

## Trigger di Schmitt

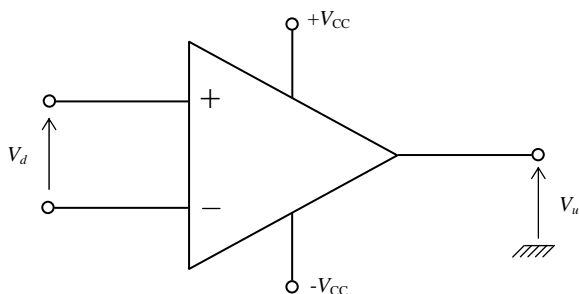
Scopo dell'esperienza è valutare l'ampiezza dell'isteresi di un trigger di Schmitt al variare della frequenza e dell'ampiezza del segnale di ingresso e confrontarla con il valore teorico previsto; quindi visualizzare tramite un oscilloscopio l'andamento del diagramma tensione d'ingresso - tensione d'uscita (*curva di isteresi*) al variare delle tensioni di soglia.

### 1. Teoria dell'esperienza

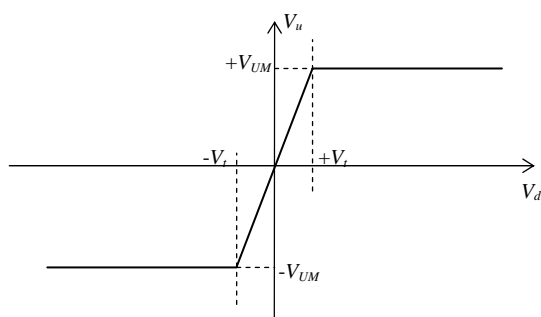
La teoria degli amplificatori operazionali è stata sviluppata nella prima parte del corso di Laboratorio I. In questo paragrafo sono riassunte le principali caratteristiche di questi strumenti; viene inoltre analizzato il circuito da realizzare nel corso dell'esperienza.

- *Amplificatore operazionale: generalità*

Strutturalmente, l'A.O. presenta sempre due terminali di ingresso, uno di uscita e due per l'alimentazione a cui si aggiungono tre piedini di controllo, la cui funzione può cambiare a seconda del tipo particolare di amplificatore utilizzato (possono servire per effettuare delle compensazioni o per la regolazione dell'offset).



**Figura 1.** Simbolo grafico con cui viene indicato un A.O. qualora vengano omessi i piedini di controllo.



**Figura 2.** Trascaratteristica di un A.O.

Il morsetto di ingresso indicato con il “+” è detto *non invertente* in quanto se ad esso si fornisce una tensione continua, positiva rispetto all'altro ingresso, che invece viene collegato a massa, si ottiene in uscita una tensione amplificata ancora positiva. Viceversa l'ingresso “-” viene definito *invertente* in quanto, applicando su di esso una tensione continua, positiva rispetto all'ingresso “+”, collegato opportunamente a massa, si ritrova in uscita una tensione amplificata negativa.

In figura 2 è riportata la trascaratteristica dell'A.O. reale, la quale descrive l'andamento della tensione d'uscita in funzione della tensione differenziale d'ingresso ( $V_d = V_{i+} - V_{i-}$ ).

Il tratto lineare della caratteristica compreso tra  $-V_t$  e  $+V_t$  è quello che corrisponde al funzionamento del dispositivo come amplificatore. In tale zona della curva, detta appunto *zona lineare*, l'equazione rappresentativa è quella di una retta passante per l'origine:  

$$V_u = A_d \cdot V_d.$$

La zona esterna a quella lineare viene detta di *saturatione*; in tale zona non ha più senso definire un guadagno per l'amplificatore, dal momento che al variare della tensione differenziale di ingresso  $V_d$ , la tensione di uscita  $V_u$  rimane costante al valore  $+V_{UM}$  o  $-V_{UM}$ .

Si intuisce che l'altissimo guadagno dell'A.O. lo porta a saturare anche per piccole tensioni differenziali d'ingresso. Per questo motivo nelle applicazioni pratiche di tale componente viene largamente impiegato il collegamento detto *in catena chiusa*, nel quale è previsto, attraverso un opportuno *ramo di controreazione*, un ritorno parziale del segnale d'uscita (vedi esperienza "Amplificatore operazionale passabanda").

- *Comparator; Trigger di Schmitt*

Il comparatore (o *discriminatore*) è un dispositivo in grado di trasformare un segnale analogico  $V_i$ , applicato al suo ingresso, in due soli possibili livelli di uscita  $\pm V_{UM}$ . Il suo principio di funzionamento si basa sul confronto tra il segnale analogico  $V_i$  e una tensione di riferimento  $V_R$ .

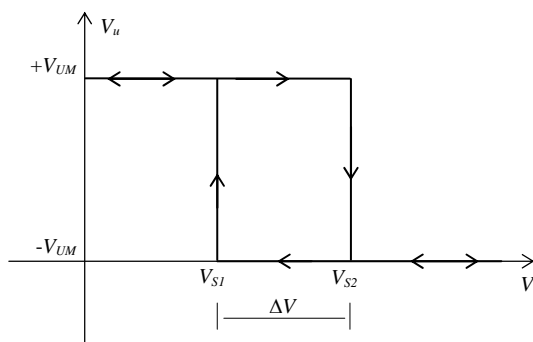
In pratica, la tensione  $V_u$  all'uscita del comparatore è al suo valore massimo quando il segnale è superiore alla soglia, oppure al valore minimo quando il segnale ne è inferiore, se il comparatore è non invertente. Si possono realizzare anche comparatori detti invertenti, per i quali si verifica la situazione opposta.

Nella realizzazione pratica di un comparatore si può far ricorso agli amplificatori operazionali, utilizzandoli in configurazione ad anello aperto (cioè, senza ramo di controreazione). In questo caso, l'A.O. commuta tra i due valori di saturazione in corrispondenza dei cambiamenti di segno del segnale d'ingresso. Più in generale, si può realizzare un comparatore con valore di soglia diverso da zero ponendo una batteria di valore  $V_R$  sul morsetto invertente dell'operazionale.

L'intervallo di tensione corrispondente al funzionamento in zona lineare dell'amplificatore, costituisce una zona di incertezza, detta di *insensibilità*, in cui il segnale all'uscita del comparatore non può essere interpretato né come  $+V_{UM}$  né come  $-V_{UM}$ . Quanto più si riduce tale zona, tanto più il comparatore si avvicina a una condizione di funzionamento ideale.

In molti casi un comparatore ideale può creare inconvenienti; infatti essendo sensibile a variazioni anche minime del segnale intorno al valore di soglia, potrebbe originare ripetute commutazioni indesiderate ogni volta che il segnale si avvicina a tale valore, in particolare nel caso in cui al segnale utile si sovrappongono fluttuazioni di rumore.

Per evitare gli inconvenienti appena descritti si utilizza il *trigger di Schmitt* che è essenzialmente un comparatore con isteresi realizzato con un A.O.



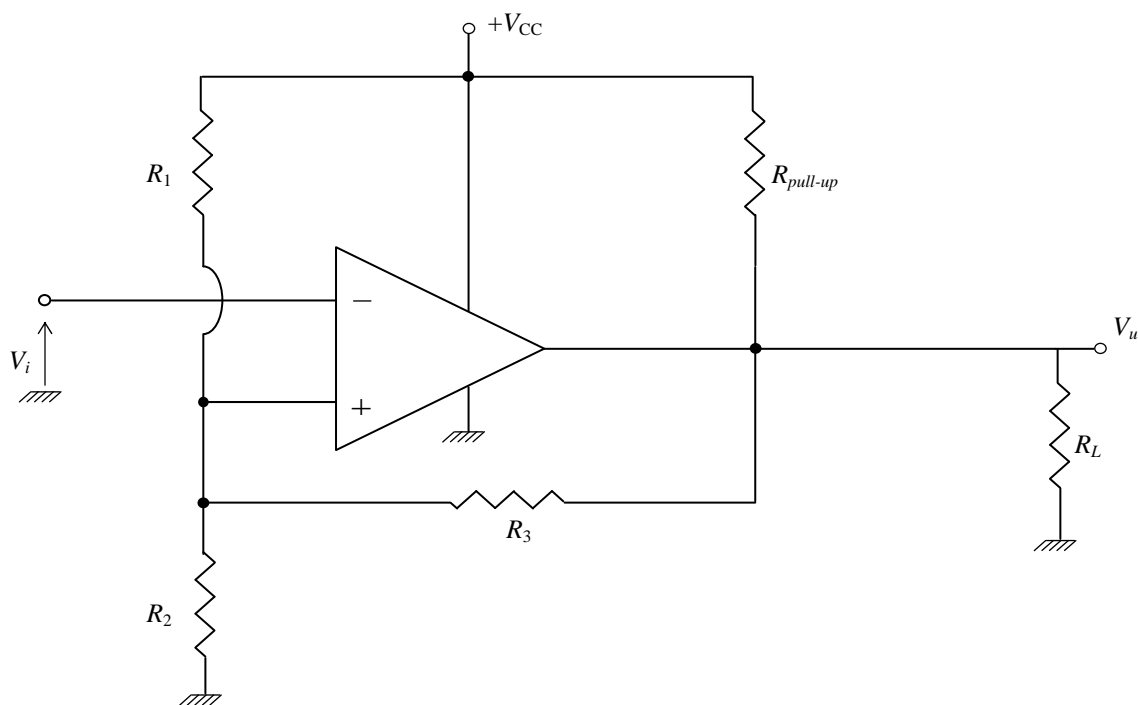
**Figura 3.** Transcaratteristica (curva d'isteresi) del trigger di Schmitt

Esso è caratterizzato da due distinti livelli di riferimento  $V_{S1}$  e  $V_{S2}$ , e la tensione di uscita del comparatore (ad esempio invertente) assume il valore minimo quando il segnale di ingresso supera il livello di riferimento più elevato  $V_{S2}$  e passa al valore massimo quando il segnale di ingresso scende al di sotto del livello di riferimento più basso  $V_{S1}$ .

In figura 3 è riportata la transcaratteristica del trigger di Schmitt.

L'ampiezza dell'intervallo  $V_{S2} - V_{S1}$  è detta *isteresi*.

L'esperienza prevede il montaggio di un trigger di Schmitt secondo la configurazione schematizzata in figura 4, a pagina seguente.



**Figura 4.** Circuito trigger di Schmitt

Come si può notare, la tensione di soglia non è data da un generatore, bensì fornita tramite un partitore, costituito da  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , della tensione di alimentazione  $V_{CC}$ .

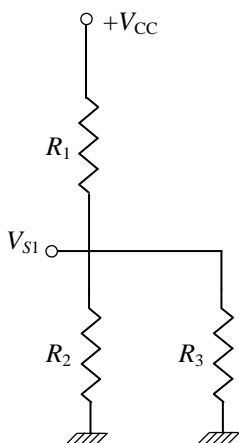
Allorché la tensione di uscita del trigger di Schmitt assume il suo valore minimo ( uguale a zero), la tensione di soglia relativa è esprimibile con la seguente formula:

$$V_{s1} = V_{CC} \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \tag{1}$$

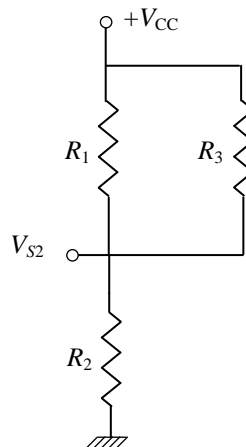
ricavabile, con semplici nozioni di elettrotecnica, dal circuito di figura 5.

Analogamente, quando la tensione di uscita del trigger di Schmitt assume il valore massimo (uguale a  $V_{CC}$ ), il circuito relativo per la determinazione della tensione di soglia è quello illustrato in figura 6 e la formula per la seconda tensione di soglia è la seguente:

$$V_{s2} = V_{CC} \cdot \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \tag{2}$$



**Figura 5.**



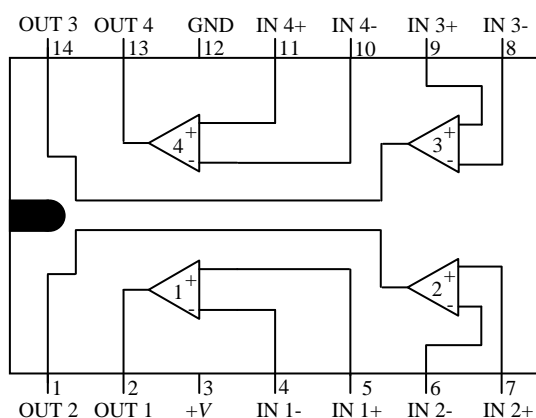
**Figura 6.**

A questo punto, per come è stata definita in precedenza, si può ottenere la formula per l'isteresi del trigger di Schmitt come differenza tra le due tensioni di soglia:

$$\Delta V = V_{S2} - V_{S1} = V_{CC} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (3)$$

## 2. Materiale a disposizione

- 1 circuito integrato LM339
- 3 resistenze da  $1M\Omega \pm 5\%$  (0,25 W)
- 1 resistenza da  $560K\Omega \pm 5\%$  (0,25 W)
- 1 resistenza da  $100K\Omega \pm 5\%$  (0,25 W)
- 1 resistenza da  $3K\Omega \pm 5\%$  (0,25 W)
- 1 breadboard per montare il circuito
- 1 alimentatore regolabile HEWLETT-PACKARD mod. E3610 A
- 1 generatore di funzioni HEWLETT-PACKARD mod. 8111 A
- 1 oscilloscopio a doppia traccia TEKTRONIX mod. 2235 A
- 1 multimetro digitale FLUKE 77
- cavi coassiali Lemo e BNC per effettuare i collegamenti tra la breadboard e gli strumenti



**Figura 7.** Connessioni nel circuito integrato LM 339.

Il circuito integrato LM 339 si compone di quattro amplificatori operazionali indipendenti, di un ingresso per la tensione di alimentazione  $V_{CC}$ , comune a tutti gli amplificatori, e di un piedino per la messa a terra dei componenti. In figura 7 sono schematizzate le connessioni tra i piedini e i componenti del circuito integrato. Si ricorda che il piedino numero uno è situato a sinistra della piccola scanalatura a forma di U sul dorso del circuito.

Ciascun A.O. può essere alimentato con una tensione continua positiva variabile tra 2V e 36V, oppure, utilizzando il piedino GND, da una tensione bipolare in un range compreso tra  $\pm 1V$  e  $\pm 18V$ .

## 3. Traccia per l'esecuzione dell'esperienza

In primo luogo, si reperiscano le resistenze necessarie per lo svolgimento dell'esperienza, avendo cura di verificarne il valore mediante l'utilizzo del multimetro digitale.

Si procede poi a montare sulla breadboard il circuito illustrato in figura 9. Si può scegliere uno qualsiasi dei quattro amplificatori operazionali presenti nel circuito integrato LM 339. Inizialmente, le resistenze da utilizzare sono le seguenti:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = R_3 = 1 M\Omega \\ R_L &= 100 k\Omega \\ R_{pull-up} &= 3 k\Omega \end{aligned}$$

È opportuno utilizzare una “terra” comune per il circuito e gli altri strumenti. Si alimenti l’A.O. collegando il piedino n° 3 (+V) con il generatore di tensione continua HP E3610A. Come già accennato, il *range* della tensione di alimentazione deve essere compreso tra 2 e 36V<sub>DC</sub>; si scelga un valore intermedio, ad esempio di circa 15V.

I due segnali da inviare all’oscilloscopio devono essere prelevati all’ingresso invertente dell’amplificatore ed ai capi della resistenza  $R_L$ . Nel caso si utilizzino le sonde dell’oscilloscopio, si ricordi di selezionare la funzione “ATTENUAZIONE SONDA 10x” dello strumento. Il segnale di *trigger* può essere prelevato direttamente dal generatore di funzioni HP 8111A (lo strumento è caratterizzato da un’uscita per il *trigger* esterno).

Si colleghi il generatore di funzioni HP 8111A con l’ingresso invertente dell’A.O., e si selezioni un’onda triangolare e non negativa (con tensione minima uguale a zero). È necessario quindi fornire all’onda un *offset* non nullo. Queste operazioni possono essere compiute osservando direttamente il segnale visualizzato sull’oscilloscopio. Il picco di tensione deve essere superiore alla soglia  $V_{S2}$  del trigger di Schmitt (solo in questo modo è possibile visualizzare l’isteresi!). Si determini la tensione  $V_{S2}$  utilizzando l’equazione (2), dopodiché si selezioni il picco dell’onda triangolare tenendo conto di questo valore.

Se tutto è stato fatto correttamente, è possibile osservare sul display dell’oscilloscopio, contemporaneamente, il segnale di ingresso (onda triangolare) ed il segnale in uscita dal trigger di Schmitt che, come suggerisce la teoria, è un’onda quadra. Selezionando il modo di visualizzazione “x-y” (sugli assi sono proiettati i segnali inviati ai due canali dell’oscilloscopio) si osserva la caratteristica curva d’isteresi presentata in figura 3.

A questo punto si procede alla rilevazione dell’isteresi  $\Delta V$ , in modo diretto (osservando l’immagine sull’oscilloscopio) e confrontando il valore trovato con quello “teorico” dato dall’equazione (3). In seguito si può cercare un’eventuale dipendenza dell’isteresi dalle caratteristiche dell’onda in ingresso: ad esempio, mantenendo fissa l’ampiezza del segnale di ingresso e variando la sua frequenza, poi mantenendo fissa la frequenza e facendo variare l’ampiezza. L’esperienza dovrebbe mettere in luce la totale indipendenza dell’isteresi sia dal valore della frequenza che dal valore dell’ampiezza del segnale di ingresso nel trigger di Schmitt.

Successivamente, si ripetano le operazioni sin qui descritte sostituendo la resistenza da 560K $\Omega$  dapprima a  $R_1$  quindi a  $R_2$  ed in fine a  $R_3$  in modo da avere un’analisi completa di come varia l’isteresi al variare delle tensioni di soglia (si ricorda che le tre resistenze  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  costituiscono il partitore di tensione che fornisce la tensione di soglia in luogo di un generatore).

#### 4. Analisi dei dati

Gli errori sulle resistenze sono da stimare allo 0,5% + 1 digit del valore letto sul display, secondo il manuale del multimetro FLUKE 77; l’errore su  $V_{CC}$  è invece di 0,01 V.

Per quanto riguarda le misure effettuate osservando le immagini visualizzate sull’oscilloscopio, l’errore deve essere determinato in base alla scala utilizzata.

Infine, si tenga presente che gli errori sui valori delle resistenze e della tensione  $V_{CC}$  si “propagano” nel calcolo dell’isteresi  $\Delta V$ . Si utilizzino quindi le relative formule di propagazione degli errori di Gauss.