



Università degli Studi di Bergamo

SCUOLA DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica (LM-32)

Laboratorio di Elettronica - Trigger di Schmitt, Oscillatore e Monostabile

Gruppo:

Raffaele Giacomo Giovanni Di Maio

Matricola 1053435

Nicholas Iotti

Matricola 1058728

Giorgio Passarella

Matricola 1079287

Emilio Meroni

Matricola 1080976

Anno Accademico 2025–2026

Trigger di Schmitt

L'amplificatore operazionale è un circuito elettronico che permette di confrontare due tensioni in ingresso e fornire la differenza tra le due moltiplicata per un fattore di amplificazione A .

$$V_{out} = A \cdot (V^+ - V^-)$$

Nel caso ideale $A \rightarrow \infty$, pertanto l'uscita V_{out} saturerà alla tensione di alimentazione positiva V_{DD} solo se la differenza tra le due tensioni è maggiore di zero, altrimenti $V_{out} = -V_{DD}$.

Questo permette di utilizzarlo come comparatore di due tensioni. Tuttavia nella realtà sono presenti delle problematiche dovute alla presenza di rumore elettronico che porta il segnale in uscita ad avere degli scatti spuri dovuti al ripetuto passaggio della soglia a causa del rumore stesso. Per risolvere questo problema si utilizza il trigger di Schmitt 1.

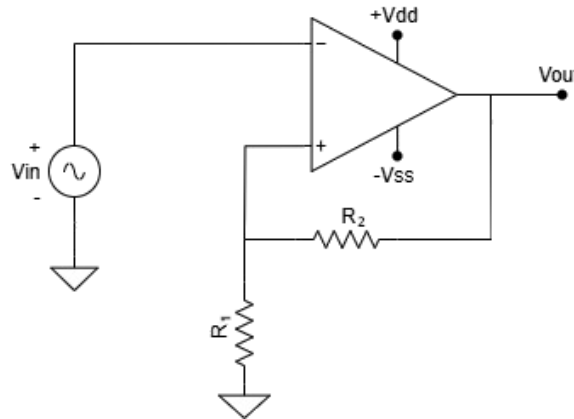


Figura 1: Schematico del Trigger di Schmitt

Grazie all'utilizzo di una soglia dinamica, dipendente da V_{out} , permette di avere in uscita un segnale meno sensibile al rumore in ingresso. In particolare la soglia si modifica secondo questi punti:

1. Ipotezzando uno stato iniziale in cui $V_{in} \ll 0$ allora si ha che V_{out} satura a V_{DD} , questo porta ad avere un potenziale in V^+ pari a:

$$V^+ = \frac{R_1}{R_2 + R_1} \cdot V_{DD} \xrightarrow{\text{Hp: } R_1=R_2} \frac{V_{DD}}{2} = V_H^+$$

determinando la soglia;

2. Quando $V_{in} > V_H^+$ allora V_{out} diventa pari a V_{SS} , ciò comporta ad avere $V^+ = \frac{V_{SS}}{2} = V_L^+$, ovvero una nuova soglia;

3. Si rimane nello stato 2 fino a quando V_{in} diventa inferiore di V_L^+ , se si supera la soglia si riparte dal punto 1.

Questo andamento genera un ciclo di isteresi con ampiezza pari a:

$$\text{Ampiezza} = \frac{2R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{DD} \xrightarrow{\text{Hp: } R_1=R_2} V_{DD}$$

La quale si può verificare a figura 2.

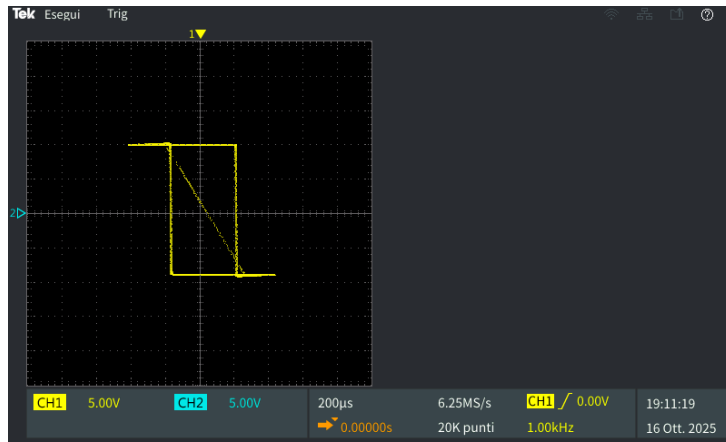


Figura 2: Ciclo di isteresi del Trigger di Schmitt

I valori utilizzati per testarne il funzionamento sono riportati a tabella 1:

Elemento	Valore
V_{DD}	10 V
$V_{in\ pp}$	20 V
$freq$	1 KHz
R_1	9.0 KΩ
R_2	9.0 KΩ

Tabella 1: Valori utilizzati nel circuito: Trigger di Schmitt.

Da cui sono stati ricavati i grafici a figura 3.

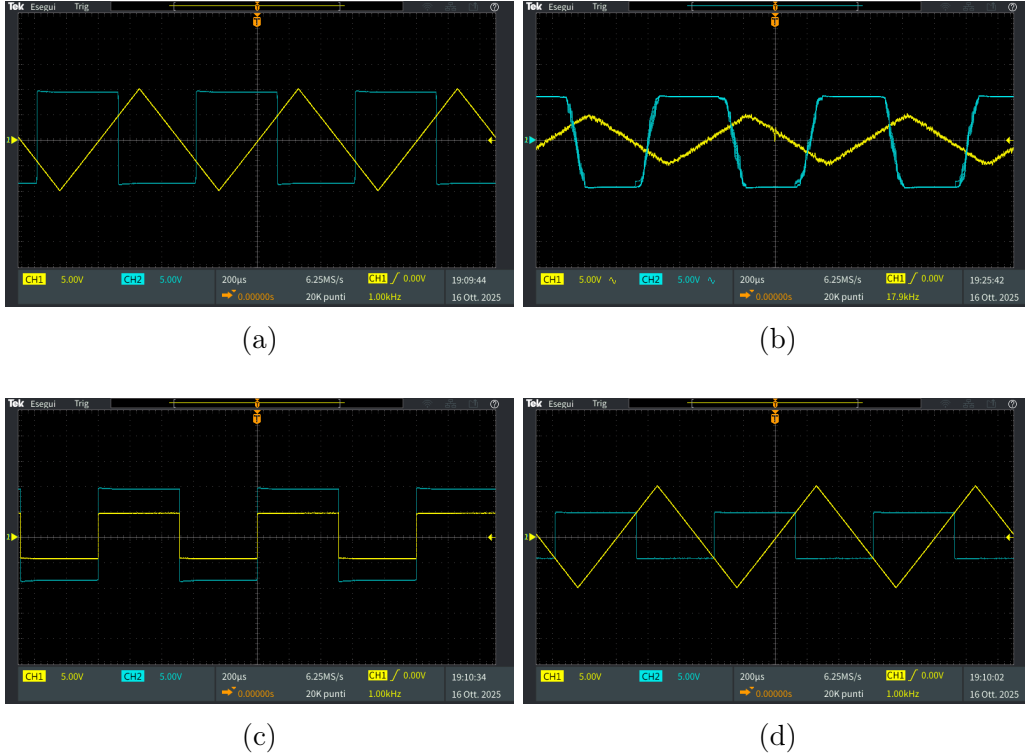


Figura 3: Figure *a* e *b*: V_{in} in giallo e V_{out} in azzurro, confronto con segnale in ingresso non rumoroso (*a*) e rumoroso (*b*). Figura *c*: in giallo la soglia dinamica, V^+ , in azzurro l'uscita. Figura *d*: Soglia dinamica confrontata con l'ingresso (in giallo).

Oscillatore

L'oscillatore è un circuito elettronico che genera un segnale ad onda quadra, in questa particolare implementazione si sfrutta il *Trigger di Schmitt* e la carica/scarica di un condensatore, figura 4. Il funzionamento del circuito si può suddividere in due fasi:

- $V_{out} = V_{DD}$: La corrente fluisce da destra verso sinistra caricando il condensatore con una costante di tempo $\tau = R \cdot C$, inoltre si ottiene un potenziale nel morsetto positivo, dell'amplificatore, pari a:

$$V^+ = V_H^+ \xrightarrow{\text{Hp: } R_1=R_2} \frac{V_{DD}}{2}$$

Si rimane in questa condizione finché la capacità non si carica fino ad avere una caduta di tensione pari (o maggiore) a V_H^+ .

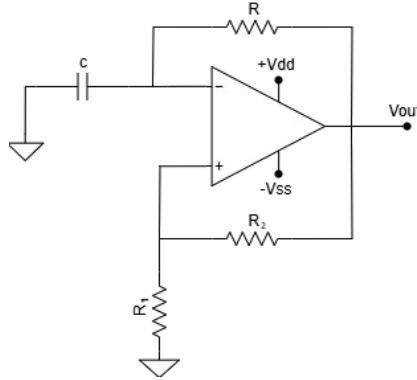


Figura 4: Schematico oscillatore.

- Nel momento in cui V^- supera V^+ in uscita si ottiene V_{SS} , la quale modifica la V^+ portandola a una tensione pari a $V_L^+ = \frac{V_{SS}}{2}$. In questa condizione la corrente in R scorre da sinistra verso destra, scaricando il condensatore fino a quando la tensione in V^- diventa inferiore a V_L^+ portando di nuovo il circuito nello stato precedente.

Tramite l'equazioni di carica e scarica:

$$V_c(t) = V^-(t) = V_{\text{finale}} + (V_{\text{iniziale}} - V_{\text{finale}}) \cdot e^{-t/\tau}$$

Si può determinare i tempi in cui V_{out} è alta e bassa, determinando così il valore della frequenza di oscillazione.

$$\text{Carica} \Rightarrow V_{DD} + (V_L^+ - V_{DD}) \cdot e^{-T_1/\tau} = V_H^+$$

$$\text{Scarica} \Rightarrow V_{SS} + (V_H^+ - V_{SS}) \cdot e^{-T_2/\tau} = V_L^+$$

Per le quali utilizzando $|V_{DD}| = |V_{SS}|$ si ottiene:

$$T_1 = T_2 = \tau \ln \left(\frac{R_2 + 2R_1}{R_2} \right)$$

Questo risultato ci porta concludere che il duty cycle è pari al 50%, e la frequenza di oscillazione è pari a $f = \frac{1}{T_1 + T_2}$, la quale è inversamente proporzionale alla costante di tempo τ .

I valori utilizzati per questo circuito sono indicati a tabella 2, a figura 5 viene mostrato l'andamento dell'uscita al variare di V^- . Infine si sono effettuate diverse prove per confermare la relazione $f \propto 1/\tau$ modificando la resistenza variabile R , figura 6.

In particolare questo circuito, mantenendo sempre $|V_{DD}| = |V_{SS}|$, avrà sempre un duty cycle pari al 50%, se si volesse modificare si potrebbero utilizzare due resistenze diverse, una per la carica e una per la scarica, utilizzando due diodi per far scorrere la corrente nel modo corretto.

Elemento	Valore
V_{DD}	10 V
R_1	9.0 K Ω
R_2	9.0 K Ω
R	Resistenza variabile
C	70 nF

Tabella 2: Valori utilizzati nell'oscillatore.

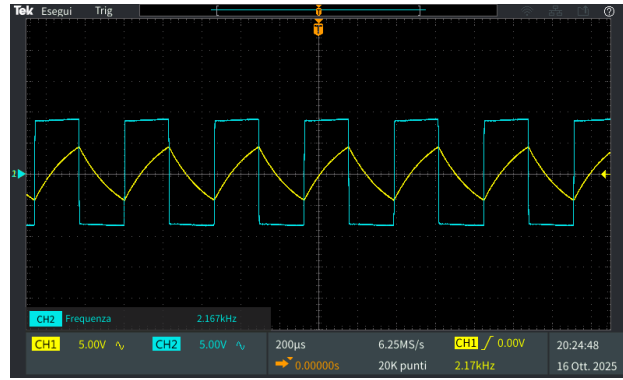


Figura 5: Schermata dell'oscilloscopio, in giallo V^- mentre in azzurro l'uscita V_{out} .

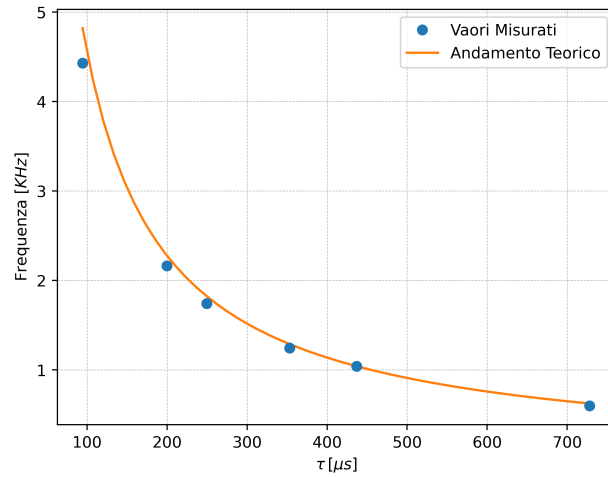


Figura 6: Variazione della frequenza al variare della costante di tempo τ .

Monostabile

Il Monostabile è un circuito elettronico che riceve in ingresso un segnale e dà in uscita un impulso di durata ben definita. Inoltre, il fronte d'onda ascendente del segnale in uscita è sincronizzato con il fronte d'onda discendente del segnale in ingresso.

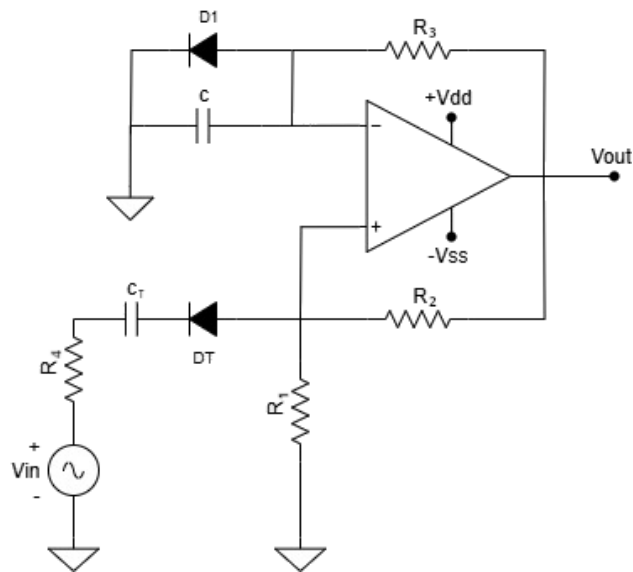


Figura 7: Schematico del circuito monostabile.

Nella prima configurazione mostrata in (Figura da inserire) con diodo collegato in parallelo alla capacità, il comportamento del circuito si può suddividere in due fasi: nella prima fase, la capacità si carica attraverso la resistenza fino a raggiungere circa 0.7 V. A questo punto il diodo entra in conduzione, offrendo un percorso a bassa resistenza alla corrente. Di conseguenza, la carica del condensatore si arresta e l'uscita si stabilizza intorno a 0.7 V.

L'aggiunta di un derivatore (filtro passa-alto) (Figura da inserire) consente di ottenere brevi impulsi in corrispondenza dei fronti del segnale di ingresso, modificando così il comportamento della soglia dinamica del circuito. Collegando un diodo al derivatore si selezionano soltanto gli impulsi negativi, ottenendo un disaccoppiamento del segnale dal resto del circuito.

La durata dell'impulso è definita dalla costante τ e dalle resistenze R_1 e R_2 :

$$T_A = \tau \cdot \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right).$$

Nella tabella di seguito sono presenti i valori dei componenti utilizzati nella realizzazione del circuito.

Elemento	Valore
$freq$	100 Hz
V_{DD}	10 V
R_1	9.0 K Ω
R_2	9.0 K Ω
R_3	10.3 K Ω
R_4	9.0 K Ω
C	70 nF
C_T	1 nF

Tabella 3: Valori utilizzati nel circuito monostabile.