



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Corso di Elettronica II – Modulo B

*Attività di Laboratorio:
Progettazione di un Filtro*

*Prof. D. Manstretta
AA 2022-23*

Istruzioni

- L'obiettivo finale di questa attività di laboratorio consiste nella progettazione, realizzazione e verifica sperimentale di un filtro che rispetti le specifiche di progetto
- Scaricare i files:
 - Progetto: Filtri_prj
 - Slides in pdf
 - File PPT per la relazione
- Aprire il progetto in QUCS-Studio
- Seguire la lezione e rispondere alle domande con l'ausilio del simulatore
- **Preparare una relazione con le risposte alle domande**

Progettazione di un Filtro

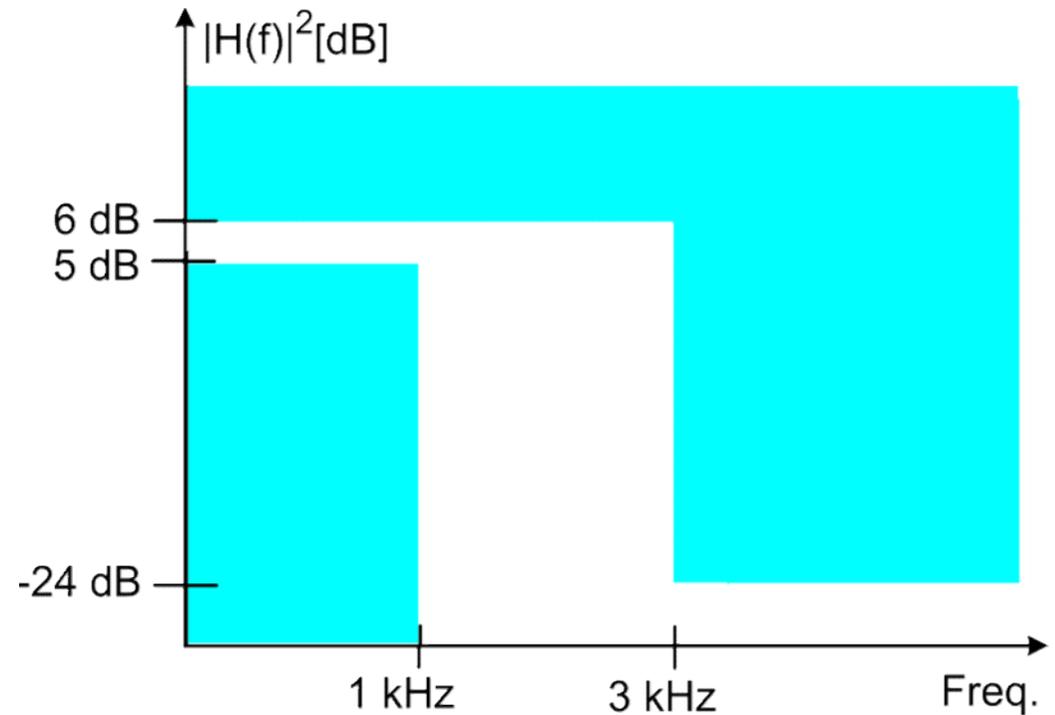
Laboratorio 3

Relazione sull'Attività di Laboratorio

Nome Cognome, # Matricola

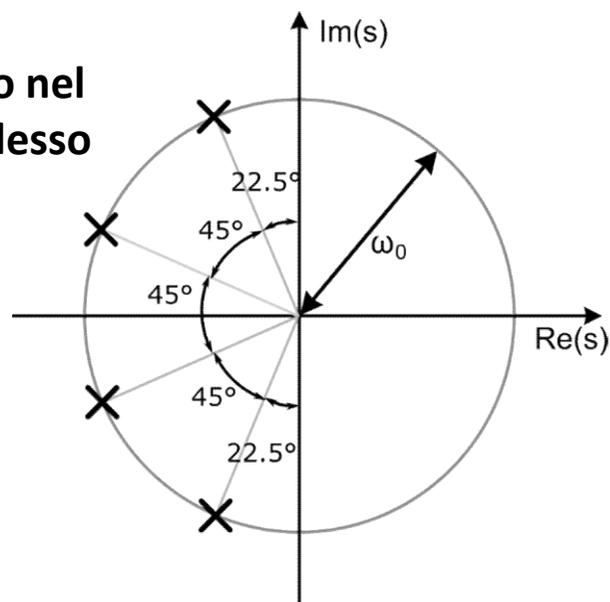
Obiettivi di Progetto

1. Guadagno DC 6 dB
2. Banda passante $f_p=1$ kHz
3. Ripple in banda 1dB
4. Banda arrestata $f_s=3$ kHz
5. Minima attenuazione 30 dB
6. Rumore integrale 60 μVrms
 1. Si consideri solo il rumore delle resistenze



Domanda 1

Poli del filtro nel piano complesso

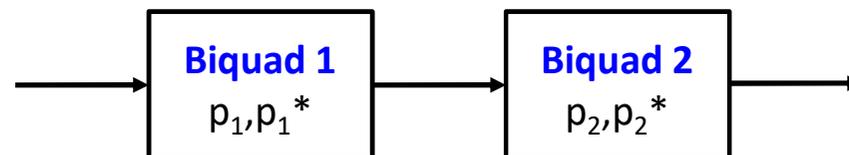


1. Verificare che la maschera è soddisfatta da un filtro di Butterworth del 4° ordine
 - Calcolare la frequenza e il Q dei poli complessi
 - Se si imposta la frequenza dei poli a 100kHz la maschera è soddisfatta?

$$Q_1 = \frac{1}{2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)} = 1.3 \qquad Q_2 = \frac{1}{2 \sin\left(\frac{3\pi}{8}\right)} = 0.54$$

Realizzazione Circuitale

- Realizzare il filtro come cascata di due filtri del 2° ordine
- Realizzare i due filtri del 2° ordine utilizzando 2 celle diverse tra loro a scelta tra quelle viste a lezione (ad es. Sallen-Key e Rauch, Tow-Thomas e KHN, ecc.).



Biquad 1

- Schema circuitale da QUCS

Dimensionare il circuito

Riportare le formule utilizzate
per il dimensionamento del
circuito

Biquad 1

- Funzione di trasferimento simulata
 - Ampiezza e fase

- Verificare la corrispondenza tra la risposta in frequenza teorica e i risultati di simulazione

Biquad 2

- Schema circuitale da QUCS

Dimensionare il circuito

Riportare le formule utilizzate
per il dimensionamento del
circuito

Biquad 2

- Funzione di trasferimento simulata
 - Ampiezza e fase

- Verificare la corrispondenza tra la risposta in frequenza teorica e i risultati di simulazione

Filtro Completo

- Funzione di trasferimento simulata
 - Ampiezza e fase
- Verificare la corrispondenza tra la risposta in frequenza teorica ed i risultati di simulazione
- Verificare il rispetto della maschera di progetto del filtro

Dimensionamento del Circuito

- Verificare il rispetto della specifica di rumore tramite il simulatore QUCS
- Ridimensionare il circuito scalando i valori di capacità e resistenze al fine di raggiungere l'obiettivo di rumore con la minima capacità totale.
 - Per semplicità si consiglia di utilizzare lo stesso valore di capacità per tutti gli integratori

Realizzazione del Circuito

- Adattare i valori di capacità e resistenze in base alla disponibilità delle serie commerciali. Risimulare il circuito con i valori aggiornati.
- Riportare lo schema con i valori utilizzati in allegato
- Misurare la risposta in frequenza del circuito calcolando il guadagno (V_o/V_i) per diversi valori di frequenza, partendo da 1/10 della frequenza di taglio fino a 10 volte la frequenza di taglio
 - Si suggerisce di utilizzare un passo in frequenza più fitto in prossimità della frequenza di taglio in modo da rappresentare con maggiore accuratezza il profilo di filtraggio
 - Misurare la risposta di ciascun biquad prima e della cascata poi

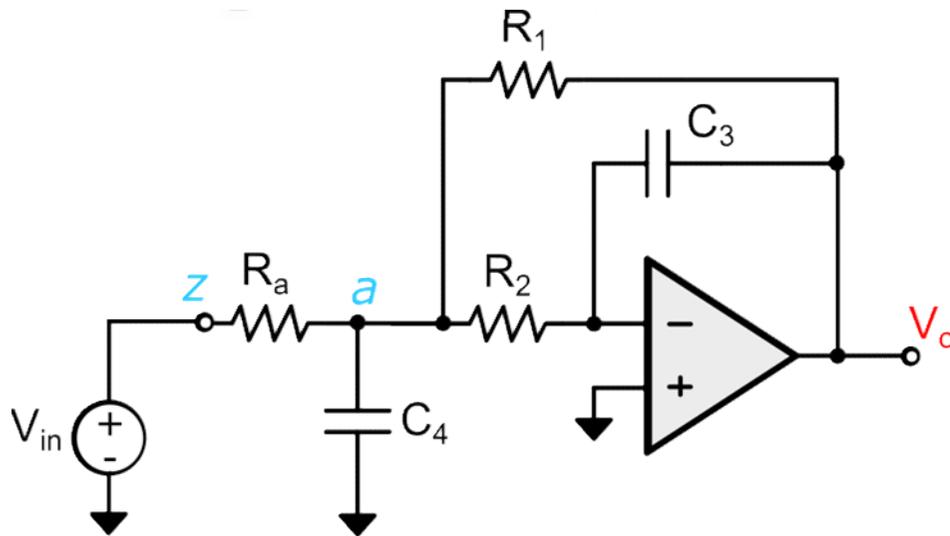


UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Soluzione

Filtro di Rauch

- Il guadagno complessivo deve essere 2. Ad esempio una cella con guadagno unitario ed una con guadagno pari a 2.
- Proviamo 2 possibili scelte di design:
 - Design 1: $A_1=2$, $Q_1=0.54$
 - Design 2: $A_2=1$, $Q_2=1.3$



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_3 C_4}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{\frac{C_4}{C_3}}}{\frac{\sqrt{R_1 R_2}}{R_a} + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} + \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}}$$

Filtro di Butterworth: Frequenza dei Poli

- Troviamo il limite inferiore alla frequenza dei poli imponendo 1dB di ripple a 1kHz:

$$\left(\frac{f_p}{f_0}\right)^8 = 10^{1/10} - 1 = 0.259$$

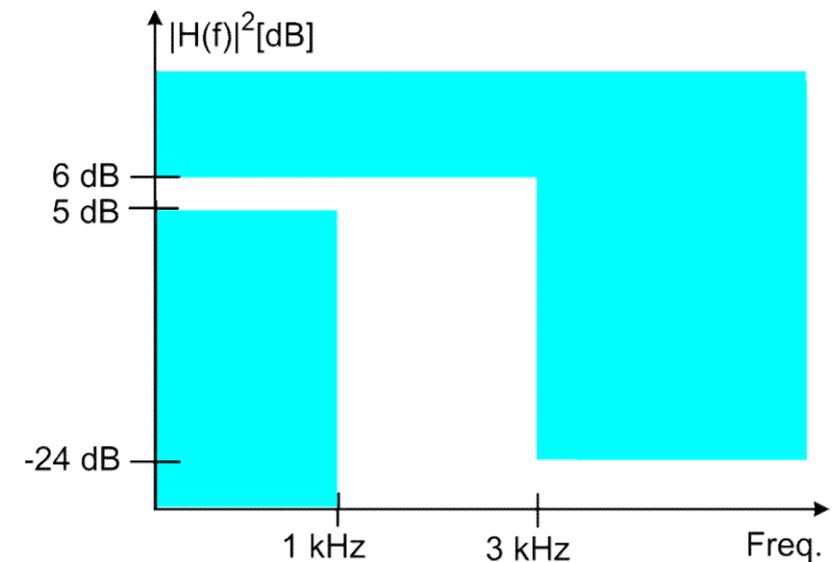
$$f_0 = \frac{f_p}{0.259^{1/8}} = \frac{1\text{kHz}}{0.8446} = 1.118\text{kHz}$$

- Troviamo il limite superiore alla frequenza dei poli imponendo 30B di attenuazione a 3kHz:

$$\left(\frac{f_s}{f_0}\right)^8 = 10^{30/10} - 1 = 999$$

$$f_0 = \frac{f_s}{999^{1/8}} = \frac{3\text{kHz}}{2.371} = 1.265\text{kHz}$$

Butterworth, 4° ordine



$$f_0 = 1.2 \text{ kHz}$$

Design Rauch

Design 1 ($A_1=2$, $Q_1=0.54$)

- $R_a=R_1/2$
- Scegliamo $R_1=3R_2$

$$Q_1 = \frac{\sqrt{\frac{C_4}{C_3}}}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} + 3\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}} = \frac{\sqrt{\frac{C_4}{C_3}}}{2\sqrt{3}} = 0.54$$

$$\frac{C_4}{C_3} = 12 \times Q_1^2 = 3.51 \quad \omega_0 = \frac{1}{6Q_1R_2C_3}$$

- Scegliamo $C_3=1\text{nF}$
- Allora: $C_4=3.51\text{nF}$, $R_1=86.1\text{k}\Omega$,
 $R_2=28.7\text{k}\Omega$, $R_a=43.1\text{k}\Omega$

Design 2 ($A_2=1$, $Q_2=1.3$)

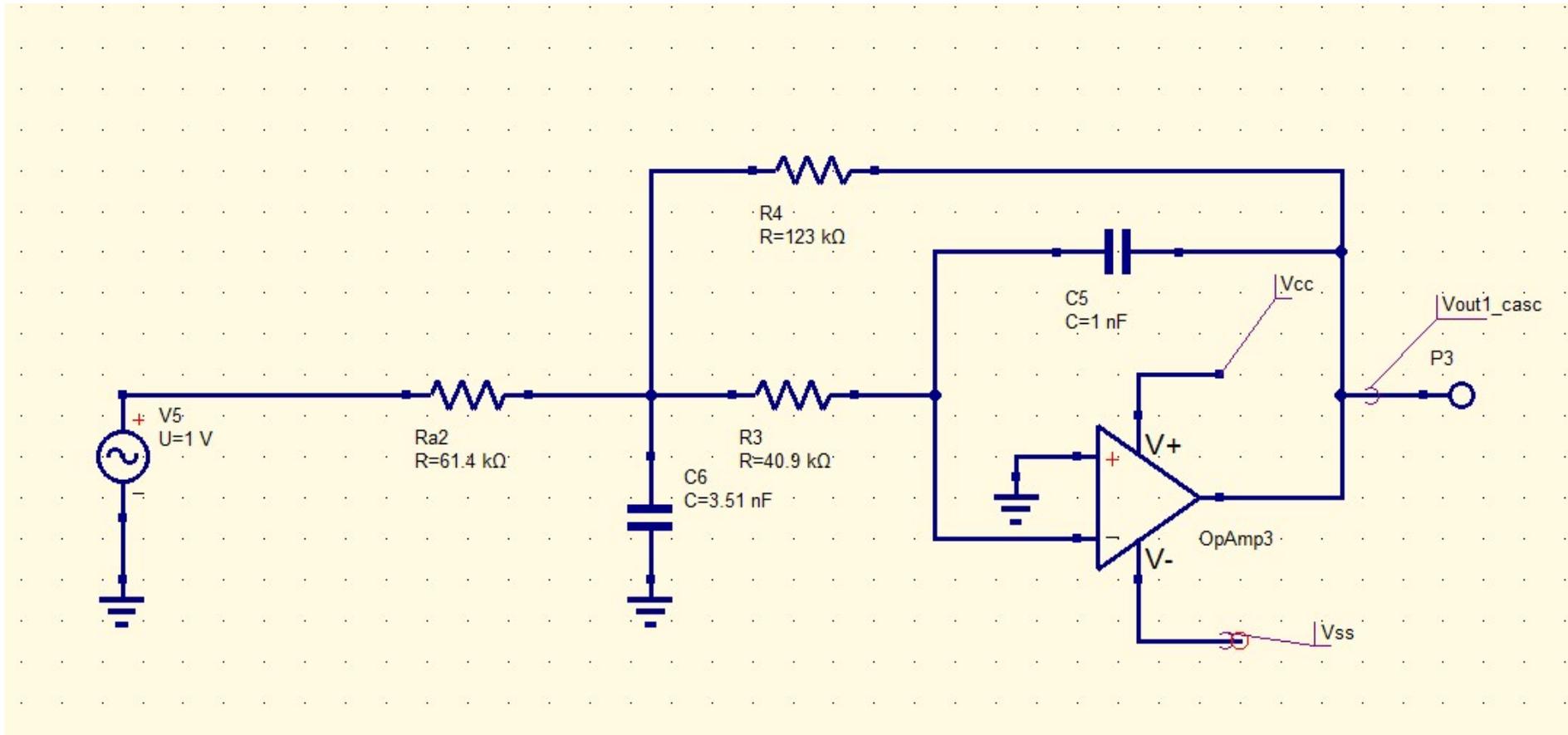
- $R_a=R_1$
- Scegliamo $R_1=2R_2$

$$Q_2 = \frac{\sqrt{\frac{C_4}{C_3}}}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} + 2\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}} = \frac{\sqrt{\frac{C_4}{C_3}}}{2\sqrt{2}} = 1.3$$

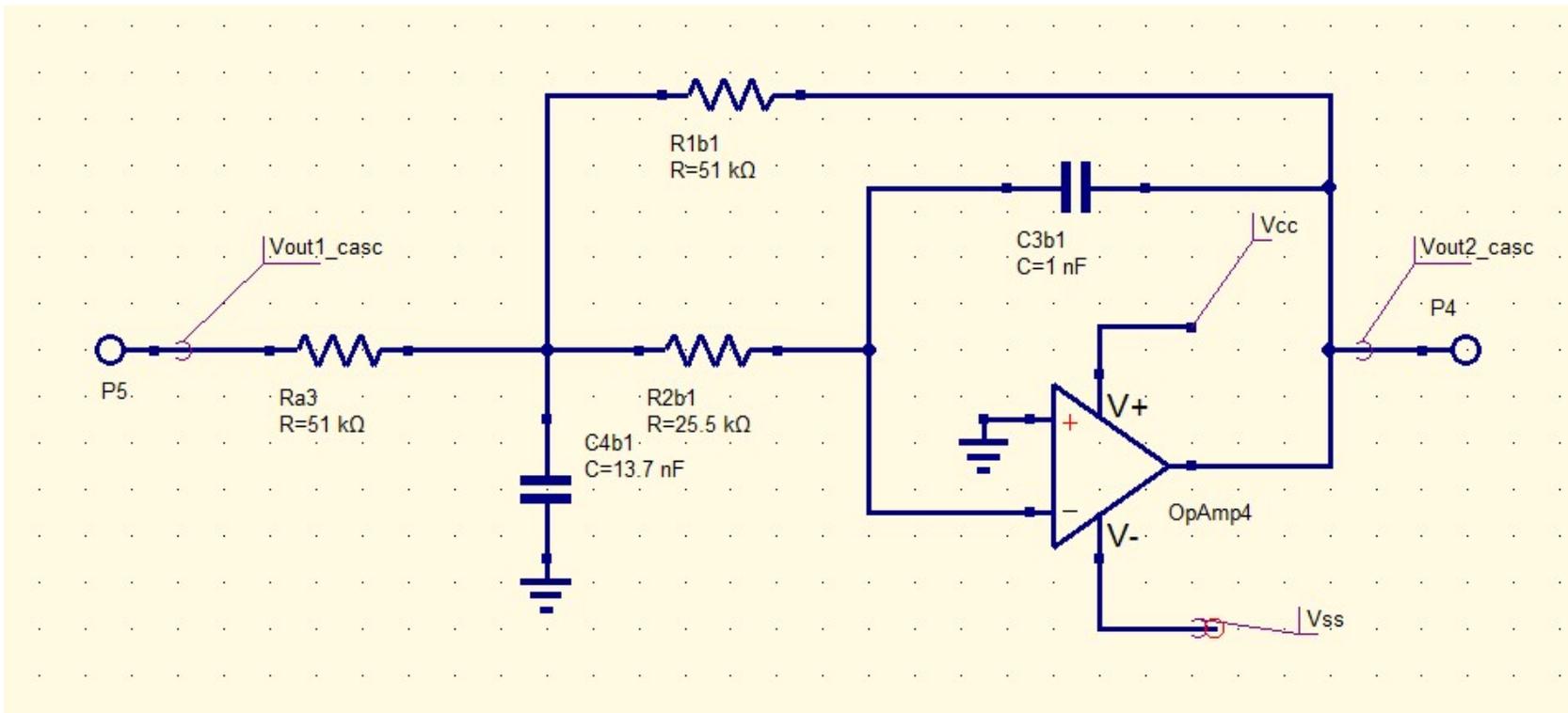
$$\frac{C_4}{C_3} = 8 \times Q_2^2 = 13.65 \quad \omega_0 = \frac{1}{4Q_2R_2C_3}$$

- Scegliamo $C_3=1\text{nF}$
- Allora: $C_4=13.65\text{nF}$, $R_1=R_a=51\text{k}\Omega$,
- $R_2=R_1/2=25.5\text{k}\Omega$

Stadio 1

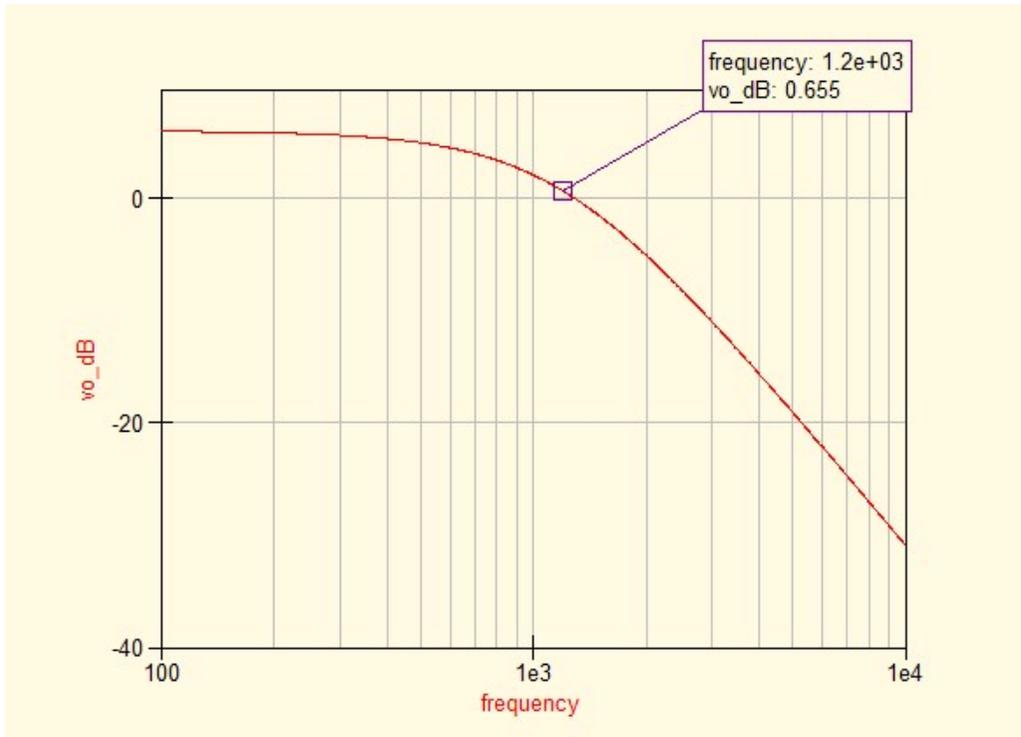


Stadio 2

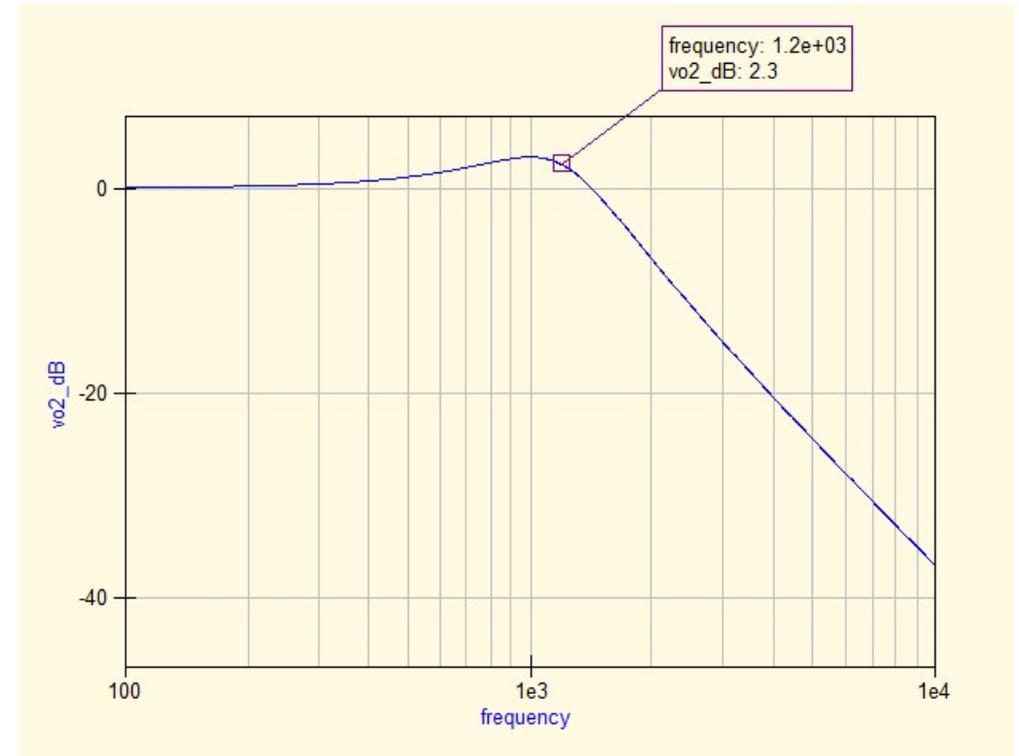


Risultati

Stadio 1

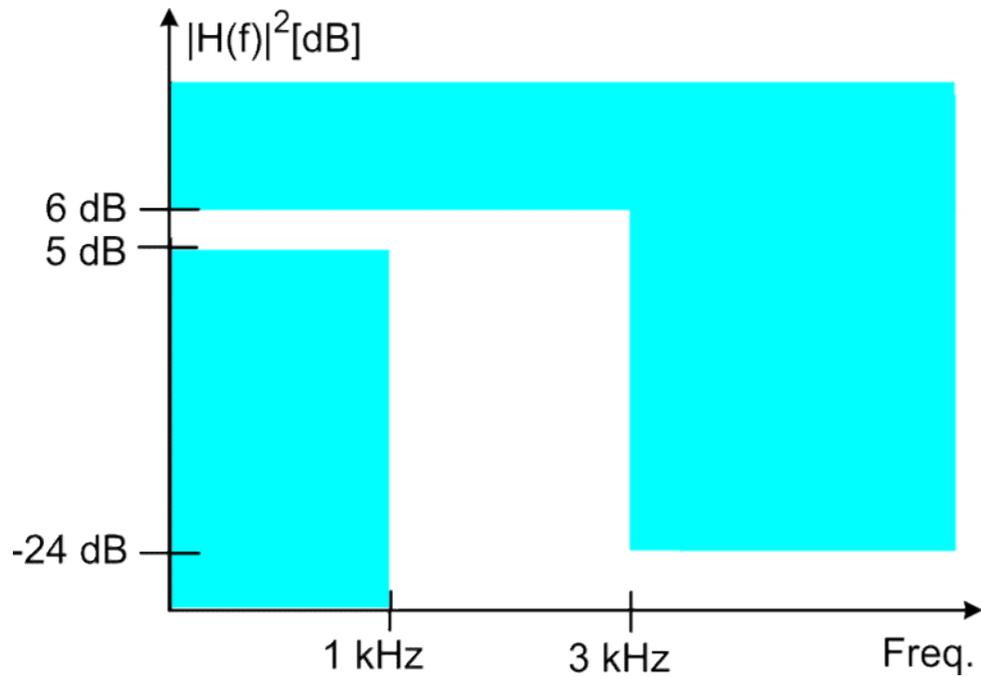


Stadio 2



Risultati: Cascata

Maschera



Filtro Completo (Stadio 1+ 2)

