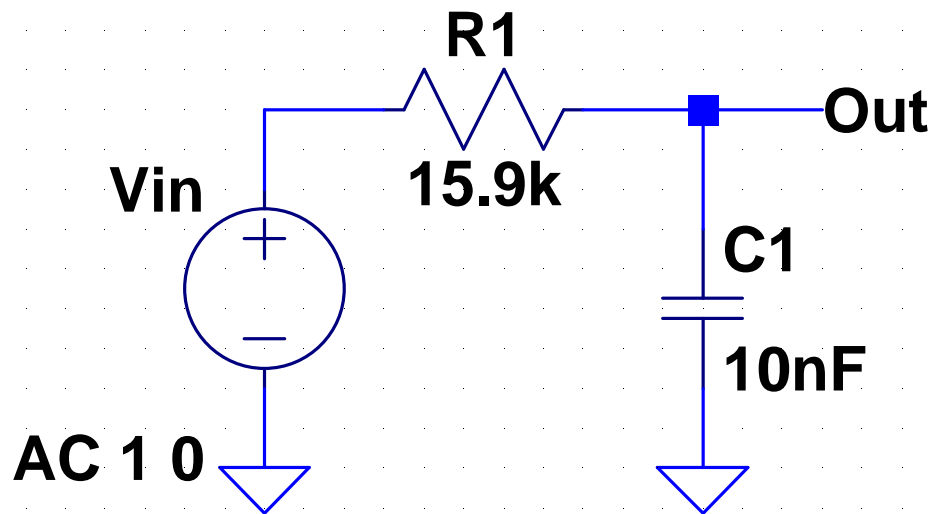


Filtri

www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm
(versione del 9-6-2016)

Filtri passivi

Filtro passa-basso del 1° ordine RC

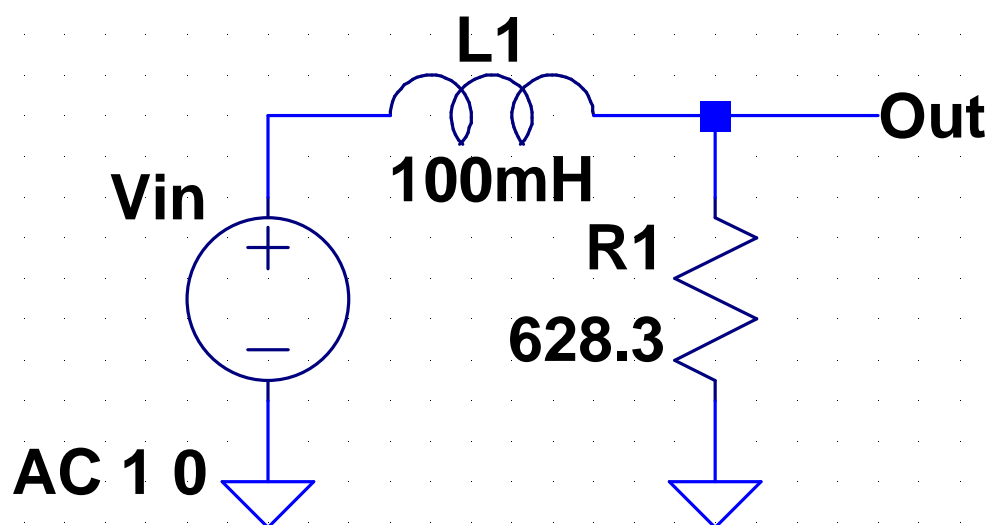


.ac dec 100 1Hz 100kHz

Frequenza di taglio 1 kHz

3

Filtro passa-basso del 1° ordine RL

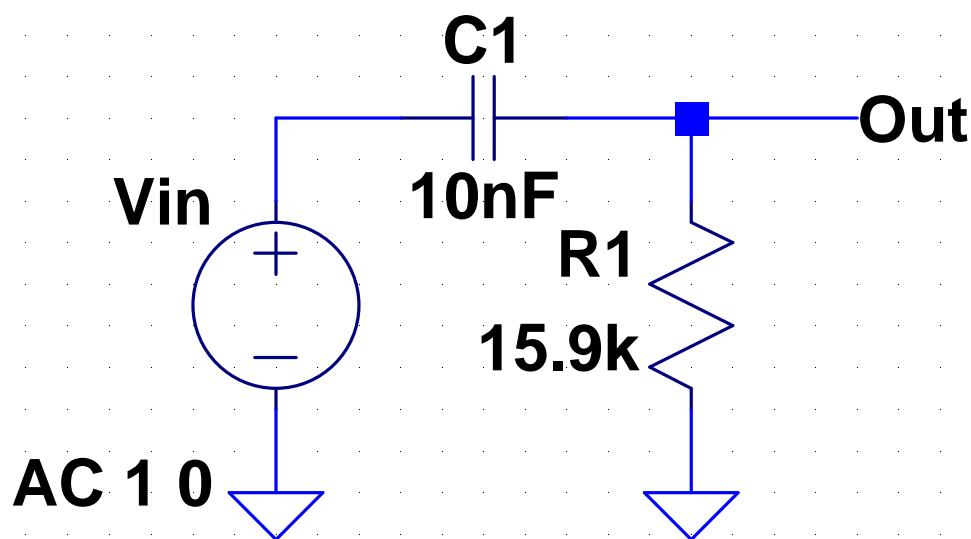


.ac dec 100 1Hz 100kHz

Frequenza di taglio 1 kHz

4

Filtro passa-alto del 1° ordine RC

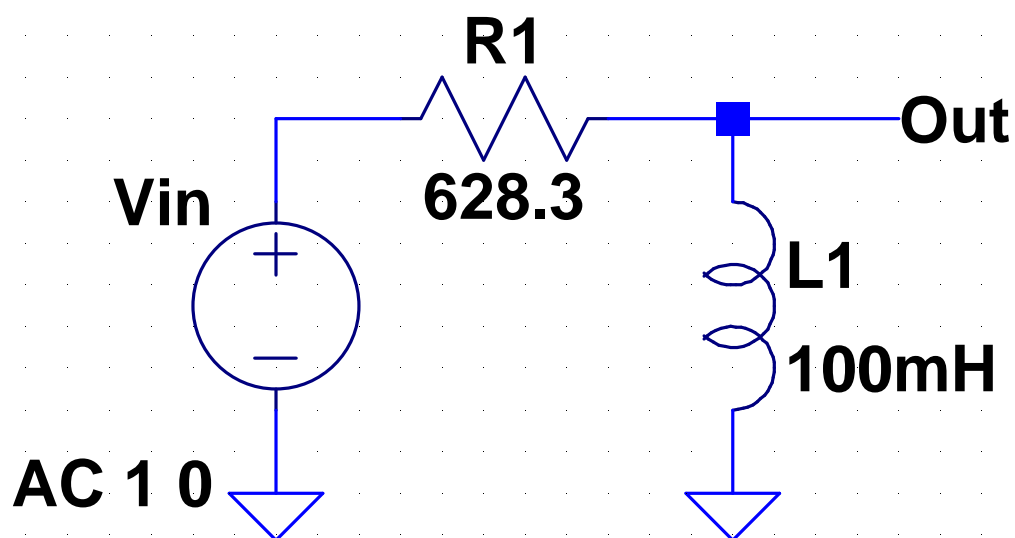


.ac dec 100 1Hz 100kHz

Frequenza di taglio 1 kHz

5

Filtro passa-alto del 1° ordine RC



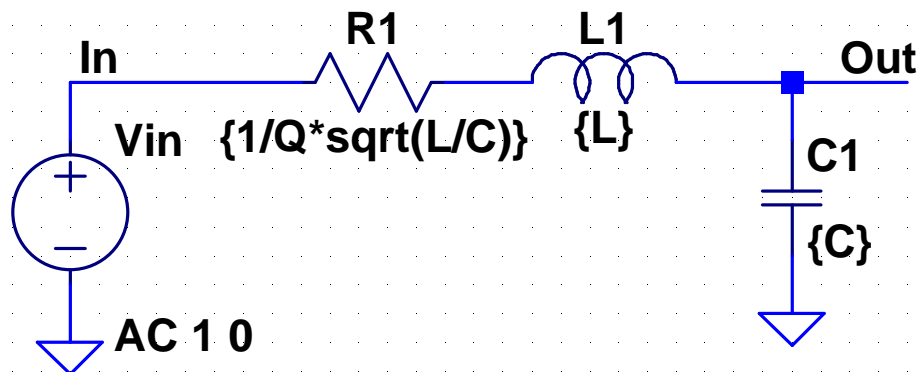
.ac dec 100 1Hz 100kHz

Frequenza di taglio 1 kHz

6

Filtro passa-basso del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



.param L=10mH C=100nF

.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10

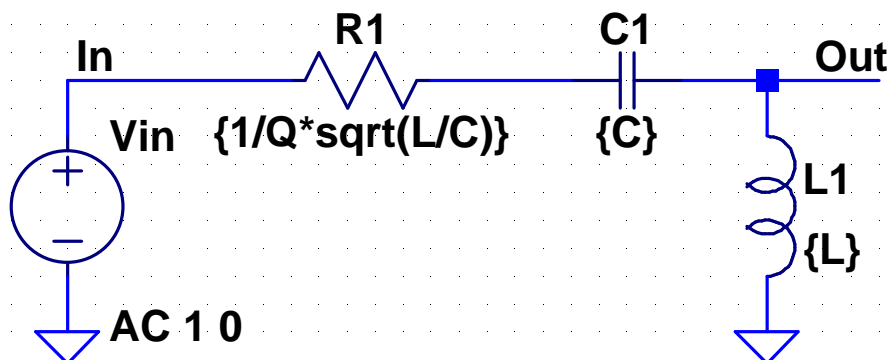
.ac dec 100 1Hz 1MegHz

Frequenza di taglio 5.033 kHz

7

Filtro passa-alto del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



.param L=10mH C=100nF

.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10

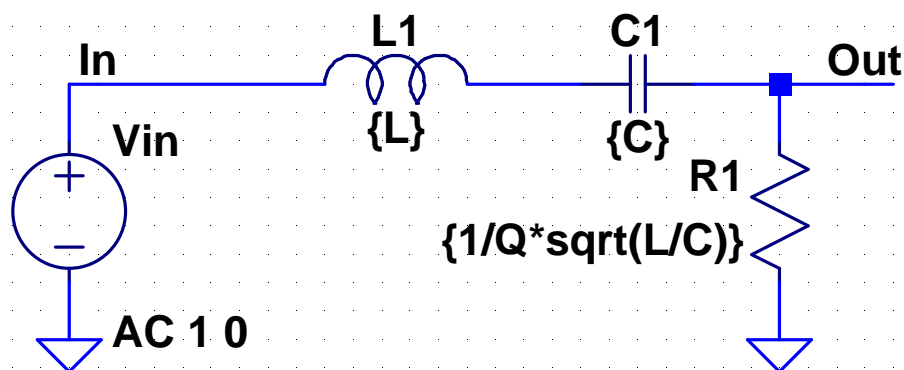
.ac dec 100 1Hz 1MegHz

Frequenza di taglio 5.033 kHz

8

Filtro passa-banda del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



.param L=10mH C=100nF

.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10

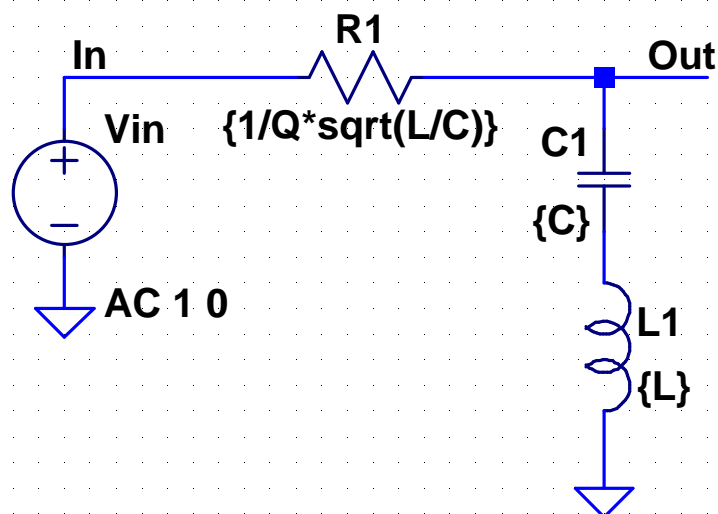
.ac dec 100 1Hz 1MegHz

Frequenza di taglio 5.033 kHz

9

Filtro elimina-banda del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



.param L=10mH C=100nF

.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10

.ac dec 100 1kHz 100kHz

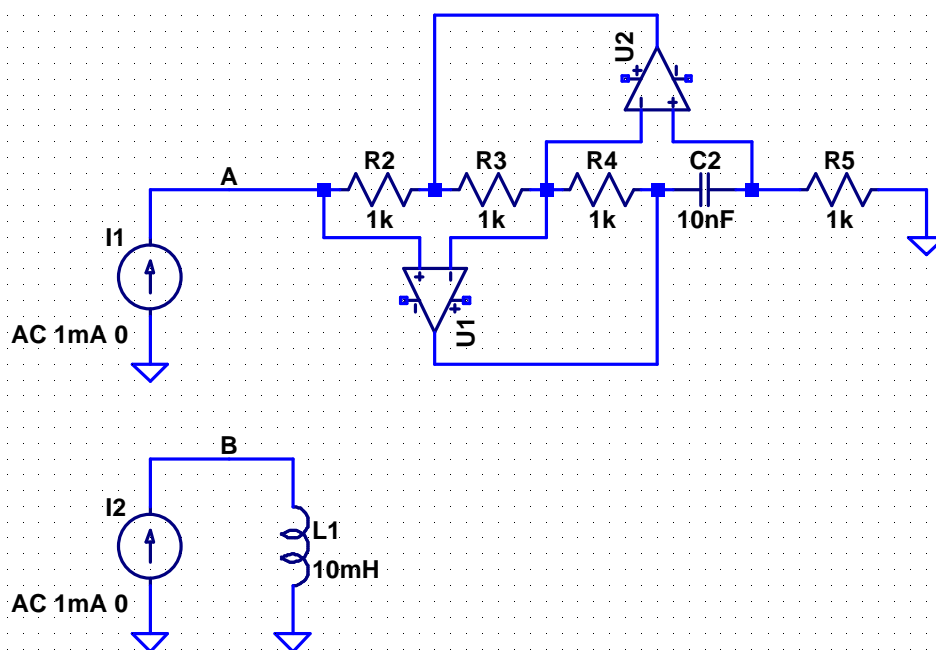
Frequenza di taglio 5.033 kHz

10

Convertitore di impedenza di Antoniou

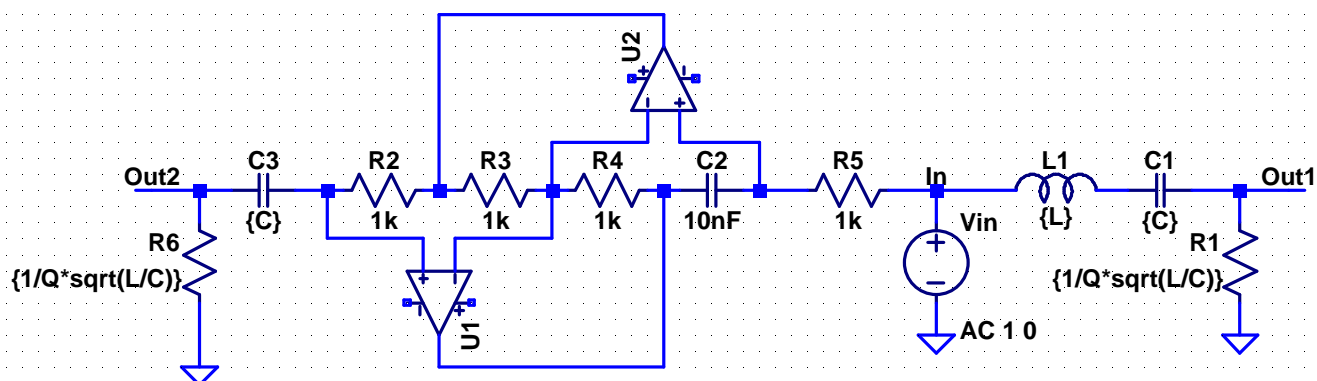
09-Antoniou-1.asc

Simulazione di un'induttanza mediante
il convertitore di impedenza di Antoniou



.ac lin 1000 1Hz 50kHz Confrontare gli andamenti di $\text{Im}(V(A))$ e $\text{Im}(V(B))$

Confronto tra filtro passa-banda con induttore e con induttore simulato



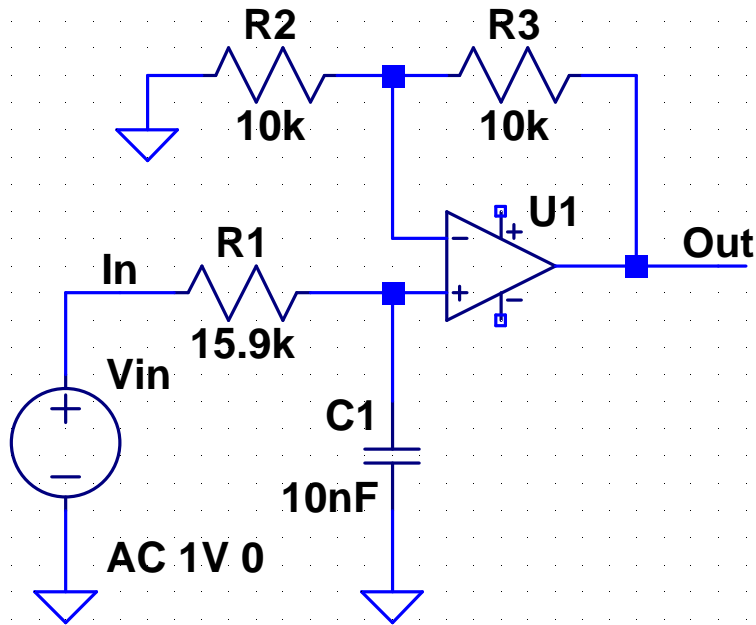
```
.param L=10mH C=100nF Q=5
```

```
.ac dec 100 1Hz 1MegHz
```

Filtri attivi

11-LP1-non-inv.asc

Filtro passa-basso non invertente del 1° ordine



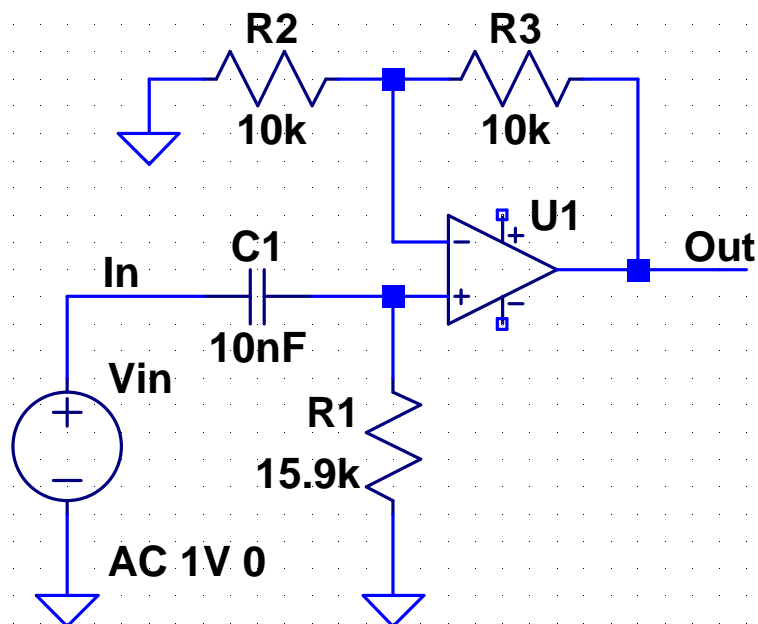
.ac dec 100 1Hz 100kHz

$F0 = 1\text{kHz}$
 $H0 = 2 = 6\text{dB}$

15

12-HP1-non-inv.asc

Filtro passa-alto non invertente del 1° ordine

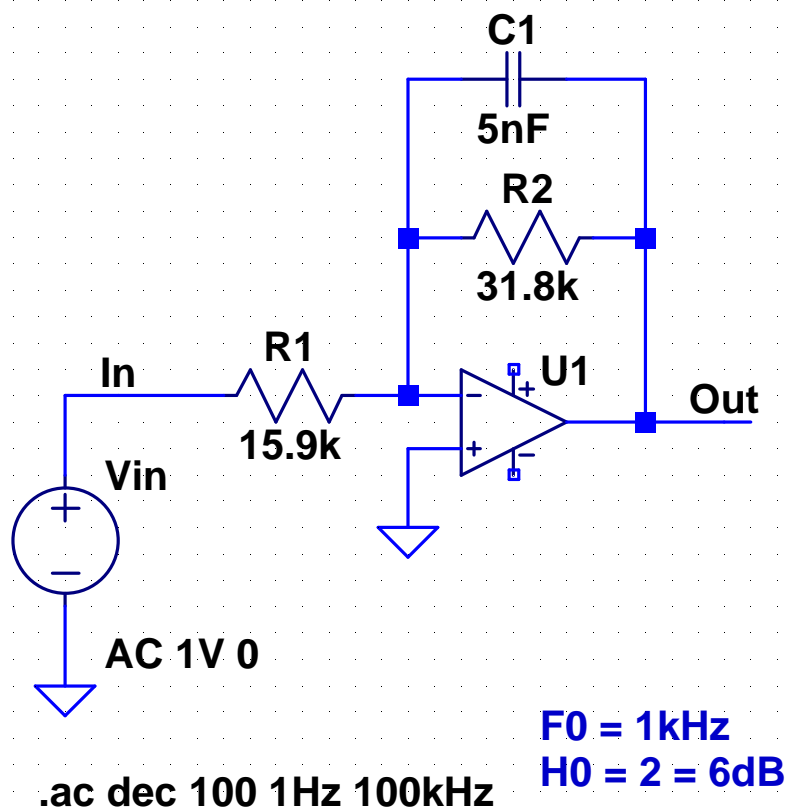


.ac dec 100 1Hz 100kHz

$F0 = 1\text{kHz}$
 $H0 = 2 = 6\text{dB}$

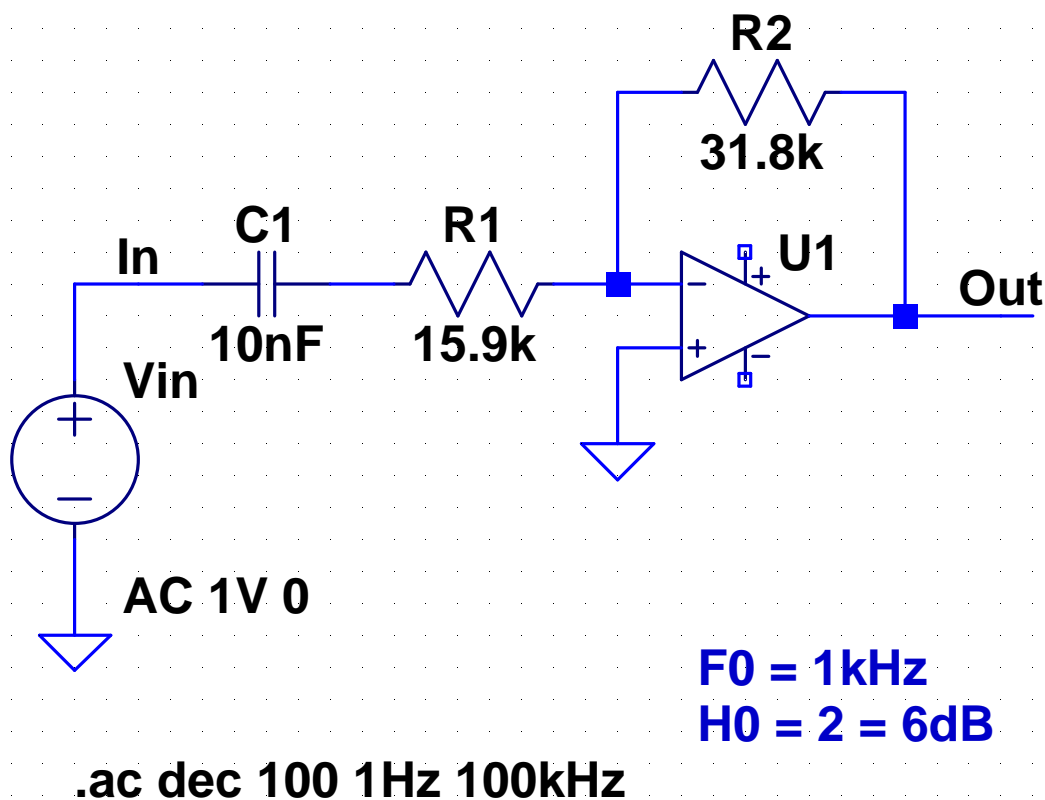
16

Filtro passa-alto invertente del 1° ordine



17

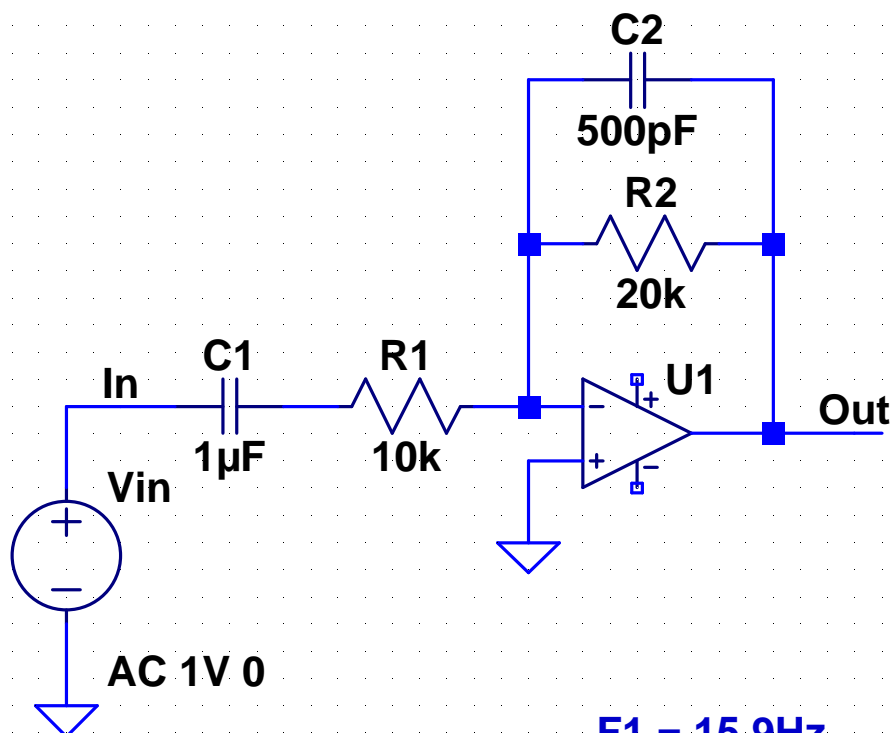
Filtro passa-alto invertente del 1° ordine



18

15-LB.asc

Filtro a larga banda



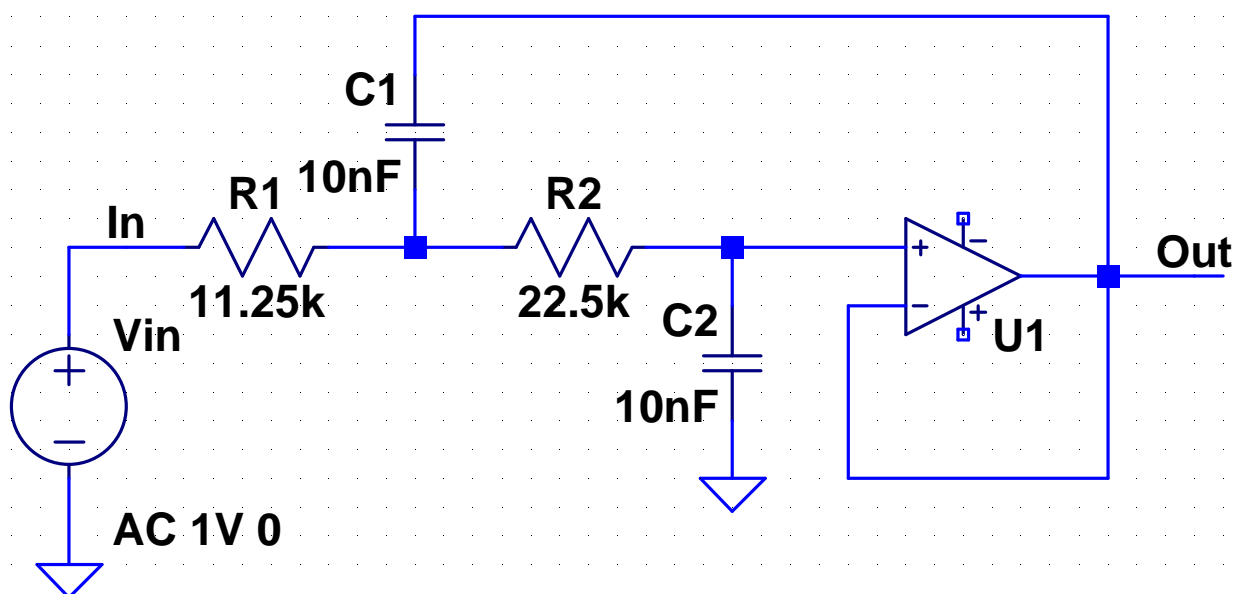
F1 = 15.9Hz
F2=15.9kHz
H0 = 2 = 6dB

.ac dec 100 1Hz 100kHz

19

16-SK-LP-G1.asc

Filtro Sallen e Key passa-basso a guadagno unitario



.ac dec 100 1Hz 100kHz

F0 = 1kHz
Q = 0.707
H0 = 1 = 0dB

20

Filtro Sallen-Key passa-basso a guadagno unitario

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$ $H_0 = G = 1$
- Vincolo sui valori delle capacità: $\frac{C_2}{C_1} \leq G - 1 + \frac{1}{4Q^2} = \frac{1}{2}$
- Si sceglie: $C_1 = 20\text{nF}$ $C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

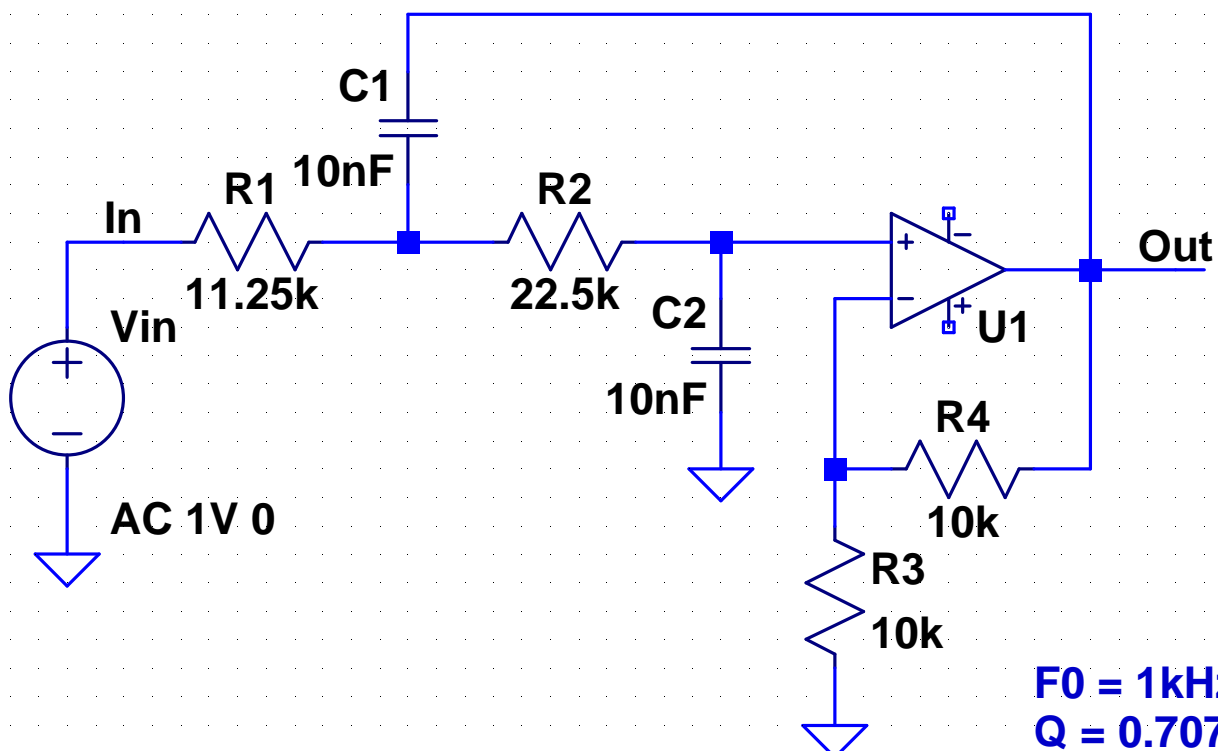
$$R_2 = \frac{1 + \sqrt{1 + 4Q^2 \left(G - 1 - \frac{C_2}{C_1} \right)}}{4\pi f_0 C_2 Q} = 12.25\text{k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_1 C_2 R_2} = 22.5\text{k}\Omega$$

21

17-SK-LP-G2.asc

Filtro Sallen e Key passa-basso a guadagno 2



.ac dec 100 1Hz 100kHz

F0 = 1kHz
Q = 0.707
H0 = 2 = 6dB

22

Filtro Sallen-Key passa-basso a guadagno 2

Dimensionamento del filtro

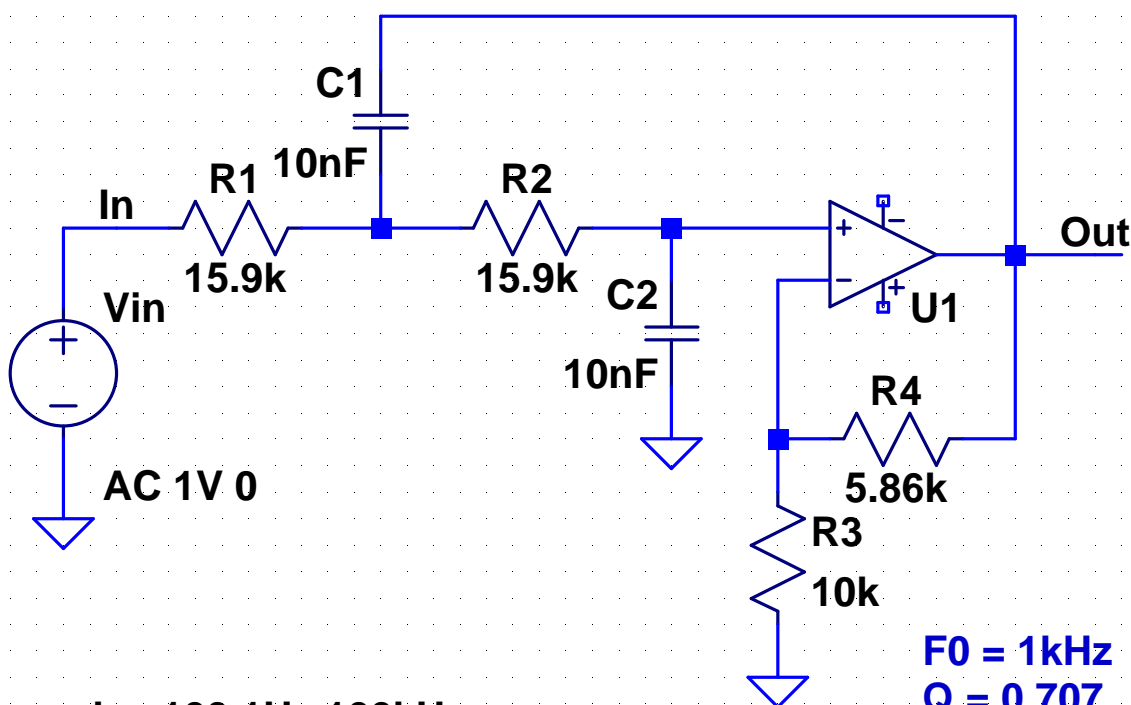
- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$ $H_0 = G = 2$
- Per avere $G = 2$, R_3 e R_4 devono essere uguali
 - ◆ Si sceglie: $R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$
- Vincolo sui valori delle capacità: $\frac{C_2}{C_1} \leq G - 1 + \frac{1}{4Q^2} = \frac{3}{2}$
- Si sceglie: $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

$$R_2 = \frac{1 + \sqrt{1 + 4Q^2 \left(G - 1 - \frac{C_2}{C_1} \right)}}{4\pi f_0 C_2 Q} = 12.25\text{k}\Omega \quad R_1 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_1 C_2 R_2} = 22.5\text{k}\Omega$$

23

18-SK-LP-comp-uguali.asc

Filtro Sallen e Key passa-basso a componenti uguali



.ac dec 100 1Hz 100kHz

$F_0 = 1\text{kHz}$
 $Q = 0.707$
 $H_0 = 1.586 = 4\text{dB}$

24

Filtro Sallen-Key passa-basso a componenti uguali

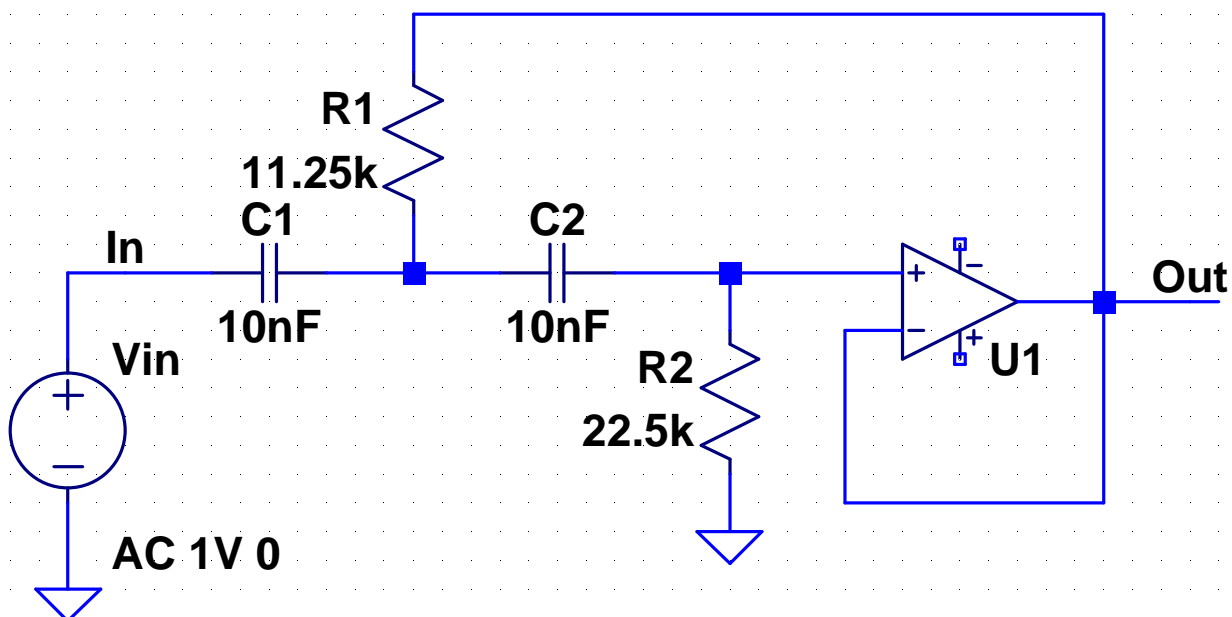
Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$
- Il guadagno del filtro è: $H_0 = G = 3 - \frac{1}{Q} = 1.586$
- Quindi deve essere: $\frac{R_4}{R_3} = 2 - \frac{1}{Q} = 0.586$
- Si sceglie: $R_3 = 10\text{k}\Omega$ $R_4 = 5.86\text{k}\Omega$
- Si fissano i valori delle capacità: $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze: $R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C_1} = 15.9\text{k}\Omega$

25

19-SK-HP-G1.asc

Filtro Sallen e Key passa-alto a guadagno unitario



.ac dec 100 1Hz 100kHz

F0 = 1kHz
Q = 0.707
H0 = 1 = 0dB

26

Filtro Sallen-Key passa-alto a guadagno unitario

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$ $H_0 = G = 1$
- Si sceglie: $C_1 = 10\text{nF}$ $C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

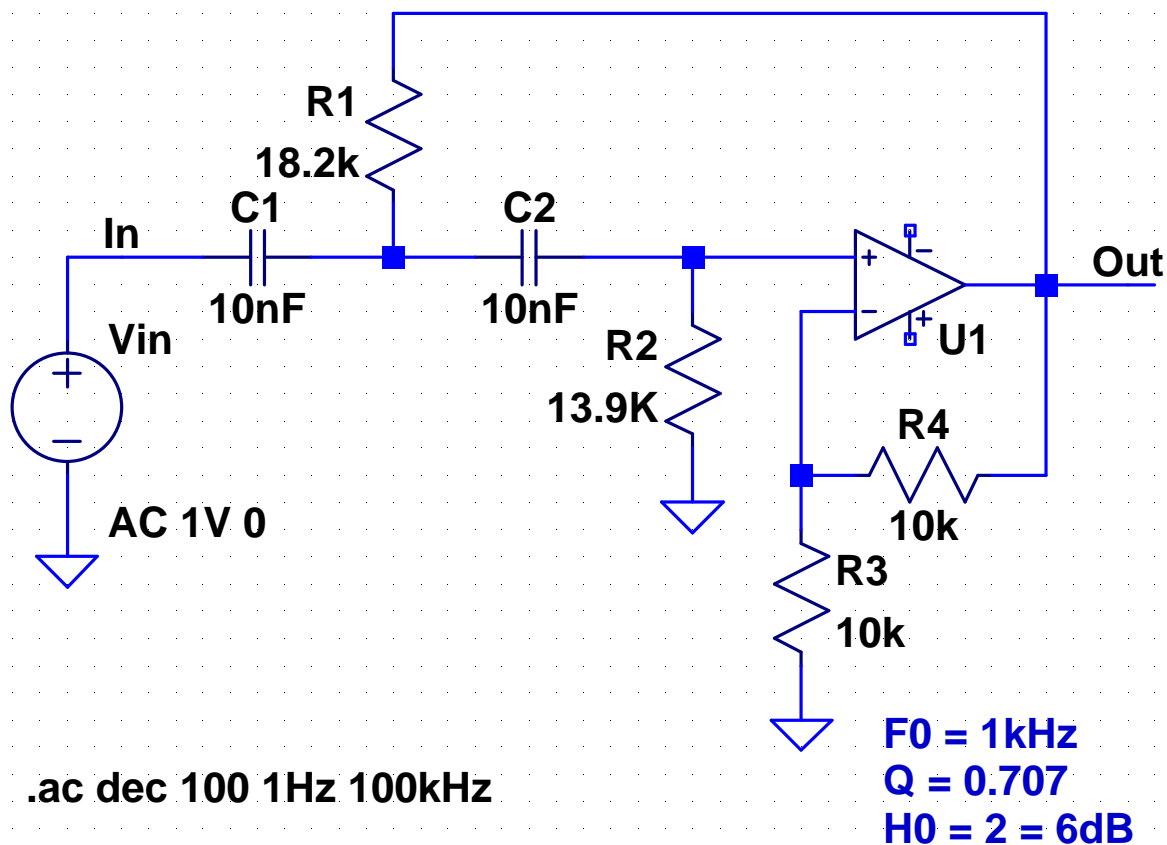
$$R_1 = \frac{1 + \sqrt{1 + 4Q^2(G-1)} \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)}{2\omega_0(C_1 + C_2)Q} = 11.25\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{\omega_0^2 R_1 C_1 C_2} = 22.5\text{k}\Omega$$

27

20-SK-HP-G2.asc

Filtro Sallen e Key passa-alto a guadagno 2



28

Filtro Sallen-Key passa-basso a guadagno 2

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$ $H_0 = G = 2$
- Per avere $G = 2$, R_3 e R_4 devono essere uguali
 - ♦ Si sceglie: $R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$
- Si sceglie: $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

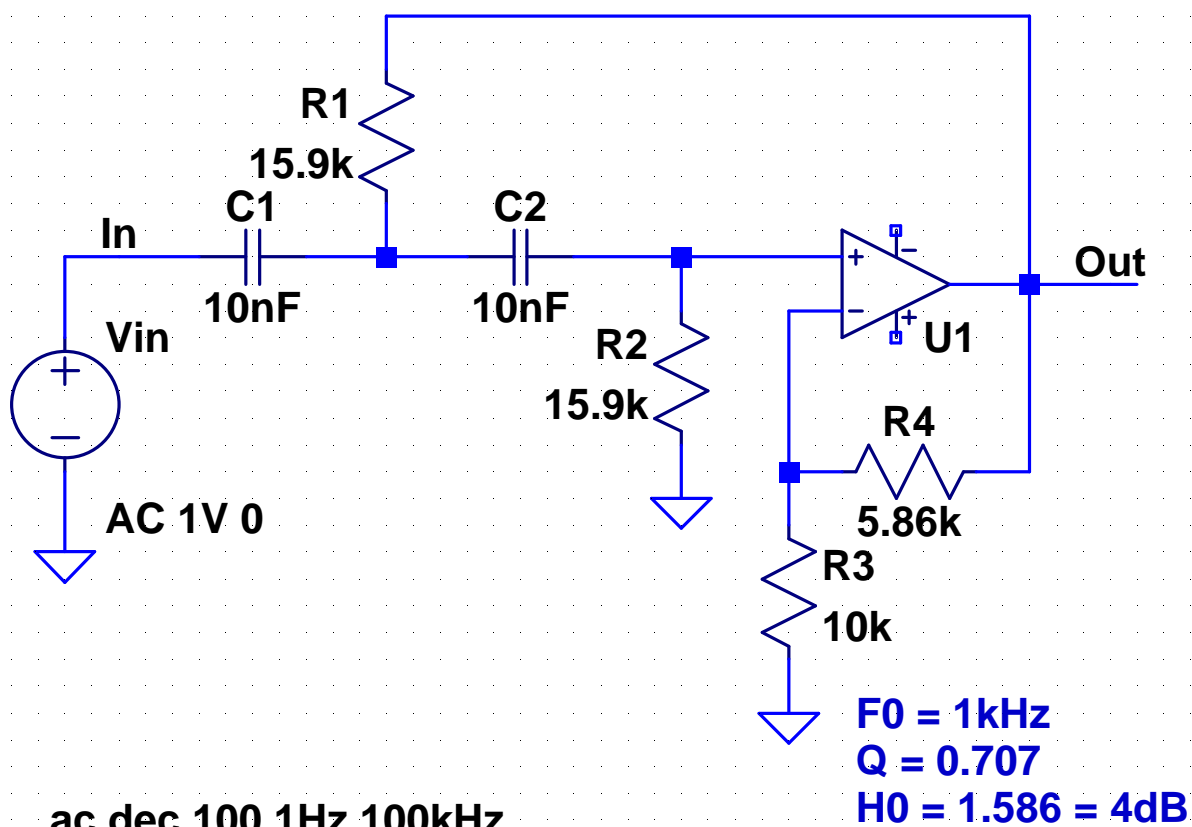
$$R_1 = \frac{1 + \sqrt{1 + 4Q^2(G-1)} \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)}{2\omega_0(C_1 + C_2)Q} = 18.2\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{\omega_0^2 R_1 C_1 C_2} = 13.9\text{k}\Omega$$

29

21-SK-LP-comp-uguali.asc

Filtro Sallen e Key passa-alto a componenti uguali



30

Filtro Sallen-Key passa-alto a componenti uguali

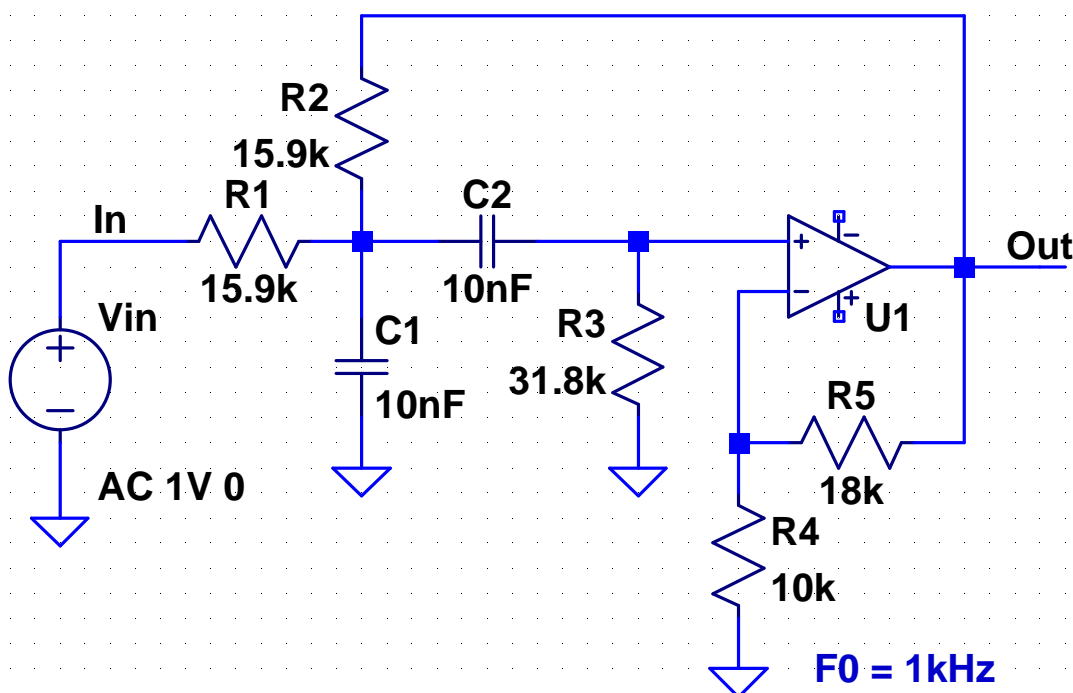
Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$
- Il guadagno del filtro è: $H_0 = G = 3 - \frac{1}{Q} = 1.586$
- Quindi deve essere: $\frac{R_4}{R_3} = 2 - \frac{1}{Q} = 0.586$
- Si sceglie: $R_3 = 10\text{k}\Omega$ $R_4 = 5.86\text{k}\Omega$
- Si fissano i valori delle capacità: $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze: $R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C_1} = 15.9\text{k}\Omega$
- Si può notare che, a parità di f_0 e Q , i valori dei componenti sono identici a quelli del filtro passa-basso

31

22-SK-BP.asc

Filtro Sallen e Key passa-banda a componenti uguali



.ac dec 1000 100Hz 10kHz

$F_0 = 1\text{kHz}$

$Q = 5$

$H_0 = 14 = 22.9\text{dB}$

Larghezza di banda 200Hz

32

Filtro Sallen-Key passa-banda a componenti uguali

Dimensionamento del filtro

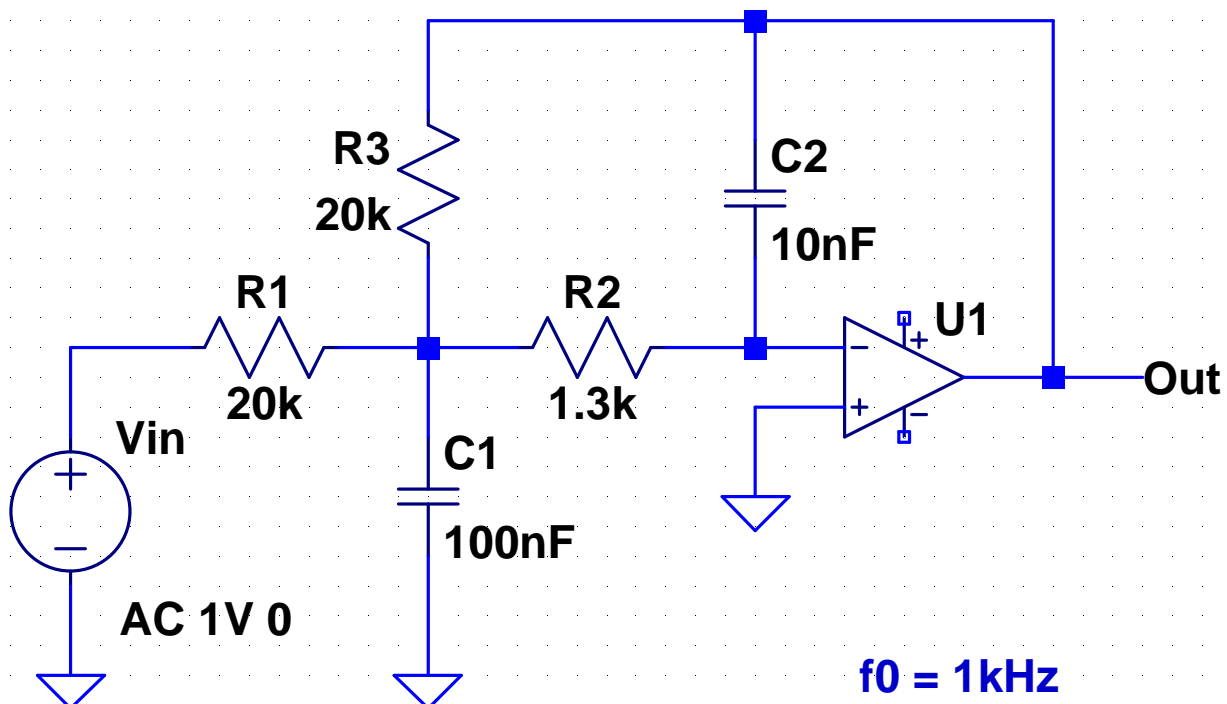
- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = 5$
- Il guadagno dell'operazionale deve essere: $G = 3 - \frac{1}{Q} = 2.8$
- Quindi deve essere: $\frac{R_5}{R_4} = 2 - \frac{1}{Q} = 1.8$
- Si sceglie: $R_4 = 10\text{k}\Omega$ $R_5 = 18\text{k}\Omega$
- Si fissano i valori delle capacità: $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C_1} = 15.9\text{k}\Omega \quad R_3 = 2R_1 = 31.8\text{k}\Omega$$

33

23-MFB-LP.asc

Filtro MFB passa-basso



.ac dec 100 1Hz 100kHz

$f_0 = 1\text{kHz}$
 $Q = 0.707$
 $H_0 = 1 = 0\text{dB}$

34

Filtro MFB passa-basso

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$ $H_0 = 1$
- Vincolo sui valori delle capacità: $\frac{C_1}{C_2} \geq 4Q^2(H_0 + 1) = 4$
- Si sceglie: $C_1 = 100\text{nF}$ $C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

$$R_3 = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4Q^2(H_0 + 1)} \frac{C_2}{C_1}}{2\omega_0 C_2 Q} = 20\text{k}\Omega$$

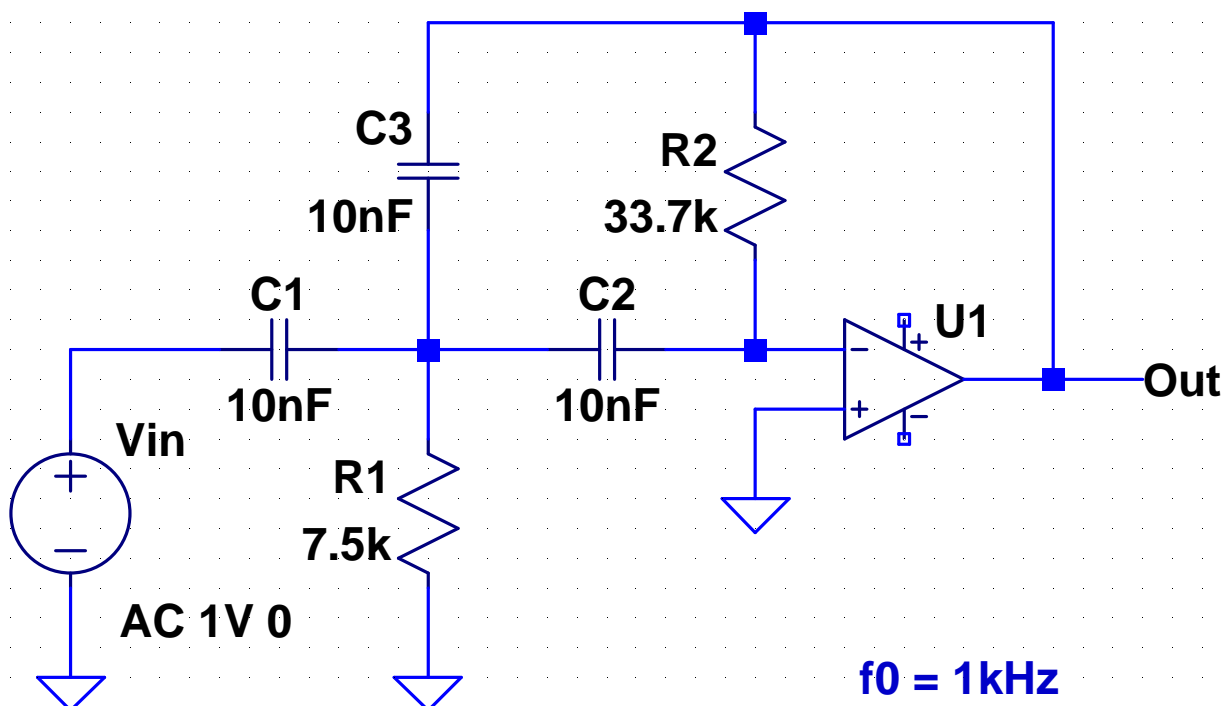
$$R_1 = \frac{R_3}{H_0} = 20\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{\omega_0^2 R_3 C_1 C_2} = 1.27\text{k}\Omega$$

35

24-MFB-HP.asc

Filtro MFB passa-alto



.ac dec 100 1Hz 100kHz

$f_0 = 1\text{kHz}$
 $Q = 0.707$
 $H_0 = 1 = 0\text{dB}$

36

Filtro MFB passa-alto

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = \sqrt{2}/2$ $H_0 = 1$
- Si sceglie: $C_1 = 10\text{nF}$ $C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcola C_3 : $C_3 = \frac{C_1}{H_0} = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

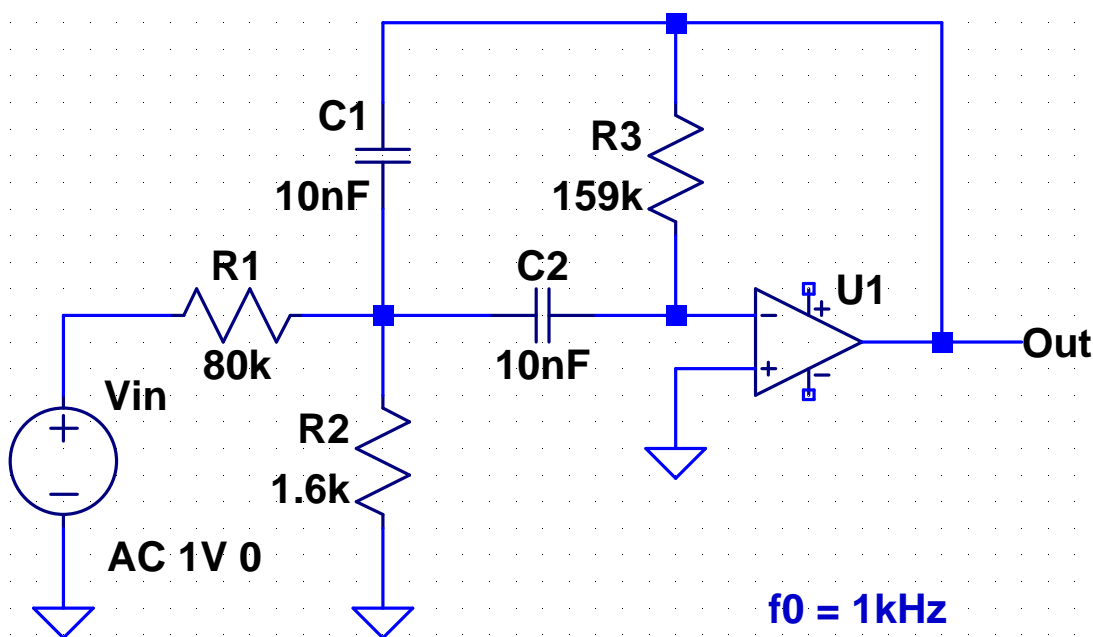
$$R_1 = \frac{H_0}{\omega_0 C_1 Q \left[H_0 \left(\frac{C_1}{C_2} + 1 \right) + 1 \right]} = 7.5\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{Q}{\omega_0 C_2 \left[H_0 \left(\frac{C_1}{C_2} + 1 \right) + 1 \right]} = 33.7\text{k}\Omega$$

37

25-MFB-BP.asc

Filtro MFB passa-banda



.ac dec 1000 100Hz 10kHz

$f_0 = 1\text{kHz}$

$Q = 5$

$H_0 = 1 = 0\text{dB}$

Larghezza di banda 200 Hz

38

Filtro MFB passa-banda

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = 5$ $H_0 = 1$
- Vincolo sui valori delle capacità: $\frac{C_2}{C_1} > \frac{H_0}{Q^2} - 1 = -0.96$
- Si sceglie: $C_1 = 10\text{nF}$ $C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcolano le resistenze:

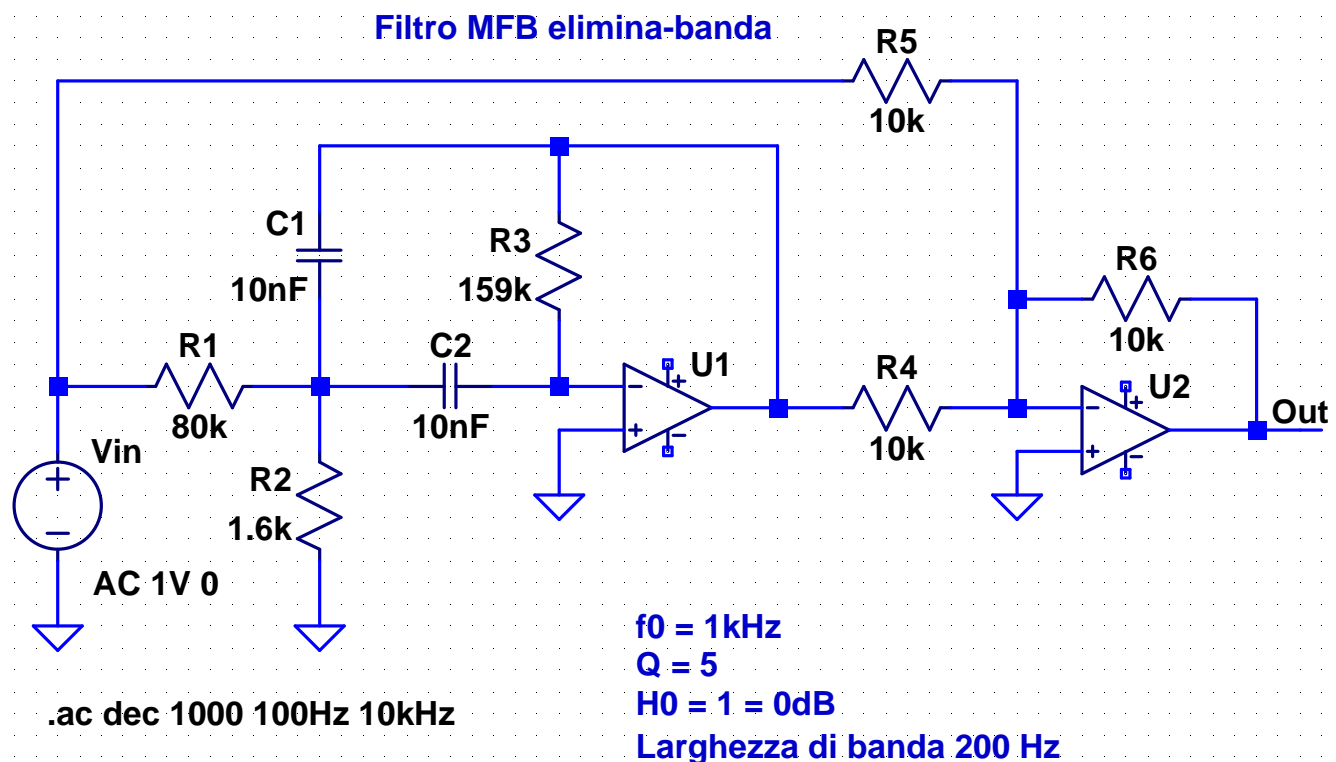
$$R_1 = \frac{Q}{\omega_0 C_1 H_0} = 79.5\text{k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{Q}{\omega_0 C_1 \left[Q^2 \left(1 + \frac{C_2}{C_1} \right) - H_0 \right]} = 1.6\text{k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{Q}{\omega_0 C_2} \left(1 + \frac{C_2}{C_1} \right) = 159\text{k}\Omega$$

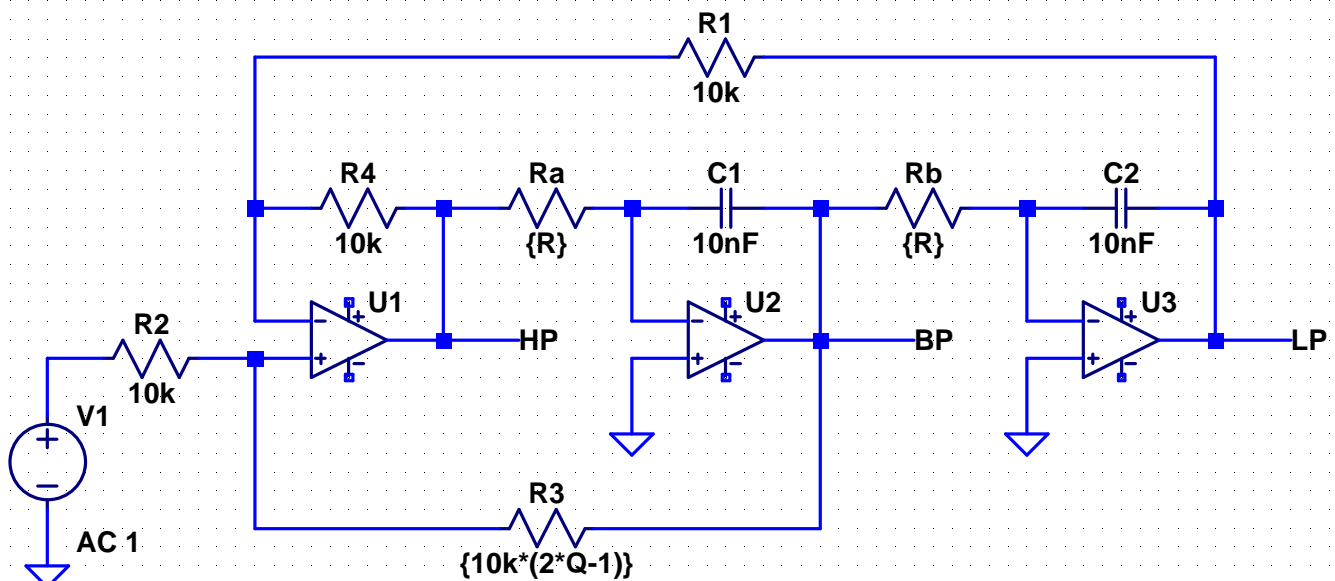
39

26-MFB-HP.asc



40

Filtro a variabile di stato



```

.param f0 = 1kHz Q=10
.param R=1/(2*pi*10n*f0)
.ac dec 1000 100Hz 10kHz

```

41

Filtro a variabile di stato

Dimensionamento del filtro

- **Dati:** $f_0 = 1\text{kHz}$ $Q = 10$
- Si sceglie: $C_1 = 10\text{nF}$ $C_2 = 10\text{nF}$
- Si calcola R : $R = \frac{1}{2\pi f_0 C} = 15.9\text{k}\Omega$
- Si sceglie: $R_1 = R_4 = 10\text{k}\Omega$ $R_2 = 10\text{k}\Omega$
- Si calcola R_3 : $R_3 = (2Q - 1)R_2 = 190\text{k}\Omega$
- I guadagni del filtro sono

$$H_{0hp} = H_{0lp} = 2 - \frac{1}{Q} = 1.9 = 5.6\text{dB}$$

$$H_{0bp} = 2Q - 1 = 19 = 25.6\text{dB}$$

42