

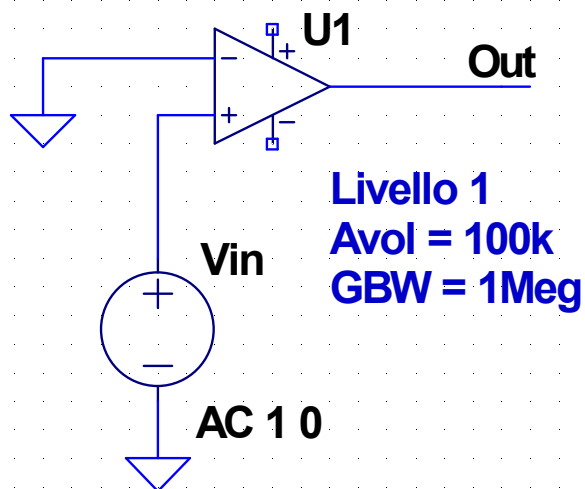
# Amplificatori operazionali

## Parte 2

[www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm](http://www.die.ing.unibo.it/pers/mastri/didattica.htm)  
(versione del 22-5-2017)

19-GBW-1.asc

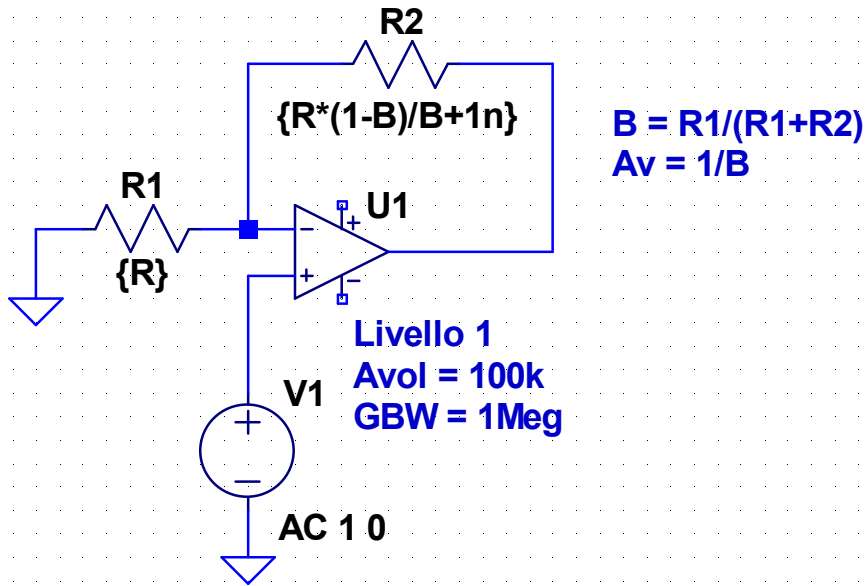
Risposta in frequenza di un amplificatore operazionale



.ac dec 100 1Hz 10MegHz

## 20-GBW-1.asc

### Risposta in frequenza di un amplificatore non invertente

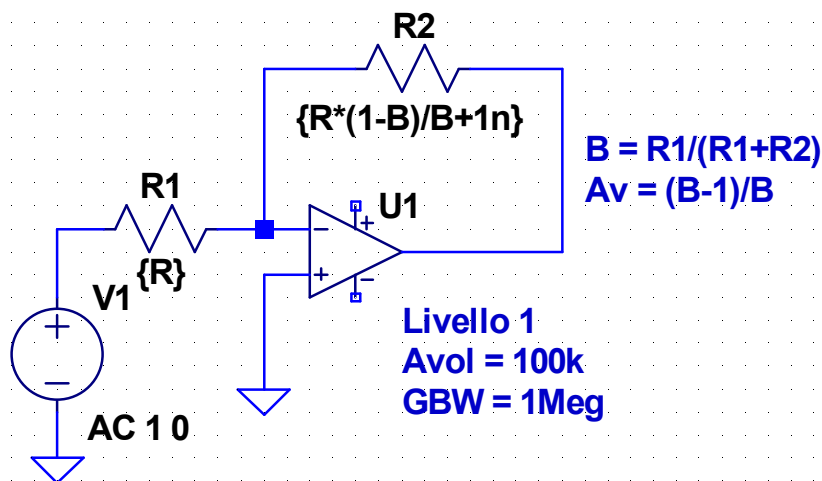


```
.param R=1k  
.step param B list 1 0.1 0.01 1e-3  
.ac dec 10 1Hz 10MegHz
```

3

## 21-GBW-1.asc

### Risposta in frequenza di un amplificatore invertente

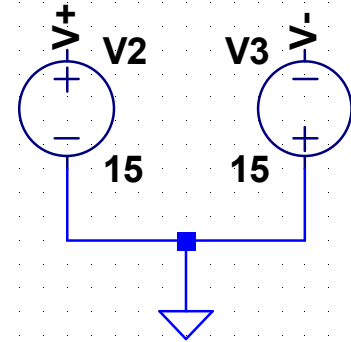
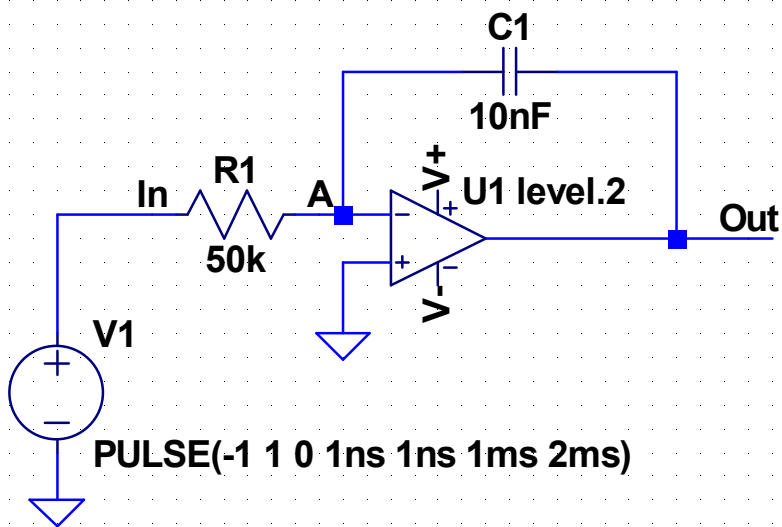


```
.param R=1k  
.step param B list 0.5 0.0909 0.0099 0.000999  
.ac dec 10 1Hz 10MegHz
```

4

## 22-Int-1.asc

### Integratore



$\text{Tau}=0.5e-3$

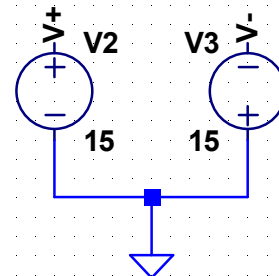
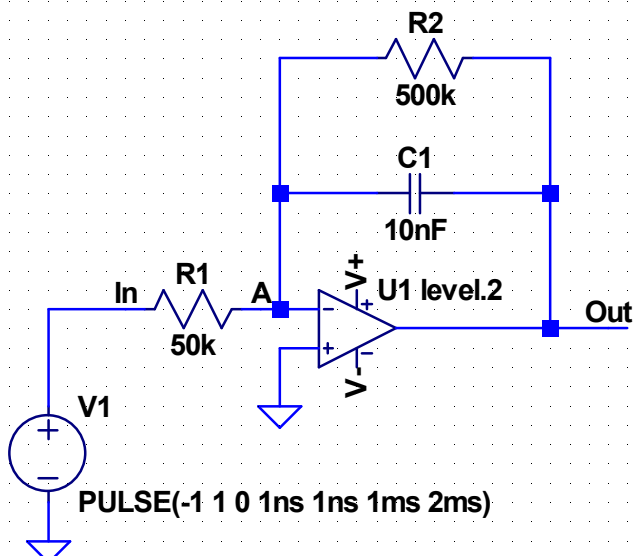
.ic (V(A)=0 V(out)=0 **Condensatore inizialmente scarico**)

.tran 0 10ms

5

## 23-Int-2.asc

### Integratore con resistenza per la limitazione del guadagno a bassa frequenza



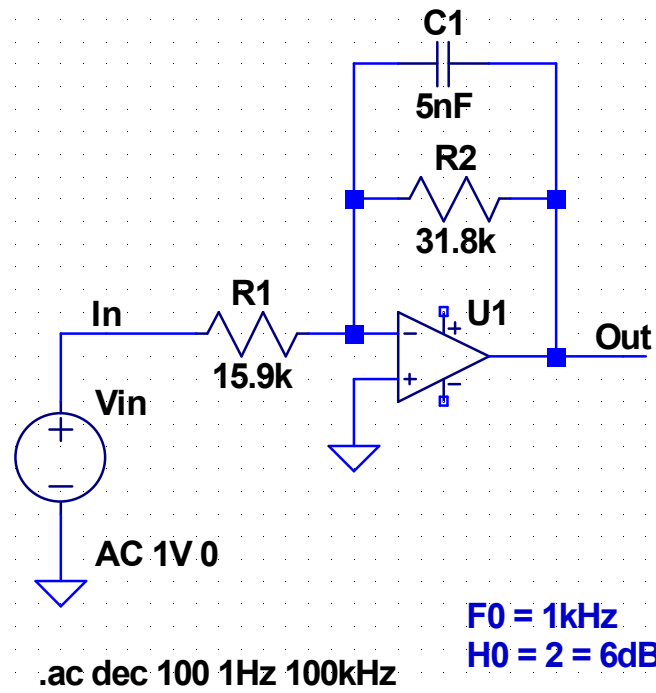
$\text{Tau}=0.5e-3$

.ic (V(A)=0 V(out)=0 **Condensatore inizialmente scarico**)

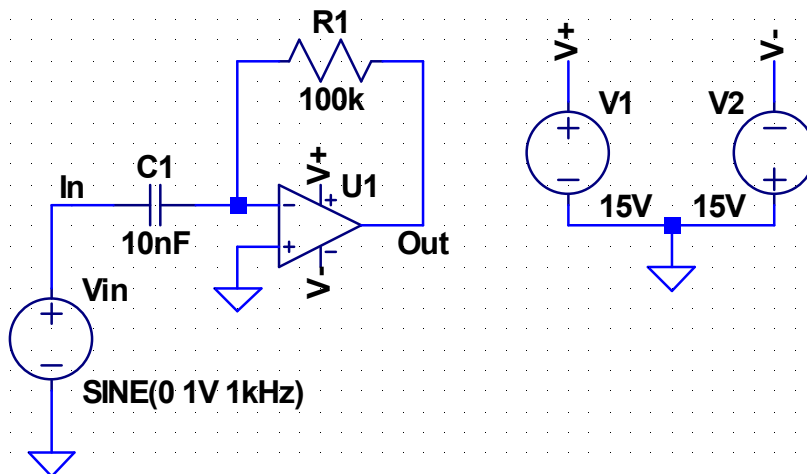
.tran 0 20ms

6

Filtro passa-basso invertente del 1° ordine



Derivatore  
Ingresso sinusoidale



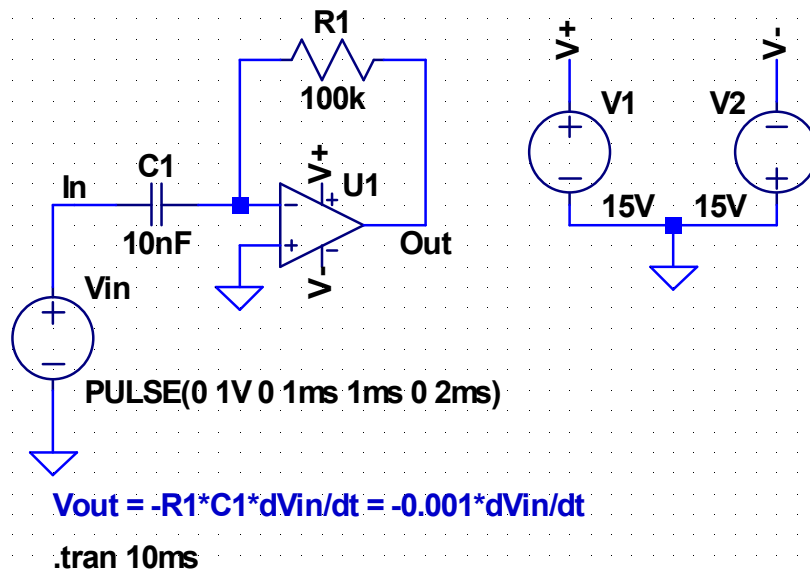
$$V_{out} = -R1 \cdot C1 \cdot \frac{dV_{in}}{dt} = -0.001 \cdot \frac{dV_{in}}{dt}$$

$$V_{in} = \sin(2000 \cdot \pi \cdot t) \Rightarrow V_{out} = -2 \cdot \pi \cdot \cos(2000 \cdot \pi \cdot t)$$

.tran 10ms

Si può notare che la risposta contiene una componente transitoria costituita da un'oscillazione debolmente smorzata

**Derivatore**  
Ingresso a onda triangolare



La risposta non corrisponde all'andamento teorico a causa della banda limitata (e dello slew rate) dell'amplificatore operazionale.

9

## Risposta in frequenza del derivatore

- Se per tenere conto della risposta dell'amplificatore operazionale si fa uso del modello a un polo e si assume  $A \gg 1$ , si può dimostrare che per il derivatore si ottiene una funzione di trasferimento del secondo ordine del tipo

$$H(j\omega) \approx - \frac{j\omega\tau}{1 - \omega^2 \frac{\tau}{\omega_0 A} + j\omega \frac{\omega_0\tau + 1}{\omega_0 A}} = - \frac{j\omega\tau}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_P^2} + j \frac{\omega}{\omega_P Q_P}}$$

dove

$$\omega_P \approx \sqrt{\frac{\omega_0 A}{\tau}} \quad Q_P \approx \frac{\sqrt{\omega_0 \tau A}}{1 + \omega_0 \tau} \quad \tau = R_1 C_1$$

- Dato che  $A$  normalmente è molto grande, il fattore di merito  $Q_P$  può risultare molto elevato

## Risposta in frequenza del derivatore

- Ad una funzione di trasferimento con due poli complessi coniugati e un alto fattore di merito corrisponde una componente transitoria della risposta di tipo oscillante con debole smorzamento
- Questo è il motivo principale del comportamento insoddisfacente del derivatore
- Si possono ottenere prestazioni migliori inserendo una resistenza  $R_2$  in serie al condensatore
- Si può verificare che  $\omega_p$  e  $Q_p$  si modificano nel modo seguente

$$\omega_p \approx \sqrt{\frac{\omega_0 A}{(R_1 + R_2)C_1}} \quad Q_p \approx \frac{\sqrt{\omega_0 (R_1 + R_2)C_1 A}}{1 + \omega_0 (R_1 C_1 + R_2 C_1 A)}$$

- Aumentando  $R_2$  si può ridurre il fattore di merito
- In particolare se  $Q_p$  diviene uguale a 0.5 si hanno due poli reali coincidenti, mentre per  $Q_p$  minore si hanno due poli reali distinti
- Per  $R_2$  molto grande la pulsazione del polo inferiore tende a  $1/(R_2 C_1)$

11

## Risposta in frequenza del derivatore

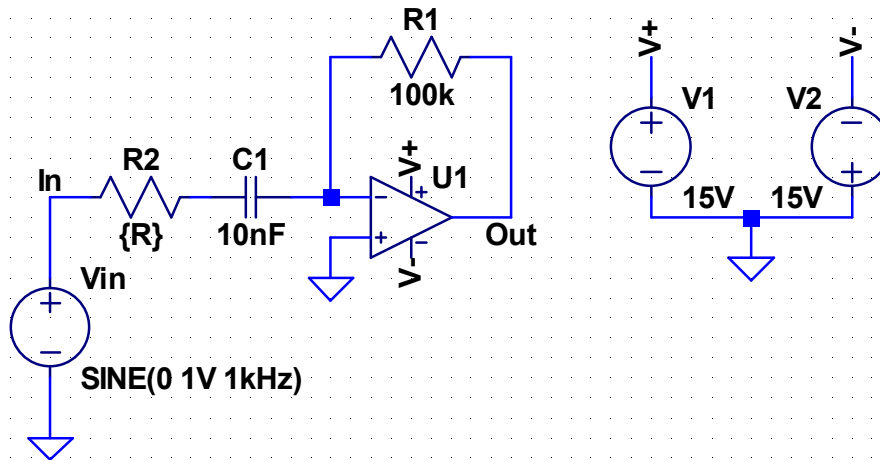
- Negli esempi che seguono sono utilizzati i valori di  $R_2$  indicati nella tabella

$R_2$	$f_p$	$Q_p$
0	39.894 kHz	236
100 $\Omega$	39.874 kHz	3.925
500 $\Omega$	39.795 kHz	0.797
800 $\Omega$	39.736 kHz	0.500
1 k $\Omega$	39.696 kHz	0.400
2 k $\Omega$	39.501 kHz	0.201

12

## 28-Der-3.asc

Derivatore  
Ingresso sinusoidale  
Effetto della resistenza R2

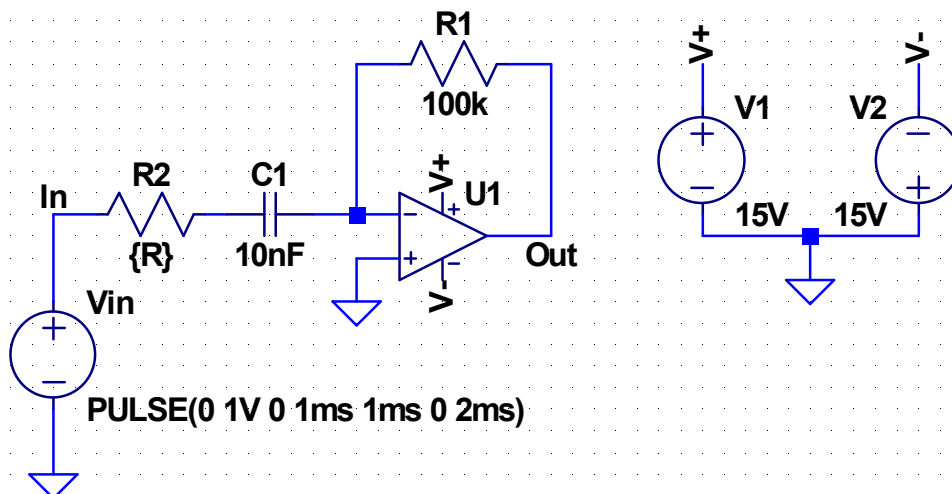


$V_{out} = -R1 \cdot C1 \cdot dV_{in}/dt = -0.001 \cdot dV_{in}/dt$   
 $V_{in} = \sin(2000 \cdot \pi \cdot t) \Rightarrow V_{out} = -2 \cdot \pi \cdot \cos(2000 \cdot \pi \cdot t)$   
.tran 5ms  
.step param R list 500 800 1k 2k

13

## 29-Der-4.asc

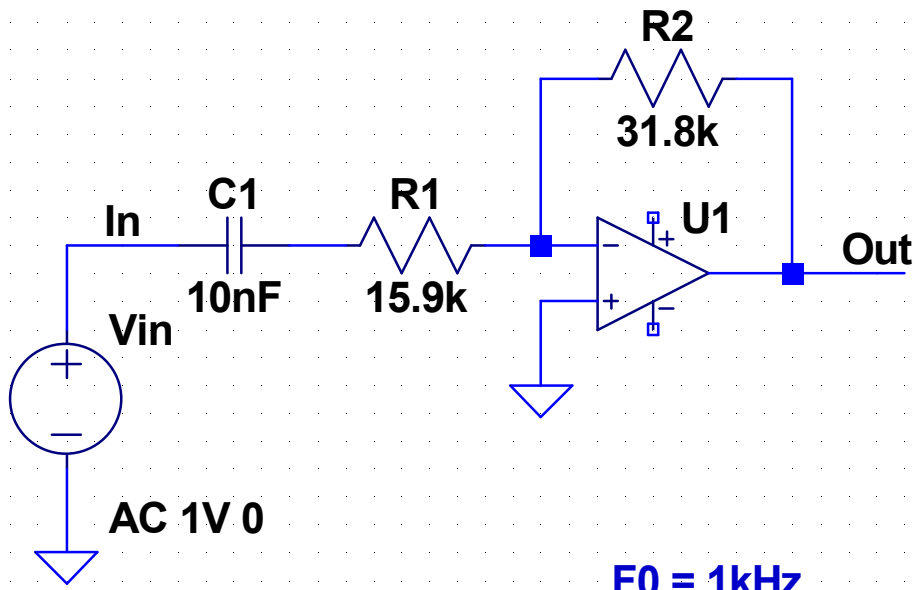
Derivatore  
Ingresso a onda triangolare  
Effetto della resistenza R2



$V_{out} = -R1 \cdot C1 \cdot dV_{in}/dt = -0.001 \cdot dV_{in}/dt$   
.tran 5ms  
.step param R list 500 800 1k 2k

14

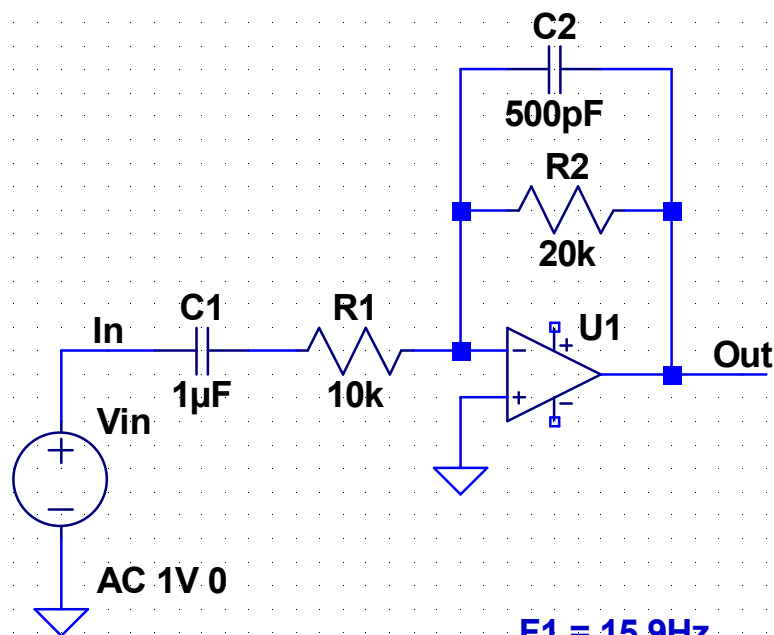
### Filtro passa-alto invertente del 1° ordine



$F_0 = 1\text{kHz}$   
 $H_0 = 2 = 6\text{dB}$

.ac dec 100 1Hz 100kHz

### Filtro a passa-banda invertente



$F_1 = 15.9\text{Hz}$   
 $F_2 = 15.9\text{kHz}$   
 $H_0 = 2 = 6\text{dB}$

.ac dec 100 1Hz 100kHz