

Esercitazione N.7: Usi non lineari dell' OpAmp

Gruppo AC

Federico Belliardo, Giulia Franchi, Francesco Mazzoncini

November 24, 2016

Questa esperienza ha come obbiettivo quello di studiare il funzionamento di un amplificatore operazionale modello TL081 in circuiti non lineari.

A. Discriminatore

Si è montato il circuito in figura1, utilizzando $V_{CC} = 14.96 \pm 0.08 V$ e $V_{EE} = -14.96 \pm 0.08 V$ come tensioni di alimentazione.

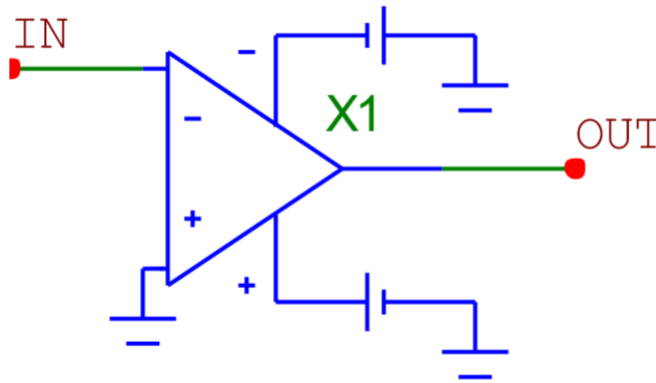


Figure 1: Discriminatore realizzato con un OpAmp modello TL081.

Si è poi proseguito con lo studio della risposta del circuito ad un segnale sinusoidale. Il circuito ideale dovrebbe funzionare come un comparatore. Se così fosse, il segnale in ingresso verrebbe invertito e amplificato e l'amplificatore, a causa del grande guadagno dell'operazionale, andrebbe in saturazione restituendo un segnale uguale alla tensione di alimentazione (V_{EE} per un segnale positivo e V_{CC} per uno negativo). Per basse frequenze il comportamento è quello ideale del discriminatore (l'uscita è un'onda quadra), come si vede in fig.??.

[prendere questa immagine!]

Purtroppo il circuito da noi analizzato non è un amplificatore ideale e come tale presenta dei limiti al suo funzionamento.

Come primo limite vediamo l'influenza della tensione di offset V_{OS} , che dalla fig.2 è stimata essere $V_{OS} = 25.6 \pm 0.8 mV$.

Inoltre all'aumentare della frequenza si notano gli effetti dello *slew rate* finito dell'OpAmp. La pendenza delle rette che costituiscono la transizione tra uscita alta e bassa satura e il segnale diventa sempre più simile a un'onda trapezoidale, per diventare poi un'onda triangolare, vedi fig.3.

Abbiamo valutato lo *slew rate* con due misure di tensione e di tempo: $dV = 4.00 \pm 0.04 V$ e $dt = 336 \pm 4 ns$, da questa si ricava la misura $slew rate = 11.9 \pm 0.4 \frac{V}{\mu s}$, questo valore è simile a quello trovato nell'esperienza precedente $slew rate = 11.4 \pm 0.6 \frac{V}{\mu s}$.

Ad alta frequenza e a basso segnale si osserva clipping inferiore o superiore del segnale, questo dipende dal segno dell'offset che il generatore di funzioni fornisce, infatti nell'opAmp un segnale a frequenza nulla viene integrato e l'uscita si satura alla tensione di alimentazione che ha segnale opposto ([giusto?]) all'offset, come si vede in fig. 4.

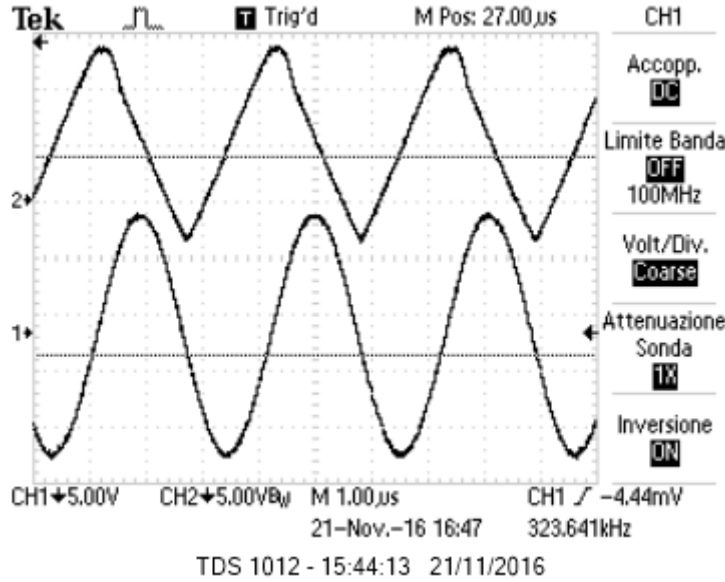


Figure 3: Effetto dello *slew rate* sull'uscita del discriminatore.

Si sono misurati sull'oscilloscopio il tempo impiegato dall'esponenziale a scendere sotto i 200 mV (fig. 9) e il tempo per cui il segnale di uscita è alto (10), i due valori sono $t_1 = 340 \pm 4\text{ }\mu\text{s}$ e $t_2 = 336 \pm 4\text{ }\mu\text{s}$ rispettivamente, i due valori di tempo sono compatibili tra di loro.

[Dire perchè il condensatore si carica a +6 e non a +3!!]

2. Dipendenza del segnale in uscita dall'ampiezza del segnale in ingresso

Sempre mantenendo una frequenza fissa $f = 100 \pm 1\text{ Hz}$, si è misurata, al variare dell'ampiezza, la durata nel tempo del segnale in uscita dal discriminatore, i dati sono riportati nella tabella seguente.

•	$V_{IN}(V)$	$\Delta t_{atteso}(\mu s)$	$\Delta t_{misurato}(\mu s)$
1	6.00 ± 0.06	340 ± 10	336 ± 4
2	4.00 ± 0.04	300 ± 10	293 ± 4
3	2.00 ± 0.01	230 ± 8	220 ± 4

Dalla $V_- = V_S \frac{C_T}{C_F} e^{-\Delta t / R_1 C_F}$, si ottiene $\Delta t = -R_1 C_F \log \left(\frac{V_- C_F}{V_S C_T} \right)$, i valori di tempo attesi sono riportati in tabella, insieme a quelli misurati, si può riscontrare che vi è accordo entro l'errore.

Per una tensione in ingresso (massimo valore di 330 mV si vede che il segnale in uscita dall'amplificatore di carica perde la forma d onda quadra e incomincia a diventare sinusoidale (fig. 12), per una tensione in ingresso che scende sotto il valore di soglia di 200 mV il trigger non si attiva, come si vede in figura ??.

[Analisi dati]

C. Trigger di Schmitt

0.1 1. Montaggio, descrizione del circuito e valutazione tensioni di soglia

Si è montato il circuito in figura13 con $R_1 = \pm k\Omega$ e $R_2 = \pm k\Omega$, alimentando l'operazionale con $V_{CC} = V_{EE} = \pm V$.

Questo circuito è un trigger di Schmitt, ovvero un circuito discriminatore con isteresi e reazione positiva. Al circuito è stata inviata una tensione sinusoidale di ampiezza $V_S = \pm V$ a frequenza fissa $f = \pm \text{Hz}$, successivamente si sono misurate le tensioni in uscita nei due stati possibili del circuito: $V_{OH} = \pm V$ e $V_{OL} = \pm V$, dalle quali si sono ricavati i valori attesi per le tensioni di soglia $V_{1,ATT,TH} = -V_{OH} / (1 + R_1 / R_2) = \pm V$ e $V_{2,ATT,TH} = V_{OL} / (1 + R_1 / R_2) = \pm V$. Si sono poi misurate direttamente le tensioni $V_{1,TH} = \pm V$ e $V_{2,TH} = \pm V$ [sono in accordo o no?!].

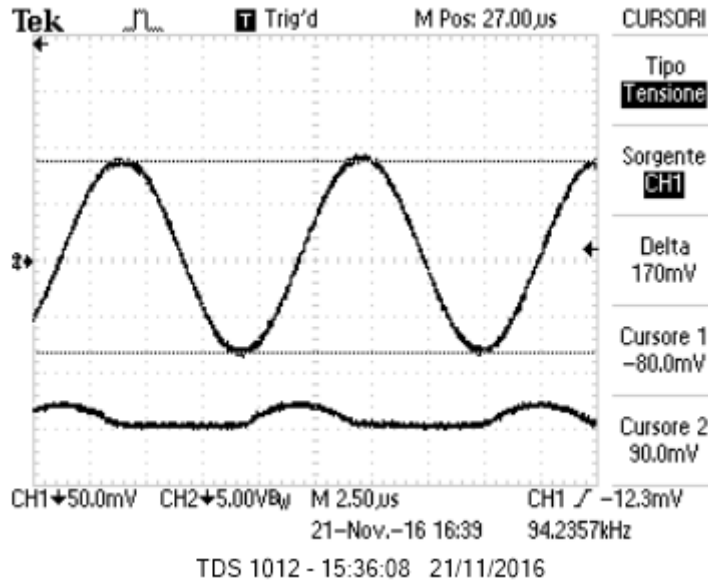


Figure 4: Clipping del segnale sinusoidale ad alta frequenza.

2. Dipendenza dall'ampiezza e dalla frequenza e limiti del circuito

D. Multivibratore astabile

1. Analisi e montaggio del circuito

Un circuito multivibratore astabile come quello in figura14 può essere realizzato partendo dal trigger di Schmitt e inserendo componenti nuovi: una resistenza R , un condensatore C e due diodi Zener T11N753A.

2. Breve spiegazione circuito oscillatore

Il condensatore inizialmente carico si scarica sulla resistenza R (infatti il tempo caratteristico dell'oscillazione è determinato da $\tau = RC$), finchè non raggiunge la tensione di *threshold* inferiore del trigger (data da V_+), allora la tensione in uscita commuta a $+V_D$ e anche il *threshold* cambia (trigger di *Schmitt*), il condensatore si carica per raggiungere la tensione $V_D = V_{OUT}$, ma quando raggiunge la tensione di *threshold* superiore l'uscita commuta nuovamente e il condensatore ricomincia a scaricarsi.

Si è determinato il periodo di oscillazione in funzione degli elementi resistivi:

$$T = 2\tau \log \left(1 + 2\frac{R_2}{R_1} \right) = 1.94 \pm 0.08 \text{ ms}$$

Dunque per ottenere un periodo dell'onda quadra di $\sim 2 \text{ ms}$ si deve scegliere $\tau = RC \simeq 0.9 \text{ ms}$. A questo punto abbiamo potuto montare il circuito con $R = 3.87 \pm 0.04 \text{ k}\Omega$, un condensatore $C = 229 \pm 9 \text{ nF}$, $R_1 = 9.78 \pm 0.08 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 9.80 \pm 0.08 \text{ k}\Omega$ e $R_3 = 0.961 \pm 0.008 \text{ k}\Omega$, con un'alimentazione per l'OpAmp di $V_{CC} = 14.8 \pm 0.3 \text{ V}$ e $V_{EE} = -14.9 \pm 0.3 \text{ V}$.

3. Verifica funzionamento del circuito

[punti 2 e 3 della scheda]

I diodi zener servono per mantenere costante la tensione V_{OUT} ¹ a $V_D = V_Z + V_\gamma$. Per il diodo Zener $V_Z \sim 6.2 \text{ V}$ ² e $V_\gamma \sim 0.7 \text{ V}$, dunque $V_D \sim 6.9 \text{ V}$. Sappiamo che le tensioni di *threshold* superiore e inferiore per il trigger di *Schmitt* sono: $V_{TH} = \pm \frac{V_D}{1 + \frac{R_1}{R_2}} = \pm 3.45 \pm 0.05 \text{ V}$, dunque la tensione picco-picco attesa per il segnale $V_+ = 6.9 \pm 0.1 \text{ V}$

Nelle figure 16, 17, 18 si vedono i segnali V_+ , V_{OUT} e V_- .

Il segnale V_+ è un'onda quadra di ampiezza picco-picco pari a $V_{+,pp} = 6.84 \pm 0.04 \text{ V}$, in buon accordo con il valore atteso. Il periodo misurato è $T = 1.99 \pm 0.01 \text{ ms}$, anch'esso in accordo con il valore calcolato teoricamente.

¹A meno di un segno a seconda di quale diodo è polarizzato in diretta.

²Il costruttore non fornisce incertezza.

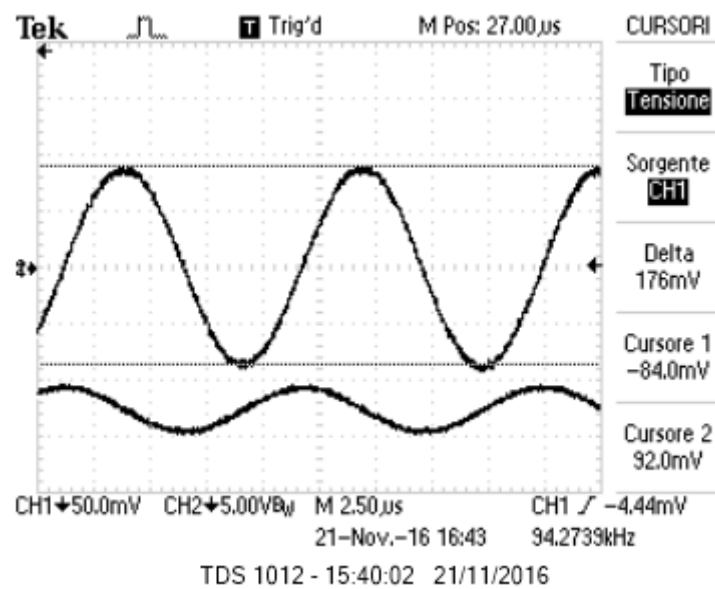


Figure 5: Segnale sinusoidale integrato con offset (in uscita) in basso.

4. Dipendenza dalla tensione di alimentazione
5. Limitazioni alla frequenza del segnale in ingresso

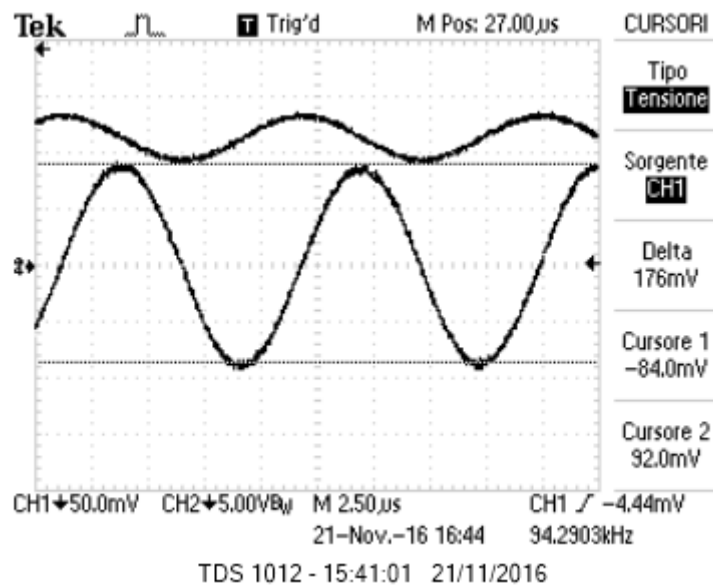


Figure 6: Segnale sinusoidale integrato con offset (in uscita) in alto.

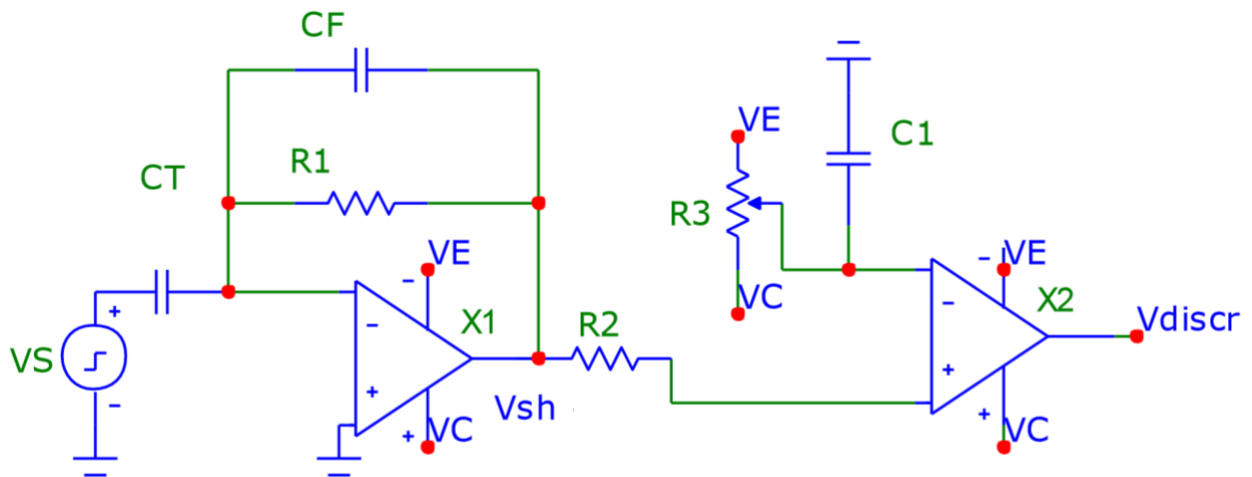


Figure 7: Amplificatore di carica realizzato con un OpAmp modello TL081.

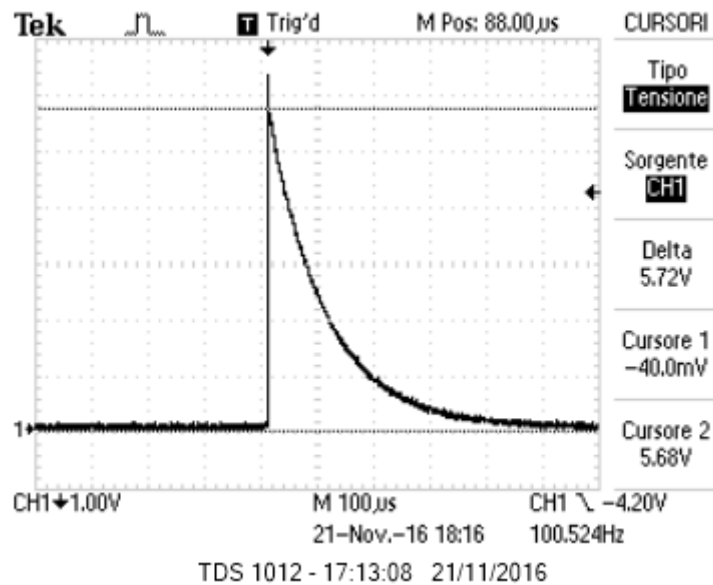


Figure 8: Misura del massimo valore dell'esponenziale $V_{SH,MAX}$.

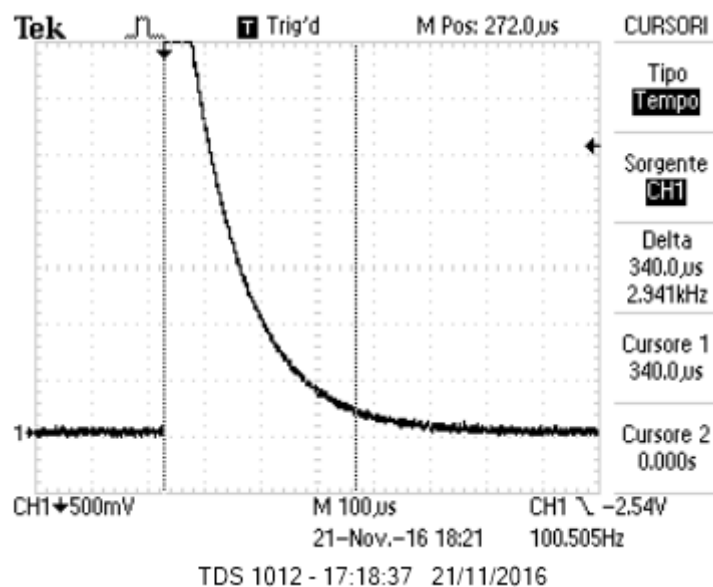


Figure 9: Tempo t_1 impiegato dall'ingresso del discriminatore a scendere sotto soglia.

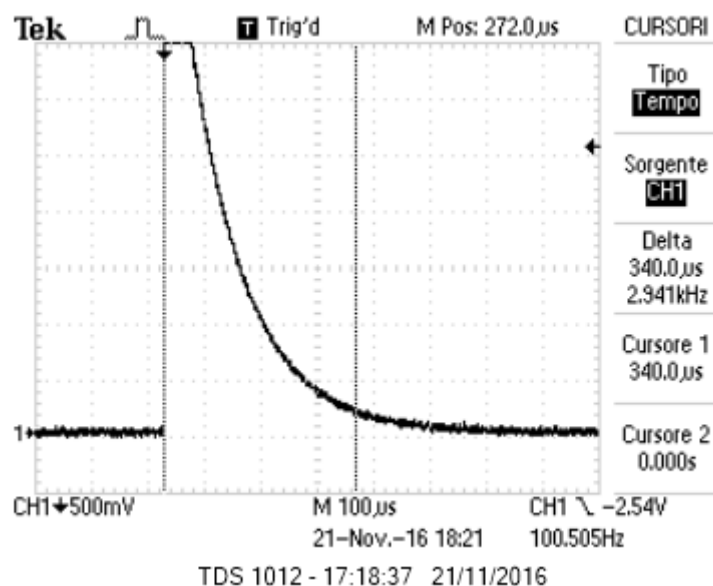


Figure 10: Tempo in cui l'uscita del discriminatore si mantiene positiva.

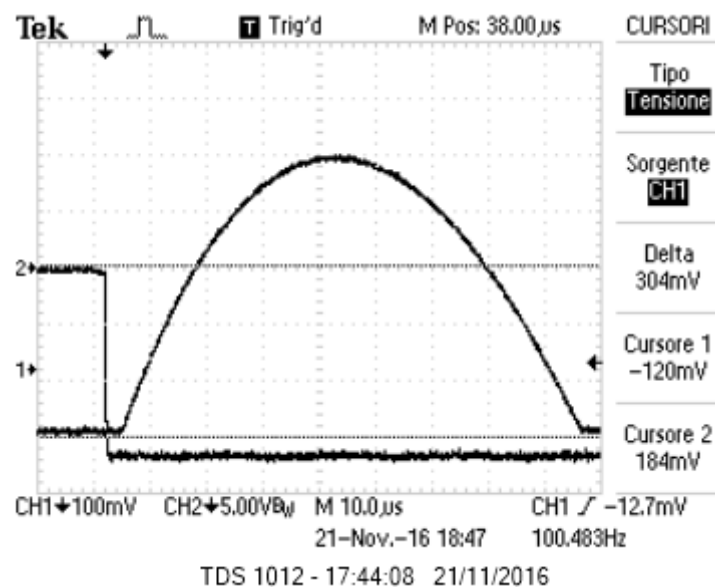


Figure 11: Tensione in ingresso al trigger del valore di 300 *mV*.

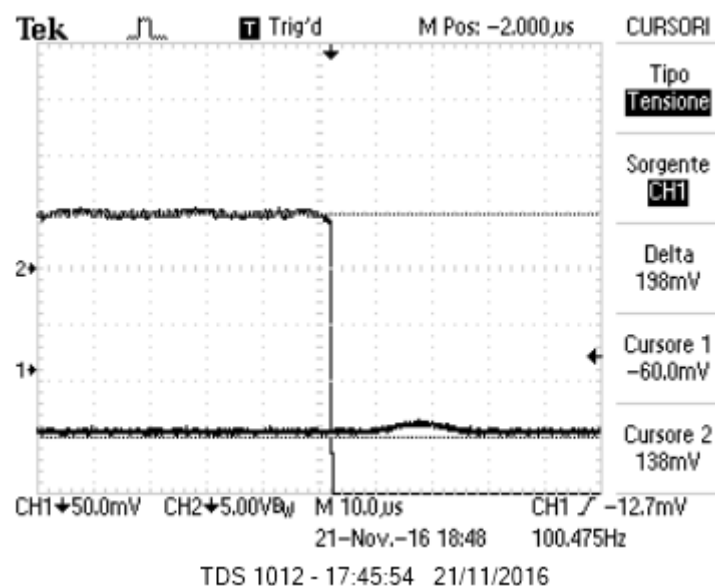


Figure 12: Tensione in ingresso al trigger del valore di 300 *mV*.

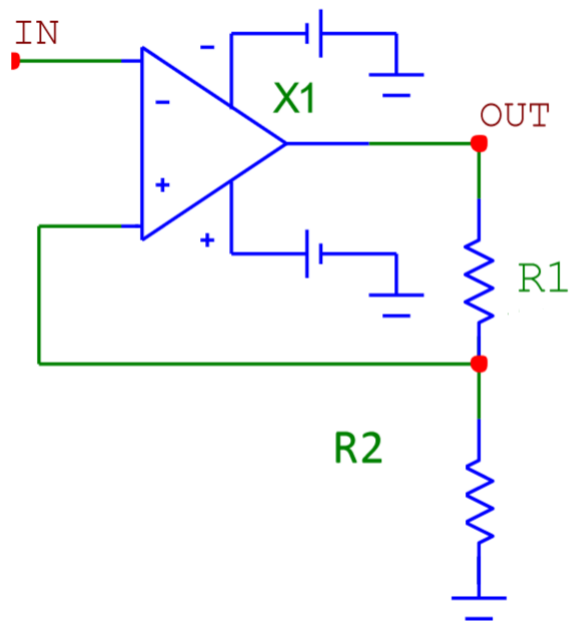


Figure 13: Trigger di Schmitt realizzato con un OpAmp modello TL081.

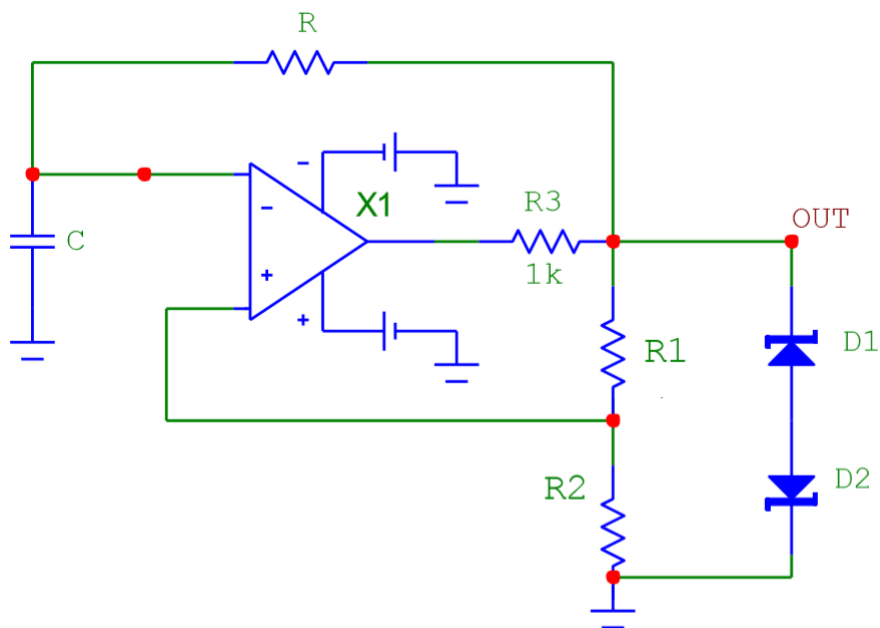


Figure 14: Multivibratore asyabile realizzato con un OpAmp modello TL081.

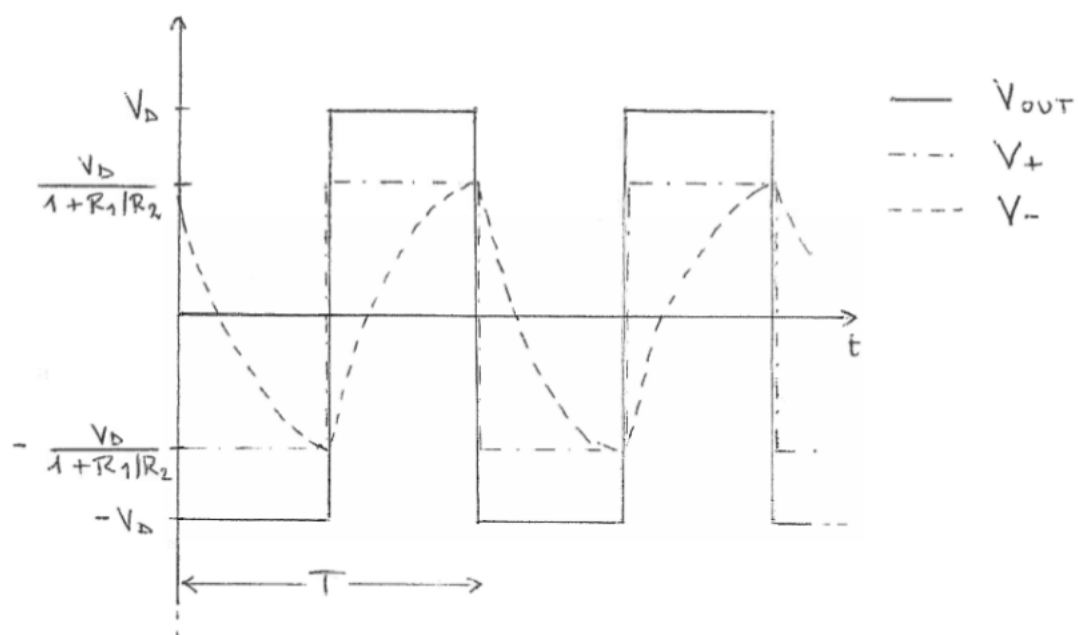


Figure 15: Segnali del multivibratore.

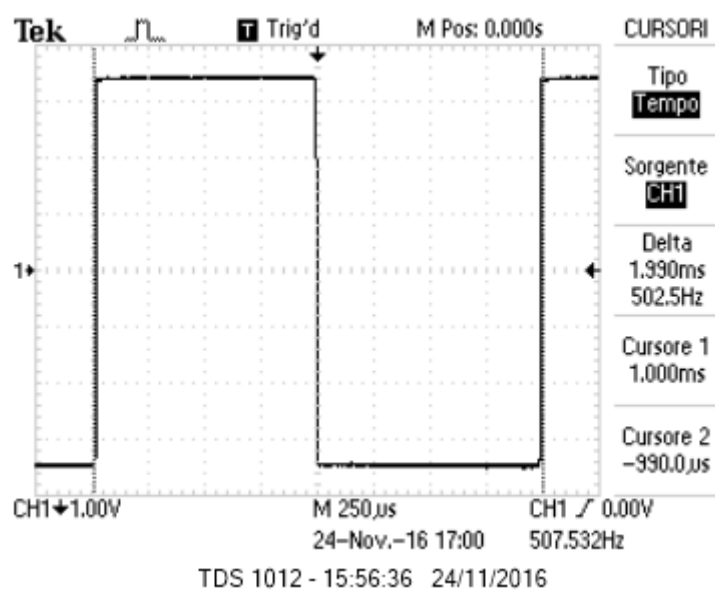


Figure 16: Segnale V_+ dell'opAmp.

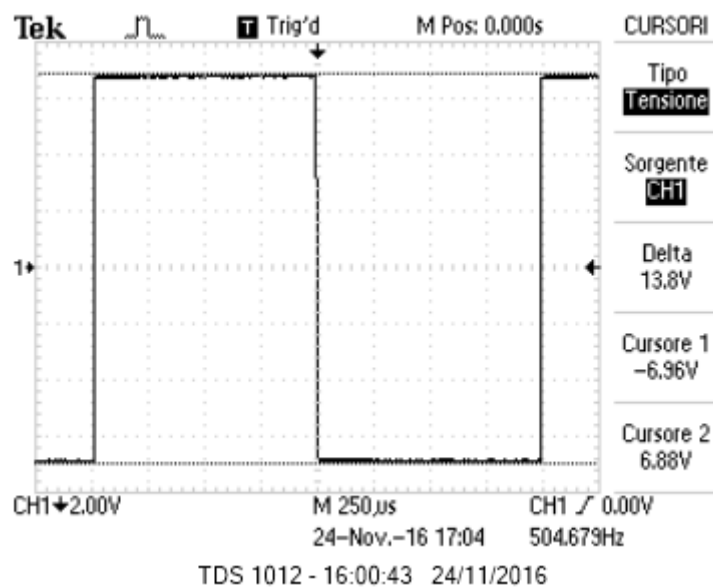


Figure 17: Segnale V_{out} dell'opAmp.

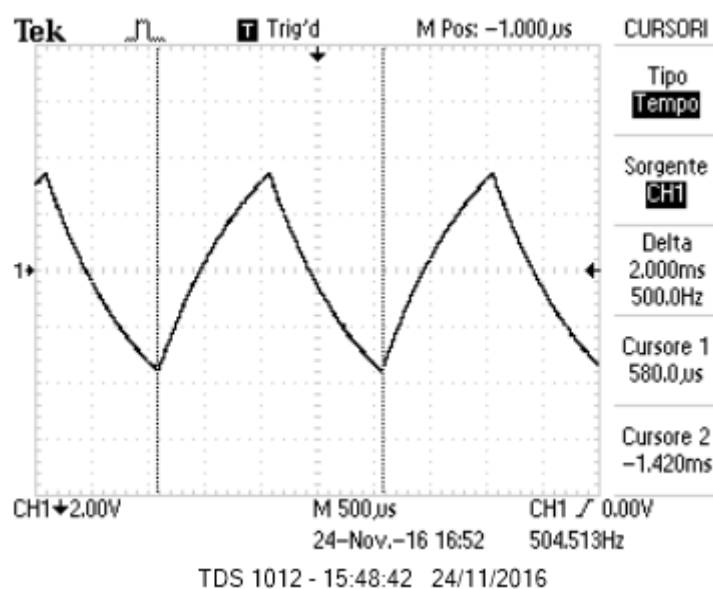


Figure 18: Segnale V_- dell'opAmp.