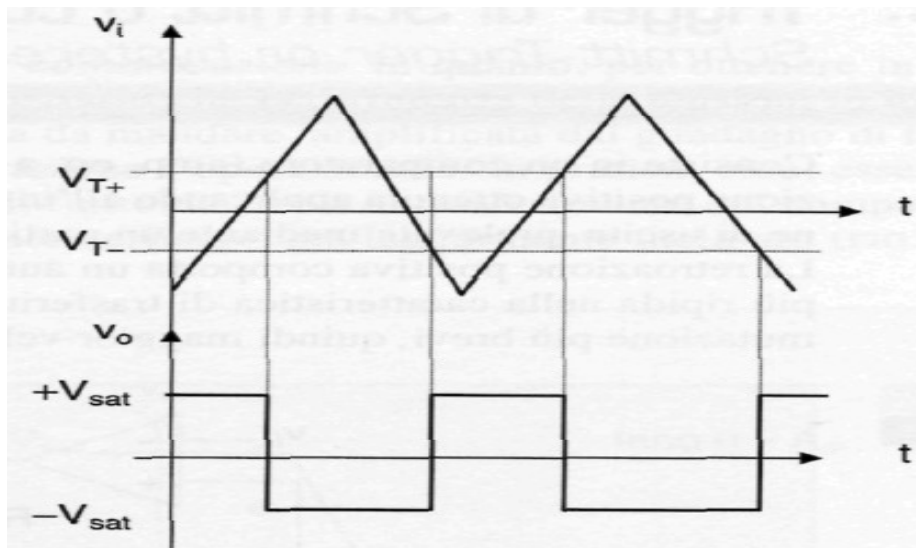
Trigger di Schmitt

Consiste in un comparatore (amp. op. a catena aperta) a cui è applicata una retroazione positiva ottenuta applicando all'ingresso non invertente una parte della tensione di uscita, prelevata mediante un partitore resistivo.

La retroazione positiva comporta un aumento del guadagno e quindi una pendenza più ripida nella caratteristica di trasferimento dell'operazionale con tempi di commutazione più brevi, quindi maggior velocità.



Per analizzare il comportamento del sistema, supponiamo di applicare una tensione triangolare all'ingresso.



A causa della forte instabilità del circuito (non c'è la retroazione negativa), alla applicazione di una anche piccola tensione all'ingresso (v), il circuito si satura; di conseguenza la tensione di uscita si porta a $V_0 = \pm V_{sat}$. Supponiamo che inizialmente sia: $v_i < V_B$

di conseguenza ha la prevalenza il morsetto positivo e la tensione di uscita è $V_0 = +V_{sat}$; allora la tensione V_B sarà uguale a;

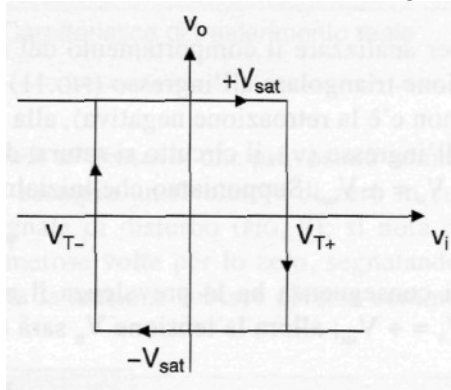
$$V_B' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat} = V_{T+}$$

Supponiamo che la tensione di ingresso aumenti; nell'istante in cui raggiunge il valore V_{T+} , provoca la commutazione dell'uscita, che passa così al valore $V_0 = -V_{sat}$. Di conseguenza anche il morsetto B cambia di valore, passando a:

$$V_B'' = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat} = V_{T-}$$

[for.2]

Quando la tensione v_i comincia a diminuire, arrivata al valore V_{T+} non causa alcun mutamento in uscita perché il punto B ora è a V_{T-} , quindi per riavere la commutazione v_i deve arrivare a V_{T-} , allora l'operazionale commuta e l'uscita va a $+V_{sat}$. Quando la tensione v_i ricomincia a crescere e arriva al valore V_{T-} non provoca nulla perché il punto A ora è a V_{T+} , quindi per riavere la commutazione v_i deve arrivare a V_{T+} , allora l'operazionale commuta e l'uscita va a $-V_{sat}$. Tutto si individua con la caratteristica di trasferimento in cui si nota l'isteresi (ciclo con le due tensioni di soglia diverse a seconda del valore che ha l'uscita ovvero a seconda che il segnale di ingresso sia crescente o decrescente).

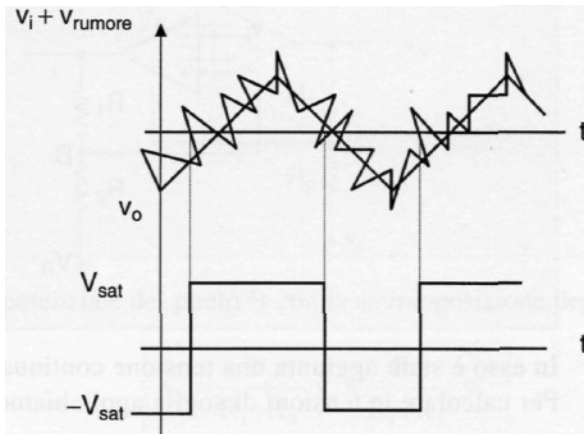


Si definisce tensione di isteresi la differenza fra le due soglie positiva e negativa:

$$V_H = V_{T+} - V_{T-} = 2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat}$$

La tensione di isteresi esprime anche il margine di rumore del sistema, cioè l'ampiezza del segnale di rumore che può essere tollerata senza provocare commutazioni indesiderate.

Sovrapponiamo al segnale di ingresso un disturbo ed analizziamo gli effetti sull'uscita. Si vede come non vi siano più le commutazioni indesiderate dovute al rumore, in quanto, anche se il segnale riattraversa la soglia, non provoca la commutazione. Per avere una commutazione errata, il rumore dovrebbe avere una ampiezza V_H (isteresi). Volendo quindi fare, per esempio, un rivelatore di zero, basterà avere una isteresi, intorno allo zero, di valore opportuno (abbastanza grande da non sentire i rumori, ma abbastanza piccolo da non distanziarsi troppo dal valore corretto di commutazione, cioè lo zero).



Esercizio

Si vuole realizzare un rivelatore di zero di tipo invertente, che sia insensibile a rumori di ampiezza massima ± 1 V.

Si propone un trigger di Schmitt con ciclo di isteresi $V_H = 3$ V, quindi con tensioni di soglia:

$$V_{T+} = 1,5 \text{ V} \quad V_{T-} = -1,5 \text{ V}$$

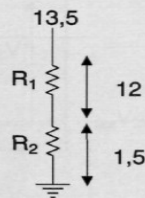
supponendo la tensione di saturazione di uscita $V_{sat} = 13,5$ V dalle formule 1-2-3 possiamo ricavare il valore delle resistenze. Poniamo $V_{SAT} = 13,5$ V

$$V_{T+} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat}$$

$$V_{T-} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat}$$

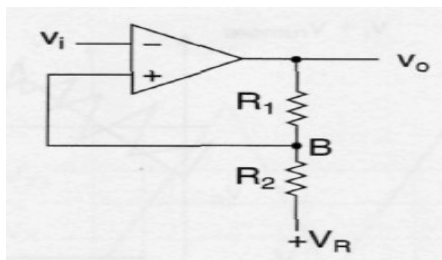
Le resistenze del partitore dovranno stare nel rapporto:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1,5}{13,5} \quad \text{dovrà essere} \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{1,5}{12}$$



Fisseremo così $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega$.

TRIGGER INVERTENTE NON CENTRATO NELLO ZERONel comparatore descritto precedentemente la tensione di isteresi è centrata intorno al livello zero. Se è necessario realizzare comparatori con tensioni di commutazione centrate intorno ad un valore qualunque o ancor di più con tensioni di commutazione qualunque, si può utilizzare il circuito:



In esso è stata aggiunta una tensione continua di riferimento V_R .
 Per calcolare le tensioni di soglia applichiamo la sovrapposizione degli effetti:

$$v_B = \frac{R_2}{R_1+R_2} v_o + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{REF}$$

quindi avremo la soglia superiore:

$$V_{T+} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{SAT} + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{REF}$$

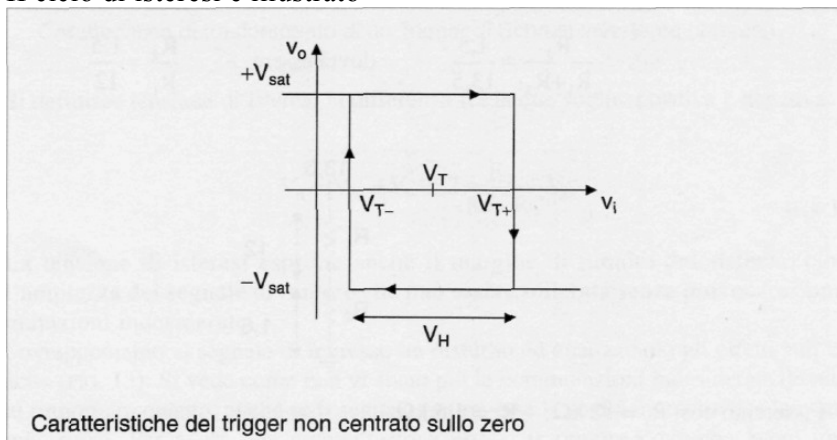
e la soglia inferiore:

$$V_{T-} = -\frac{R_2}{R_1+R_2} V_{SAT} + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{REF}$$

La larghezza dell'isteresi è la stessa del circuito centrato nello zero, e non dipende da V_{REF} :

$$V_H = V_{T+} - V_{T-} = 2 \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{sat}$$

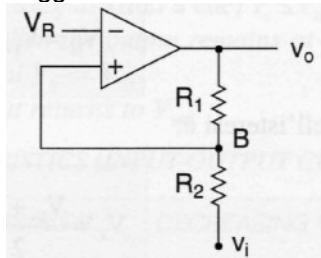
Il ciclo di isteresi è illustrato



Il centro dell'isteresi è:

$$V_T = \frac{V_{T+} + V_{T-}}{2} = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{REF}$$

Trigger non invertente non centrato sullo zero



Calcoliamo il potenziale del punto B con la sovrapposizione degli effetti:

$$v_B = \frac{R_2}{R_1+R_2} v_o + \frac{R_1}{R_1+R_2} v_i$$

Le tensioni di soglia sono i valori di v_i per cui si verifica che i due morsetti di ingresso dell'operazionale sono uguali. Nella configurazione invertente vi corrispondeva proprio ad un ingresso, per cui, calcolato il valore del punto B, la commutazione si otteneva per $v_B = v_i$. Ora invece per la commutazione deve essere

$$v_B = V_R:$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_i = V_{REF}$$

per cui, con $v_o = +V_{sat}$ ricaveremo V_{T-} :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{SAT} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{T-} = V_{REF}$$

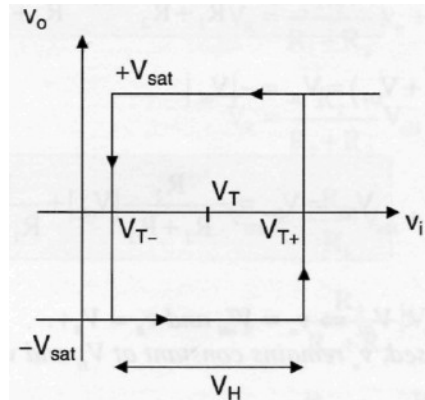
$$V_{T-} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{REF} - \frac{R_2}{R_1} V_{SAT}$$

e con $v_o = -V_{sat}$ ricaveremo V_{T+} :

$$-\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{SAT} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{T+} = V_{REF}$$

$$V_{T+} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{REF} + \frac{R_2}{R_1} V_{SAT}$$

Il ciclo di isteresi è:



$$V_H = V_{T+} - V_{T-} = 2 \frac{R_2}{R_1} V_{sat}$$

La larghezza dell'isteresi è:

il centro dell'isteresi è:

$$V_T = \frac{V_{T+} + V_{T-}}{2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{REF}$$