Laboratorio di Segnali e sistemi — Canale III

Op-Amp differenziale e sommatore

Pacchiarotti Dario, Speranza Andrea, Umassi Michele

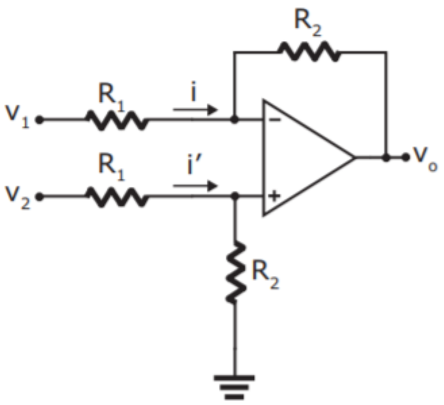
November 15, 2018

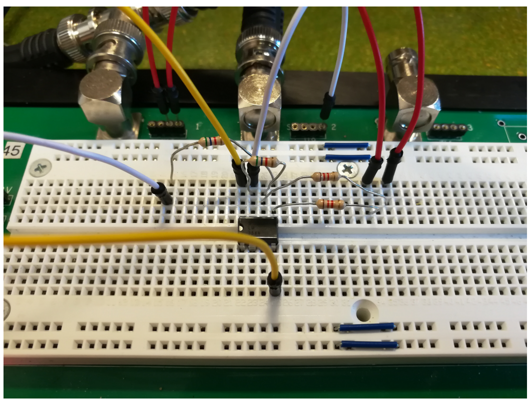
1 Amplificatore differenziale e stima di ρ

Per calcolare il Common Mode Rejection Ratio dobbiamo ricavare le due amplificazioni dell'op-amp LM358. Il circuito da analizzare richiede 4 resistenze uguali in coppia. Sappiamo che il rapporto tra R_2 ed R_1, l'amplificazione, deve essere $\sim$5. Sono scelte così le componenti resistive

- $R_1' = 1.193 \pm 0.001\ k\Omega$
- $R_1'' = 1.190 \pm 0.001\ k\Omega$
- $R_2' = 5.581 \pm 0.001\ k\Omega$
- $R_2'' = 5.582 \pm 0.001\ k\Omega$

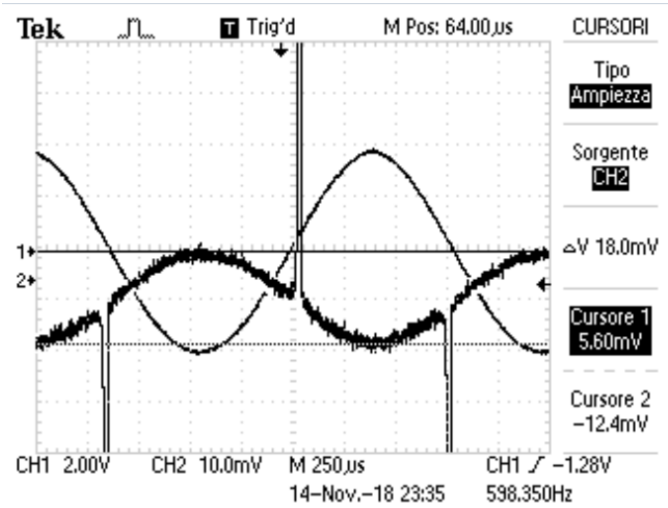
In figura è mostrato lo schema con accanto la basetta. I cavi gialli sono le alimentazioni dell'operazionale (10V e -10V), il cavo bianco inserito nel pin del segnale 2 è l'output, mentre quello in serie alla resistenza R_2 più a sinistra, la messa a terra. I cavi rossi trasportano il segnale in input, e sono collegati agli stessi pin del segnale 1.





Ciò che ci interessa ora è l'amplificazione di modo comune $A_c = \frac{v_o}{v_2 - v_1}$, che sappiamo dover tendere a 0. Mandiamo dunque lo stesso segnale ad entrambi gli input (invertente e non). Essendo A_c la somma degli input, di cui uno invertito in fase (negativo), sia l'amplificazione che il segnale di uscita risultano piccoli (10^{-3}-10^{-4}), e quindi difficili da rilevare con accuratezza.

Sull'oscilloscopio, infatti, la curva di ch2 (output) risulta deformata dalla presenza di picchi di tensione divergenti, ma ricorrenti in maniera regolare. Alzando la frequenza oltre i 10kHz, questi si abbassano, ma il resto del segnale viene distorto da capacità ed induttanze parassite fino a non essere comparabile con una funzione sinusoidale (si inizia a vedere da 2-3kHz). Allo stesso modo, a frequenze (<50Hz) lo spessore della curva supera la mezza divisione (dei quadranti dello strumento). Alzare ed abbassare la tensione ha lo stesso effetto. Constatati questi fenomeni e deciso di trascurare il disturbo, iniziamo a misurare. Per fare ciò, ovviamente, non abbiamo potuto utilizzare la funzione *measure* (tensione picco-picco): ci siamo avvalsi dei cursori, posizionati con la corretta interpolazione.
—NOTA—lavorando con rapporti di tensione, possiamo scrivere tutte le tensioni come distanze picco picco viste sull'oscilloscopio.



Alla frequenza di 598Hz, il segnale di entrata è una sinusoide di $v_i = 8.12 \pm 0.01$ V, e quello di uscita $v_o = 18 \pm 1$ mV. Il valore calcolato di amplificazione di modo comune è $A_c = (2.21 \pm 0.17)E^{-3}$.
Servendo ora l'amplificazione differenziale, rocediamo a misurare l'$A_{1,2}$ delle singole entrate: mettiamo a massa v_2 per misurare A_1 e viceversa. Per verificare di non essere intorno alle frequenze di taglio, si è ritenuto opportuno effettuare la lettura per due frequenze diverse (in entrambi i casi). Abbiamo

- $v_1' = 2.64 \pm 0.01$ V, $v_{o1}' = 11.90 \pm 0.01$ V — $f = 479 \pm 1$ Hz
- $v_1'' = 2.60 \pm 0.01$ V, $v_{o1}'' = 11.90 \pm 0.01$ V — $f = 2.58 \pm 0.01$ kHz
- $v_2' = 2.70 \pm 0.01$ V, $v_{o2}' = -12.40 \pm 0.01$ V — $f = 598 \pm 1$ Hz
- $v_2'' = 2.72 \pm 0.01$ V, $v_{o2}'' = -12.40 \pm 0.01$ V — $f = 1.82 \pm 0.01$ kHz

Calcolando le amplificazioni con i valori accoppiati dalla frequenza, si hanno
$A_d' = \frac{1}{2}(A_1' - A_2') = 4.55 \pm 0.06$ ed $A_d'' = \frac{1}{2}(A_1'' - A_2'') = 4.56 \pm 0.06$, che permettono di calcolare i CRMM, $\rho' = \frac{A_d}{A_c} = \frac{4.55\times10^3}{2.21} = 2059 \pm 20$ e $\rho'' = \frac{A_d}{A_c} = \frac{4.56\times10^3}{2.21} = 2063 \pm 20$. L'errore su questa grandezza, propagato con le derivate parziali, ha un valore che eccede ρ stesso. Per questo è stato ritenuto opportuno dargli un valore di ∼1% della grandezza.

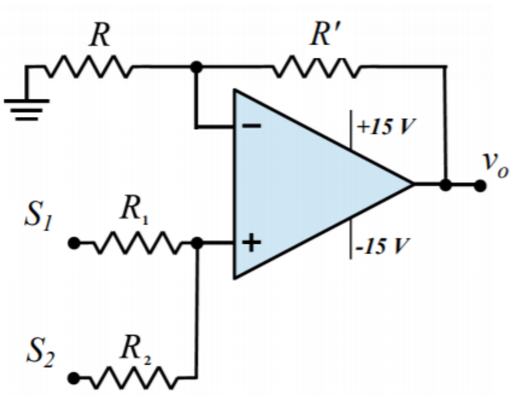
Come si può notare, se calcolassimo $A_c = \frac{1}{2}(A'_1 + A'_2)$ (o l'altra coppia), questo verrebbe di $\sim$2 volte più grande (ed un altrettanto piccolo ρ). Essendo stato modificato il circuito, di conseguenza spenti e riaccesi i generatori, lo "stesso" segnale che dovremmo analizzare tramite i due ingressi è per forza diverso. A differenza di prima (un segnale che si divide in due), la somma delle tensioni (o differenza dei moduli) non può essere più piccola del centesimo di Volt per la sensibilità del generatore di segnali. Il comportamento del circuito è coerente con la teoria. I picchi di tensione sono stati riscontrati in più postazioni di laboratorio, anche in giorni diversi: nonostante siano state diminuite le componenti inessenziali del circuito (ponti, cavi) e testate diverse combinazioni di tensioni/frequenze, questi non sparivano. Deduciamo che sia un problema di fabbricazione o deterioramento. Dopo una attenta analisi dei componenti, però, abbiamo dedotto che un modo per attenuare tali disturbi sarebbe stato lavorare con resistenze più alte (preservando i rapporti, $\sim 20-100\ k\Omega$). Queste sono costruite con un alloy di isolante ed ed elementi conduttivi in piccola quantità. Più sono questi, meno è la resistenza del componente, ma le loro capacità parassite che si sommano in parallelo sono sempre meno trascurabili.

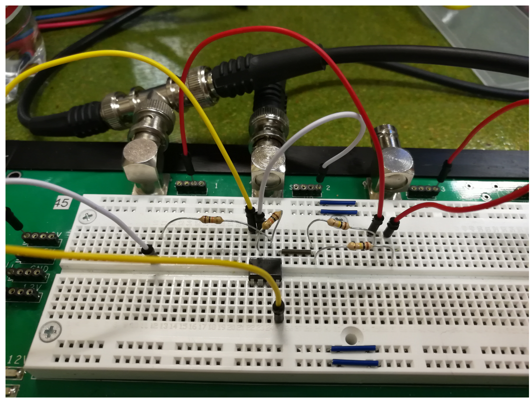
2 Circuito sommatore non-invertente

Per il corretto funzionamento del circuito al quale ci interessiamo ora, aumentiamo l'alimentazione a +15V e -15V. Dobbiamo correttamente sovrapporre due segnali di input, e per fare ciò, è più comodo lavorare con amplificazione unitaria. Tenendo dunque conto che $V_o = \frac{1}{2}(1+\frac{R'}{R})(S_1+S_2)$ V, scegliamo le resistenze R ed R' uguali (molto simili, nel migliore dei casi) in modo da avere amplificazione unitaria. Con lo stesso criterio, si prendono R_1 ed R_2 quanto più simili:

- $R_1 = 98.20 \pm 0.01\ k\Omega$
- $R_2 = 99.91 \pm 0.01\ k\Omega$
- $R = 9.86 \pm 0.01\ k\Omega$
- $R' = 9.84 \pm 0.01\ k\Omega$

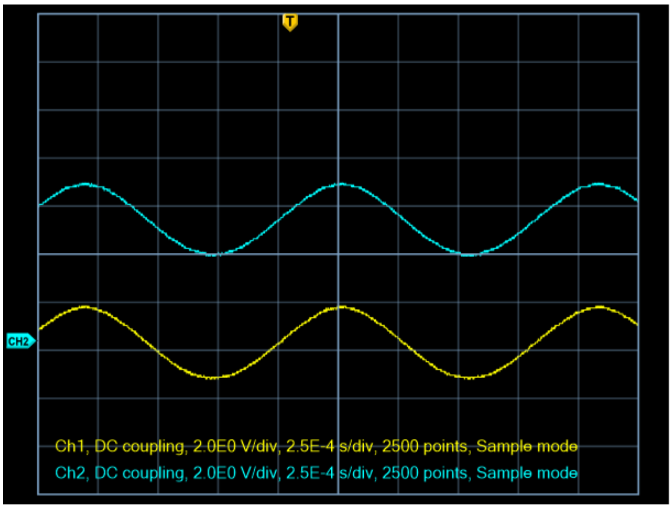
Il circuito schematizzato e quello montato su basetta sono riportati nella figura.



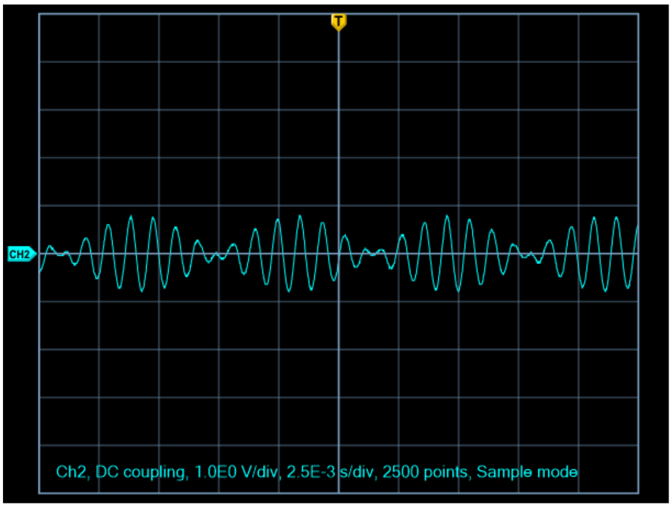


La differenza sostanziale rispetto al montaggio di prima è il ponticello nero che trasmette entrambi i segnali allo stesso ingresso. L'input rosso collegato a "signal3" è stato poi collegato alla tensione secondaria fornitaci dall'alimentatore.

Se inviamo all'ingresso non-invertente due segnali $S_1 = 3.00 \pm 0.01$ V (sinusoidale) ed $S_2 = 5.00 \pm 0.01$ V (continua). Ci aspettiamo una sinusoide "spostata" verso l'alto. Prima di fare ciò, testiamo il corretto funzionamento del circuito: oniamo a massa un segnale alla volta, aspettandoci di visualizzarlo invariato sul canale d'uscita dell'oscilloscopio. Avendo scelto $R' \sim R$ otteniamo $\frac{R'}{R} = 0.998 \pm 0.001$, e se mettiamo a massa S_1 allora $V_o = \frac{1}{2}(1+0.998)S_2 = 4.995 \pm 0.031$ V cioè $A2 = \frac{V_o}{S_2} = 0.999 \pm 0.007$.
Viceversa, mettendo a terra S_2, $V_o = \frac{1}{2}(1 + 0.998)S_1 = 2.997 \pm 0.031$ V, dalla quale $A_1 = \frac{V_o}{S_1} = 0.999 \pm 0.011$. Da questi dati abbiamo la sicurezza che la sovrapposizione dei due segnali sia priva di amplificazioni/distorsioni. Procediamo a mandarli entrambi e riportiamo di seguito le acquisizioni dello schermo dell'oscilloscopio, che confermano quanto atteso.



Come si può vedere, lo 0 di ch1 (giallo) è lo stesso di ch2 (blu), ma quest'ultimo segnale risulta più in alto di esattamente 5V (2.5div×2V/div): il segnale di corrente continua (non mostrato sull'oscilloscopio).
Lasciando invariati i valori delle resistenze inviamo ora due segnali sinusoidali, $S_1 = 4.02 \pm 0.01$ V ed $S_2 = 3.00 \pm 0.01$ V, da due diversi generatori di segnali, con lo scopo di osservare il fenomeno dei battimenti (sovrapposizione di due onde che propagandosi in verso e direzione uguali ed in ugual mezzo, ma con frequenze di poco diverse, passa per due momenti: uno in cui la sovrapposizione dei segnali è esattamente la somma delle ampiezze (costruzione), ed uno in cui, causa la crescente differenza di fase tra le due onde, i due segnali passano in opposizione (distruzione) e ne vediamo la differenza). Ci mettiamo quindi sulle frequenze $f_1 = 1.04 \pm 0.01$ kHz ed $f_2 = 1.21 \pm 0.01$kHz, leggermente diverse, e riportiamo le immagini acquisite dallo schermo.



Ovviamente, proprio per come l'oscilloscopio rileva le tensioni entranti, la curva che visualizziamo si muove verso sinistra (a causa della differenza di fase che cambia nel tempo). Le immagini acquisite sono i segnali "congelati" nel tempo. Se lasciamo ferma una frequenza, alzando la seconda perdiamo la visualizzazione di questo fenomeno.