

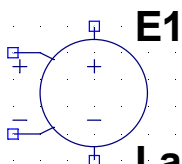
# Risposta in frequenza e filtri

[www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm](http://www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm)  
(versione del 7-5-2017)

## Rappresentazione di funzioni di trasferimento mediante generatori dipendenti

- Mediante la keyword "Laplace", è possibile assegnare ai componenti
  - ◆ E (generatore di tensione pilotato in tensione)
  - ◆ G (generatore di corrente pilotato in tensione)una funzione di trasferimento che viene utilizzata per determinare tensione o la corrente alla porta 2 in funzione della tensione applicata alla porta 1
- La f.d.t. deve essere espressa mediante la variabile  $s$  e viene assegnata al posto del parametro di trasferimento del generatore
- In un'analisi di tipo AC la variabile  $s$  viene sostituita da  $j\omega = 2\pi f$

### Esempio

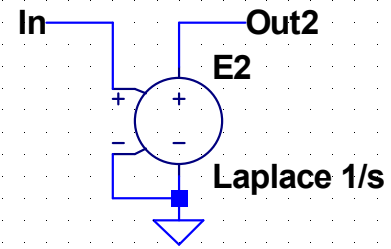
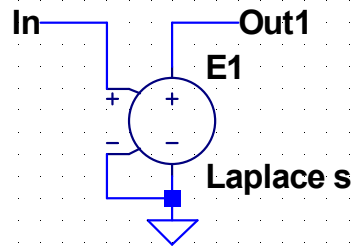
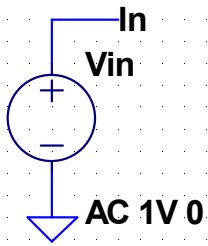


$$H(s) = \frac{5 \cdot 10^{-2} s \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-6} s)}{(1 + 10^{-2} s)(1 + 10^{-5} s)^2}$$

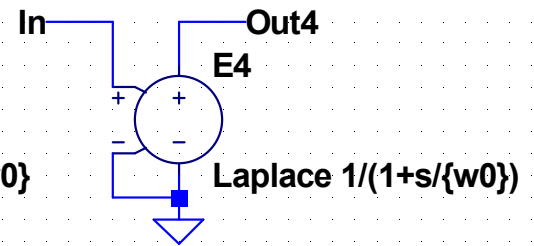
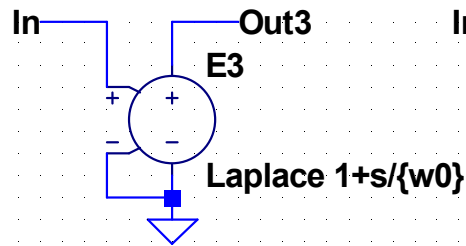
Laplace  $5e-2*s * (1+4e-6*s) / ((1+0.01*s) * (1+1e-5*s)**2)$

## 01-Bode1.asc

### Diagrammi di Bode di funzioni elementari - Poli e zeri reali



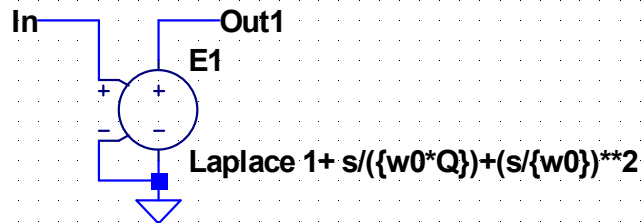
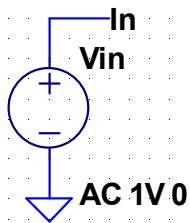
```
.param w0 = 2*pi*1kHz  
.ac dec 100 1Hz 1MegHz
```



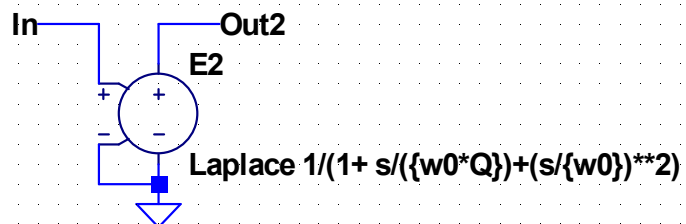
3

## 02-Bode2.asc

### Diagrammi di Bode di funzioni elementari - Poli e zeri complessi coniugati



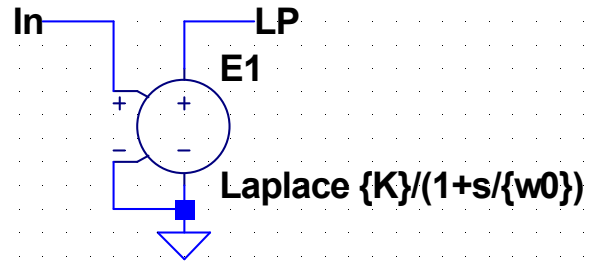
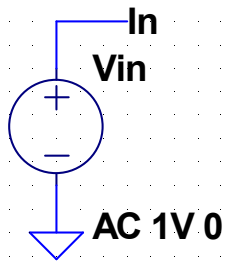
```
.param w0 = 2*pi*1kHz  
.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10  
.ac dec 100 10Hz 100kHz
```



4

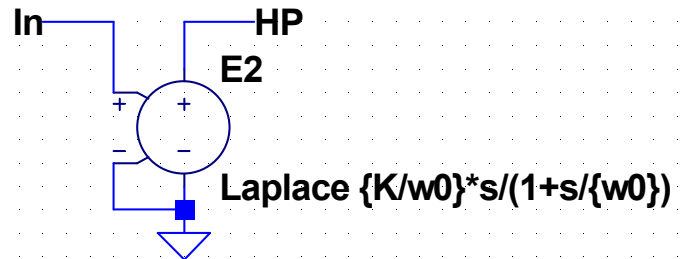
## 03-F1.asc

### F.d.T. di filtri del primo ordine



```
.param k = 2 w0 = 2*pi*1kHz
```

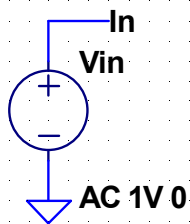
```
.ac dec 100 10Hz 100kHz
```



5

## 04-F2.asc

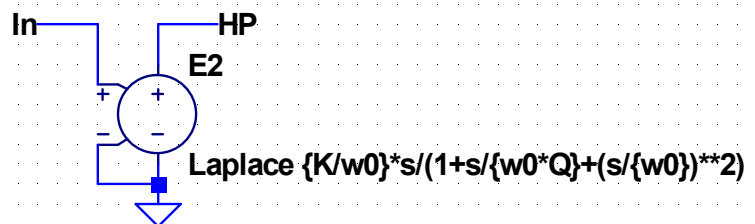
### F.d.T. di filtri passa basso e passa alto del secondo ordine



```
.param k = 2 w0 = 2*pi*1kHz
```

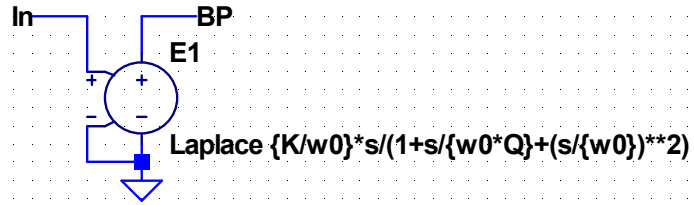
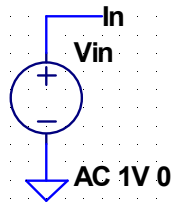
```
.step param Q list 0.707 2 5 10
```

```
.ac dec 100 10Hz 100kHz
```



6

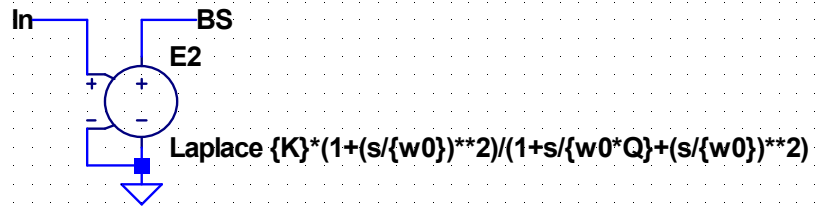
F.d.T. di filtri passa banda ed elimina banda del secondo ordine



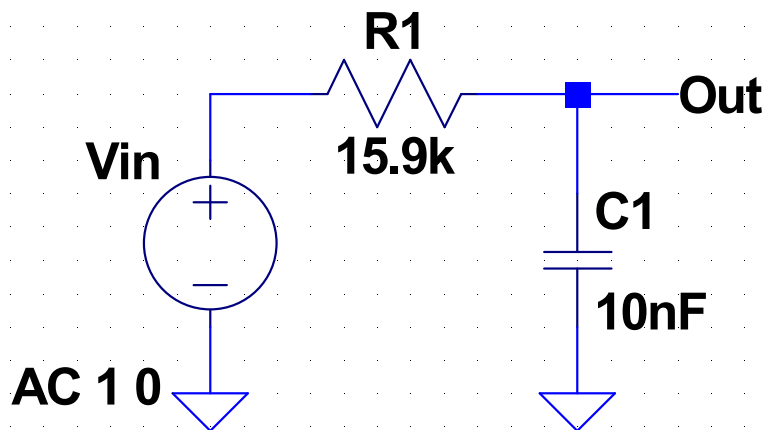
.param k = 2 w0 = 2\*pi\*1kHz

.step param Q list 0.707 2 5 10

.ac dec 100 10Hz 100kHz

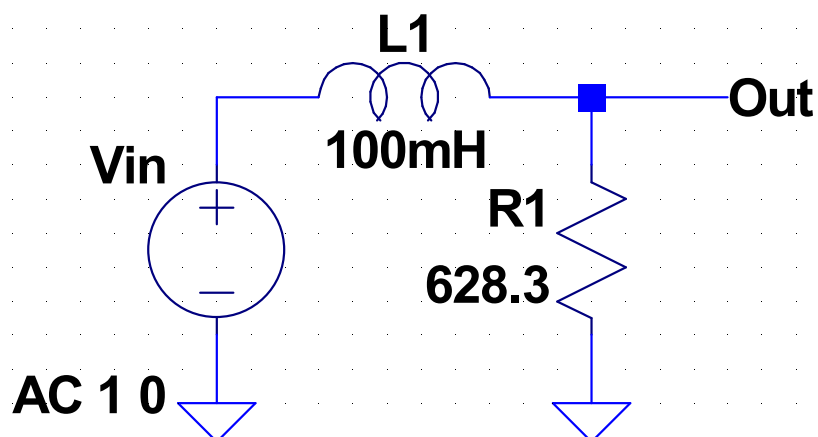


Filtro passa-basso del 1° ordine RC



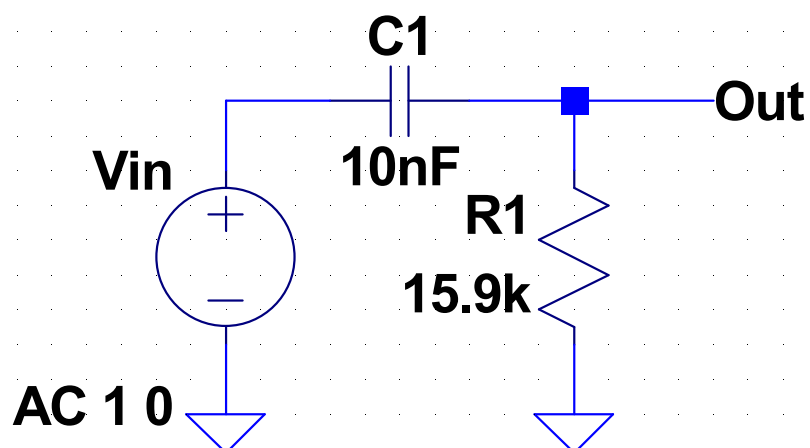
.ac dec 100 1Hz 100kHz

Frequenza di taglio 1 kHz

**Filtro passa-basso del 1° ordine RL**

**.ac dec 100 1Hz 100kHz**

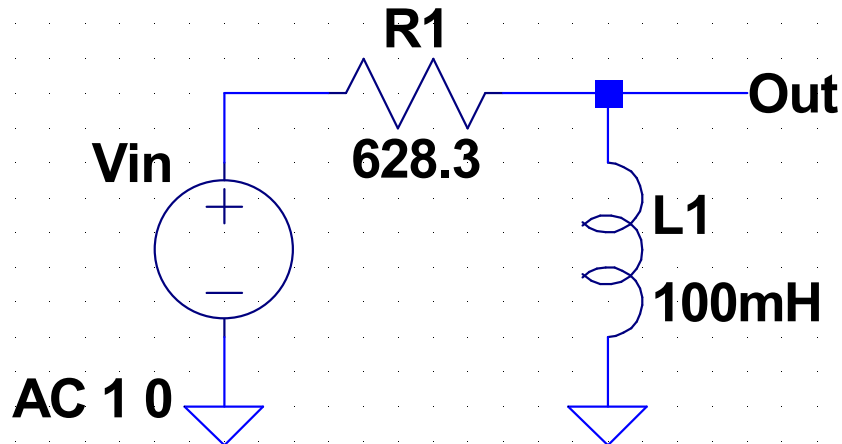
**Frequenza di taglio 1 kHz**

**Filtro passa-alto del 1° ordine RC**

**.ac dec 100 1Hz 100kHz**

**Frequenza di taglio 1 kHz**

## Filtro passa-alto del 1° ordine RC

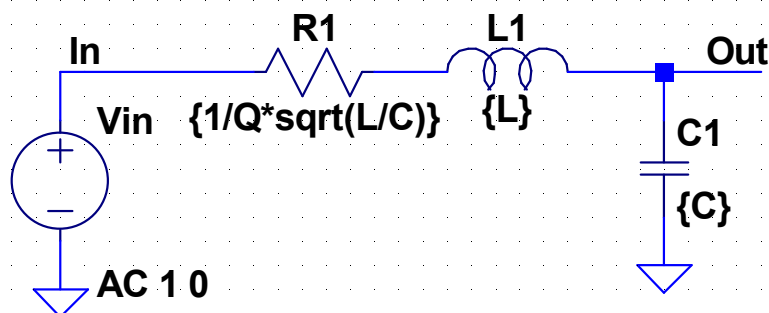


```
.ac dec 100 1Hz 100kHz
```

Frequenza di taglio 1 kHz

## Filtro passa-basso del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



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

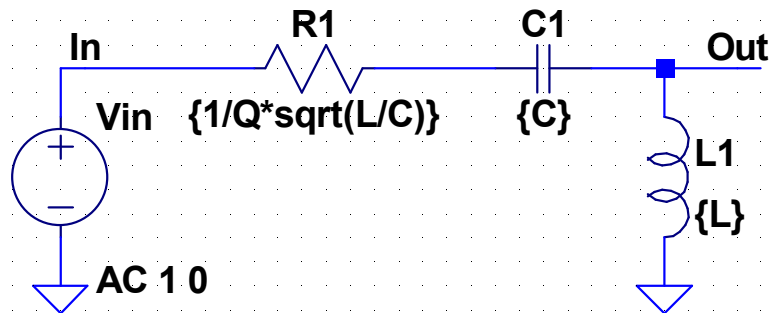
```
.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10
```

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

Frequenza di taglio 5.033 kHz

## Filtro passa-alto del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



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

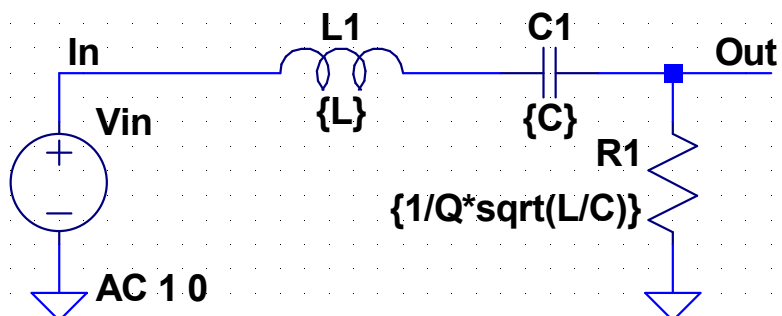
```
.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10
```

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

**Frequenza di taglio 5.033 kHz**

## Filtro passa-banda del 2° ordine

Analisi per diversi valori del fattore di merito



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

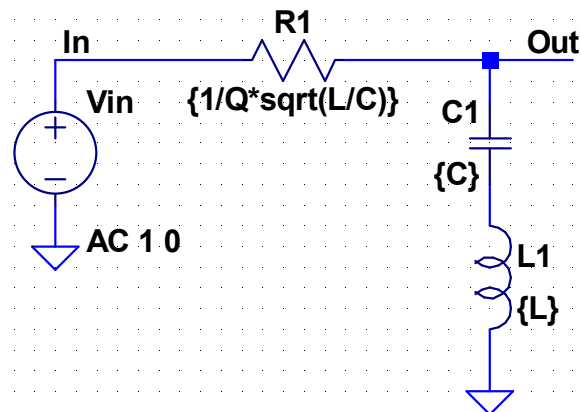
```
.step param Q list 0.5 0.707 1 2 5 10
```

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

**Frequenza di taglio 5.033 kHz**

## 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

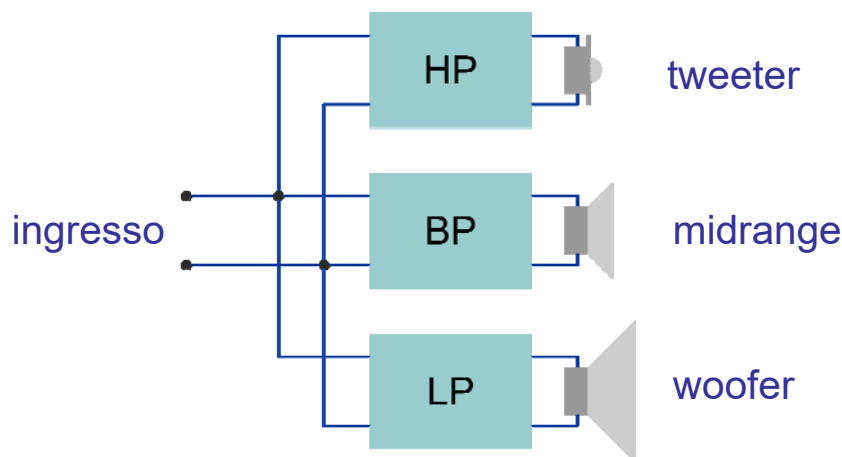
## Esempio – Filtro crossover

- Normalmente gli altoparlanti non sono in grado di riprodurre in modo ottimale tutte le frequenze dello spettro udibile (20 Hz - 20 kHz)
- Per questo motivo nei diffusori acustici si utilizzano più altoparlanti, ciascuno dei quali viene utilizzato solo per riprodurre una determinata banda di frequenze
- A ciascun altoparlante vengono inviate solo le componenti spettrali del segnale contenute nella banda di frequenze che deve riprodurre
- Per suddividere le componenti spettrali del segnale audio nelle bande destinate ai singoli altoparlanti si fa uso di un filtro ripartitore (detto filtro di crossover)



## Esempio – Filtro crossover

- Si considera un sistema a 3 vie, in cui si utilizzano tre altoparlanti:
  - ◆ *woofer* per le frequenze basse
  - ◆ *midrange* per le frequenze intermedie
  - ◆ *tweeter* per le frequenze acute
- Per suddividere le componenti armoniche del segnale audio si utilizzano 3 filtri: passa-basso (LP), passa-banda (BP), passa-alto (HP)



17

## Esempio – Filtro crossover

- Si assume, per semplicità, che l'impedenza degli altoparlanti sia puramente resistiva e valga  $8 \Omega$
- Bande degli altoparlanti
  - ◆ woofer: 20-500 Hz
  - ◆ midrange: 500-5000 Hz
  - ◆ tweeter: 5000-20000 Hz
- Filtri utilizzati
  - ◆ LP: filtro RL del 1° ordine con frequenza di taglio  $f_L = 500$  Hz
  - ◆ HP: filtro RC del 1° ordine con frequenza di taglio  $f_H = 5000$  Hz
  - ◆ BP: filtro RLC serie del 2° ordine con frequenze di taglio  $f_L = 500$  Hz e  $f_H = 5000$  Hz

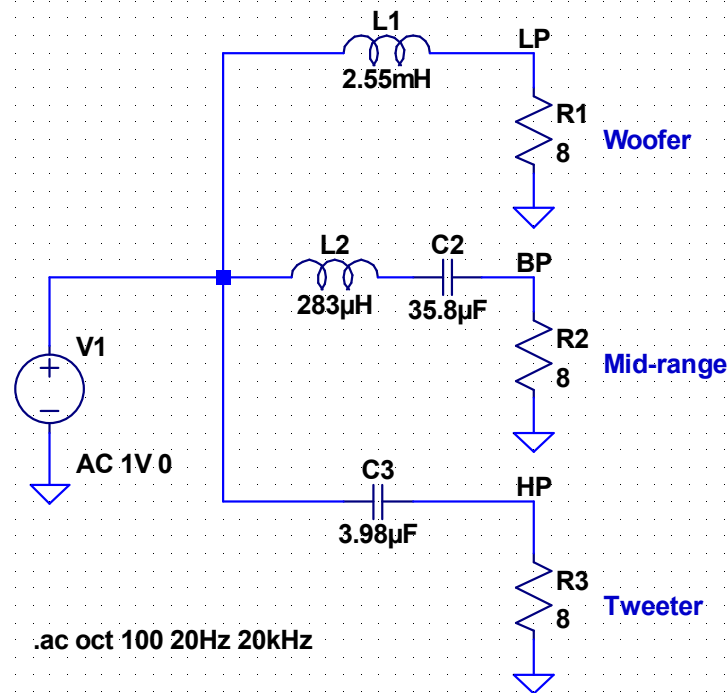
- Per il filtro BP si ha:

$$f_0 = \sqrt{f_L f_H} = 1.581 \text{ Hz} \quad Q = \frac{f_0}{f_H - f_L} = 0.351$$

- Per i tre filtri R è la resistenza degli altoparlanti

18

Filtro crossover a 3 vie



19

## Esempio – Filtro crossover

- Dimensionamento del filtro passa-basso

$$f_L = \frac{\omega_{0LP}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi L_1/R} \quad \Rightarrow \quad L_1 = \frac{\omega_{0LP}}{2\pi} = \frac{R}{2\pi f_L} = 2.55 \text{ mH}$$

- Dimensionamento del filtro passa-banda

$$\omega_{0BP} = 2\pi\sqrt{f_L f_H} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \quad \Rightarrow \quad L_2 = \frac{R}{2\pi(f_H - f_L)} = 283 \mu\text{H}$$

$$2\pi(f_H - f_L) = \frac{\omega_{0BP}}{Q} = \frac{R}{L_2} \quad \Rightarrow \quad C_2 = \frac{f_H - f_L}{2\pi f_L f_H R} = 35.8 \mu\text{F}$$

- Dimensionamento del filtro passa-alto

$$f_H = \frac{\omega_{0HP}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi R C_3} \quad \Rightarrow \quad C_3 = \frac{1}{2\pi f_H R} = 3.98 \mu\text{F}$$

20