

↓ Filtri di ordine superiore

I filtri di ordine superiore conservano le caratteristiche studiate per Bessel, Butterworth e Chebyshev relativamente a ripple in banda, pendenza al taglio e fase, ma hanno pendenze al taglio più marcate (fig. 1).

I filtri di ordine superiore ricavati da un unico operazionale possono risultare instabili o difficilmente tarabili, spesso perciò si preferisce comporli ponendo in cascata tra loro filtri di ordine inferiore con i coefficienti opportunamente dimensionati.

Una volta noti l'ordine e il tipo di filtro da implementare, sono disponibili tabelle che forniscono il guadagno K da assegnare a ciascuno stadio e, solo per i tipi non Butterworth, il coefficiente di correzione da applicare al valore desiderato della frequenza di taglio.

In **tab. 1** sono riportati i valori da utilizzare per dimensionare i diversi stadi VCVS passa basso del secondo ordine.

Per i filtri VCVS passa alto, i valori di K restano inalterati, mentre i fattori di correzione f_n vanno invertiti:

$$f'_n = \frac{1}{f_n}$$

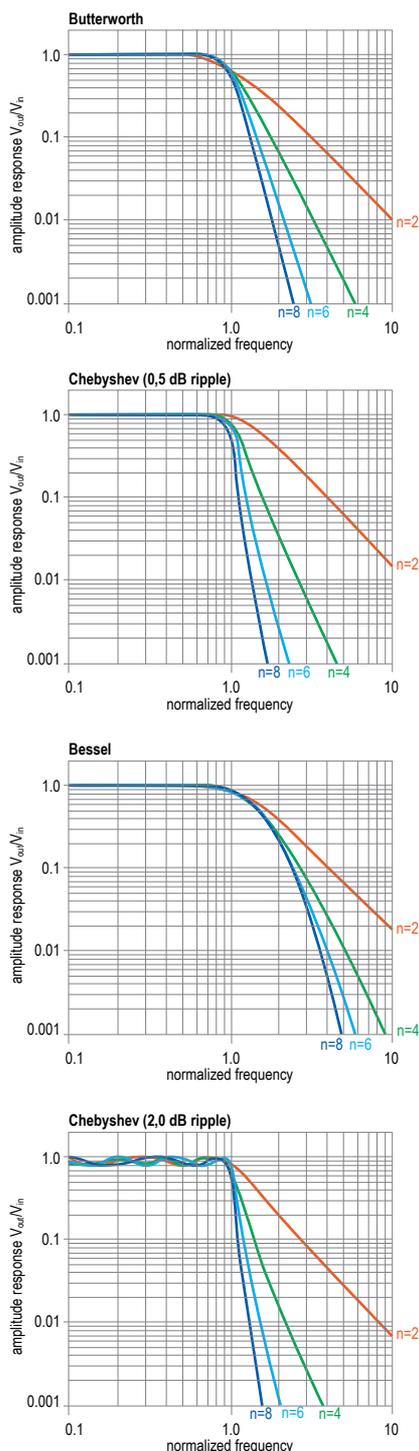


Fig. 1. Risposte normalizzate in frequenza di filtri di ordine superiore.

Tab. 1 – Guadagno e coefficienti di correzione da assegnare a ciascuno stadio di filtri di ordine superiore							
N. poli	Butterworth	Bessel		Chebyshev (0,5 dB ripple)		Chebyshev (2 dB ripple)	
	K	f_n	K	f_n	K	f_n	K
2	1,586	1,274	1,268	1,231	1,482	0,907	2,114
4	1,152	1,432	1,084	0,597	1,582	0,471	1,924
	2,235	1,606	1,759	1,031	2,660	0,964	2,782
6	1,068	1,607	1,040	0,396	1,537	0,316	1,891
	2,483	1,908	2,023	1,011	2,846	0,983	2,904
8	1,038	1,781	1,024	0,297	1,522	0,238	1,879
	1,337	1,835	1,213	0,599	2,379	0,572	2,605
	1,889	1,956	1,593	0,861	2,711	0,842	2,821
	2,610	2,192	2,184	1,006	2,913	0,990	2,946



ESERCIZIO A

Implementare un filtro attivo passa basso Butterworth del quarto ordine, con $f_{pass} = 1$ kHz, guadagno unitario, utilizzando la struttura Sallen & Key.

SOLUZIONE

Dalla **tab. 1** si ottengono $K_1 = 1,152$, $K_2 = 2,235$
Fissati $C = 10$ nF e $R_A = 10$ k Ω si ricava:

- per il primo stadio

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 15,9 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = R_A \cdot [K - 1] = 10 \text{ k}\Omega \cdot [1,152 - 1] = 1,52 \text{ k}\Omega$$

- per il secondo stadio $R = 15,9$ k Ω

$$R_B = R_A \cdot [K - 1] = 10 \text{ k}\Omega \cdot [2,235 - 1] = 12,35 \text{ k}\Omega$$

Essendo:

$$K_1 \cdot K_2 = 1,152 \cdot 2,235 = 2,575$$

per garantire il guadagno unitario bisogna attenuare l'uscita di una pari quantità, da qui i valori del partitore di uscita di **fig. 2**.

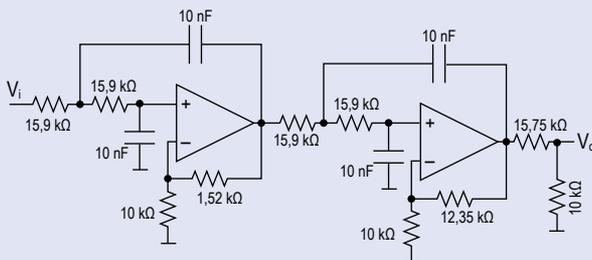


Fig. 2.

ESERCIZIO 1

Implementare un filtro attivo passa basso Butterworth del quarto ordine, con $f_{pass} = 10$ kHz, guadagno unitario, utilizzando la struttura Sallen & Key, fissati $C = 3,3$ nF, $R_A = 12$ k Ω .

[Ris.: $R = 4.823 \Omega$, $R_{B1} = 1,824$ k Ω , $R_{B2} = 14,82$ k Ω , partitore di uscita con attenuazione 0,388]



ESERCIZIO B

Implementare un filtro attivo passa alto Chebyshev del quarto ordine, con $f_{pass} = 1$ kHz e ripple in banda massimo 2 dB, utilizzando la struttura Sallen & Key.

SOLUZIONE

Dalla **tab. 1** si ottengono $K_1 = 1,924$, $f_{n1}' = 1/0,471 = 2,123$, $f_{n2}' = 1/0,964 = 1,0373$, $K_2 = 2,782$

Fissati $C = 10$ nF e $R_A = 10$ k Ω si ricava:

- per il primo stadio

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{n1}' \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2,123 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 7.497 \Omega$$

$$R_B = R_A \cdot [K - 1] = 10 \text{ k}\Omega \cdot [1,924 - 1] = 9,24 \text{ k}\Omega$$

- per il secondo stadio

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{n2}' \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,0373 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 15,343 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = R_A \cdot [K - 1] = 10 \text{ k}\Omega \cdot [2,782 - 1] = 17,82 \text{ k}\Omega$$

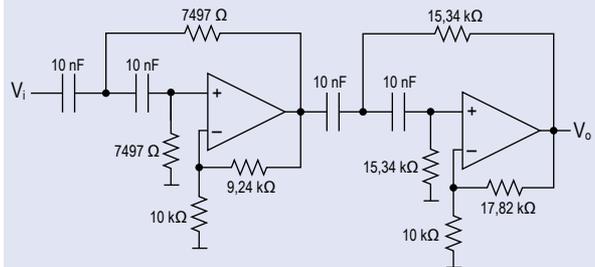


Fig. 3.

ESERCIZIO 2

Implementare un filtro attivo passa basso Chebyshev del quarto ordine, con $f_{pass} = 10$ kHz e ripple in banda massimo 0,5 dB, utilizzando la struttura Sallen & Key, fissati $C = 3,3$ nF, $R_A = 12$ k Ω .

[Ris.: $R_1 = 8.079 \Omega$, $R_{B1} = 6,984$ k Ω , $R_2 = 4.678 \Omega$, $R_{B2} = 19,92$ k Ω]

ESERCIZIO 3

Implementare un filtro attivo passa alto Chebyshev del quarto ordine, con $f_{pass} = 10$ kHz e ripple in banda massimo 0,5 dB, utilizzando la struttura Sallen & Key, fissati $C = 3,3$ nF, $R_A = 12$ k Ω .

[Ris.: $R_1 = 2.879 \Omega$, $R_{B1} = 6,984$ k Ω , $R_2 = 4.972 \Omega$, $R_{B2} = 19,92$ k Ω]