

# Filtri passa-basso e passa-alto

Questa relazione è stata effettuata in data 24/10/2024 dal gruppo 3 del laboratorio di SETM, formato da Carbone Orazio (S300511), Dandolo Giacomo (S296525), Favellato Francesco (S312697) e Genduso Cristina (S293536).

## 1 Caratteristiche dell'esperienza

### 1.1 Obiettivo

L'obiettivo di questa esperienza è di valutare le caratteristiche di filtri RC passa-basso e passa-alto, e precisamente la frequenza di taglio, la risposta nel dominio della frequenza, relativi diagrammi di Bode per modulo e fase del circuito, risposta nel dominio del tempo e la relativa costante di tempo.

### 1.2 Materiale utilizzato

1. Componenti elettronici:

- scheda premontata con filtri passa-basso, passa-alto, coppia polo-zero, coppia zero-polo, partitore compensato e filtro RLC con Q variabile;

2. Strumentazione:

- generatore di funzione Hantek HDG2032B;
- oscilloscopio digitale Rigol DS1054 Z.

## 2 Filtro passa-basso

Definiamo le caratteristiche del filtro passa-basso:

- resistenza  $R = 1.000 \pm 5\% \text{ k}\Omega$ ;
- capacità  $C = 10 \pm 20\% \text{ nF}$ .

Misurando la resistenza con l'ohmetro, troviamo che vale  $R_{pb} = 1.040 \text{ k}\Omega$ , ed è quindi compatibile con la tolleranza dichiarata dal produttore.

### 2.1 Frequenza di taglio

Utilizziamo i valori di  $R_{pb}$  e  $C$  determinati in precedenza per calcolare la frequenza di taglio  $f_T$ .

$$f_T = \frac{1}{2\pi R_{pb} C} = 15.303 \text{ kHz}$$

Attraverso le formule di propagazione, possiamo determinare il valore dell'incertezza assoluta e relativa della frequenza di taglio del filtro passa-basso.

## 2.2 Risposta nel dominio della frequenza

Configuriamo i dispositivi che sono necessari per le misure:

1. colleghiamo l'uscita del generatore di funzione in modo da poter collegare contemporaneamente il generatore di funzioni al canale CH1 e al filtro passa-basso;
2. impostiamo il generatore di funzioni in modo da avere una sinusoide di ampiezza picco-picco di  $0.8\text{ V}$  alla frequenza di  $100\text{ Hz}$ ;
3. colleghiamo l'uscita del filtro al canale CH2 dell'oscilloscopio per mezzo di un cavo coassiale che presenta un connettore BNC e all'altra un connettore di tipo "coccodrillo";
4. impostiamo il coefficiente di sensibilità verticale dell'oscilloscopio, per i due canali di ingresso, sul valore di  $\text{Res} = 200 \frac{\text{mV}}{\text{div}}$ ;
5. impostiamo il valore di sensibilità orizzontale come il valore più opportuno per visualizzare almeno un periodo del segnale;
6. posizioniamo l'interruttore del filtro passa-basso in modo che il secondo condensatore non sia collegato.

Misuriamo l'ampiezza dei segnali di ingresso e di uscita del filtro, riportando i risultati nella tabella sottostante. Allo stesso tempo, si misura anche la differenza di fase fra i due segnali.

Frequenza (kHz)	$V_{in} \pm \delta V_{in} \text{ (mV)}$	$V_{out} \pm \delta V_{out} \text{ (mV)}$	$\Delta\Phi \pm \delta(\Delta\Phi) \text{ (}^\circ\text{)}$	$20 \log_{10}(V_{out}/V_{in})$
0.1	$844 \pm 88$	$832 \pm 88$	-2	-0.12
0.3	$844 \pm 88$	$832 \pm 88$	-2	-0.12
0.5	$844 \pm 88$	$832 \pm 88$	-2	-0.12
1.0	$844 \pm 88$	$832 \pm 88$	-5	-0.12
3.0	$844 \pm 88$	$788 \pm 88$	-19	-0.60
5.0	$844 \pm 88$	$716 \pm 88$	-28	-1.43
10.0	$844 \pm 88$	$536 \pm 88$	-47	-3.94
13.0	$844 \pm 88$	$448 \pm 88$	-60	-5.50
15.0	$844 \pm 88$	$416 \pm 88$	-55	-6.14
17.0	$844 \pm 88$	$376 \pm 88$	-62	-7.02
20.0	$844 \pm 88$	$336 \pm 88$	-65	-8.00
30.0	$844 \pm 88$	$236 \pm 88$	-71	-11.07
50.0	$844 \pm 88$	$148 \pm 88$	-73	-15.12
100.0	$832 \pm 88$	$96 \pm 88$	-90	-18.88
1000.0	$832 \pm 88$	$0 \pm 88$	0	—

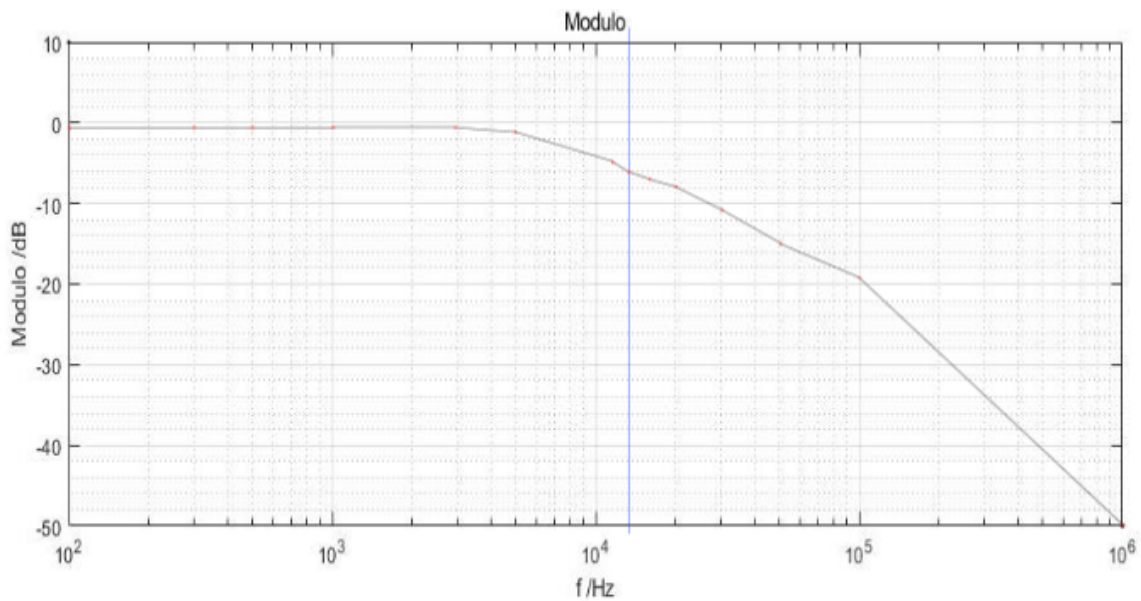


Diagramma di Bode del modulo del filtro passa-basso

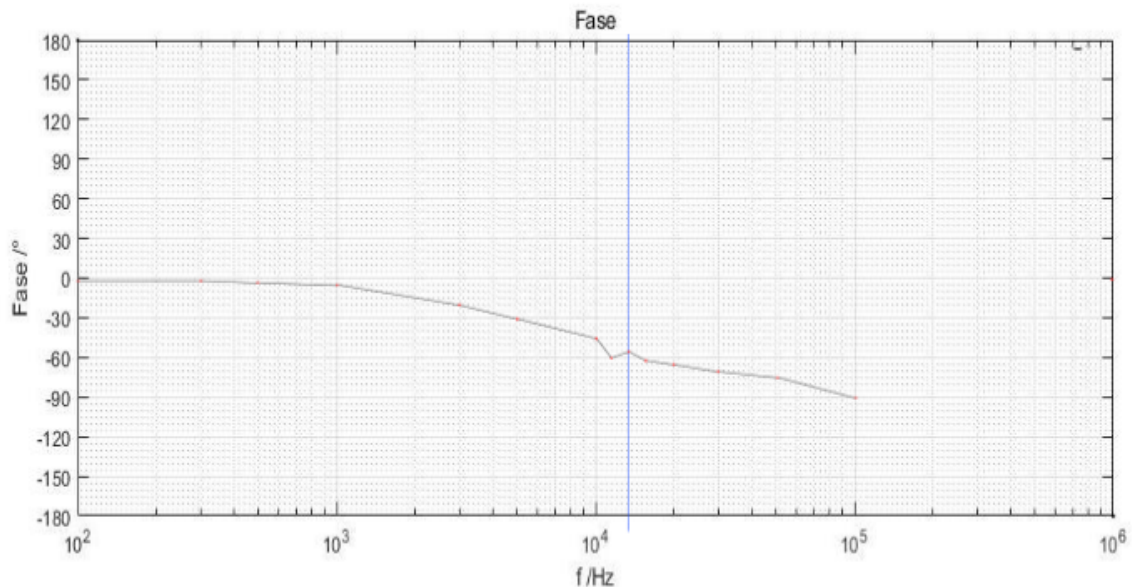


Diagramma di Bode della fase del filtro passa-basso

Il diagramma di Bode della fase si interrompe alla quinta decade perché i valori misurati in quell'intervallo non permettono una valutazione valida della risposta in fase del filtro passa-basso.

## 2.3 Risposta nel dominio del tempo e misura della costante di tempo

Configuriamo i dispositivi che sono necessari per le misure:

1. utilizziamo il collegamento del generatore di funzioni all'ingresso del filtro passa-basso e al DSO tramite la transizione T-BNC;
2. impostiamo il generatore di funzioni in modo da avere un segnale ad onda quadra di ampiezza di valore minimo 0 V e valore massimo 1 V alla frequenza 1 kHz;

3. il canale CH2 del DSO deve essere collegato all'uscita del filtro;
4. impostiamo la sensibilità verticale dell'oscilloscopio, per i due canali di ingresso, al valore  $\text{Res} = 200 \frac{mV}{div}$ ;
5. impostiamo il valore di sensibilità orizzontale come il valore più opportuno per visualizzare almeno un periodo del segnale;
6. impostiamo il trigger del DSO sul canale CH1 con livello di trigger  $0.5 V$  e slope positivo;

Allineiamo il fronte di salita del segnale presente al CH1 all'estrema sinistra dello schermo del DSO, agendo sulla manopola che definisce la posizione dell'istante di trigger sullo schermo. Espandiamo la base tempi in modo da visualizzarne al meglio la caratteristica esponenziale e poter quindi misurare la costante di tempo  $\tau$  del filtro attraverso il tempo di salita.

$$t_s = 22.9 \mu s \qquad t_s = 0.35 \cdot 2\pi\tau \Rightarrow \tau = \frac{t_s}{0.35 \cdot 2\pi} = 10.4 \mu s$$

Dalla misurazione di  $\tau$  valutiamo la frequenza di taglio del filtro passa-basso.

$$f_m = \frac{1}{2\pi\tau} = 15.283 \text{ kHz}$$

## 3 Filtro passa-alto

Definiamo le caratteristiche del filtro passa-alto:

- resistenza  $R = 1.000 \pm 5\% \text{ k}\Omega$ ;
- capacità  $C = 10 \pm 20\% \text{ nF}$ .

Misurando la resistenza con l'ohmetro, troviamo che vale  $R_{pa} = 0.987 \text{ k}\Omega$ , ed è quindi compatibile con la tolleranza dichiarata dal produttore.

### 3.1 Frequenza di taglio

Utilizziamo i valori di  $R_{pa}$  e  $C$  determinati in precedenza per calcolare la frequenza di taglio  $f_T$ .

$$f_T = \frac{1}{2\pi R_{pa} C} = 16.125 \text{ kHz}$$

Attraverso le formule di propagazione, possiamo determinare il valore dell'incertezza assoluta e relativa della frequenza di taglio del filtro passa-alto.

### 3.2 Risposta nel dominio della frequenza

Configuriamo i dispositivi che sono necessari per le misure:

1. colleghiamo l'uscita del generatore di funzione in modo da poter collegare contemporaneamente il generatore di funzioni al canale CH1 e al filtro passa-alto;
2. impostiamo il generatore di funzioni in modo da avere una sinusoide di ampiezza picco-picco di  $0.8 V$  alla frequenza di  $100 \text{ Hz}$ ;

- collegiamo l'uscita del filtro al canale CH2 dell'oscilloscopio per mezzo di un cavo coassiale che presenta un connettore BNC e all'altra un connettore di tipo "coccodrillo";
- impostiamo il coefficiente di sensibilità verticale dell'oscilloscopio, per i due canali di ingresso, sul valore di  $\text{Res} = 200 \frac{\text{mV}}{\text{div}}$ ;
- impostiamo il valore di sensibilità orizzontale come il valore più opportuno per visualizzare almeno un periodo del segnale;
- posizioniamo l'interruttore del filtro passa-alto in modo che il secondo condensatore non sia collegato.

Misuriamo l'ampiezza dei segnali di ingresso e di uscita del filtro, riportando i risultati nella tabella sottostante. Allo stesso tempo, si misura anche la differenza di fase fra i due segnali.

Frequenza (kHz)	$V_{in} \pm \delta V_{in}$ (mV)	$V_{out} \pm \delta V_{out}$ (mV)	$\Delta\Phi \pm \delta(\Delta\Phi) (^{\circ})$	$20 \log_{10}(V_{out}/V_{in})$
0.1	$844 \pm 88$	$0 \pm 88$	0	—
0.3	$844 \pm 88$	$0 \pm 88$	0	—
0.5	$844 \pm 88$	$0 \pm 88$	0	—
1.0	$844 \pm 88$	$0 \pm 88$	0	—
3.0	$844 \pm 88$	$152 \pm 88$	-81	-14.89
5.0	$844 \pm 88$	$236 \pm 88$	-75	-11.07
10.0	$844 \pm 88$	$404 \pm 88$	-61	-6.40
13.0	$844 \pm 88$	$488 \pm 88$	-53	-4.76
15.0	$844 \pm 88$	$524 \pm 88$	-52	-4.14
17.0	$844 \pm 88$	$560 \pm 88$	-43	-3.56
20.0	$844 \pm 88$	$600 \pm 88$	-39	-2.96
30.0	$844 \pm 88$	$672 \pm 88$	-33	-1.98
50.0	$844 \pm 88$	$740 \pm 88$	-20	-1.14
100.0	$844 \pm 88$	$772 \pm 88$	-10	-0.77
1000.0	$844 \pm 88$	$844 \pm 88$	0	0.00

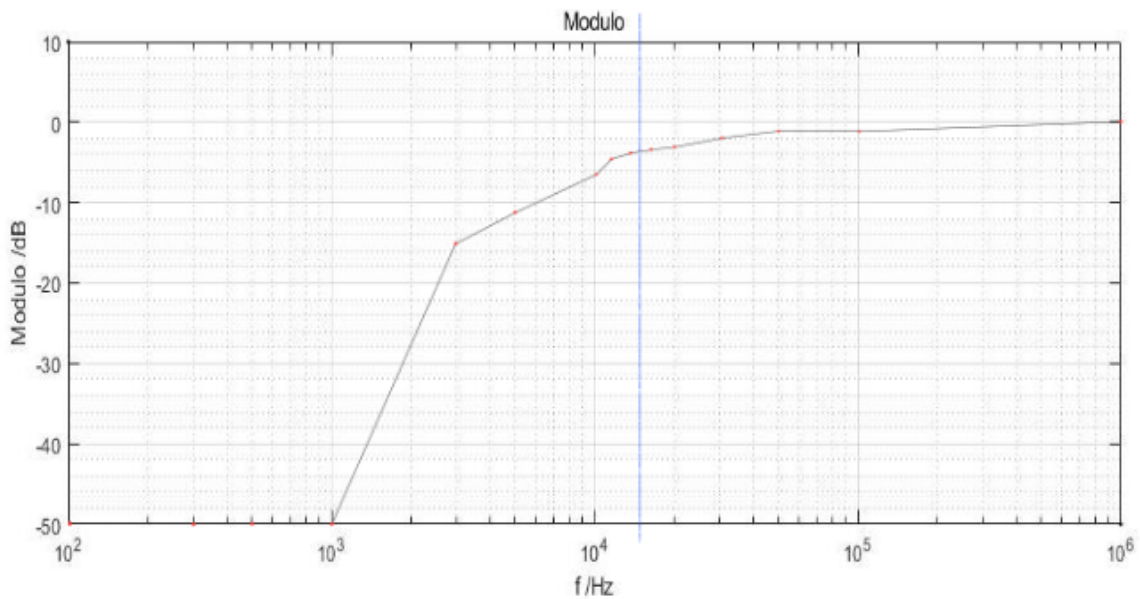


Diagramma di Bode del modulo del filtro passa-alto

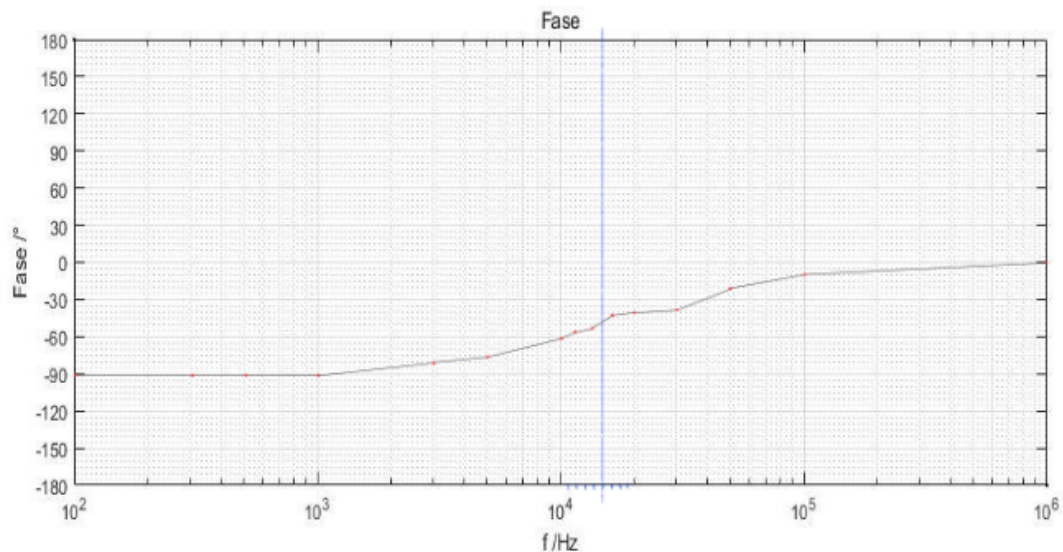


Diagramma di Bode della fase del filtro passa-alto

### 3.3 Risposta nel dominio del tempo e misura della costante di tempo

Configuriamo i dispositivi che sono necessari per le misure:

1. utilizziamo il collegamento del generatore di funzioni all'ingresso del filtro passa-alto e al DSO tramite la transizione T-BNC;
2. impostiamo il generatore di funzioni in modo da avere un segnale ad onda quadra di ampiezza di valore minimo  $0\text{ V}$  e valore massimo  $1\text{ V}$  alla frequenza  $1\text{ kHz}$ ;
3. il canale CH2 del DSO deve essere collegato all'uscita del filtro;
4. impostiamo la sensibilità verticale dell'oscilloscopio, per i due canali di ingresso, al valore  $\text{Res} = 200 \frac{\text{mV}}{\text{div}}$ ;

5. impostiamo il valore di sensibilità orizzontale come il valore più opportuno per visualizzare almeno un periodo del segnale;
6. impostiamo il trigger del DSO sul canale CH1 con livello di trigger  $0.5\text{ V}$  e slope positivo;

Allineiamo il fronte di salita del segnale presente al CH1 all'estrema sinistra dello schermo del DSO, agendo sulla manopola che definisce la posizione dell'istante di trigger sullo schermo. Espandiamo la base tempi in modo da visualizzarne al meglio la caratteristica esponenziale e poter quindi misurare la costante di tempo  $\tau$  del filtro attraverso il tempo di salita.

$$t_s = 21.7\mu s$$

$$t_s = 0.35 \cdot 2\pi\tau \Rightarrow \tau = \frac{t_s}{0.35 \cdot 2\pi} = 9.9\mu s$$

Dalla misurazione di  $\tau$  valutiamo la frequenza di taglio del filtro passa-alto.

$$f_m = \frac{1}{2\pi\tau} = 16.129\text{ kHz}$$

## 4 Conclusioni

Le caratteristiche ottenute per entrambi i filtri risultano compatibili con le caratteristiche teoriche dei filtri passa-basso e passa-alto. Ciò è provato anche attraverso i diagrammi di Bode che sono stati ottenuti dalle misurazioni rispettivamente nei punti 2.2 e 3.2.