

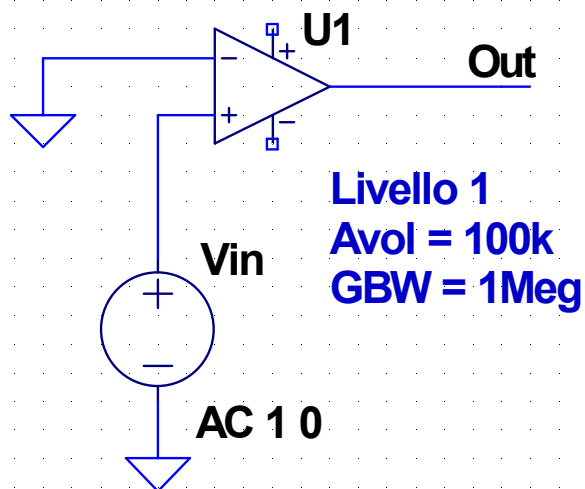
Amplificatori operazionali

Parte 2

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

19-GBW-1.asc

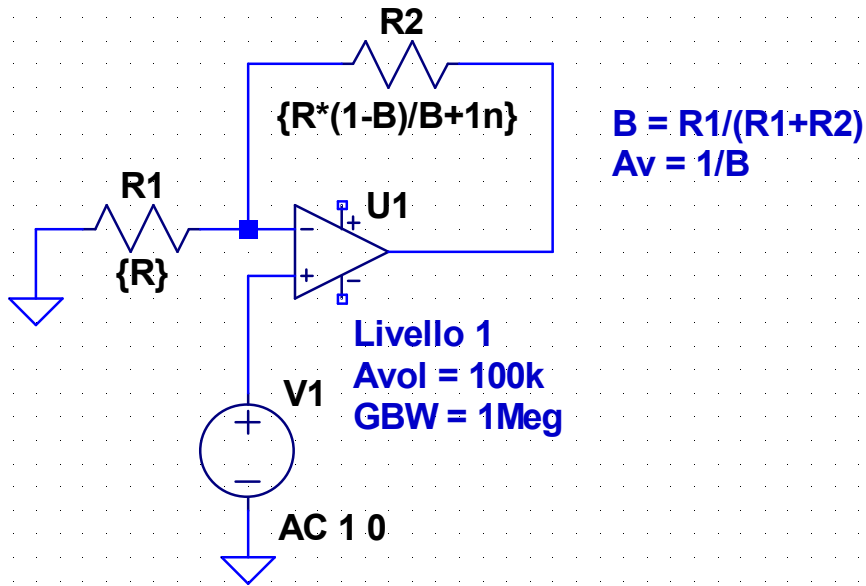
Risposta in frequenza di un amplificatore operazionale



.ac dec 100 1Hz 10MegHz

20-GBW-1.asc

Risposta in frequenza di un amplificatore non invertente

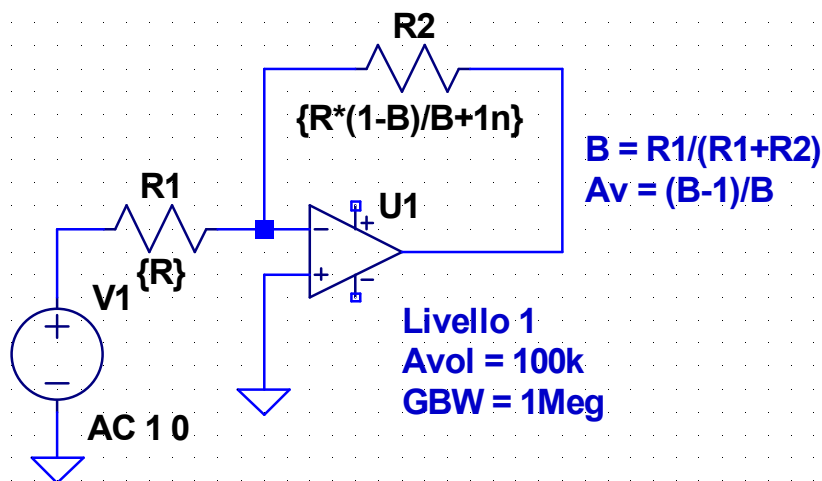


```
.param R=1k  
.step param B list 1 0.1 0.01 1e-3  
.ac dec 10 1Hz 10MegHz
```

3

21-GBW-1.asc

Risposta in frequenza di un amplificatore invertente

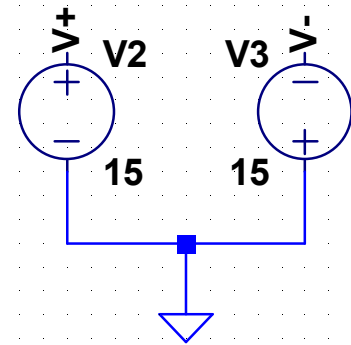
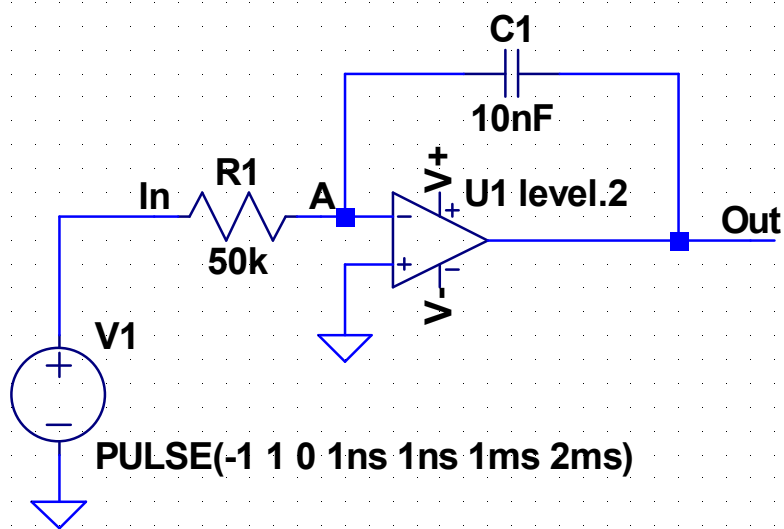


```
.param R=1k  
.step param B list 0.5 0.0909 0.0099 0.000999  
.ac dec 10 1Hz 10MegHz
```

4

22-Int-1.asc

Integratore



PULSE(-1 1 0 1ns 1ns 1ms 2ms)

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

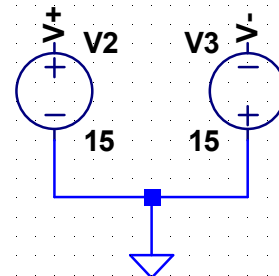
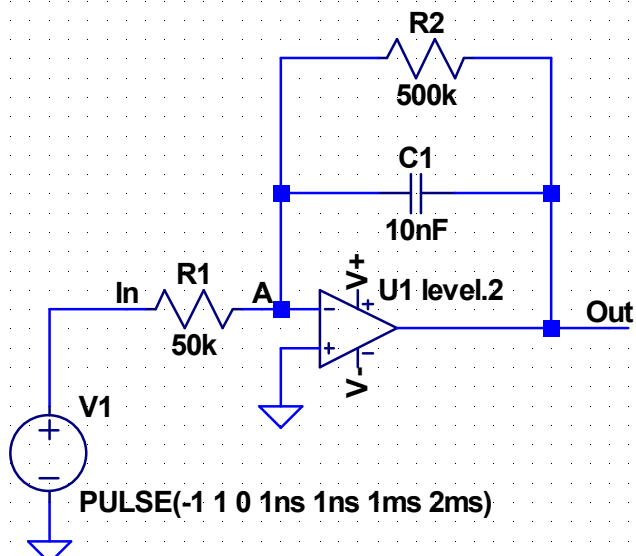
.ic (V(A)=0 V(out)=0 **Condensatore inizialmente scarico**)

.tran 0 10ms

5

23-Int-2.asc

Integratore con resistenza per la limitazione del guadagno a bassa frequenza



PULSE(-1 1 0 1ns 1ns 1ms 2ms)

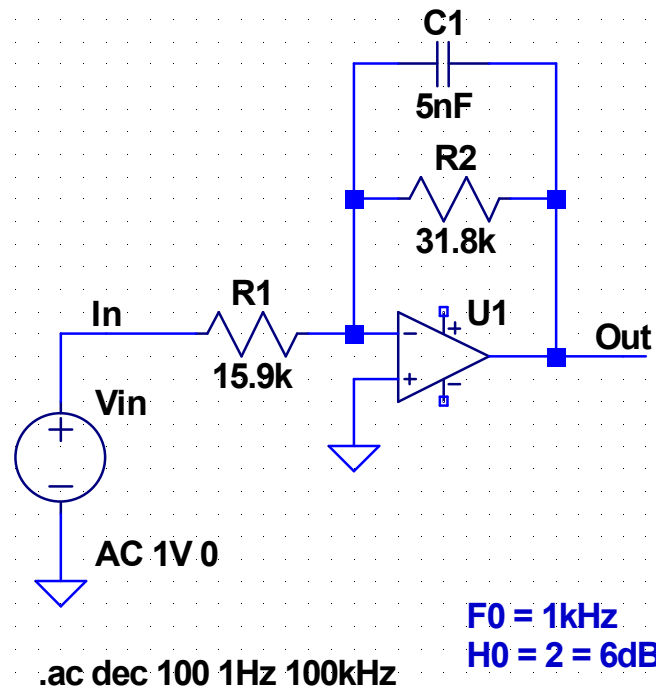
$\text{Tau}=0.5\text{e-}3$

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

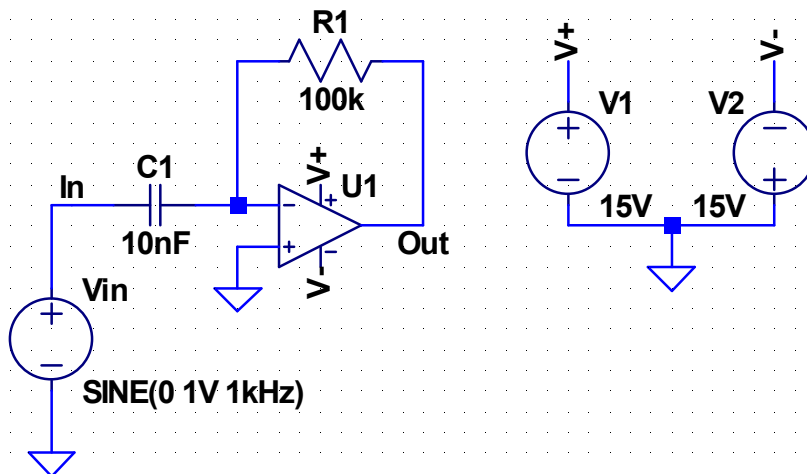
.tran 0 20ms

6

Filtro passa-basso invertente del 1° ordine



Derivatore
Ingresso sinusoidale



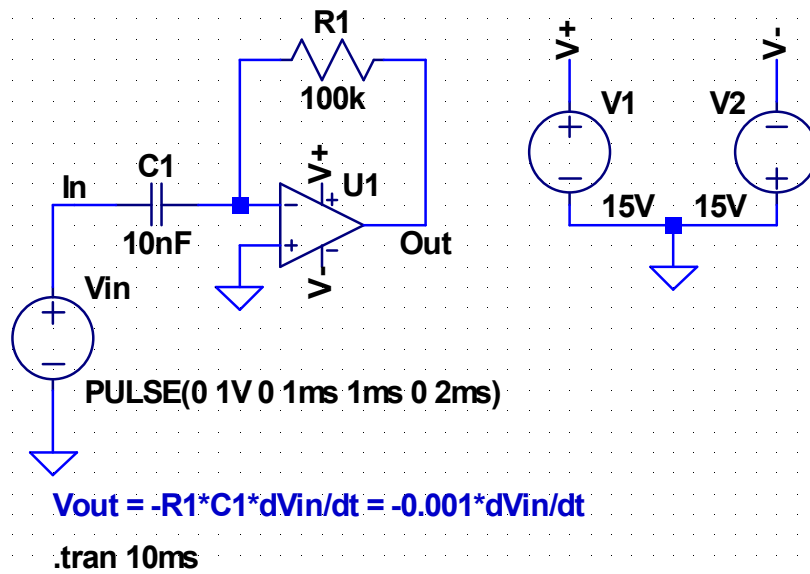
$$V_{out} = -R1 \cdot C1 \cdot \frac{dV_{in}}{dt} = -0.001 \cdot \frac{dV_{in}}{dt}$$

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

.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

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

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 ω_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

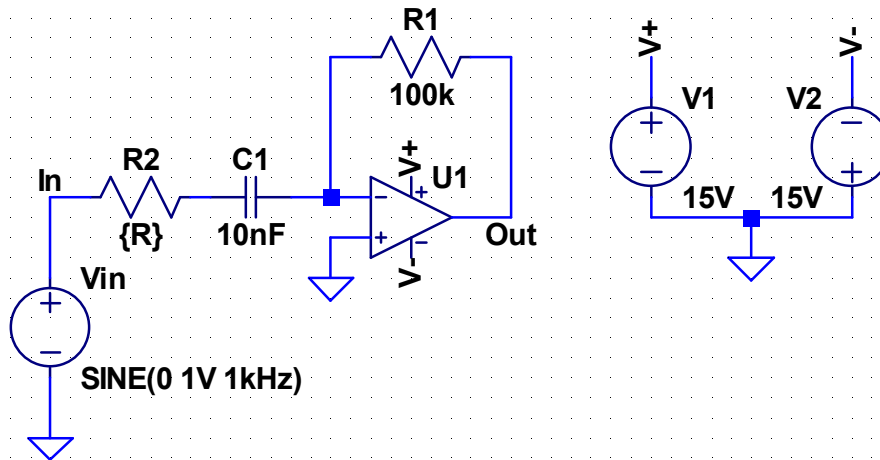
- Negli esempi che seguono sono utilizzati i valori di R_2 indicati nella tabella

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

12

28-Der-3.asc

Derivatore
Ingresso sinusoidale
Effetto della resistenza R2

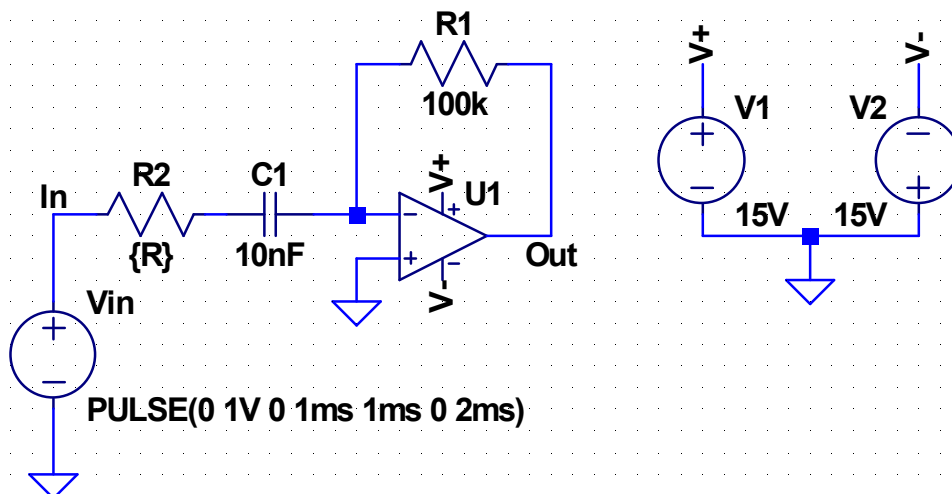


$V_{out} = -R1 \cdot C1 \cdot dV_{in}/dt = -0.001 \cdot dV_{in}/dt$
 $V_{in} = \text{sen}(2000 \cdot \pi \cdot t) \Rightarrow V_{out} = -2 \cdot \pi \cdot \cos(2000 \cdot \pi \cdot t)$
.tran 5ms
.step param R list 500 800 1k 2k

13

29-Der-4.asc

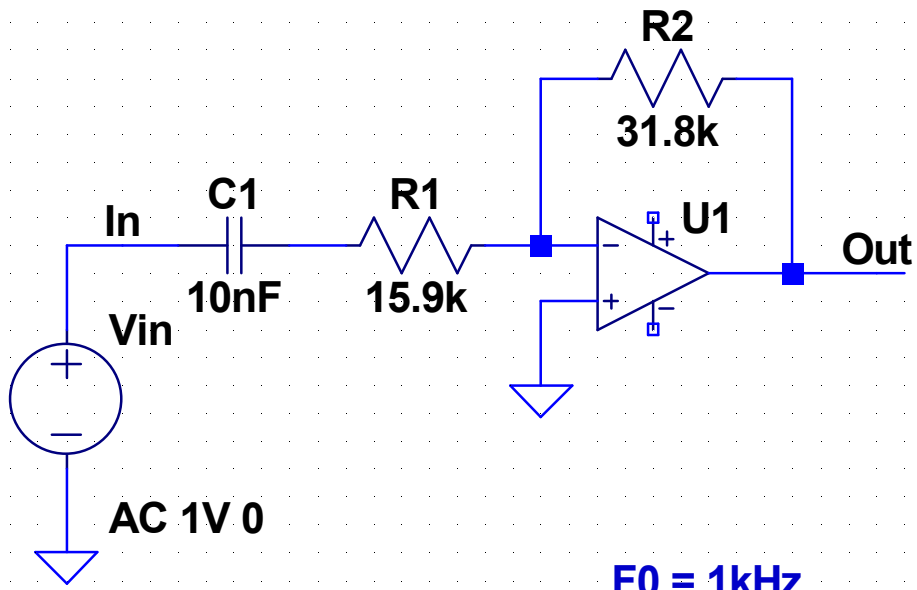
Derivatore
Ingresso a onda triangolare
Effetto della resistenza R2



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

14

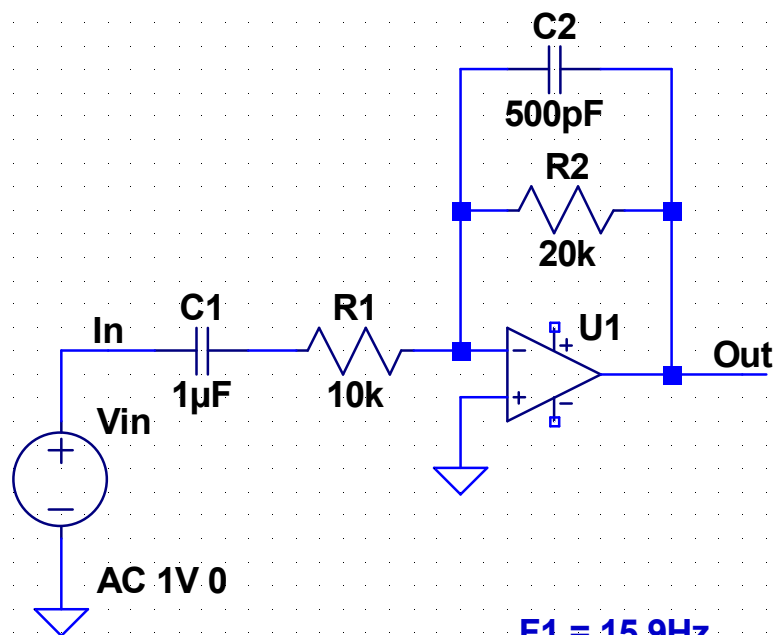
Filtro passa-alto invertente del 1° ordine



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

.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