Esperienza 4

Brugnara Fabio
Debiasi Maddalena
Musso Francesco
Gruppo A01

16 ottobre 2019

1 Amplificatore invertente, non-invertente, e differenziale

Di seguito sono riportati gli schemi circuitali degli amplificatori (invertente e non):

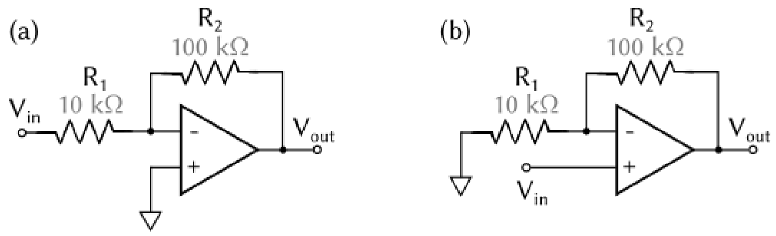

Figura 1: (a) Amplificatore invertente (b) Amplificatore non-invertente

Vogliamo calcolare il guadagno di entrambi i circuiti e confrontarlo con il valore teorico. Impostiamo un segnale in ingresso e misuriamo il rapporto tra le tensioni picco-picco del segnale in ingresso e in uscita V_{out}/V_{in}. Per ottenere questi valori con precisione effettuiamo fit a una sinusoide ($f(x) = A\cos(\omega t + \phi) + K$).

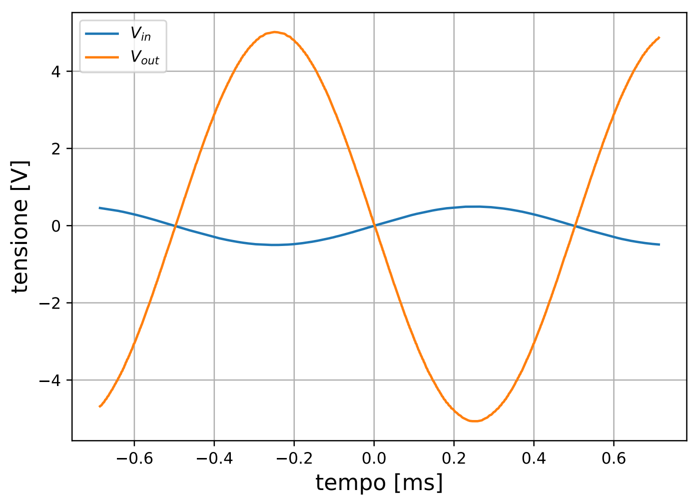

Figura 2: V(t) del circuito invertente

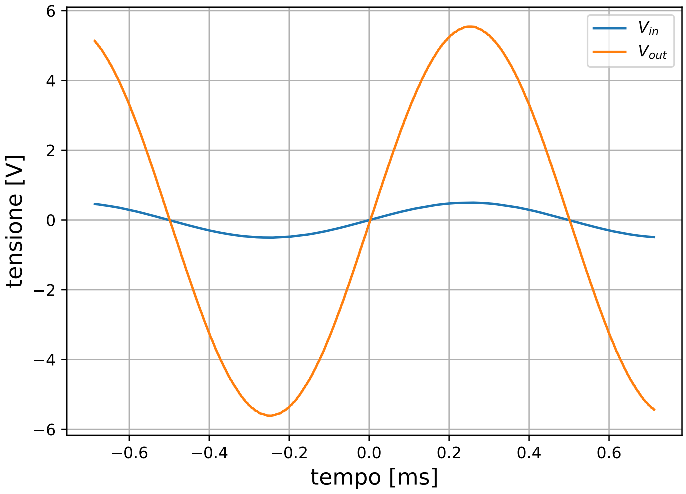

Figura 3: V(t) del circuito non-invertente

Prima di tutto notiamo come effettivamente il circuito invertente sfasi di 180^o il segnale in uscita. I guadagni misurati sono $G_{\text{inv}} = -10.11 \pm 0.01$ e $G_{\text{non-inv}} = 11.12 \pm 0.01$ che sono compatibili con i valori teorici $G \simeq -10$ nel caso invertente e $G \simeq 11$ nel caso non invertente. Un'ulteriore conferma della compatibilità di questi valori con la teoria è data dal fatto che $G_{\text{non-inv}} - |G_{\text{inv}}|$ sia effettivamente compatibile con uno.

Realizziamo ora un amplificatore differenziale, lo schema è il seguente:

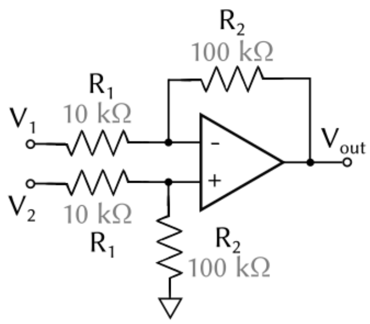

Figura 4: Amplificatore differenziale

Vogliamo ora calcolare il guadagno dell'amplificatore differenziale, che sarà dato da:

$$V_{out} = G_{\text{diff}}(V_2 - V_1) \tag{1}$$

Per fare ciò impostiamo prima 2 segnali V_1 e V_2 in fase con rispettive ampiezze picco-picco $0.5V$ e $0.3V$ entrambi alla frequenza di $1kHz$. Misuriamo l'ampiezza V_{out} in uscita mediante fit a una sinusoide. Calcoliamo il guadagno differenziale come $G_{\text{diff}} = \frac{V_{out}}{V_2 - V_1}$, la misura restituisce $G_{\text{diff}} = 10.05 \pm 0.01$ che è compatibile con il valore teorico $G_{teorico} \simeq R_2/R_1 = 10$.

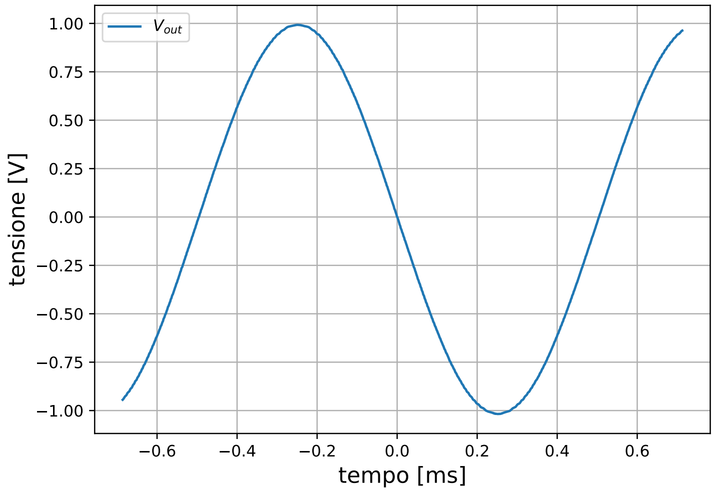

Figura 5: $V_{out}(t)$ dell'amplificatore differenziale

Vogliamo ora misurare la frequenza di battimento del segnale in uscita dall'amplificatore, impostando 2 segnali di uguale ampiezza e di frequenza rispettivamente 1 kHz e 999 Hz. La teoria ci dice che V_{out} vari rispetto a t nel seguente modo:

$$V_{out}(t) = G_{\text{diff}} A \cos(\omega_m t) \cos(\frac{\omega_d}{2} t) \tag{2}$$

dove $\omega_m = 2\pi \cdot 999.5 \, \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ e $\omega_m = 2\pi \cdot 1 \, \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

La frequenza di battimento corrisponde al parametro $f_b \equiv \omega_d/(4\pi) = 0.5\,\text{Hz}$. Plottiamo la funzione teorica che modula il segnale sulle misure $V_{out}(t)$ ($G_{\text{diff}} A \cos(\frac{\omega_d}{2} t)$) e verifichiamo che la frequenza di battimento è quella stimata.

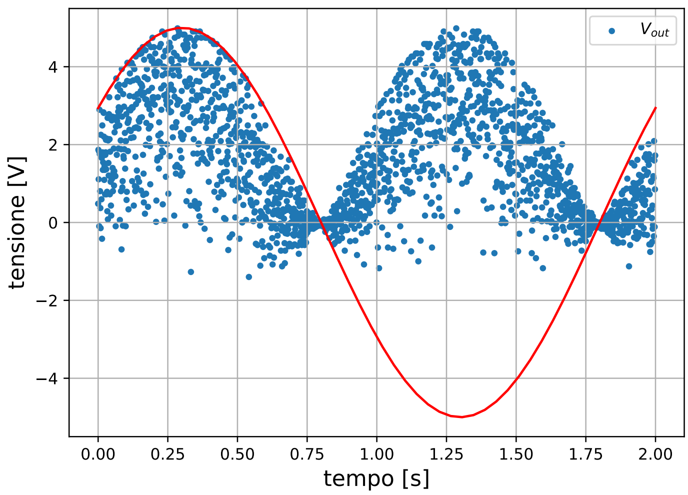

Figura 6: V(t) dei battimenti dell'amplificatore differenziale

Il motivo per cui quasi tutti i punti $V_{out}(t)$ si trovano sopra gli $0V$ lo imputiamo a una sfortunata coincidenza: l'oscilloscopio salva 2000 punti nell'intervallo temporale dato dal fondoscala, in questo caso la frequenza di campionamento è $\simeq \frac{2000}{2s} = 1\,\text{kHz}$, molto vicina ai 999.5 Hz del segnale. Ciò non ha permesso di avere una buona distribuzione dei dati salvati.

2 Stima del guadagno a loop aperto

Nella seconda parte dell'esperienza è richiesta la stima del guadagno a loop aperto (A) dell'op-amp OP07. A tale scopo costruiamo il seguente circuito

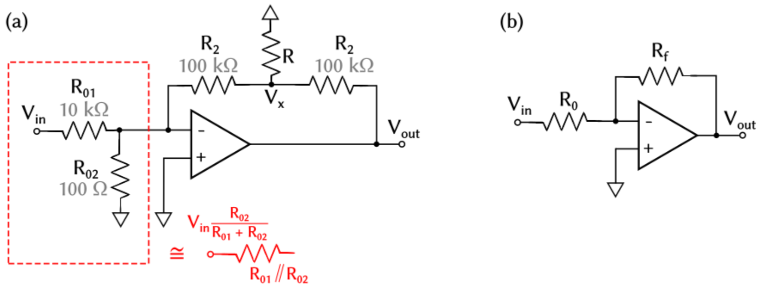

Figura 7: A sinistra l'esatto schema del circuito, a destra il suo equivalente secondo Thevenin

Per stimare A avremmo bisogno di utilizzare delle resistenze il cui rapporto Z_2/Z_1 sia di ordine confrontabile con il valore che ci aspettiamo di A (10^5), in modo che A non sia trascurabile nella teoria della retroazione. Ciò non è però possibile utilizzando 2 semplici resistenze, come nella sezione 1, dato che queste impedirebbero un sufficiente passaggio di corrente (dovremmo sceglierle ad esempio rispettivamente $10\,\Omega$ e $1\,\mathrm{M}\Omega$ e passerebbe troppa poca corrente per permettere all'amplificatore di lavorare). Utilizziamo per questo motivo il circuito in figura 3a.

Si può dimostrare che l'equivalante di Thevenin della rete a T sul ramo di retroazione (utile proprio a permettere il passaggio di corrente e a simulare una grande resistenza) è $R_f = 2R_2 + R_2^2/R$ mentre il partitore a sinistra, utile ad abbassare il segnale in ingresso in modo da non portare l'amplificatore in saturazione, ha una resistenza equivalente $R_0 = R_{01}//R_{02}$. L'equivalente del circuito utilizzato è quindi quello in figura 7b dove il segnale in ingresso andrà moltiplicato per un fattore di $\frac{1}{100}$.

Definiamo la grandezza $G_r = \frac{R_f}{R_0}$, in questo modo con alcuni passaggi algebrici e approssimazioni si può trovare la relazione che lega A a G_R:

$$G \simeq A//G_R \tag{3}$$

Prendiamo 5 misure di $V_{out_{pp}}$ variando G_R con il trimmer (agendo su R). Come primo approccio abbiamo tentato di calcolare A come parametro di un fit utilizzando l'equazione sopra, ma senza successo. A non è costante al variare di G_R. Riportiamo quindi di seguito un grafico dei valori di A in funzione di G_R, pur non essendo costante notiamo che è sempre maggiore di 10^5, questo è sufficiente per utilizzare la teoria della retroazione: non è necessario conoscere il preciso valore di A bensì essere certi che $\frac{Z_2}{Z_1} << A$.

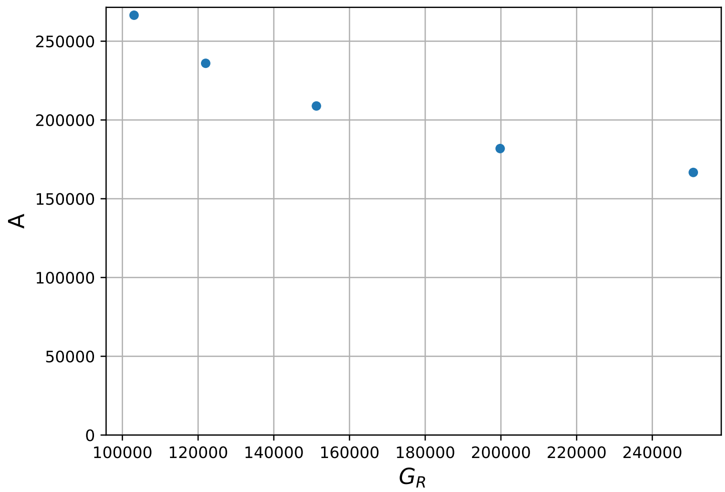

Figura 8: A in funzione di G_R

Stimiamo ora se l'approssimazione di massa virtuale di V_- è verificata anche per rapporti di resistenze $\frac{Z_2}{Z_1}$ particolarmente elevati. Per fare questo prendiamo la misura di A più bassa, corrispondente al valore di G_R più alto utilizzato. Vale

$$V_{out} = A(V+ - V-) = -AV_- \implies V_- = -V_{out}/A \tag{4}$$

Essendo V_{out} limitato dalla tensione di saturazione, al più abbiamo $V_{out} \simeq 12\,\mathrm{V}$, mentre A si attesta sempre sull'ordine di 10^5. Il rapporto V_{out}/A è quindi in ottima approssimazione 0 con un errore dell'ordine di 10^{-4}.

3 Circuito derivatore

Montiamo il seguente circuito derivatore.

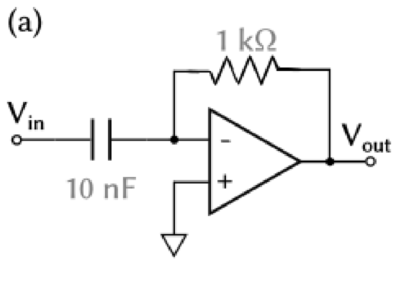

Figura 9: Circuito derivatore

É facile dimostrare che la legge che lega ingresso e uscita del circuito è:

$$V_{out} = -RC\frac{dV_{in}}{dt} \tag{5}$$

Utilizziamo forme d'onda diverse in ingresso per verificare il comportamento del circuito. Proviamo con un'onda sinusoidale, ci aspettiamo che il guadagno sia quindi $G = 2\pi RCf$ (il termine $2\pi f$ esce dalla derivazione del seno), la frequenza utilizzata è $1\,\mathrm{kHz}$, quindi $G \simeq 2\pi 10^{-2}$. La misura da noi effettuata è $G_{mis} = (5.8 \pm 0.1)10^{-2}$. Il circuito funziona effettivamente come derivatore.

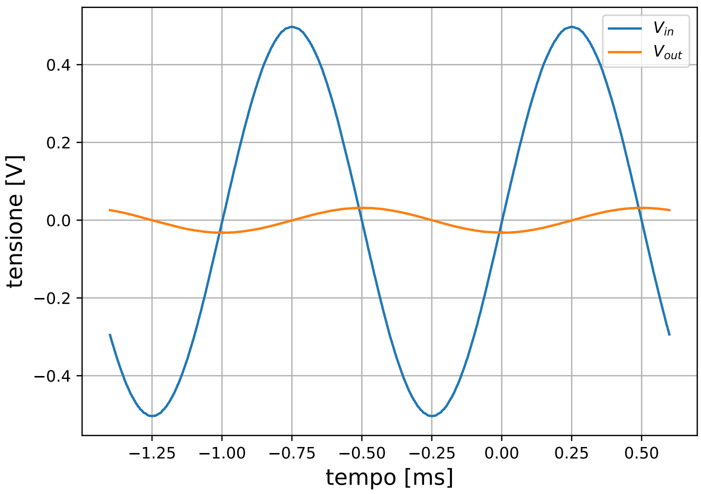

Figura 10: Derivata della sinusoide

Di seguito utilizziamo invece un'onda triangolare in ingresso, non effettuiamo calcoli in questo caso ma ci limitiamo a verificare che l'uscita sia approssimativamente la derivata del segnale in entrata.

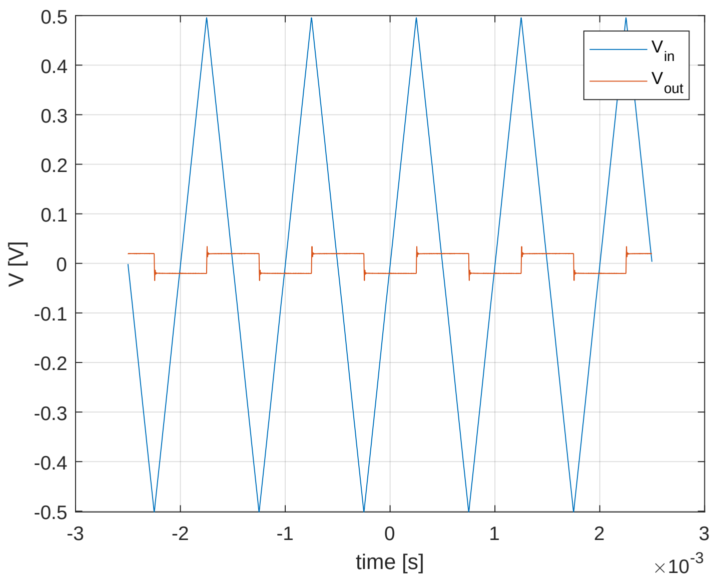

Figura 11: Derivata dell'onda triangolare

Interessante è anche utilizzare come input un'onda quadra, in questo l'uscita produce dei picchi che ricordano vagamente delle delta di Dirac.

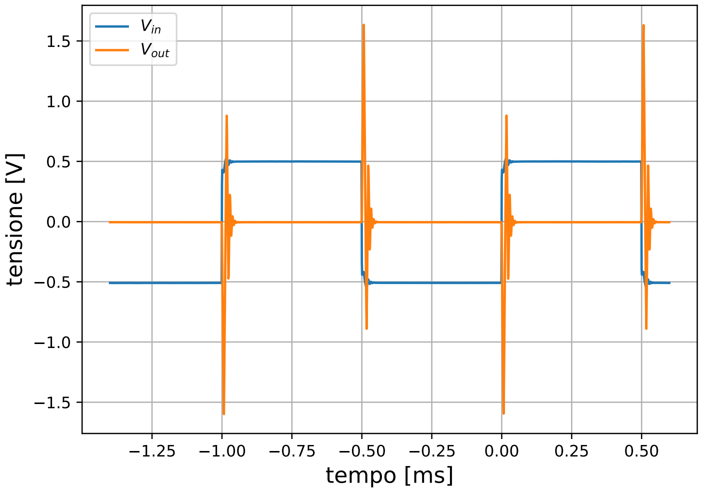

Figura 12: Derivata dell'onda quadra