

Relazione esperienza di laboratorio

Gruppo BI: Federica Maria Surace, Marco Cilibrasi

4 dicembre 2014

Esercitazione N. 8: Usi non lineari dell'OpAmp

1 Discriminatore

Abbiamo montato il circuito discriminatore richiesto usando $V_{CC} = 14.8 \pm 0.4V$ e $V_{EE} = -15.2 \pm 0.4V$. Mandando in ingresso un'onda sinusoidale di ampiezza $V_{in} = 1.28 \pm 0.04V$ e di frequenza $\simeq 100Hz$ osserviamo la risposta in figura 1, esattamente come previsto: un'onda quadra invertita rispetto all'onda in ingresso, con ampiezza picco-picco $V_{pp} = 28.0 \pm 0.8V$, in sostanziale accordo con i valori di V_{CC} e V_{EE} misurati in precedenza.

Rimanendo alla stessa frequenza e diminuendo di molto l'ampiezza del segnale in ingresso ($V_{in} = 12.0 \pm 0.8mV$) si possono osservare gli effetti dell'offset dell'OpAmp. Notiamo infatti in figura 2 una forte asimmetria dovuta proprio all'offset negativo dell'operazionale: il transiente del segnale in uscita non inizia infatti quando $V_{in} = 0V$, bensì quando $V_{in} \simeq 10mV$, da qui la nostra stima $V_{offset} \simeq -10mV$.

Ci portiamo ora alla frequenza di $\simeq 10kHz$ con un'ampiezza del segnale in ingresso di $V_{in} = 10.6 \pm 0.4V$. Andando alla scala di tempi sull'oscilloscopio di $1\mu s/div$ notiamo chiaramente gli effetti dello slewrate (figura 3). Misurando la pendenza della caduta lineare otteniamo $\frac{\Delta V}{\Delta t} = 13.1 \pm 0.7V/\mu s$, in accordo con il valore di $13V/\mu s$ ripostato sul datasheet.

Passiamo ora alla frequenza di circa $100kHz$ con un segnale in ingresso di $V_{in} = 142 \pm 4mV$. In questo range di frequenze (solo un'ordine di grandezza sotto GBW indicato nel datasheet), osserviamo che l'OpAmp non ha più guadagno infinito (non raggiunge infatti la saturazione, anche se l'effetto dell'offset non permette di osservare bene il fenomeno). Con una misura rozza si può stimare il guadagno intorno ai $25dB$. In figura 4 osserviamo quanto descritto, in particolare possiamo osservare anche lo sfasamento del segnale in uscita dovuto all'effetto integrante del circuito ad alte frequenze. (NB in figura il CH1, cioè il canale di uscita, è visualizzato in AC poichè, per l'effetto dell'offset osservato in precedenza, il segnale è meno amplificato, ma spostato verso $15V$).

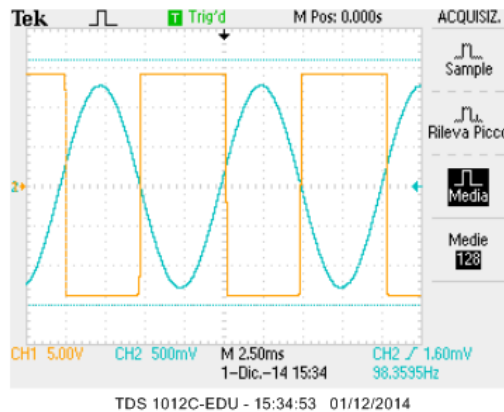


Figura 1: Discriminatore: funzionamento

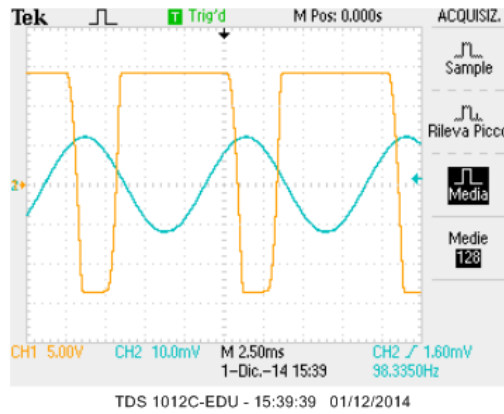


Figura 2: Discriminatore: offset

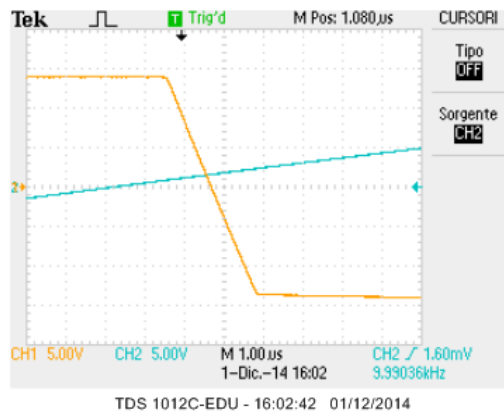


Figura 3: Discriminatore: slewrate

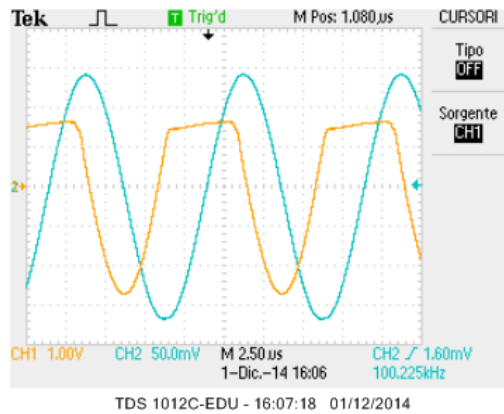


Figura 4: Discriminatore: BGW

2 Amplificatore di Carica

Abbiamo montato il circuito richiesto usando le stesse V_{CC} e V_{EE} usate in precedenza, $C_T = 1.08 \pm 0.04nF$, $C_1 = 21.7 \pm 0.9nF$, $C_F = 1.01 \pm 0.04nF$, $R_2 = 99.2 \pm 0.8\Omega$, $R_1 = 98.1 \pm 0.8k\Omega$ e $R_3 = 92.7 \pm 0.7k\Omega$. Abbiamo regolato il potenziometro R_3 in modo che la tensione di soglia del discriminatore fosse circa $200mV$ e abbiamo mandato in ingresso un'onda quadra di frequenza $f \simeq 100Hz$ e ampiezza picco-picco $V_0 \simeq 6V$. Dall'analisi del circuito ci aspettiamo quindi $V_{sh} = \frac{C_T}{C_F} V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \simeq V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ con

$\tau = R_1 C_F = 99 \pm 4 \mu s$, ripetuta periodicamente con lo stesso T dell'onda quadra (l'ampiezza iniziale è proprio V_0 perchè consideriamo un'iniezione di carica istantanea su C_F e C_T). Per l'uscita del discriminatore ci aspettiamo un'onda quadra di ampiezza $V_{pp} = V_{CC} - V_{EE} \simeq 30V$ con periodo asimmetrico: l'onda è positiva quando $V_{sh} > V_{th} = 200mV$, per cui per $t = \tau \ln \left(\frac{V_0}{V_{th}} \right)$, negativa per il restante tempo $T - t$. Dalla figura 6 verifichiamo almeno qualitativamente che il circuito si comporta proprio come previsto. Cerchiamo quindi di capire quantitativamente se le previsioni sono corrette, in particolare cerchiamo di verificare se il valore di τ previsto è in accordo con i dati sperimentali. Misuriamo quindi il tempo t al variare di V_0 . Riportiamo i dati in tabella 1 e nel grafico in figura 5, dove riportiamo anche la curva ricavata dal fit. Dal fit ricaviamo $\tau = 108 \pm 1 \mu s$, in accordo con il valore previsto entro l'8%, $V_{th} = 182 \pm 3mV$ in accordo nel 9% ($\chi^2_{red} = 0.4$).

Come si vede dalle figure 7 e 8, se ci avviciniamo alla tensione di $200mV$ (segnalata sull'oscilloscopio dalla retta orizzontale visibile nelle figure), si osserva molto bene il funzionamento del discriminatore, dato che l'onda quadra passa dal picco positivo a quello negativo esattamente quando il segnale V_{sh} assume il valore di V_{th} . Se l'ampiezza del segnale in ingresso è minore della tensione di soglia il discriminatore non produce un'onda quadra, ma un segnale continuo a V_{EE} , come previsto. La tensione di soglia V_{th} dipende dalla posizione del potenziometro, per cui variando questo parametro del discriminatore si avrà una conseguente variazione del segnale in uscita.

Tabella 1: Amplificatore di carica: misura di tau

$V_{sh}[V]$	$t[\mu s]$
9.8 ± 0.4	428 ± 8
6.6 ± 0.2	388 ± 8
4.5 ± 0.2	344 ± 8
3.00 ± 0.08	300 ± 8
2.08 ± 0.08	266 ± 4
1.42 ± 0.04	226 ± 4
1.00 ± 0.04	188 ± 4
0.65 ± 0.02	140 ± 4
0.45 ± 0.02	97 ± 2

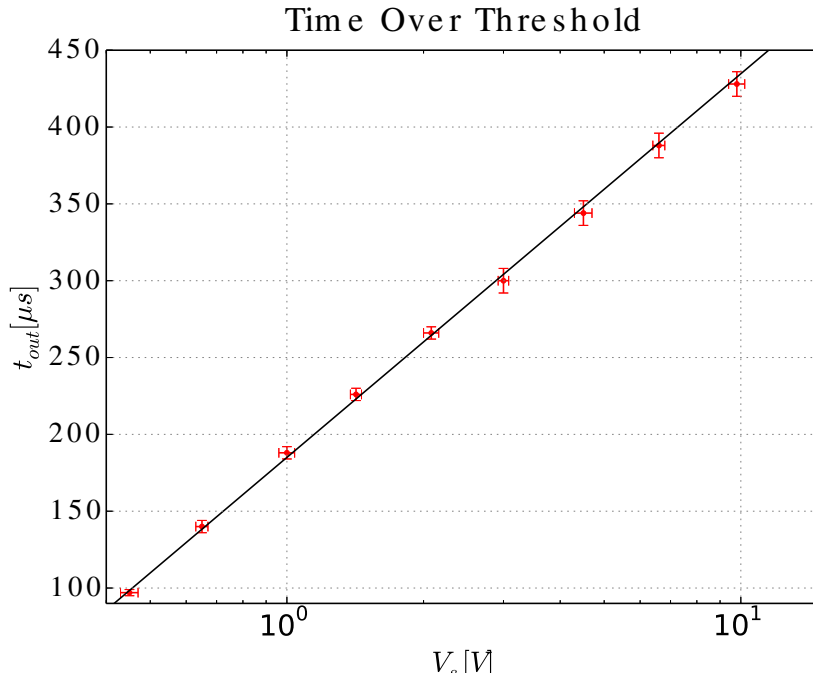


Figura 5: Amplificatore di carica: misura di tau

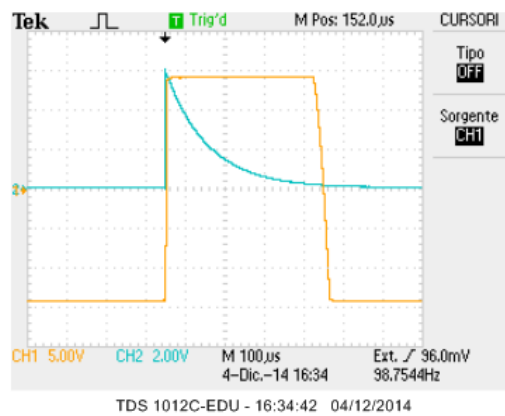


Figura 6: Amplificatore di carica: funzionamento

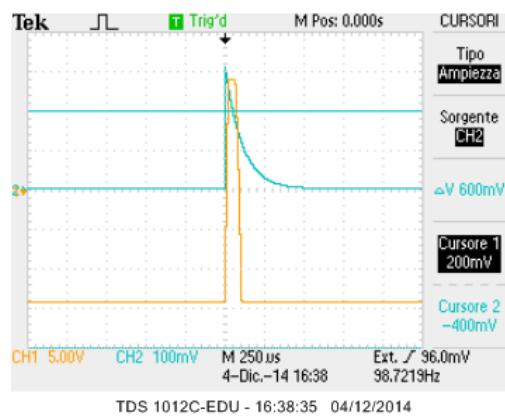


Figura 7: Amplificatore di carica: segnale piccolo



Figura 8: Amplificatore di carica: segnale piccolo

3 Trigger di Schmitt

Il trigger di Schmitt richiesto è stato realizzato utilizzando

- OpAmp TL081 alimentato a una tensione $V_+ = 14.8 \pm 0.4V$ e $V_- = -15.2 \pm 0.4V$;
- $R_1 = 9.97 \pm 0.08k\Omega$;
- $R_2 = 2.14 \pm 0.02k\Omega$.

In figura 9 si può osservare la risposta ad una segnale sinusoidale a $100Hz$: il circuito funziona da trigger con isteresi, ovvero fornisce in uscita un tensione che varia tra i due valori V_{CC} e V_{EE} quando il segnale in ingresso supera una determinata soglia in salita (nel nostro caso $V_{th}^H = \frac{V_{CC}}{1+\frac{R_1}{R_2}} = 2.62 \pm 0.08V$)

o in discesa ($V_{th}^L = \frac{V_{EE}}{1+\frac{R_1}{R_2}} = -2.69 \pm 0.08V$).

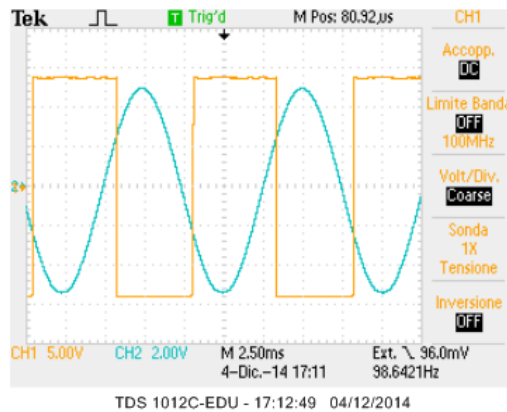


Figura 9: Trigger di Schmitt: risposta ad un segnale sinusoidale a $100Hz$

Riportiamo di seguito le tensioni di soglia misurate con i cursori: $V_{th}^H = 2.72 \pm 0.08V$ $V_{th}^L = -2.48 \pm 0.08V$ in sostanziale accordo con i valori attesi.

All'aumentare della frequenza si può osservare la presenza dello slew rate dell'OpAmp (in figura 10). Dalla misura di $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ si ottiene $SR = 11.4 \pm 0.2V/\mu s$. Inoltre, a bassa ampiezza il trigger non funziona più come atteso perchè il segnale sinusoidale non raggiunge la soglia.

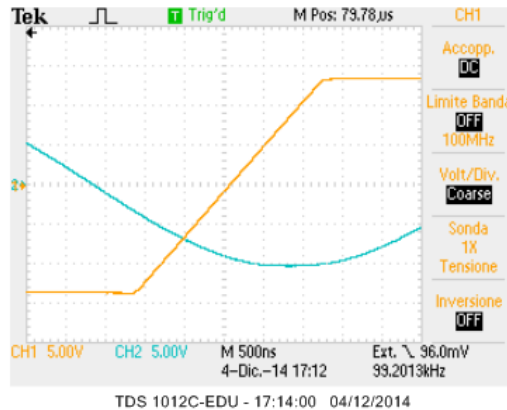


Figura 10: Trigger di Schmitt: risposta ad un segnale sinusoidale a $100kHz$

4 Multivibratore Astabile

Il multivibratore astabile permette di creare un'onda quadra di periodo $T = 2\tau \ln(1 + 2\frac{R_1}{R_2})$: quando la tensione in uscita V_{out} è alta il condensatore si carica fino a raggiungere la soglia del trigger V_{th}^H ; a questo punto V_{out} si inverte e il condensatore si scarica fino all'altra tensione di soglia V_{th}^L , e così via. Il semiperiodo corrisponde al tempo necessario al condensatore per andare da V_{th}^H a V_{th}^L . Si ricava $T = 2\tau \ln(1 + \frac{R_1}{R_2})$.

Abbiamo scelto $R = 37.7 \pm 0.3k\Omega$ e $C = 21.7 \pm 0.9nF$ in modo da avere $\tau = 0.82 \pm 0.03ms$, $T = 1.80 \pm 0.05ms$ ($R_1 = 9.97 \pm 0.08k\Omega$, $R_2 = 9.95 \pm 0.08k\Omega$).

I valori attesi per le tensioni considerate sono:

- $V_{out} = V_\gamma + V_Z \simeq 6.8V$
- $V_-^{max} = V_+ = V_{out} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \simeq 3.4V$

I valori misurati sono:

- $V_{out} = 6.8 \pm 0.2V$
- $V_-^{max} = 3.44 \pm 0.08V$
- $V_+ = 3.48 \pm 0.08V$

compatibili con quelli previsti.

Il periodo misurato vale $1.84 \pm 0.04ms$, anch'esso in accordo con il valore atteso.

I diodi Zener permettono di controllare la tensione V_{out} ottenendo un valore fissato. Questo è possibile perchè tra l'OpAmp e V_{out} è stata posta una resistenza $R_3 = 970 \pm 8\Omega$ su cui si ha una caduta di potenziale.

Il periodo, come l'ampiezza dell'onda, non dipende dalla tensione di alimentazione perchè ha come unica dipendenza i componenti circuitali R , C , R_1 , R_2 . Tuttavia, se si diminuisce la tensione di alimentazione al di sotto di circa $8V$ l'ampiezza dell'onda comincia a diminuire perchè ci avviciniamo al valore di $V_\gamma + V_Z$.

Cambiando C ed R si osserva il funzionamento per varie frequenze, in particolare con $C \simeq 1nF$ e $R = 10k\Omega$ si ha $f \simeq 30kHz$ (figure 13 e 14) e notiamo gli effetti dello slew rate. Il funzionamento ad alte frequenze è limitato infatti dallo slew rate (si misura $SR = 9.5 \pm 0.1V/\mu s$). Il multivibratore astabile fornisce un'onda quadra accettabile se il periodo dell'onda è molto più grande del tempo impiegato dall'OpAmp per invertire V_{out} , cioè se vale la condizione $Ampiezza \cdot f \ll SR$.

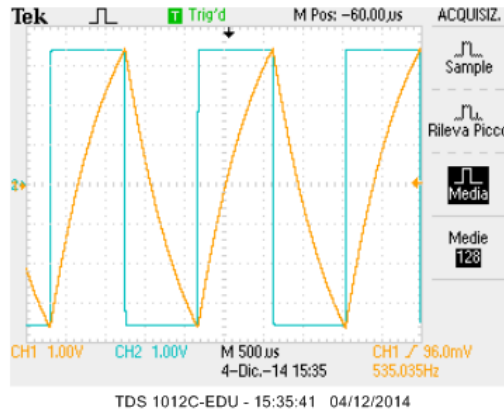


Figura 11: Multivibratore astabile: V_- , V_+

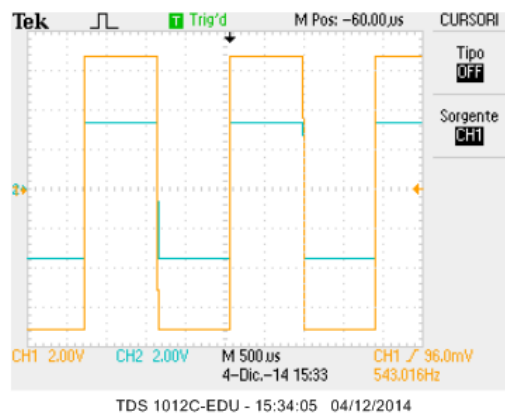


Figura 12: Multivibratore astabile: V_{out} , V_+

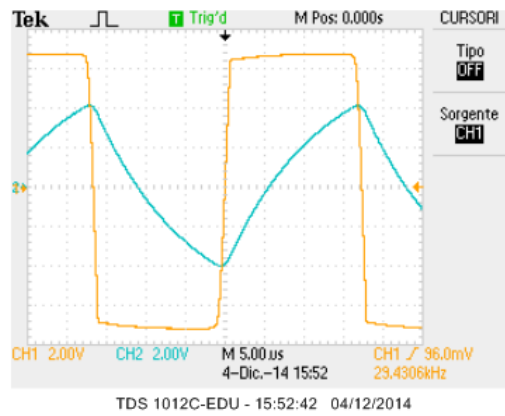


Figura 13: Multivibratore astabile: $f \simeq 30kHz$

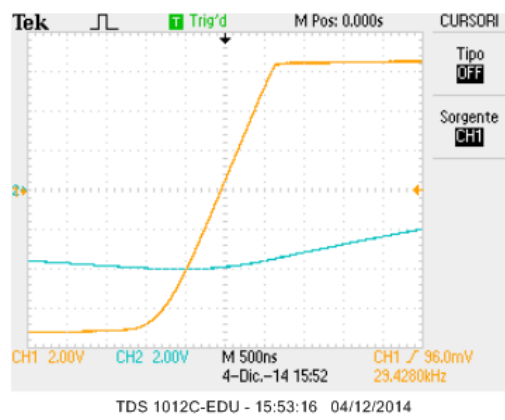


Figura 14: Multivibratore astabile: slew rate $f \simeq 30kHz$