

Es04B: Circuiti lineari con Amplificatori Operazionali

Gruppo xxy

Luca Palumbo, Alessandro Costanzo Ciano [*non dimenticate di inserire i vostri nomi...*]

23 ottobre 2150 [... ed anche la data corretta]

Scopo dell' esperienza

Misurare le caratteristiche di circuiti lineari realizzati con un op-amp TL081 alimentato tra +5 V e -5 V.

A. Amplificatore non invertente

Abbiamo realizzato un amplificatore non invertente con resistenza $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ (nominale) e con un' amplificazione a centro-banda compresa tra 4 e 10 secondo lo schema mostrato in figura 1.

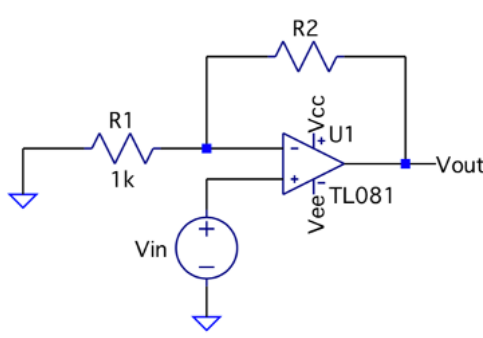


Figura 1: Schema dell'amplificatore non invertente

1 Guadagno in tensione

a. Misura delle resistenze

Le resistenze selezionate hanno i seguenti valori, misurati con il multimetro digitale, con il corrispondente valore atteso del guadagno in tensione dell' amplificatore.

$$R_1 = (0.982 \pm 0.009) \text{ k}\Omega, \quad R_2 = (1.96 \pm 0.01) \text{ k}\Omega \quad \Rightarrow \quad A_{v,exp} = (2.99 \pm 0.02) \quad (\text{Luca Palumbo})$$

$$R_1 = (5.08 \pm 0.06) \text{ k}\Omega, \quad R_2 = (0.991 \pm 0.003) \text{ k}\Omega \quad \Rightarrow \quad A_{v,exp} = (1.195 \pm 0.002) \quad (\text{Alessandro C. Ciano})$$

b. Misura preliminare del guadagno

Abbiamo inviato all' ingresso dell' amplificatore un segnale sinusoidale di frequenza $f_{in} = (1.00 \pm 0.01) \text{ kHz}$ ed ampiezza 200 mV. Ingresso ed uscita dell' amplificatore sono mostrati in Fig. 2. Per le misure di ampiezza delle tensioni si è utilizzata la funzione "measurements" di Waveforms; l'errore associato è dato dalla somma della prima cifra instabile nella lettura, dai limiti di risoluzione dell'ADC e dallo 0.3% del fondo scala. Otteniamo

$$V_{in} = (196 \pm 1) \text{ mV}, \quad V_{out} = (0.591 \pm 0.001) \text{ V} \Rightarrow A_v = (3.01 \pm 0.01) \quad (\text{ALuca Palumbo})$$

$$V_{in} = (404 \pm 2) \text{ mV}, \quad V_{out} = (482 \pm 2) \text{ mV} \Rightarrow A_v = (1.193 \pm 0.006) \quad (\text{Alessandro C. Ciano})$$

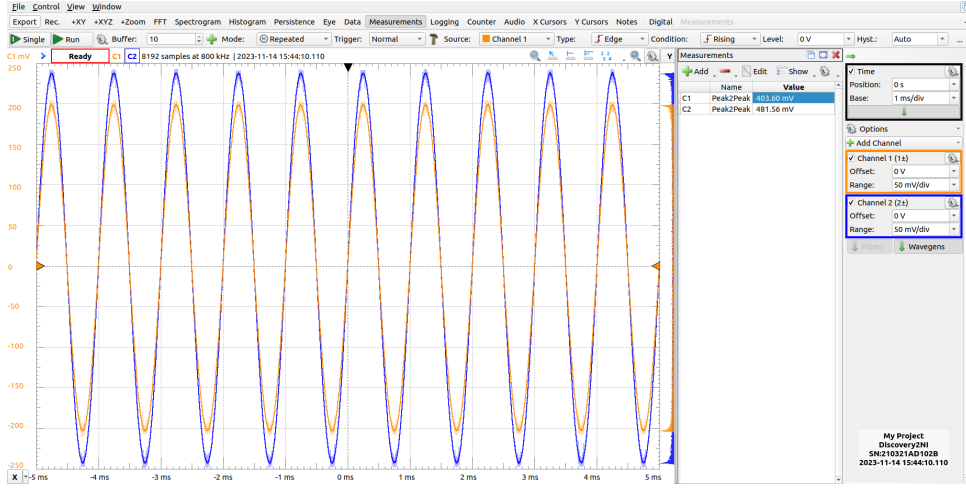


Figura 2: Ingresso (primo canale) ed uscita (secondo canale) di un amplificatore non invertente con OpAmp per ampiezza di $V_{in} = 200$ mV, riferito al circuito di Alessandro C. Ciano

Tabella 1: Ampiezza di V_{out} in funzione di V_{in} e relativo rapporto.

V_{in} (mV)	V_{out} (V)	A_v
96 ± 1	0.292 ± 0.001	3.04 ± 0.03
196 ± 1	0.592 ± 0.002	3.02 ± 0.02
296 ± 1	0.892 ± 0.002	3.01 ± 0.01
397 ± 1	1.192 ± 0.002	3.00 ± 0.01
496 ± 1	1.492 ± 0.002	3.00 ± 0.01

c. Verifica della linearità e misura del guadagno

Variando l' ampiezza di V_{in} abbiamo misurato V_{out} e per ciascun valore ottenuto i guadagni $A_v = V_{out}/V_{in}$ riportati in tabella 1.

Si è considerato come intervallo di linearità l'intero set di misue, in quanto tutti i guadagni risultano tra loro compatibili. Utilizzando i soli dati in questo intervallo abbiamo effettuato un' interpolazione di (V_{out} oppure A_v , [scegliere quale]) in funzione di V_{in} ($V_{out} = A V_{in}$). Il risultato del fit è riportato nel grafico di Fig. 3, con sovrapposta la funzione di best-fit, insieme all' andamento degli scarti normalizzati. Determiniamo così la nostra migliore stima del guadagno mediante fit dei dati ottenuti:

$$A_{best} = 3.010 \pm 0.002 \quad , \quad \chi^2/\text{n.d.o.f.} = 13/4.$$

Il valore del guadagno ottenuto dal best fit risulta in accordo con quello atteso dalle misure delle resistenze. Il χ^2 risulta ragionevole date le poche misure a disposizione.

2 Risposta in frequenza del circuito

Abbiamo misurato la risposta in frequenza dell' amplificatore utilizzando Network Analyzer ed ottenendo i plot di Bode mostrati in Fig. 4. Il guadagno di centro-banda risulta essere $A_M(\text{dB}) = (9.52 \pm 0.06)$ dB, o in unità naturali $A_M(\text{dB}) = (2.99 \pm 0.02)$, perfettamente in accordo con i risultati della regressione lineare precedente. La nostra migliore determinazione per la frequenza di taglio superiore è

$$f_L = (0.852 \pm 0.005) \text{ MHz}$$

determinata attraverso la riduzione del guadagno in tensione di 3dB rispetto a centro-banda.

Moltiplicando questa frequenza per il guadagno di centro-banda otteniamo la seguente stima del prodotto banda-guadagno

$$\text{GBW} = A_M f_L = (2.57 \pm 0.02) \text{ MHz}$$

da confrontarsi con un valore tipico di riportato dal data sheet dell'opamp [citare quello ottenuto dal costruttore nelle condizioni di test più vicine a quelle di misura].

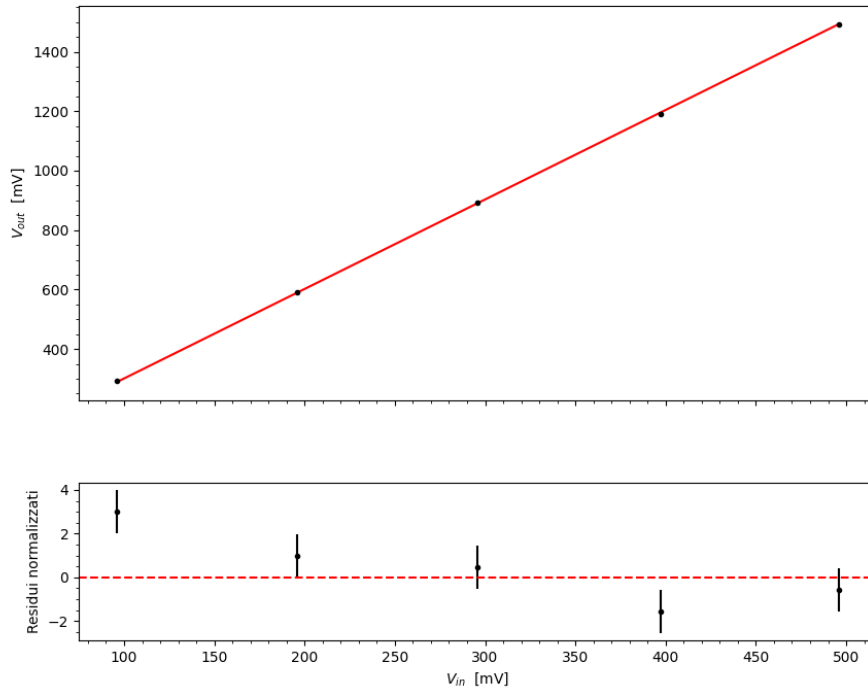


Figura 3: Andamenti in funzione di V_{in} di: (sopra) V_{out} , con verifica della linearità dell' amplificatore, e (sotto) dei scarti normalizzati rispetto alla funzione di best-fit.

3 Misura dello *slew-rate*

Si misura direttamente lo *slew-rate* del TL081 dalla pendenza di V_{out} in corrispondenza dei fronti di salita/discesa di un' onda quadra di frequenza di (1.00 ± 0.01) kHz ed ampiezza (2.039 ± 1) V inviata all' ingresso dell' amplificatore. Uno screenshot dei due segnali è visibile in figura 5. Si ottiene:

$$SR = (13.0 \pm 0.1) \text{ V}/\mu\text{s} \quad \text{valore tipico}$$

contro un valore tipico di $(13) \text{ V}/\mu\text{s}$ quotato dal data-sheet, in accordo col precedente.

4 Circuito derivatore

a.Montaggio del circuito

Abbiamo realizzato un circuito derivatore reale con i seguenti valori dei componenti indicati:

$$\begin{aligned} R_1 &= (0.993 \pm 0.09) \text{ k}\Omega \\ R_2 &= (9.96 \pm 0.009) \text{ k}\Omega \\ C_1 &= (47.0 \pm 2.2) \text{ nF} \end{aligned}$$

b.Risposta in frequenza

Di nuovo utilizzando Network Analyzer abbiamo ottenuto i plot di Bode mostrati in Fig. 6. L' andamento a basse frequenze è quello tipico di un filtro passa-alto con frequenza di taglio

$$f_H = (3.37 \pm 0.03) \text{ kHz}$$

anche in questo caso determinata attraverso la riduzione del guadagno in tensione di 3dB rispetto a centro-banda.

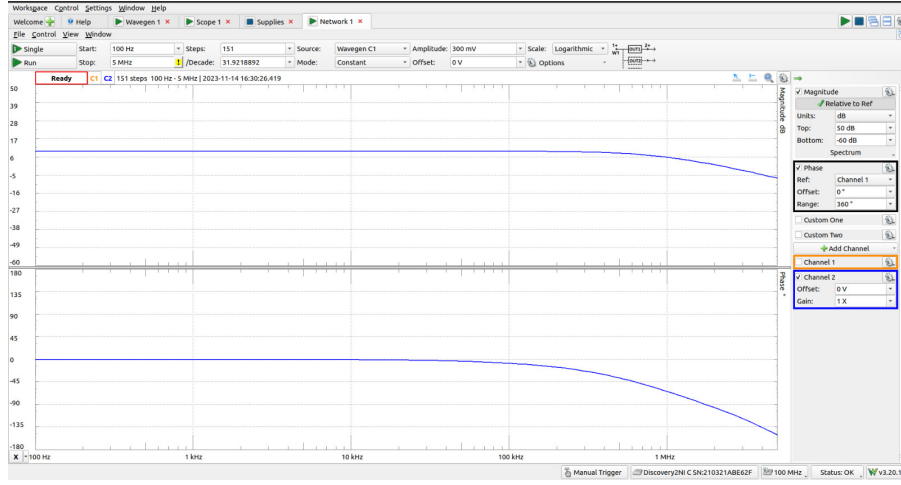


Figura 4: Plot di Bode in ampiezza (sopra) e fase (sotto) per l' amplificatore non invertente.

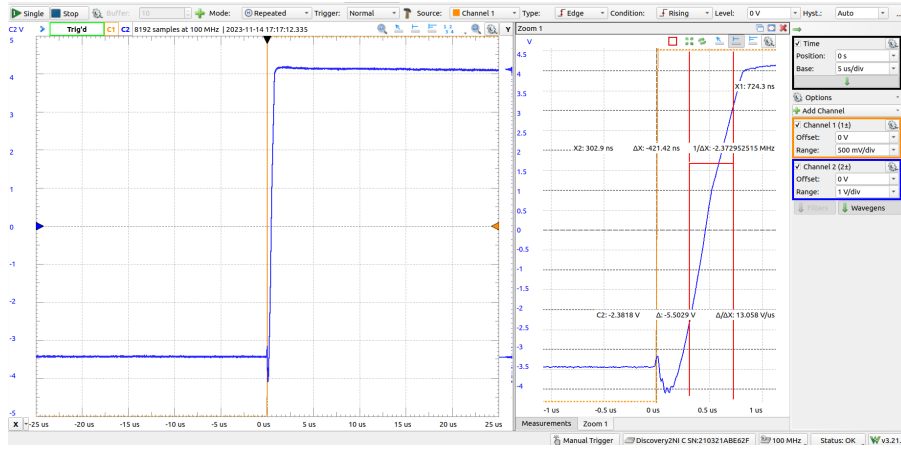


Figura 5: Fronti dei segnali per la misura dello slew-rate del TL081.

c. Risposta ad un' onda triangolare

Abbiamo inviato all' ingresso del circuito un' onda triangolare simmetrica di frequenza (100 ± 1) Hz ed ampiezza (497 ± 2) mV. Si riportano in Fig. 7 le forme d' onda acquisite all' oscillografo per l' ingresso e l' uscita. V_{out} risulta avere la formad di un'onda quadra, come atteso dal comportamento di un derivatore. Essendo il guadagno del circuito $A = -\frac{R_2}{R_1} \frac{j\omega R_1 C}{1 + j\omega R_1 C}$, nel limite di basse frequenze ($\omega \ll \frac{1}{R_1 C}$) si ha $A \approx -j\omega R_2 C$, tipica di un derivatore. L' ampiezza di V_{out} - misurata con i cursori il valore centrale del massimo assunto, avendo cura di considerare anche un'incertezza dovuta al rumore - è $V_M = (368.56 \pm 12)$ mV.

d. Confronto con i valori attesi

Sulla base dei valori misurati dei componenti, il valore atteso per la frequenza di taglio del circuito è $f_{H,exp} = \frac{1}{2\pi R_1 C} = (3.4 \pm 0.2)$ kHz, in ottimo accordo con la misura.

Per l' ampiezza dell' onda quadra in uscita a 100 Hz ci aspettiamo perciò un valore di

$$V_M = \omega R_2 C V_{in} = (\pm) \text{ mV}$$

e. Dipendenza della risposta dalla frequenza

[Inserire commenti su quanto osservato, eventualmente servendosi di appositi screenshot dell'oscillografo]

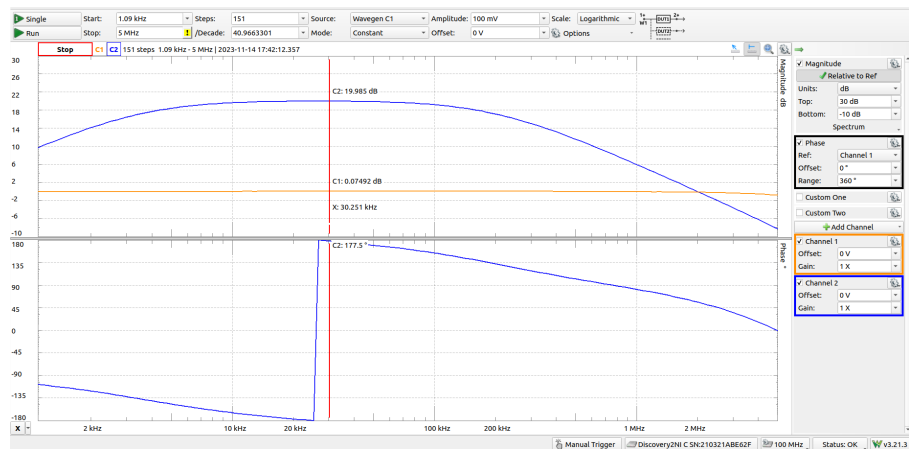


Figura 6: Plot di Bode in ampiezza (sopra) e fase (sotto) per il circuito derivatore.

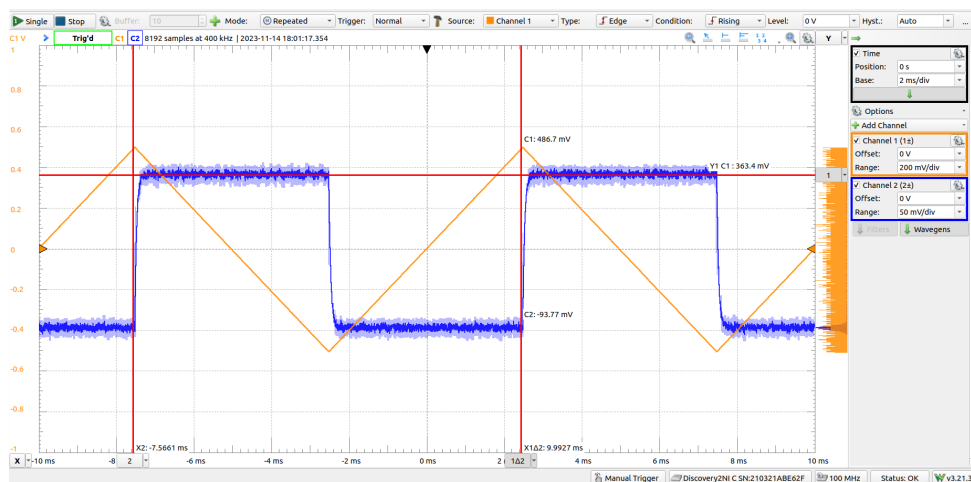


Figura 7: Ingresso (Ch1) ed uscita (Ch2) del circuito derivatore in risposta ad un' onda triangolare di frequenza 100 Hz.