

Laboratorio Segnali e Sistemi — Canale III

Studio dell'amplificatore operazionale LM358

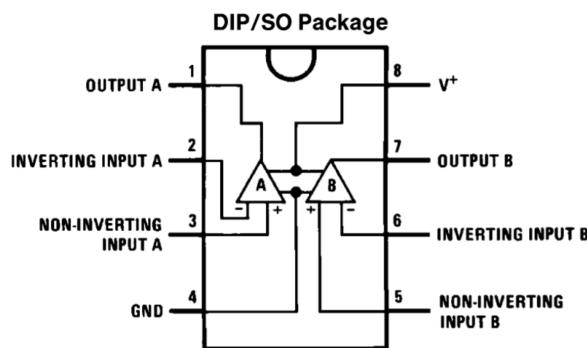
Pacchiarotti Dario, Speranza Andrea, Umassi Michele

November 8, 2018

1 Set up dell'apparato

Lavorando con uno strumento del quale non conosciamo lo stato interno, la prima cosa da fare è verificarne il corretto funzionamento. Un test preventivo, dopo aver attaccato l'alimentazione, è verificare che la tensione tra gli ingressi invertente e non-invertente sia dell'ordine dei millivolt, e nel caso specifico del componente LM358N, circa un centinaio. Se applichiamo un segnale qualunque, ora, controlliamo che la tensione v_o di uscita non sia statica. Se almeno uno di questi due test non è passato, possiamo dichiarare rotto l'op-amp.

Applichiamo un potenziale $V^+ = 10V$ e $V^- = -10V$ per una tensione totale di alimentazione di 20Volt. Con il multmetro digitale misuriamo la ddp tra i piedini 5 e 6 mostrati in figura, rispettivamente polo non invertente ed invertente (abbiamo montato il componente con la testa verso di noi, per non intrecciare i cavi di alimentazione). Si rileva $V_{ni,i} = 124.50 \pm 0.01$ mV. Per il secondo test, invece, abbiamo collegato direttamente l'output del generatore di segnali (onda sinusoidale) all'input dello strumento. Visualizzato l'output sull'oscilloscopio, anche questo è una sinusoide: l'op-amp funziona.

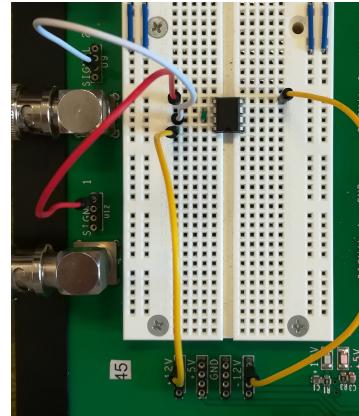
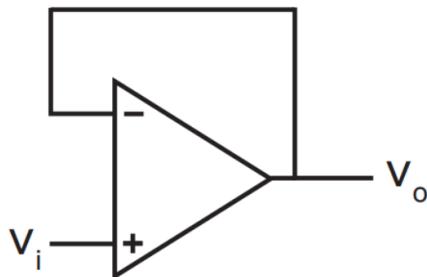


Si misurano \pm mV, valore che rientra nei parametri di interesse. Verificato ciò, mandiamo un segnale sinusoidale di $V_{eff} = \pm$ mV. Vediamo che la tensione di uscita non è statica, ma ha anche essa forma sinusoidale. Non ci interessiamo della sua amplificazione, in quanto solo una test di comportamento.

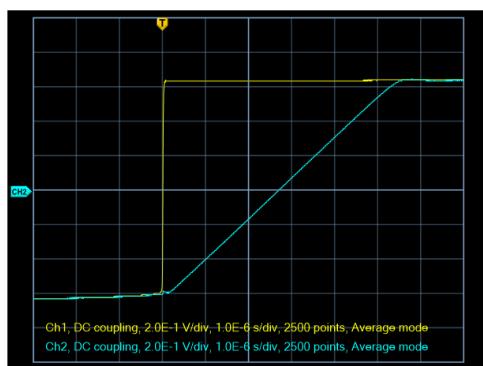
Concludiamo che il nostro apparato funziona correttamente: lo inseriamo così nel nostro circuito. Per tutta l'esperienza, i connettori gialli saranno l'alimentazione (10V e -10V), quello rosso e quello bianco sono rispettivamente input ed output del segnale. Nel Par. 3, il cavo bianco in più è la connessione a massa.

2 Misura della slew rate

Per misurare la velocità di risposta costruiamo un inseguitore di tensione, onde evitare effetti di distorsione e limitare l'influenza della frequenza delle oscillazioni. Il circuito è montato come in figura.



Se mandiamo un'onda quadra di ampiezza notevole (questo ci è permesso in quanto l'amplificazione è ~ 1 , e l'apparato può ricevere alte tensioni), ci aspettiamo di vedere lo stesso segnale, ma ritardato di un certo fattore Δt . Abbiamo dunque $V_i = V_o = 1.216V$ (da un picco, costante, all'altro) e $\Delta t = 5.52\mu s$. Quest'ultimo valore è stato calcolato con la distanza di due rette verticali, spostate col cursore dell'oscilloscopio, posizionate rispettivamente sul punto di cambio di tensione dell'onda (lo 0 della distanza temporale) e sul punto in cui la tensione di uscita raggiunge il valore di entrata. Lo slew rate è semplicemente $\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1.22}{5.52} = 0.22 \frac{V}{\mu s}$. Essendo l'op-amp costruito dalla Fairchild, cerchiamo sul web il datasheet fornito dalla casa. Su di esso c'è un grafico che mostra l'andamento di interesse del prodotto, dal quale possiamo estrapolare (nello stesso modo) il rate dichiarato. Abbiamo stavolta $\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{2.5}{10.0} = 0.25 \frac{V}{\mu s}$. Le immagini a seguire mostrano l'output sul nostro oscilloscopio, e l'output ideale fornito dal costruttore.



TDS 1012B - 15:44:10 07/11/2018

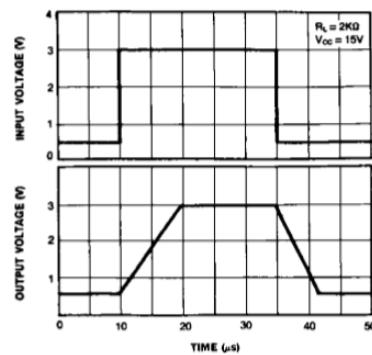
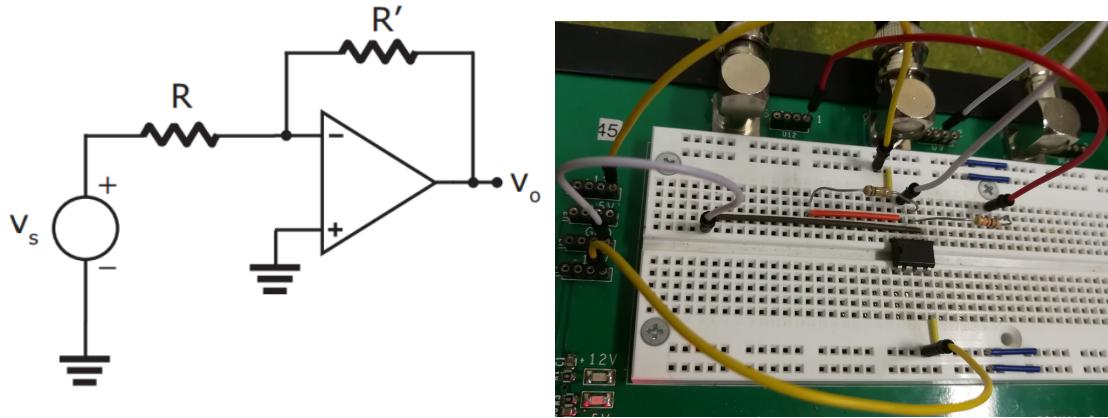


Figure 11. Voltage Follower Pulse Response

3 Misura del guadagno per bande di frequenza

Ci interessa ora l'andamento in frequenza dell'amplificazione di un circuito invertente montato come in figura. Il nostro amplificatore operazionale è dotato di una rete di compensazione ottenuta tramite l'aggiunta di una capacità C posta fra l'ingresso e l'uscita di uno degli stadi dell'amplificazione. Questo fa sì che venga introdotto un polo a bassa frequenza nella funzione di trasferimento, riducendo il limite superiore della banda. Senza entrare in ulteriori dettagli il vantaggio è, con l'aggiunta di R' , una costante nel diagramma di Bode: proprio quella che andremo ad osservare.

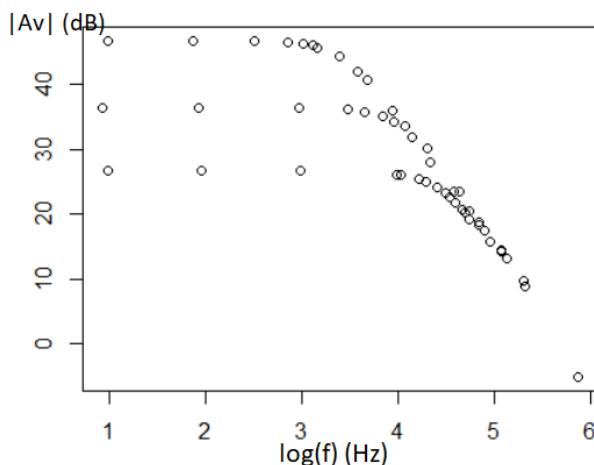


Essendo $A_v = -\frac{R'}{R}$, possiamo tenere costante $R = 0.99 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$ (quasi unitaria per comodità di calcolo) e cambiare la resistenza di reazione in base alle amplificazioni che vogliamo ottenere:

- $R'_1 = 21.13 \pm 0.01 \text{ k}\Omega \quad A_{v1} = -21.34 \pm 0.22$
- $R'_2 = 68.35 \pm 0.01 \text{ k}\Omega \quad A_{v2} = -69.04 \pm 0.70$
- $R'_3 = 218.40 \pm 0.01 \text{ k}\Omega \quad A_{v3} = -220.60 \pm 2.23$

I dati sono stati presi tenendo in considerazione che in corrispondenza delle f di taglio è difficile visualizzare l'andamento della curva; per questo le rilevazioni sono più concentrate nelle suddette zone. Sono riportati nelle tabelle i valori di V_i e V_o con i rispettivi valori di frequenza (Hz) ed i relativi diagrammi di Bode sovrapposti.

f_1 (Hz)	V_i (mV)	V_o (mV)	f_3 (Hz)	V_i (mV)	V_o (mV)
9.56	76	1640	9.8	74	16200
91.20	75.2	1640	74	74	16200
969.1	76	1640	325.9	74	16000
9747	76.8	1560	720.5	74	15600
10750	76.8	1560	1027	74	15500
16670	76.8	1440	1289	74	14900
19349	76.8	1360	1437	74	14400
25770	76.8	1240	2513	76	12500
31450	76.8	1120	3876	76	9700
34480	77.6	1040	4798	76	8200
40240*	77.6	960	8850*	80	5000
46510*	77.6	840	11790*	80	3800
50630*	78.4	800	14120*	80	3120
54590*	78.4	720	22030*	80	2000
69250	78.4	640	38700	78.4	1180
91240	78.4	480	55019	78.4	820
120800	78.4	400	80130	78.4	580
201200	78.4	240	134800	78.4	360



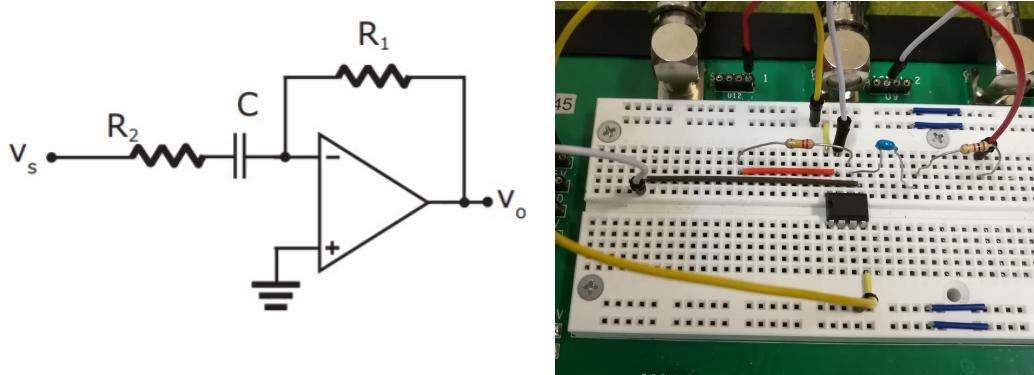
Andiamo ora a verificare che la quantità guadagno x ampiezza di banda sia costante lungo la discesa dell'amplificazione per i diversi valori di R' (questi saranno circa uguali tra loro, in quanto la retta di discesa coincide). Vista la mole di tabelle, e dunque di dati, abbiamo deciso di mostrare solamente 4 valori per ogni curva, presi ovviamente centrali sulla retta decrescente. Questi, essendo gli stessi riportati nelle tabelle precedenti, sono stati contrassegnati da asterischi.

$f_1 \frac{V_{o1}}{V_{i1}} (10^5 Hz)$	$f_2 \frac{V_{o2}}{V_{i2}} (10^5 Hz)$	$f_3 \frac{V_{o3}}{V_{i3}} (10^5 Hz)$
4.978	5.968	5.531
5.034	6.061	5.600
5.219	5.585	5.507
5.013	5.770	5.507

I valori sono soddisfacenti, nonostante delle fluttuazioni più evidenti nella seconda presa dati.

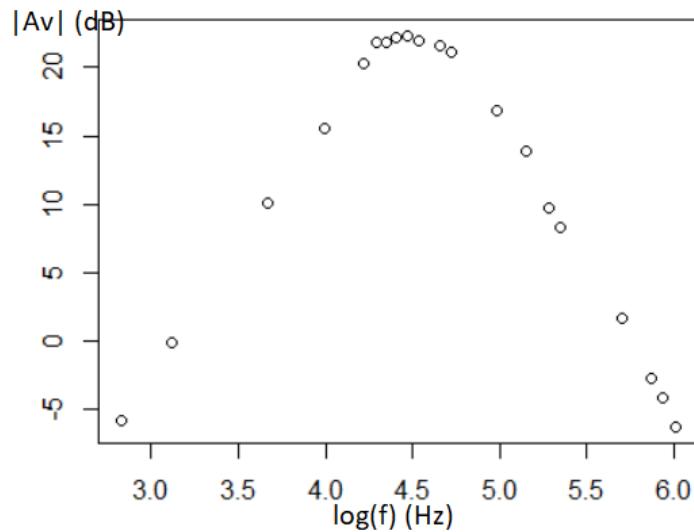
4 Studio del circuito derivatore

Si monta ora un circuito derivatore, semplicemente aggiungendo un condensatore C in serie ad una nuova resistenza di ingresso R_2 ed in parallelo ad una resistenza R_1 di reazione (collegata all'uscita). Queste componenti sono scelte volendo ottenere un $\tau = R_1 C \sim 10^{-4}$. Si prendono dunque $C = 7.23 \pm 0.01 \text{ nF}$ ed $R_1 = 14.81 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$, dandoci $\tau = 1.07 \pm 0.01 \times 10^{-4} \text{ s}$. L'altra resistenza è stata scelta di \sim un ordine di grandezza più piccola della prima, al fine di stabilizzare il comportamento del derivatore, non limitando eccessivamente la corrente in entrata. Infatti $R_2 = 0.86 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$.



Mandiamo al circuito un segnale sinusoidale per studiarne la risposta in frequenza.
Di seguito riportiamo i valori misurati ed il grafico ad essi relativo.

$f(\text{Hz})$	$V_i (\text{mV})$	$V_o (\text{mV})$	$f(\text{Hz})$	$V_i (\text{mV})$	$V_o (\text{mV})$
670	78	40	45380	80.4	970
1310	79.8	79.4	52250	77.6	880
4680	76	242.3	95420	80.4	560
9820	78.4	470	140800	83.2	412
16400	80.4	830	191200	83.2	256
19700	78.8	980	224300	83.2	216
22350	79.9	990	506300	83.2	101
25600	77.6	1000	748000	82.4	60
29800	78.8	1030	865000	83.2	52
34490	78.8	990	1016000	82.2	40



Come possiamo vedere, il grafico non è fedele a quello di un derivatore ideale, in quanto quest'ultimo diverge per alte frequenze. Infatti $\frac{V_o}{V_s} = -j\omega RC$.

La funzione reale ottenuta, invece, è frutto della compensazione portata dal condensatore interno (del quale abbiamo parlato precedentemente). Il grafico si trova infatti sotto l'intersezione della retta di compensazione e quella che segue l'andamento della funzione di trasferimento ideale. Dopo il picco dell'amplificazione si nota un'asimmetria della curva dovuta alla convoluzione sopra descritta.