



Università degli Studi di Bergamo

SCUOLA DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Laboratorio di Elettronica

Relazione esperienza di laboratorio 1

Prof.
Luigi Gaioni

Candidati
Giulia Allievi
Matricola 1058231

Martina Fanton
Matricola 1059640

Filtro passa-basso attivo

1.1 Introduzione

Il primo circuito che abbiamo realizzato è un filtro passa-basso attivo. Per costruire questo circuito abbiamo bisogno di un amplificatore operazionale, nel nostro caso abbiamo scelto il $\mu A741$, che è un amplificatore operazionale *general purpose*. Per funzionare correttamente, dobbiamo fornirgli sia un'alimentazione positiva che un'alimentazione negativa perché è un componente ad alimentazione duale. Nell'immagine sottostante, la figura 1.1, si possono vedere i numeri e la funzione di ogni terminale di questo componente. Per capire quali sono i terminali, sul package troviamo un pallino in corrispondenza del pin numero 1.

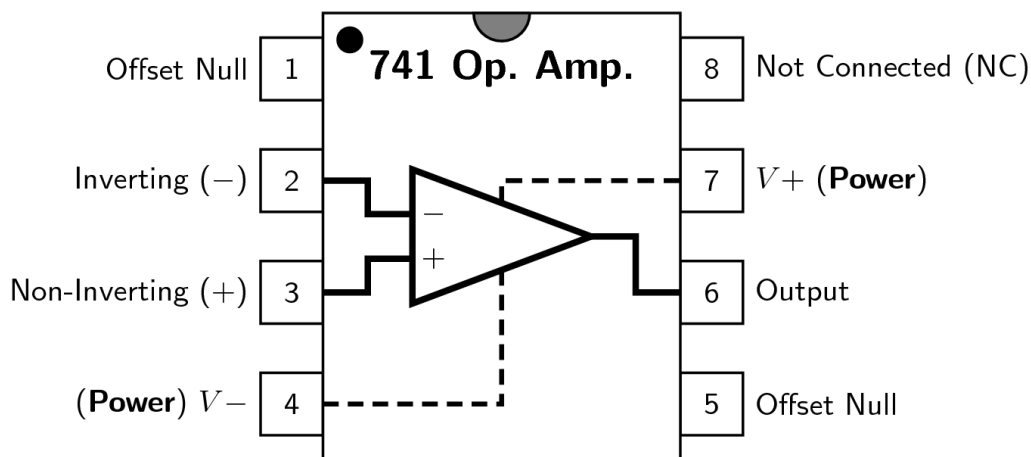


Figura 1.1: Package e funzione dei pin del $\mu A741$.

1.2 Schema del circuito e analisi teorica

Per analizzare questo circuito facciamo riferimento alla figura 1.2. La resistenza R_1 e il condensatore C_1 sono in parallelo, pertanto si può calcolare l'impedenza equivalente:

$$Z_{eq} = C_1 \parallel R_1 = \frac{\frac{1}{s \cdot C_1} \cdot R_1}{\frac{1}{s \cdot C_1} + R_1} = \frac{\frac{R_1}{s \cdot C_1}}{\frac{1 + s \cdot R_1 C_1}{s \cdot C_1}} = \frac{R_1}{1 + s \cdot R_1 C_1}$$

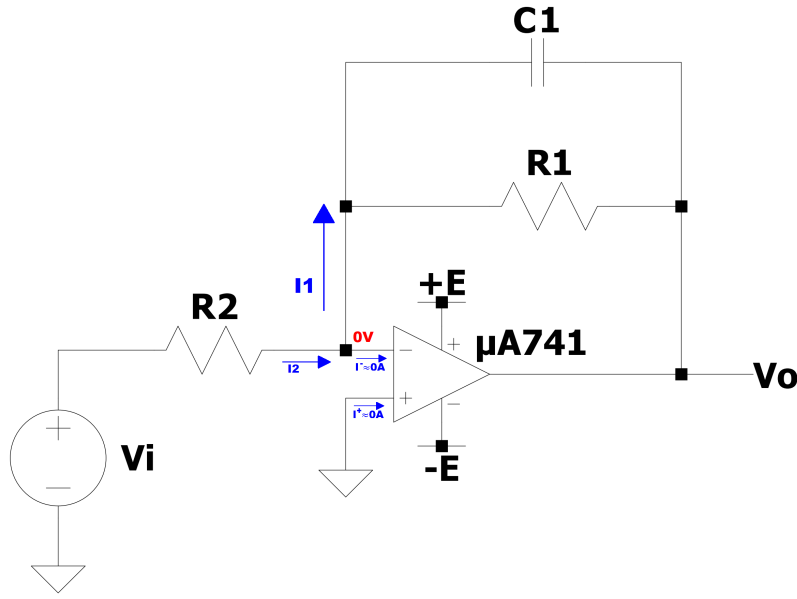


Figura 1.2: Schema per analizzare l'amplificatore invertente.

Per ricavare la funzione di trasferimento del circuito è sufficiente fare un bilancio di correnti all'ingresso invertente. Con I_1 si intende la corrente che scorre nell'impedenza equivalente Z_{eq} .

$$I_2 = I_1 + I^-$$

La corrente in ingresso all'OPAMP è molto piccola, idealmente $I^+ = I^- \rightarrow 0A$. Perciò l'equazione precedente diventa:

$$I_2 = I_1$$

Utilizzando la legge di Ohm generalizzata, le correnti si possono esprimere come:

$$\frac{V^-(s) - V_i(s)}{R_2} = (V_o(s) - V^-(s)) \cdot \frac{1 + s \cdot R_1 C_1}{R_1}$$

Se un circuito è retroazionato negativamente, $V^+ = V^-$ per il principio del cortocircuito virtuale. Dato che V^+ è a massa, la sua tensione è di 0V, di conseguenza anche V^- si troverà a questa tensione.

L'equazione precedente diventa:

$$\frac{-V_i(s)}{R_2} = V_o(s) \cdot \frac{1 + s \cdot R_1 C_1}{R_1}$$

Tramite quest'equazione è facile ricavare la funzione di trasferimento del circuito, che risulta:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot R_1 C_1}$$

La funzione di trasferimento ottenuta è quella di un filtro passa-basso, perché al denominatore troviamo il termine $1 + s \cdot R_1 C_1$. Vediamo che c'è però anche un fattore di guadagno pari al rapporto fra R_1 e R_2 . Compare anche un segno meno, pertanto l'ingresso e l'uscita saranno sfasate di $\pm 180^\circ$.

Se passiamo al regime sinusoidale, sostituiamo s con $j\omega$. La funzione di trasferimento diventa:

$$\frac{V_o(\omega)}{V_i(\omega)} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \cdot R_1 C_1}$$

La frequenza di taglio del filtro è pari a $f_T = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 C_1}$. A questa frequenza il guadagno si riduce di

3 dB e lo sfasamento è di $\mp 45^\circ$.

Se lavoriamo a frequenze minori della frequenza di taglio del filtro, il termine passa-basso è trascurabile, perciò la funzione di trasferimento si semplifica:

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_1}{R_2}$$

Vediamo che il guadagno dipende dal rapporto fra le due resistenze: se $R_1 < R_2$ il circuito attenua il segnale in ingresso, quindi otteniamo un attenuatore (invertente); se $R_1 > R_2$ il segnale viene amplificato, perciò il circuito si comporta come un amplificatore (invertente); infine, se $R_1 = R_2$ il circuito ha guadagno unitario, di conseguenza si comporta come un buffer.

1.3 Dimensionamento, misure e osservazioni

Per alimentare l'amplificatore operazionale abbiamo utilizzato un'alimentazione duale, con tensione positiva di 10 V e alimentazione negativa di -10 V. L'obiettivo è realizzare un filtro con frequenza di taglio dell'ordine di 10 kHz e guadagno 10.

Per il dimensionamento scegliamo $R_1 = 18 \text{ k}\Omega$ e calcoliamo R_2 dalla formula del guadagno:

$$G = \frac{R_1}{R_2} \rightarrow R_2 = \frac{R_1}{G} = \frac{18 \text{ k}\Omega}{10} = 1.8 \text{ k}\Omega$$

Dalla frequenza di taglio desiderata calcoliamo il valore che deve avere la capacità C_1 :

$$f_T = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 C_1} \rightarrow C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot f_T} = \frac{1}{2\pi \cdot 18 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ kHz}} \simeq 0.88 \text{ nF}$$

Scegliamo di approssimare C_1 a 1 nF, perciò la frequenza di taglio del nostro filtro sarà:

$$f_T = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 18 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ nF}} \simeq 8.8 \text{ kHz}$$

In figura 1.3 è riportato lo schema del circuito con i valori dei componenti scelti.

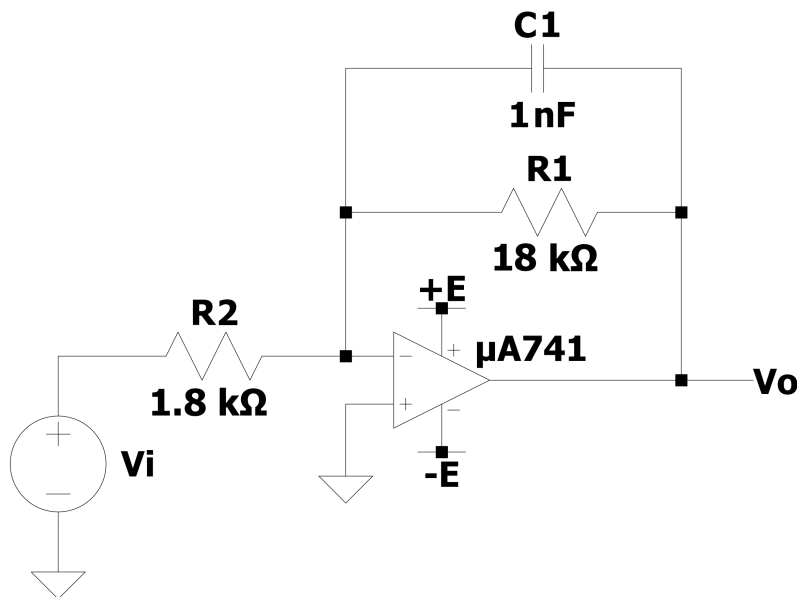


Figura 1.3: Schema del filtro passa-basso attivo.

Con il multimetro andiamo a misurare il valore delle resistenze che monteremo sulla breadboard. Le misure sono riportate in tabella 1.1.

	Valore nominale	Valore misurato
R_1	18 k Ω	17.977 Ω
R_2	1.8 k Ω	1.815 k Ω

Tabella 1.1: Misure delle resistenze utilizzate per il circuito.

Per realizzare il filtro posizioniamo il $\mu A741$ sulla breadboard e colleghiamo i terminali in questo modo:

- il terminale numero 8 è *Not Connected*, perciò non viene collegato a nulla;
- i terminali 7 e 4 sono collegati rispettivamente all'alimentazione positiva e all'alimentazione negativa;
- i terminali 1 e 5 servono per compensare l'offset, li lasciamo floating;
- il terminale 3, ovvero l'ingresso non-invertente, lo connettiamo a massa;
- il terminale 2 è l'ingresso invertente. A questo terminale colleghiamo un terminale della resistenza R_1 e un terminale della capacità C_1 , inoltre applichiamo il segnale tramite la resistenza R_2 ;
- il terminale 6 serve per prelevare l'output. Questo terminale è collegato al terminale di R_1 e al terminale di C_1 non connessi con il pin 6.

In figura 1.4 è mostrata una fotografia del circuito realizzato in cui si possono vedere le connessioni descritte in precedenza.

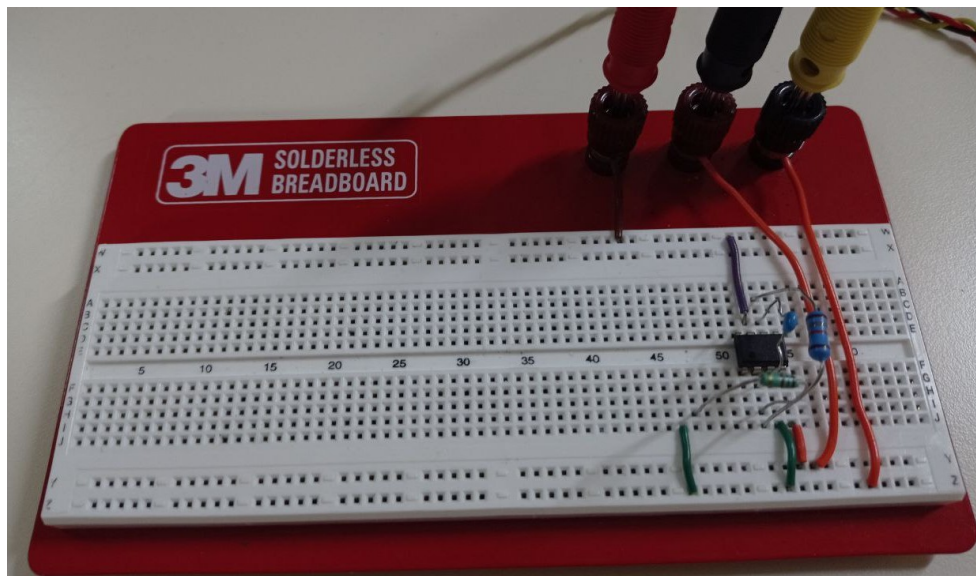


Figura 1.4: Fotografia del filtro passa-basso attivo realizzato in laboratorio.

Alimentiamo il circuito e applichiamo un segnale collegando con un cavo BNC il generatore di forme d'onda al circuito. Per osservare la risposta del filtro utilizziamo l'oscilloscopio collegando le due sonde come mostrato in figura 1.5. I coccodrilli delle due sonde li colleghiamo a massa, la punta della prima sonda (CH1, traccia gialla) la colleghiamo al capo della resistenza R_2 connesso al generatore di forme d'onda, mentre la punta dell'altra sonda (CH2, traccia azzurra) la connettiamo al terminale di R_1 connesso al pin 6 del $\mu A741$.

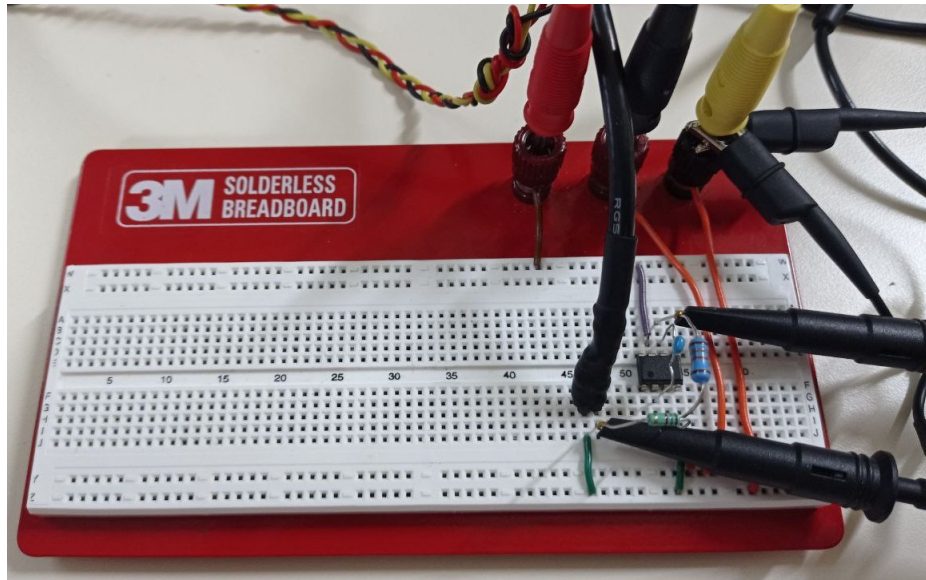


Figura 1.5: Fotografia del filtro passa-basso attivo con le connessioni del segnale e dell'oscilloscopio.

Nella fig sotto è mostrato il grafico dell'oscilloscopio con La forma d'onda scelta è una senoide di frequenza 100 Hz e tensione picco-picco $V_{PP} = 500 \text{ mV}$.

Frequenza	$V_{PP,in}$ [V]	$V_{PP,out}$ [V]	Guadagno	Sfasamento [°]
100 Hz	0.488	4.804	9.84	-179.3
500 Hz	0.488	4.799	9.83	-176.8
1 kHz	0.485	4.779	9.85	-173.4
5 kHz	0.481	4.188	8.71	-149.7
8.8 kHz	0.484	3.388	7.00	-133.9
10 kHz	0.485	3.163	6.52	-129.7
50 kHz	0.483	0.833	1.72	-96.3
100 kHz	0.484	0.427	0.88	-87.7
500 kHz	0.487	0.943	1.94	-58.6
1 MHz	0.488	0.542	1.11	-41.9
5 MHz	0.477	0.621	1.30	-35.9
10 MHz	0.430	0.106	0.25	-9.8

Tabella 1.2: Grandezze misurate ad ogni frequenza.