

# Condensatore

Consideriamo un condensatore alimentato con una tensione sinusoidale di pulsazione  $\omega$

$$V_C = A \sin(\omega t)$$

$$I_C = C \frac{dV}{dt}$$

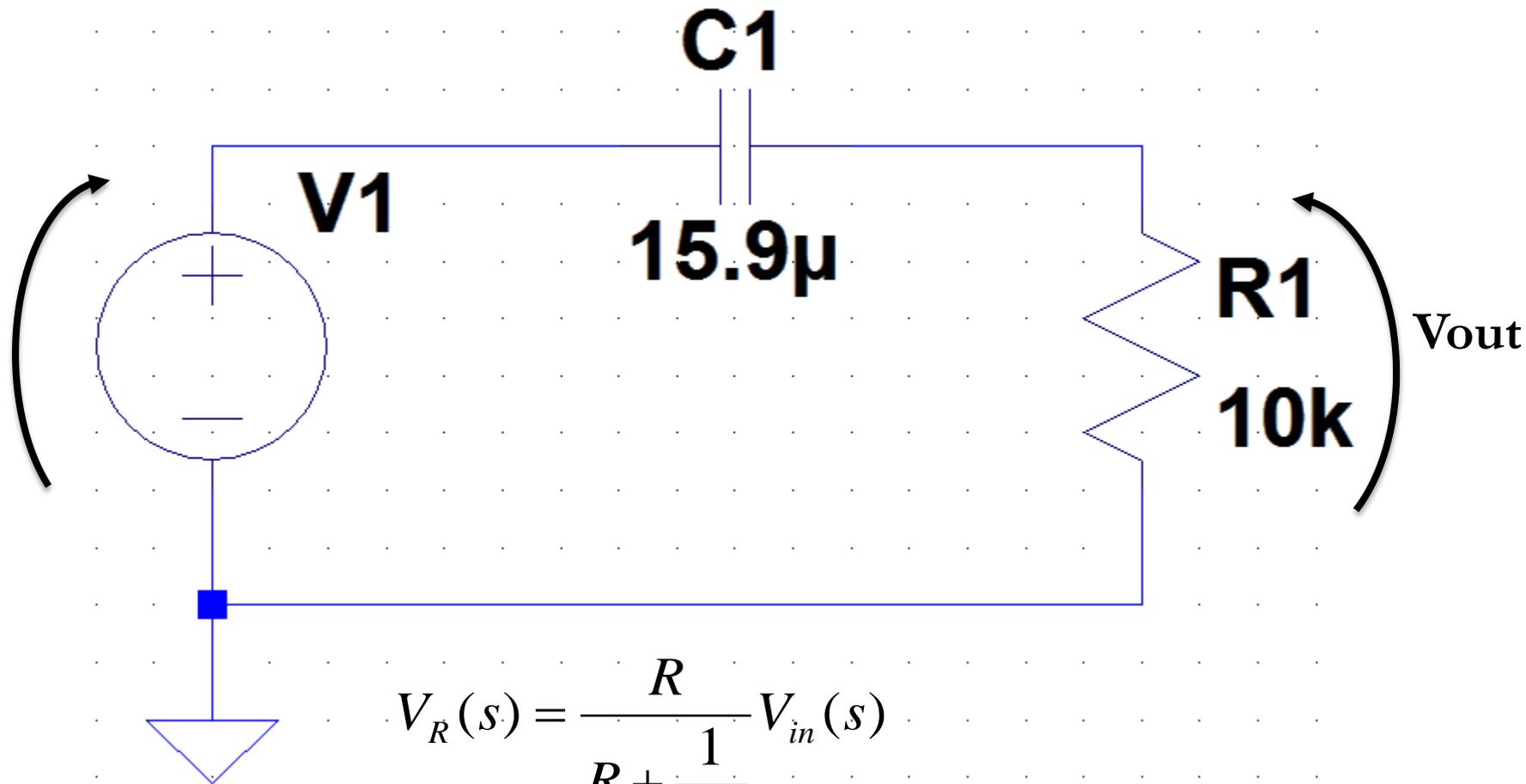
$$I_C = CA\omega \cdot \sin(\omega t)$$

Segue che

- Se  $\omega$  tende a 0  $I_C$  tende a 0 (anche il seno tende a 0)
- Se  $\omega$  tende ad infinito il seno è finito (tra -1 e 1) per cui la  $I_C$  tende a infinito

# Diagramma di Bode

Tracciare il diagramma di BODE dei seguenti circuiti:



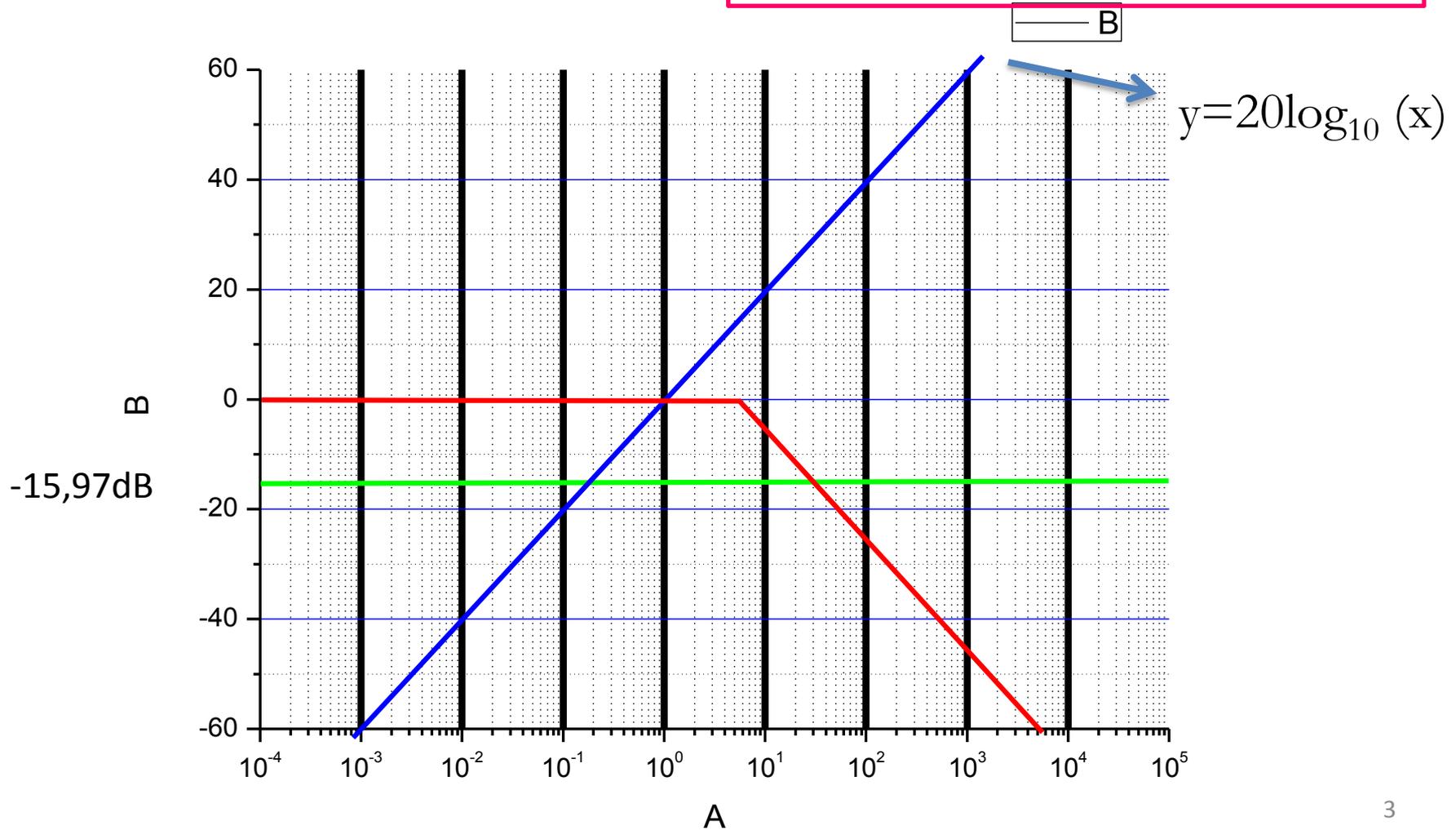
$$V_R(s) = \frac{R}{R + \frac{1}{sC}} V_{in}(s)$$

$$\frac{V_R(s)}{V_{in}(s)} = H(s) = \frac{sRC}{1 + sRC}$$

# Diagramma di Bode

$$H(s) = \frac{sRC}{1 + sRC}$$

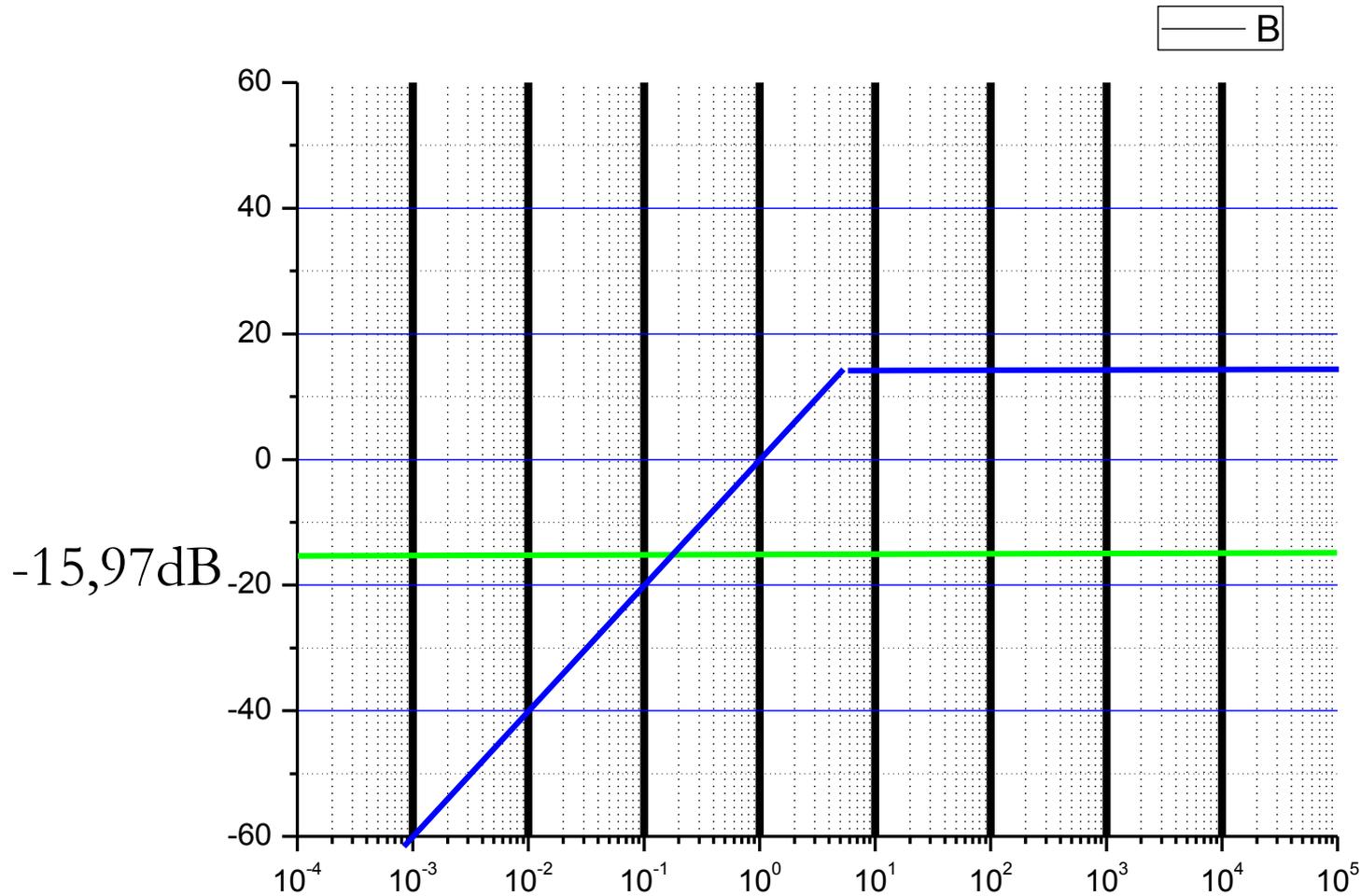
- 1 moltiplicatore = RC
- 1 Zero in 0
- 1 polo  $\omega = 1/R_2C$



# Diagramma di Bode

$$H(s) = \frac{sRC}{1 + sRC}$$

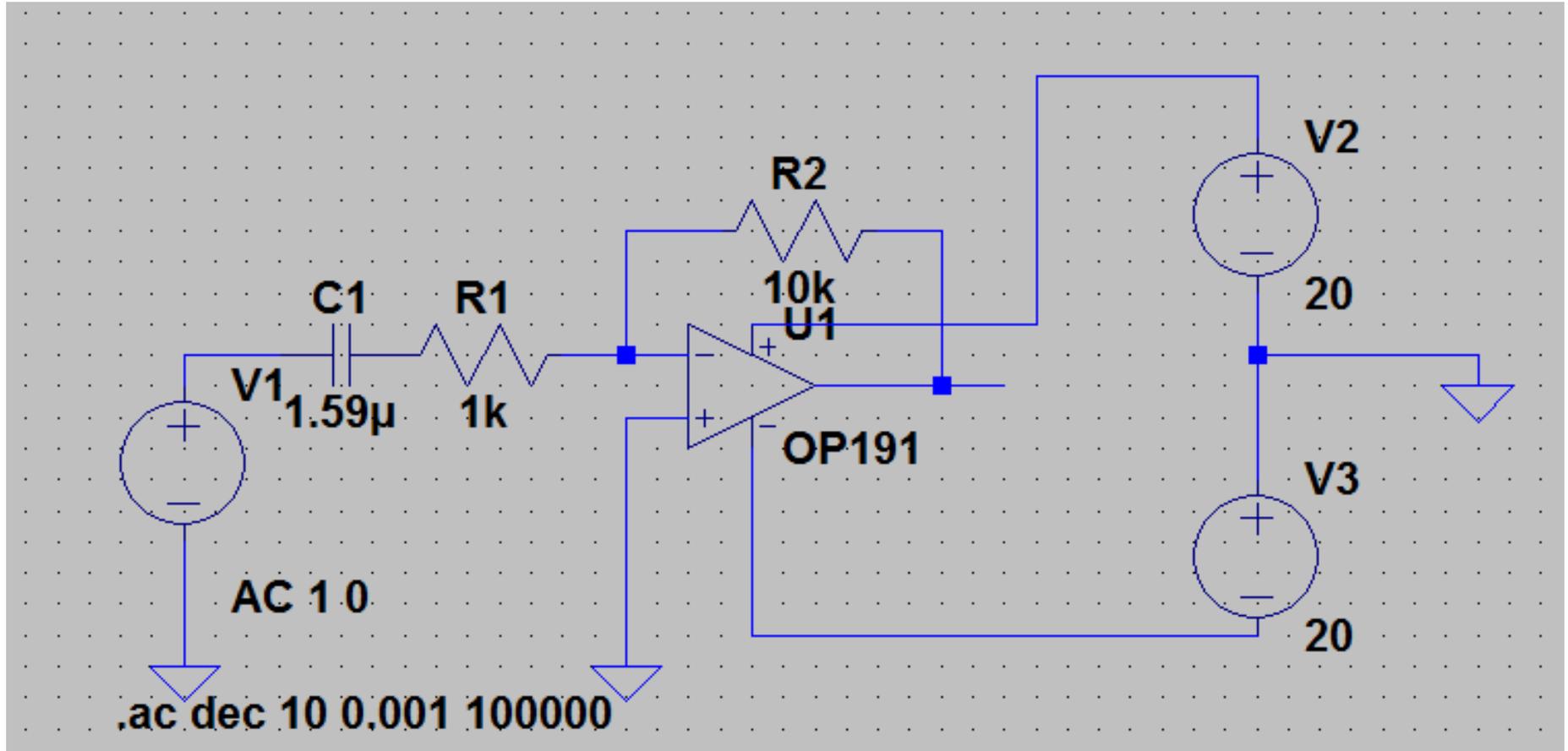
$$y = 20 \log_{10}(x)$$



$$20 \log(6,28) = 15,97 \text{dB}$$

# Diagramma di Bode - Operazionali

Tracciare il diagramma di BODE delle seguenti funzioni



# Diagramma di Bode - Operazionali

Nel dominio di Laplace posso utilizzare le impedenze, configurazione invertente

$$V_{out} = -\frac{R_2}{Z_{ser}} V_{in} \quad Z_{ser} = R_1 + \frac{1}{sC}$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} V_{in}$$

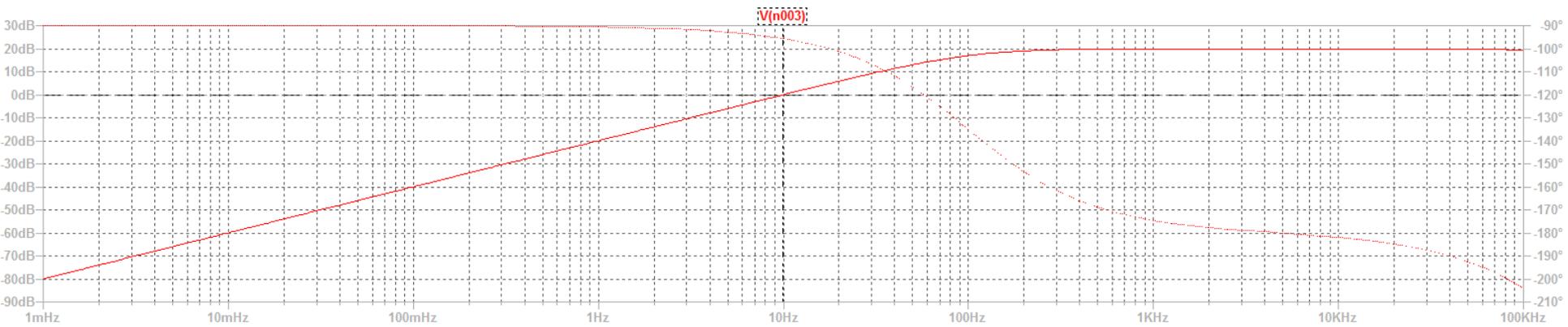
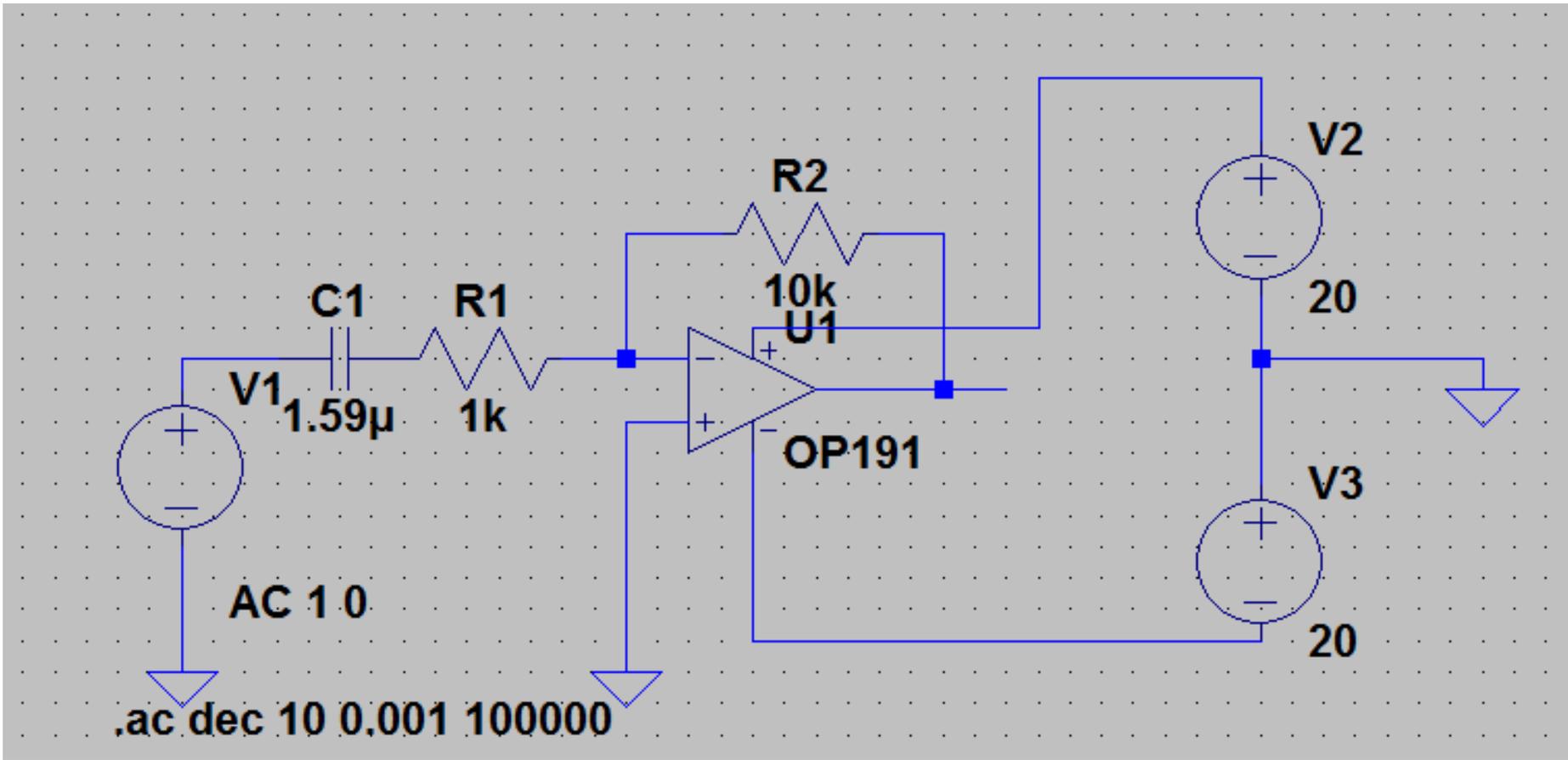
$$V_{out} = -\frac{sR_2C}{1 + sR_1C} V_{in}$$

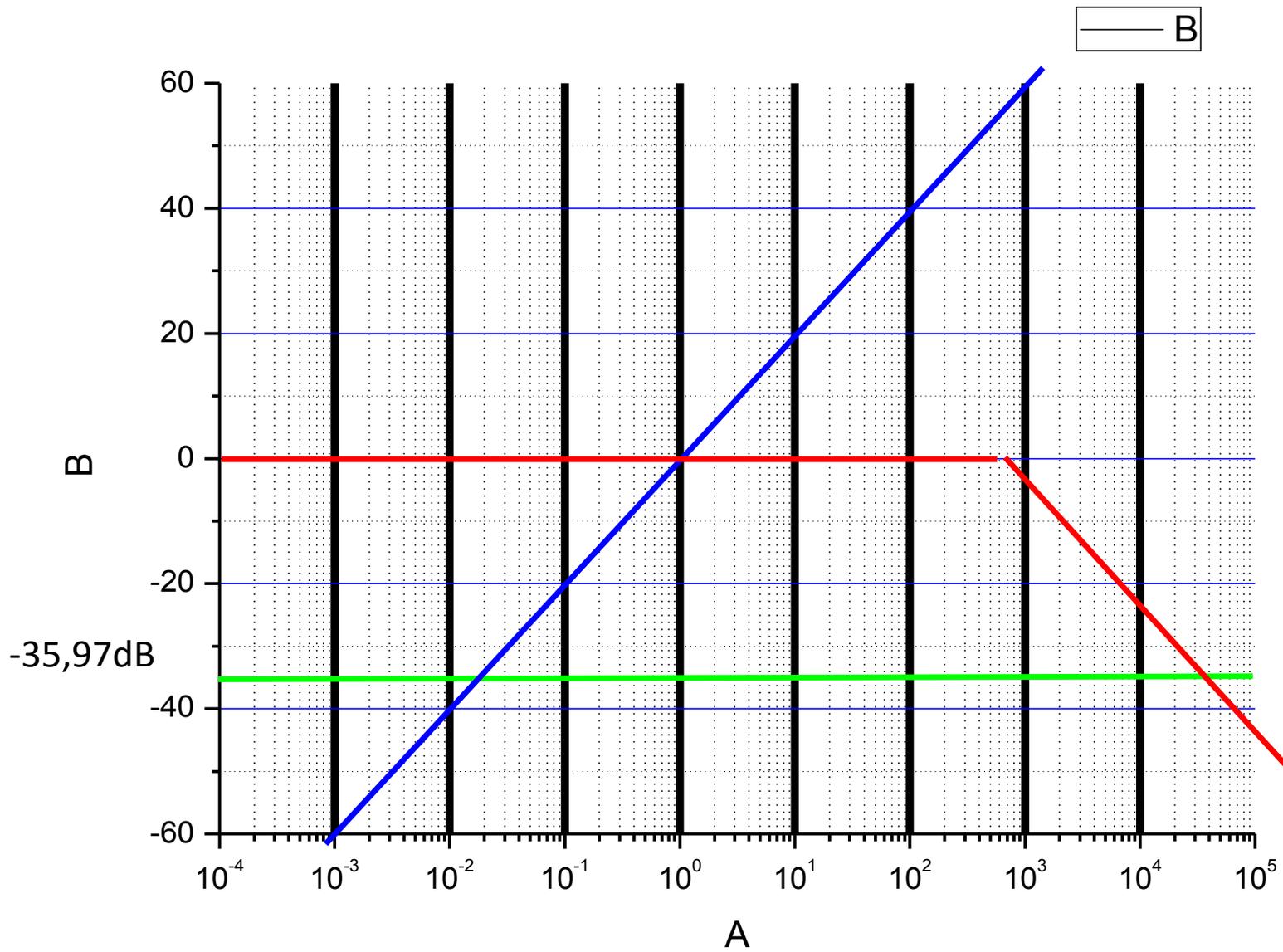
Circuito passa alto con polo in  $\omega=1/R_1C$   
Guadagno massimo  $-R_2/R_1$

A basse frequenze il capacitore è un aperto,  $V_{out}$  tende a 0

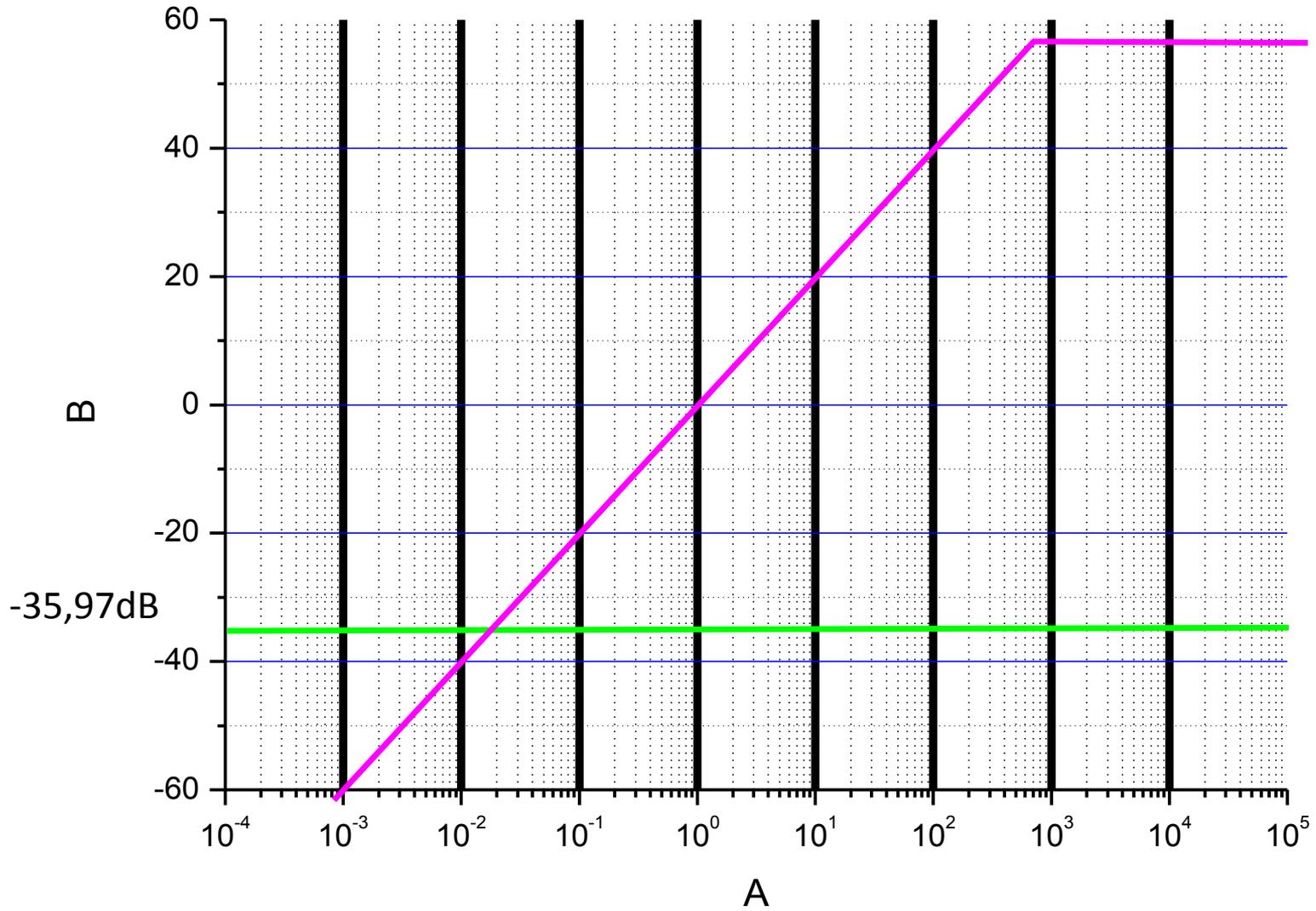
Ad alte frequenze il capacitore è un corto, rimane una configurazione invertente di resistenze

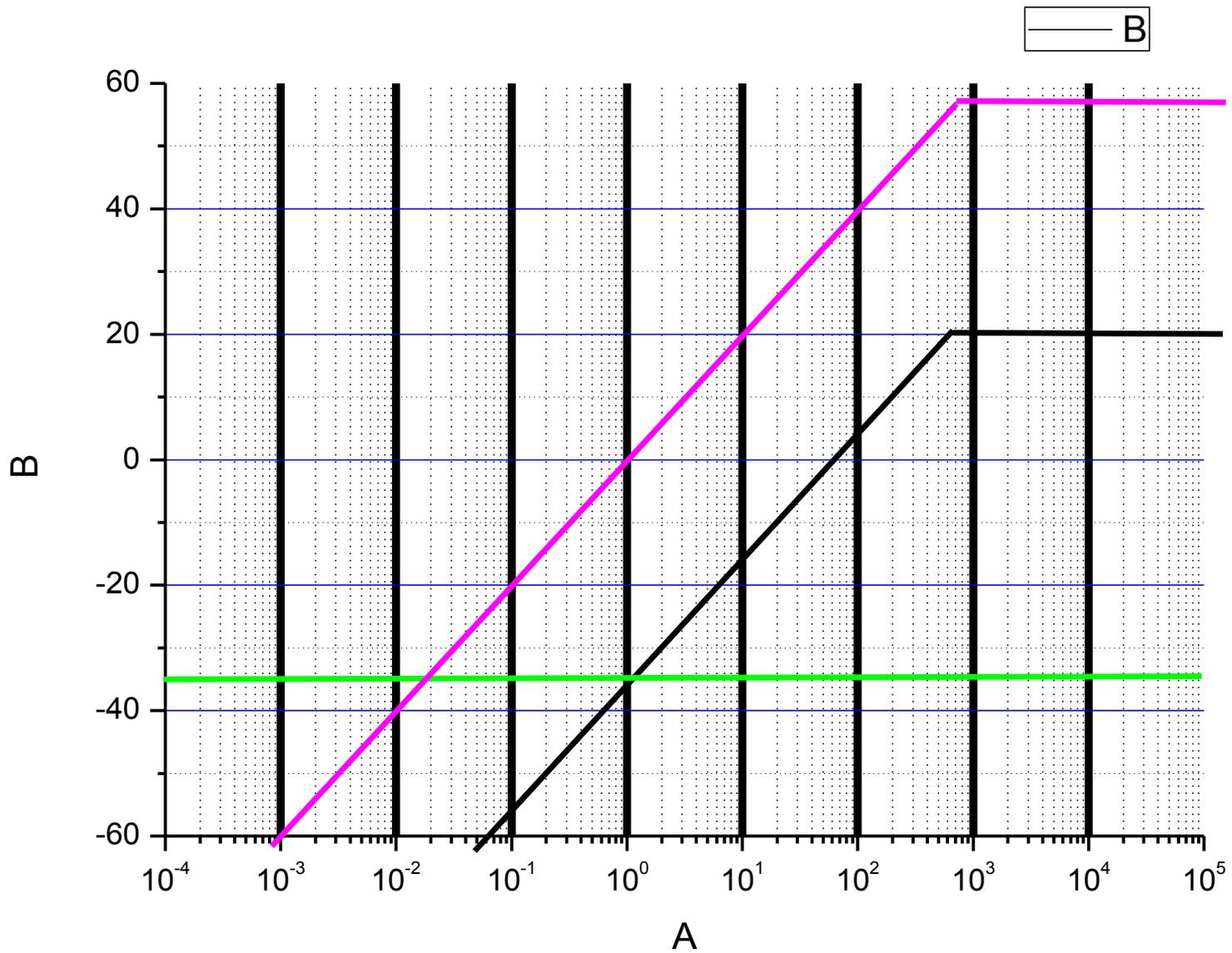
# Diagramma di Bode- Operazionali

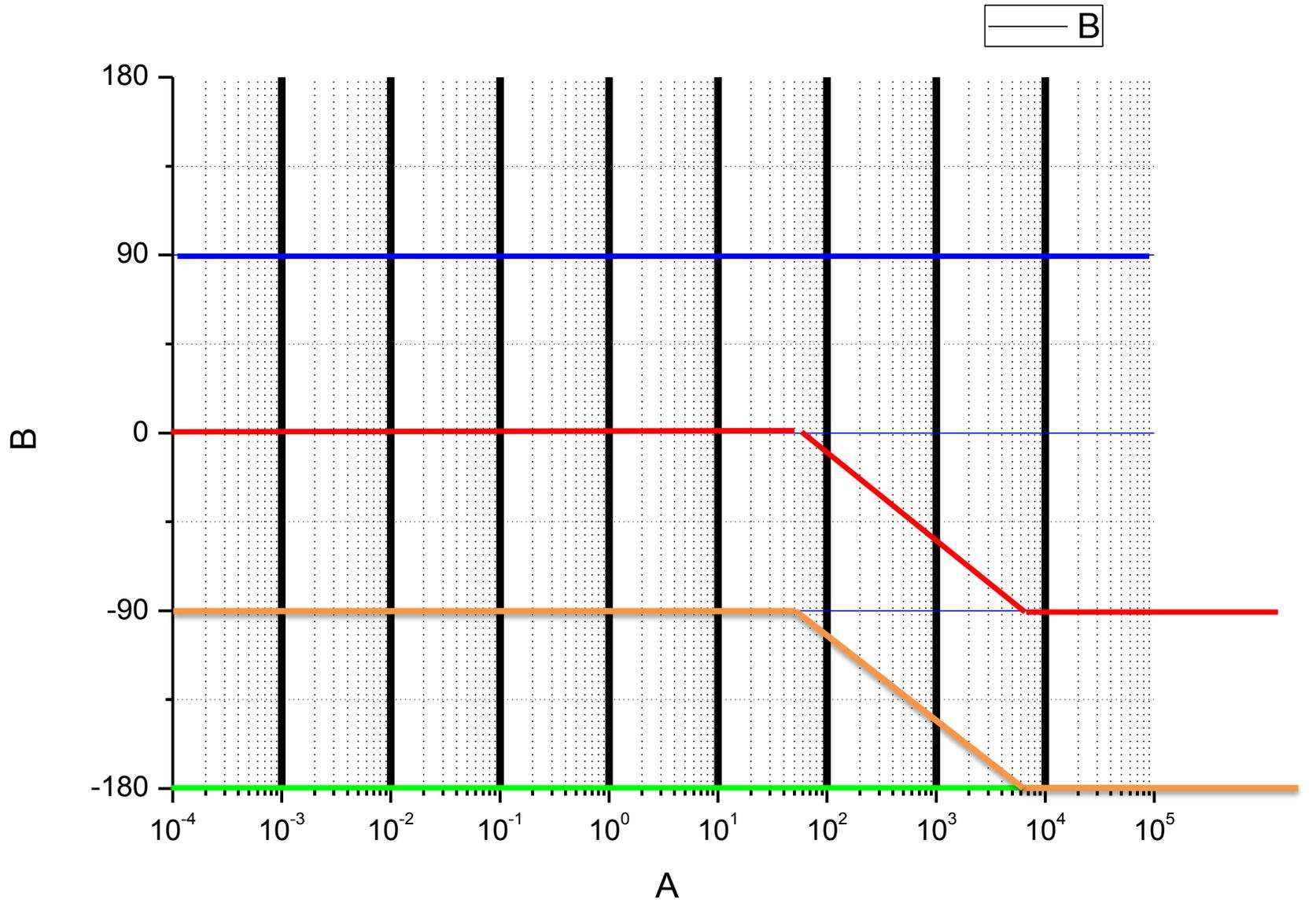


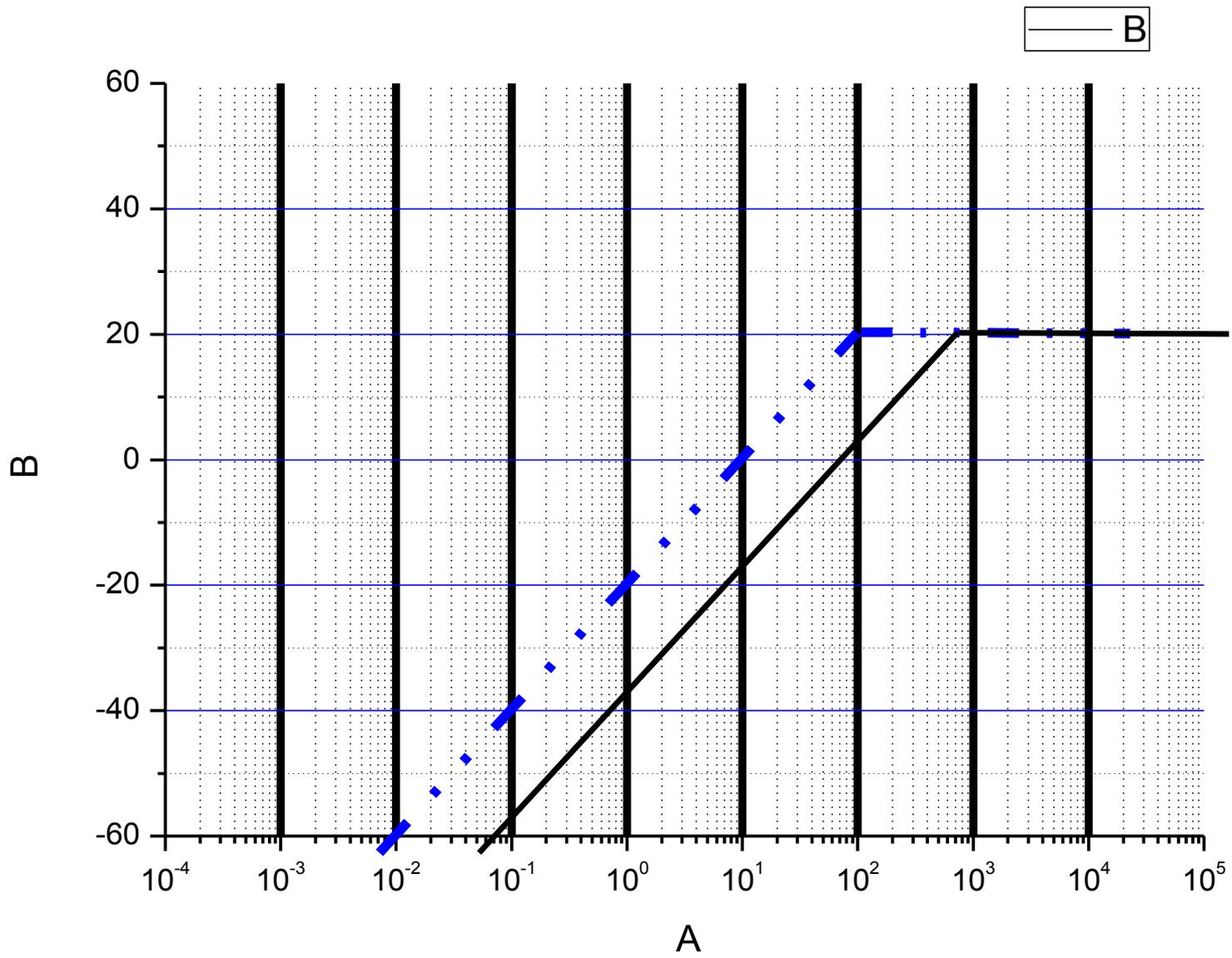


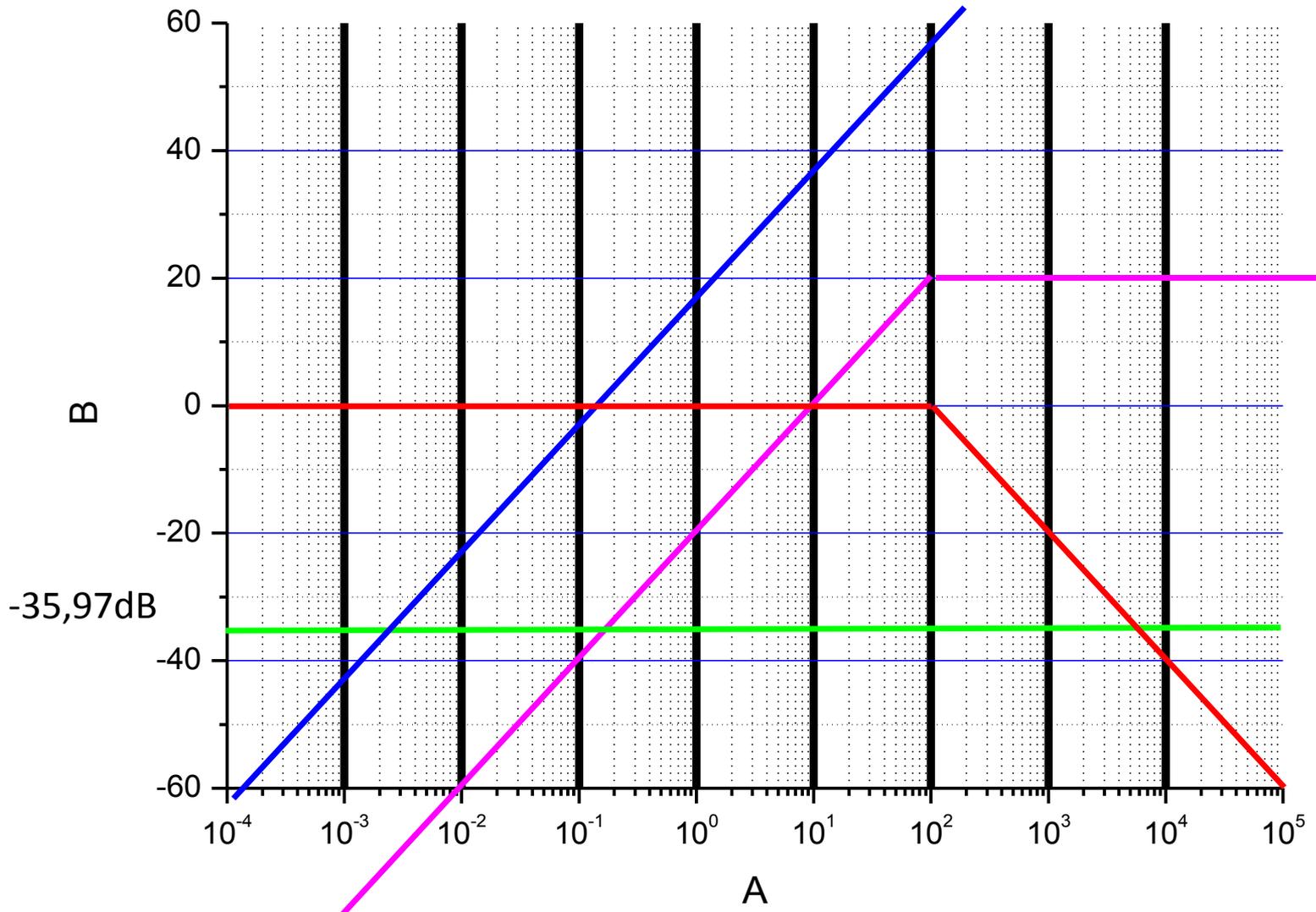
$$20\log(628) = -55,97\text{dB}$$





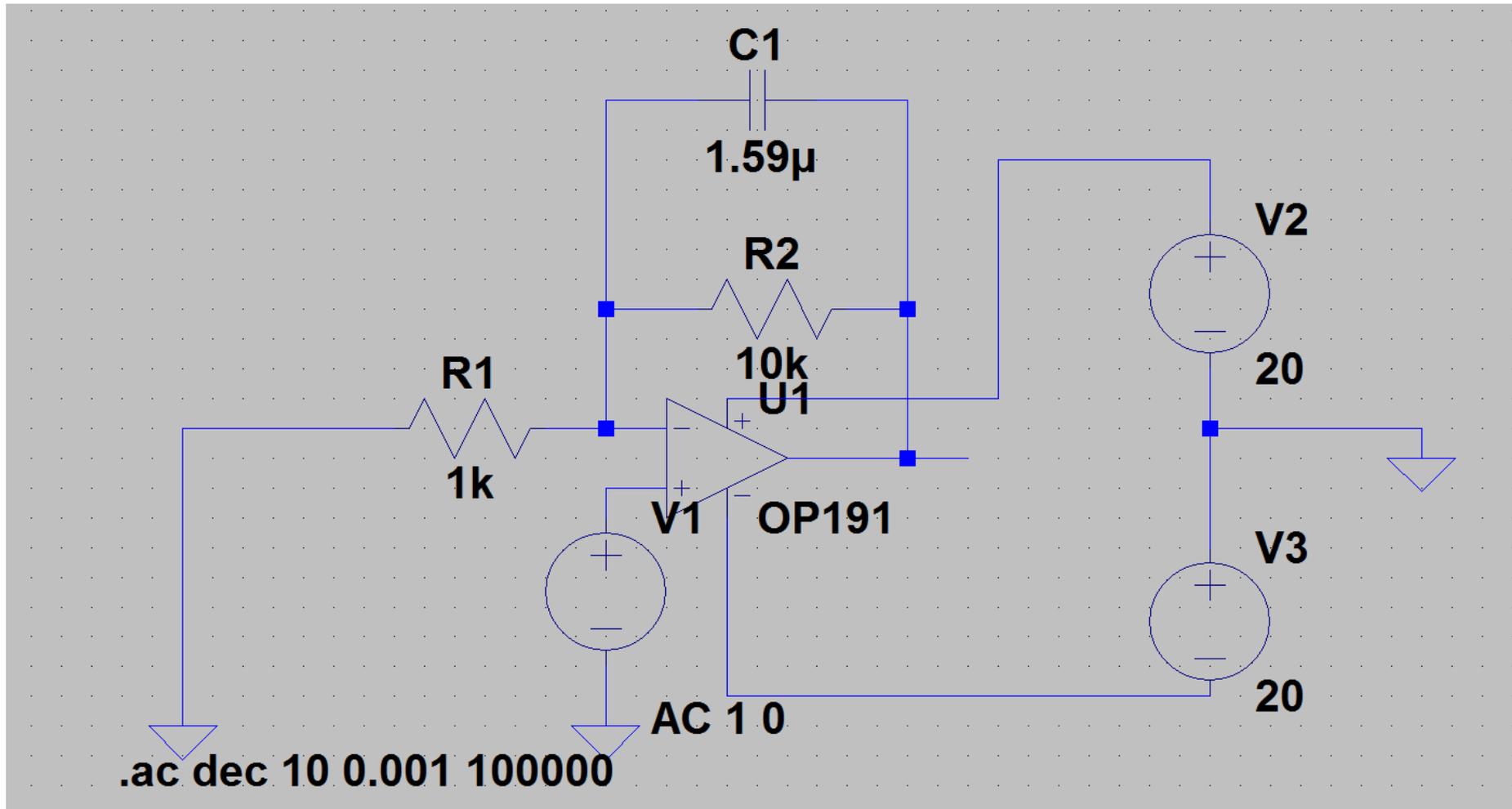






# Diagramma di Bode- Operazionali

Tracciare il diagramma di BODE delle seguenti funzioni (per casa)



# Diagramma di Bode - Operazionali

Nel dominio di Laplace posso utilizzare le impedenze, configurazione invertente

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{Z_{par}}{R_1} \right) V_{in} \quad Z_{par} = \frac{R_2}{1 + sR_2C}$$

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{\frac{R_2}{1 + sR_2C}}{R_1} \right) V_{in}$$

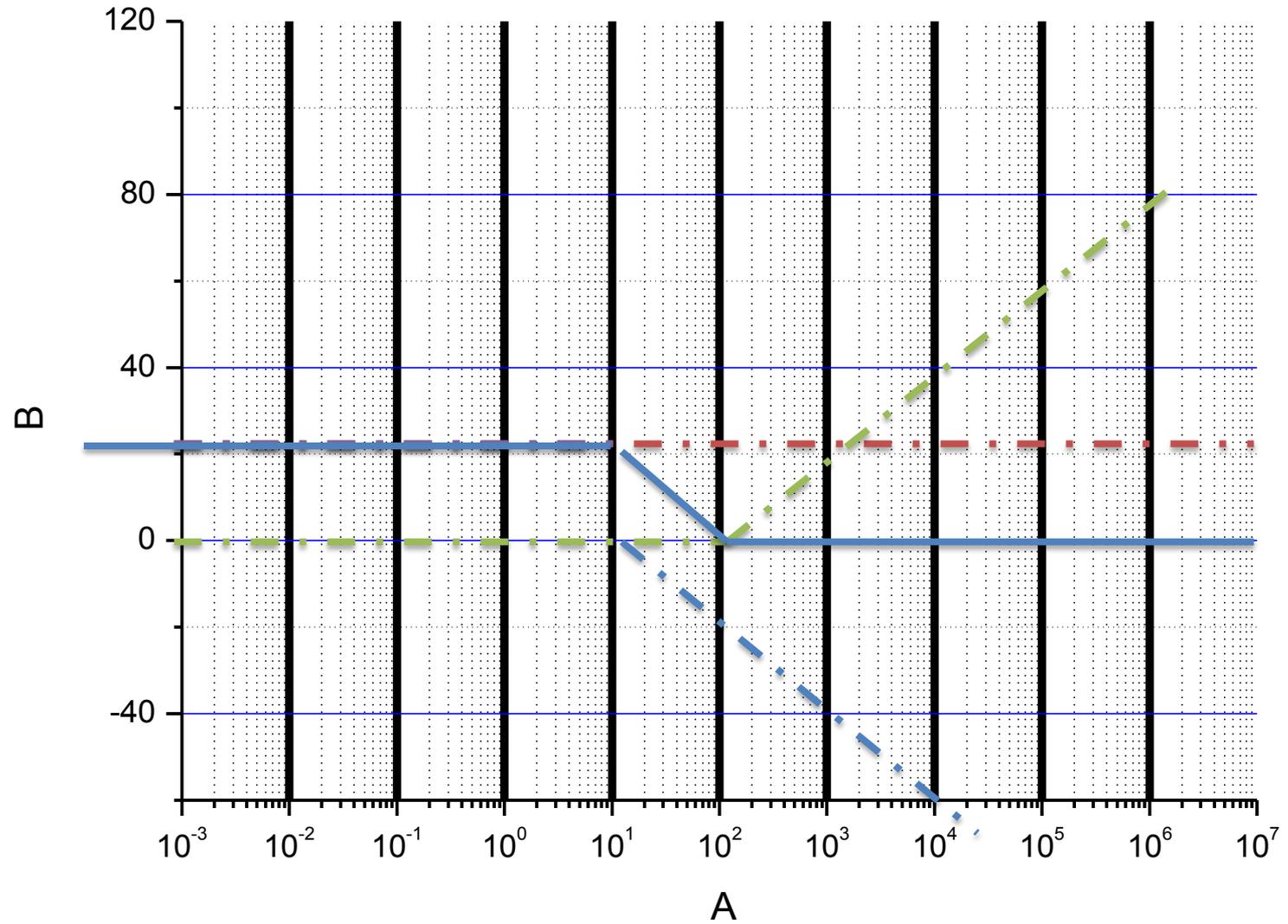
$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{\left( 1 + s \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} C \right)}{(1 + sR_2C)} V_{in}$$

- 1 moltiplicatore
- 1 Zero
- 1 polo  $\omega = 1/R_2C$

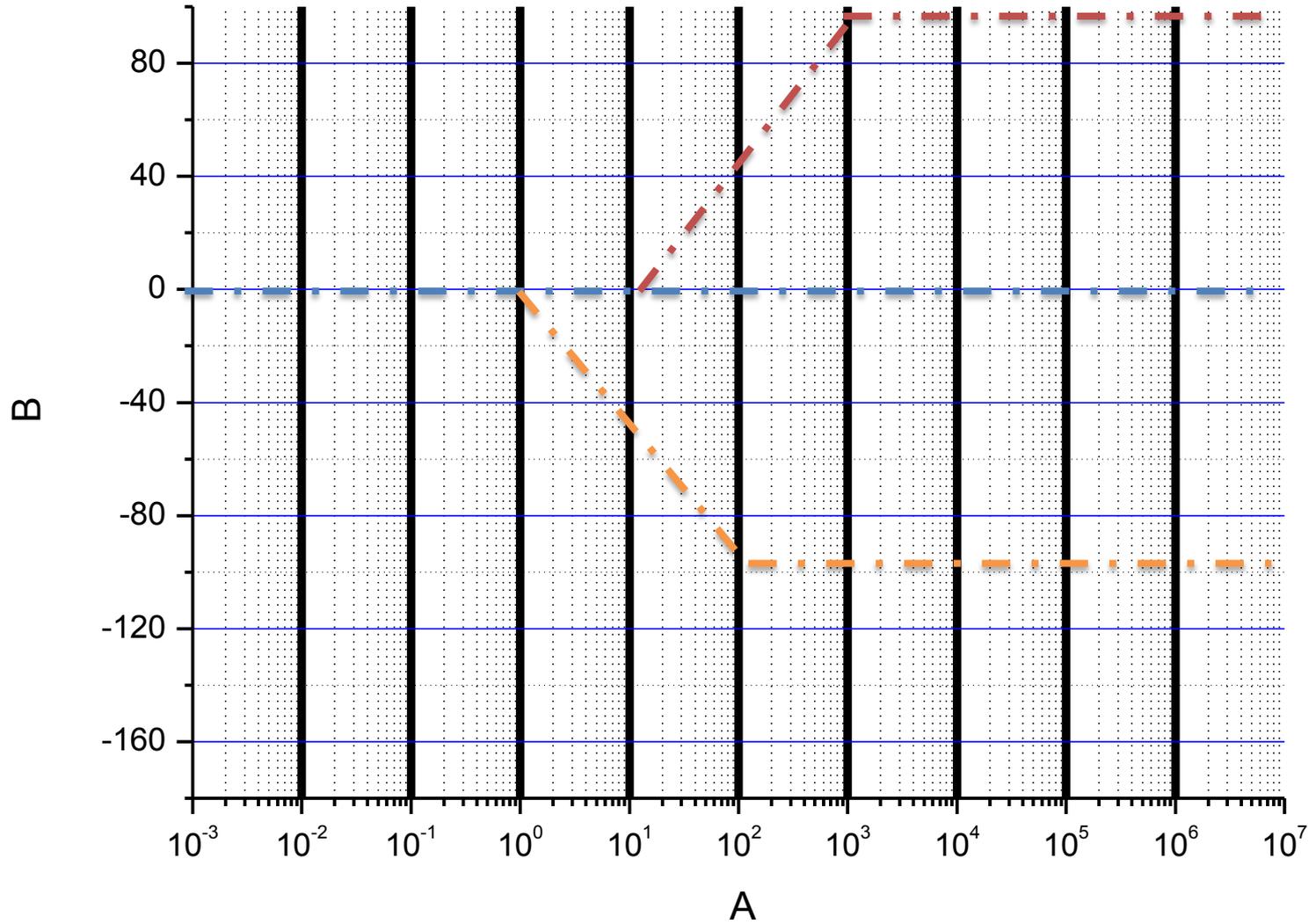
**Guadagno massimo  $1 + R_2/R_1$**

A basse frequenze il capacitore è un aperto, configurazione non invertente  
A frequenze elevate è un corto, bypassa la R2,  $V_{out} = V_{in}$ , guadagno 1 (0dB)

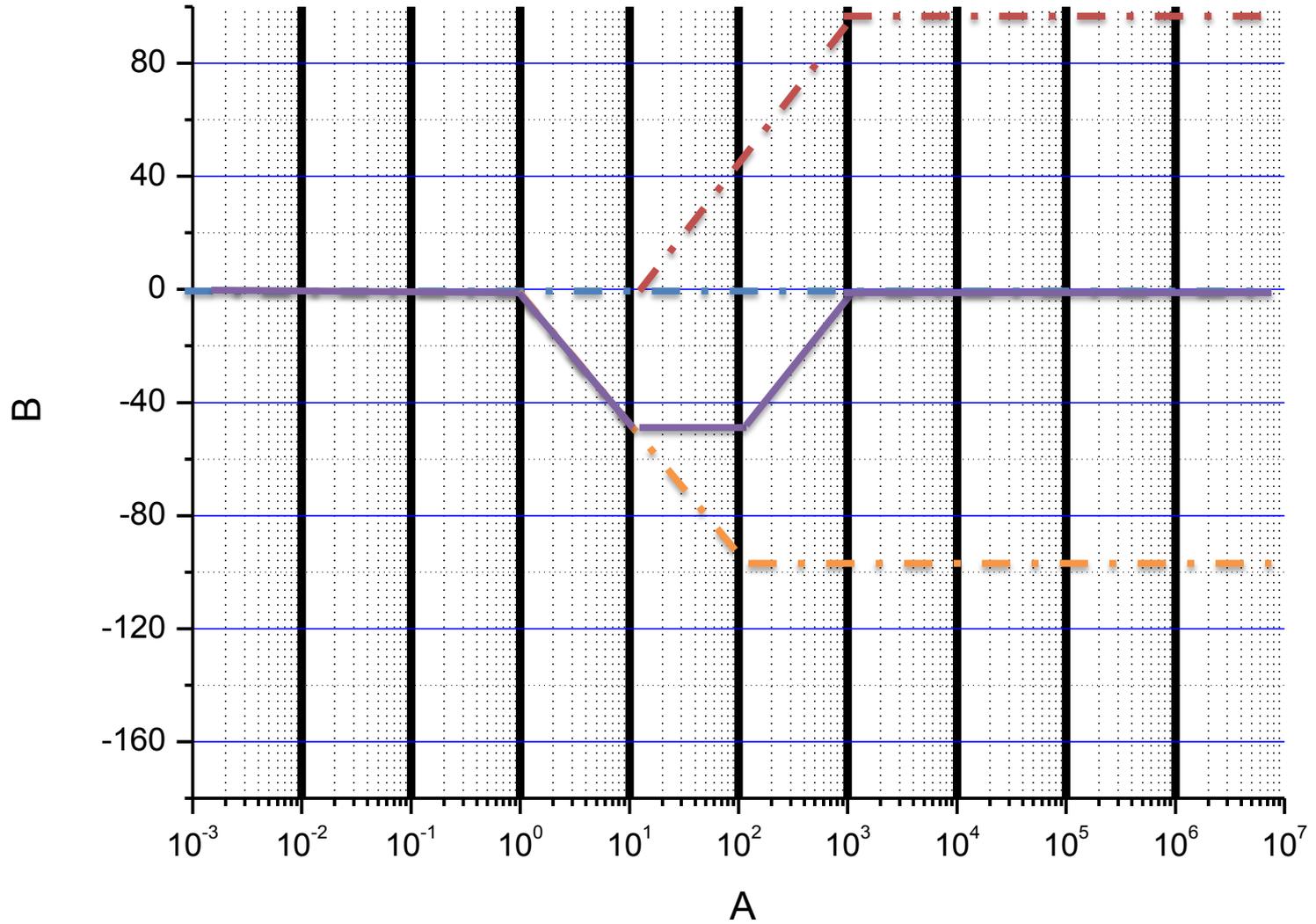
# Diagramma di Bode - Operazionali



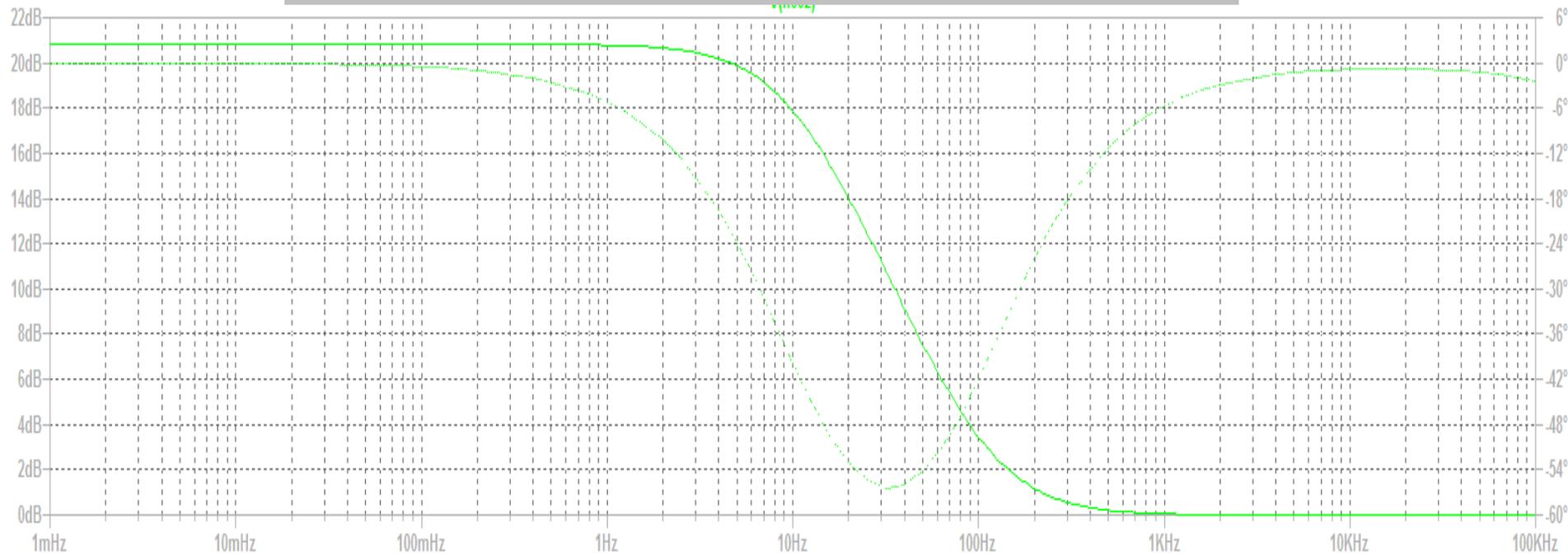
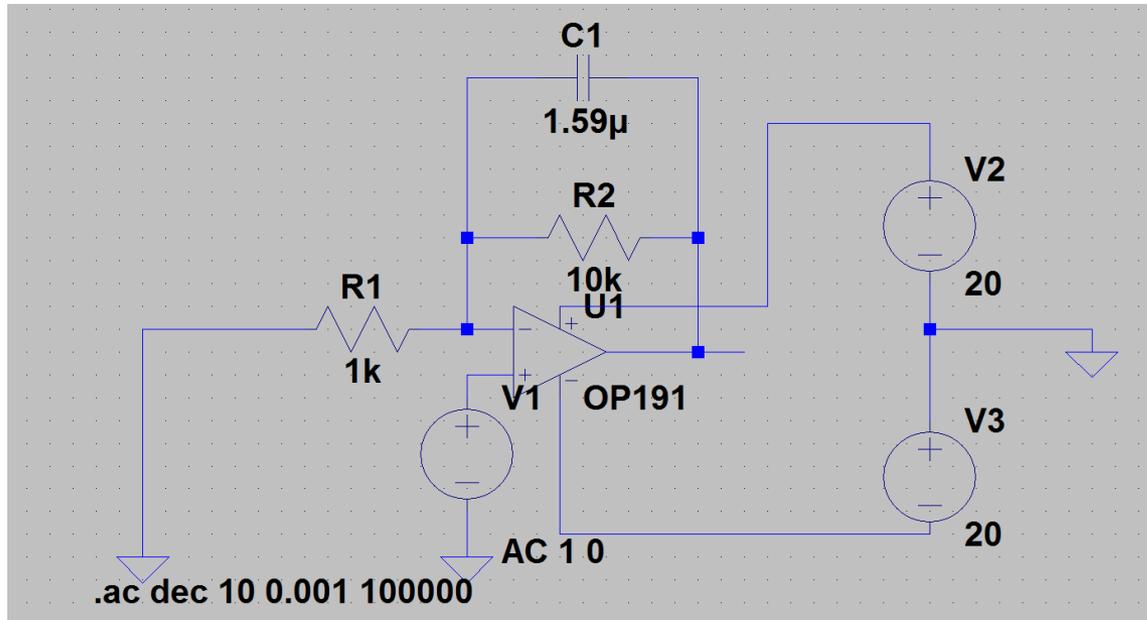
# Diagramma di Bode - Operazionali



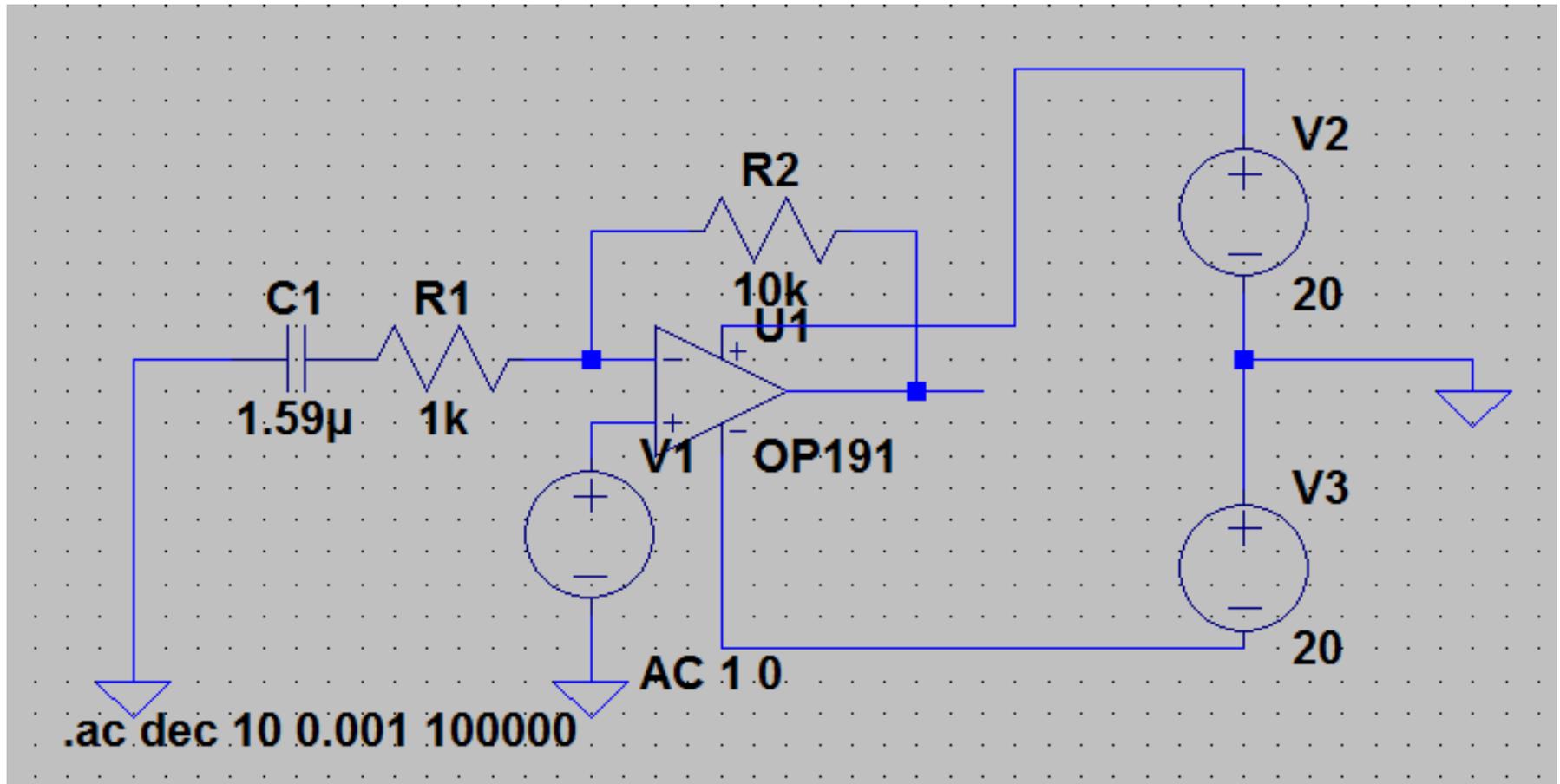
# Diagramma di Bode - Operazionali



# Diagramma di Bode - Operazionali



# Diagramma di Bode - Operazionali



# Diagramma di Bode - Operazionali

Nel dominio di Laplace posso utilizzare le impedenze, configurazione invertente

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_2}{Z_{ser}} \right) V_{in} \quad Z_{ser} = R_1 + \frac{1}{sC}$$

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} \right) V_{in}$$

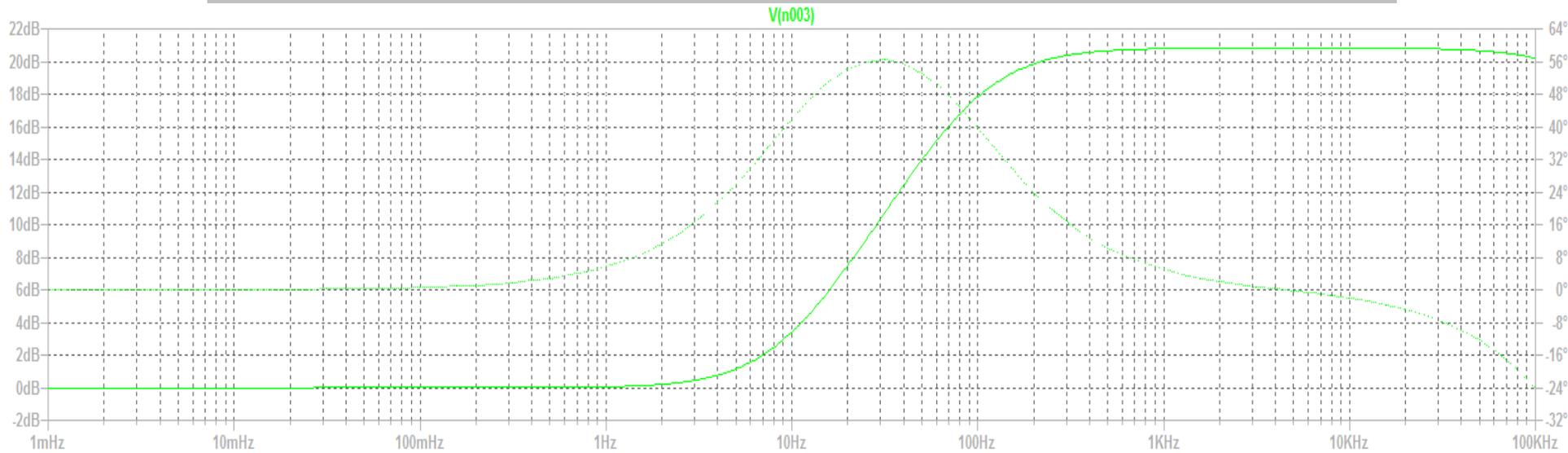
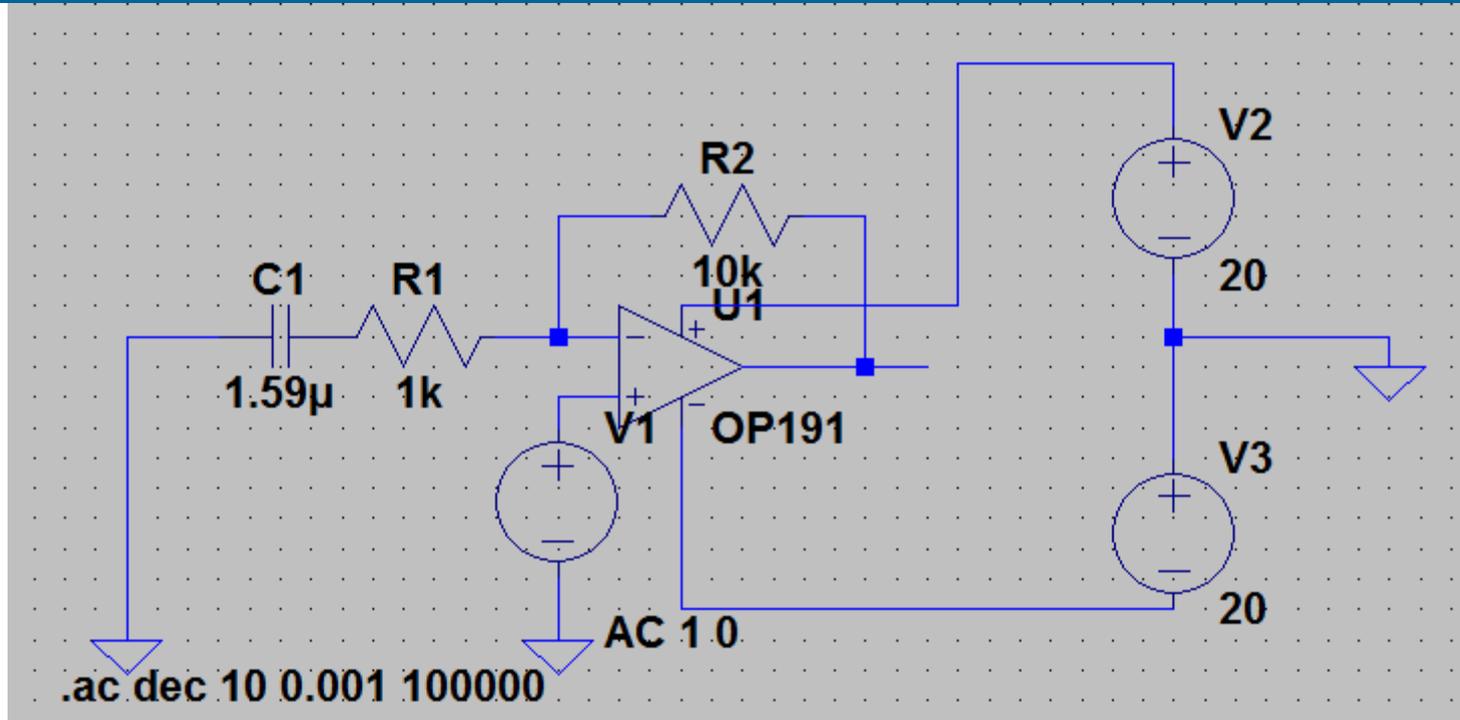
- 0 moltiplicatori
- 1 polo
- 1 zero
- **Guadagno massimo  $1+R_2/R_1$**

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{sR_2C}{1 + sR_1C} \right) V_{in} = \left( \frac{1 + sC(R_1 + R_2)}{1 + sR_1C} \right) V_{in}$$

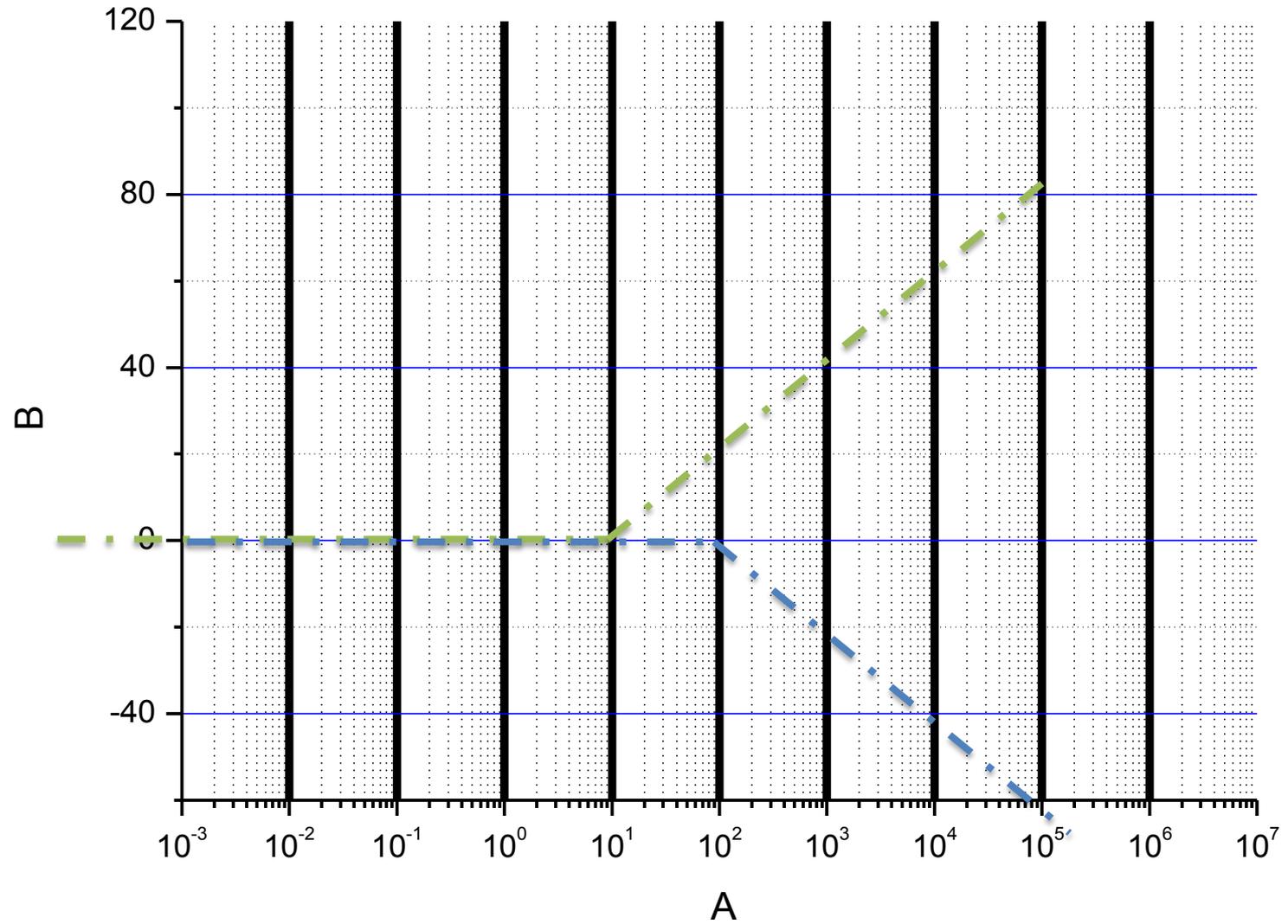
A basse frequenze il capacitore è un aperto su R1 non scorre corrente,  $V_{out}=V_{in}$ , guadagno 1 (0dB)

A frequenze elevate è un corto, configurazione non invertente

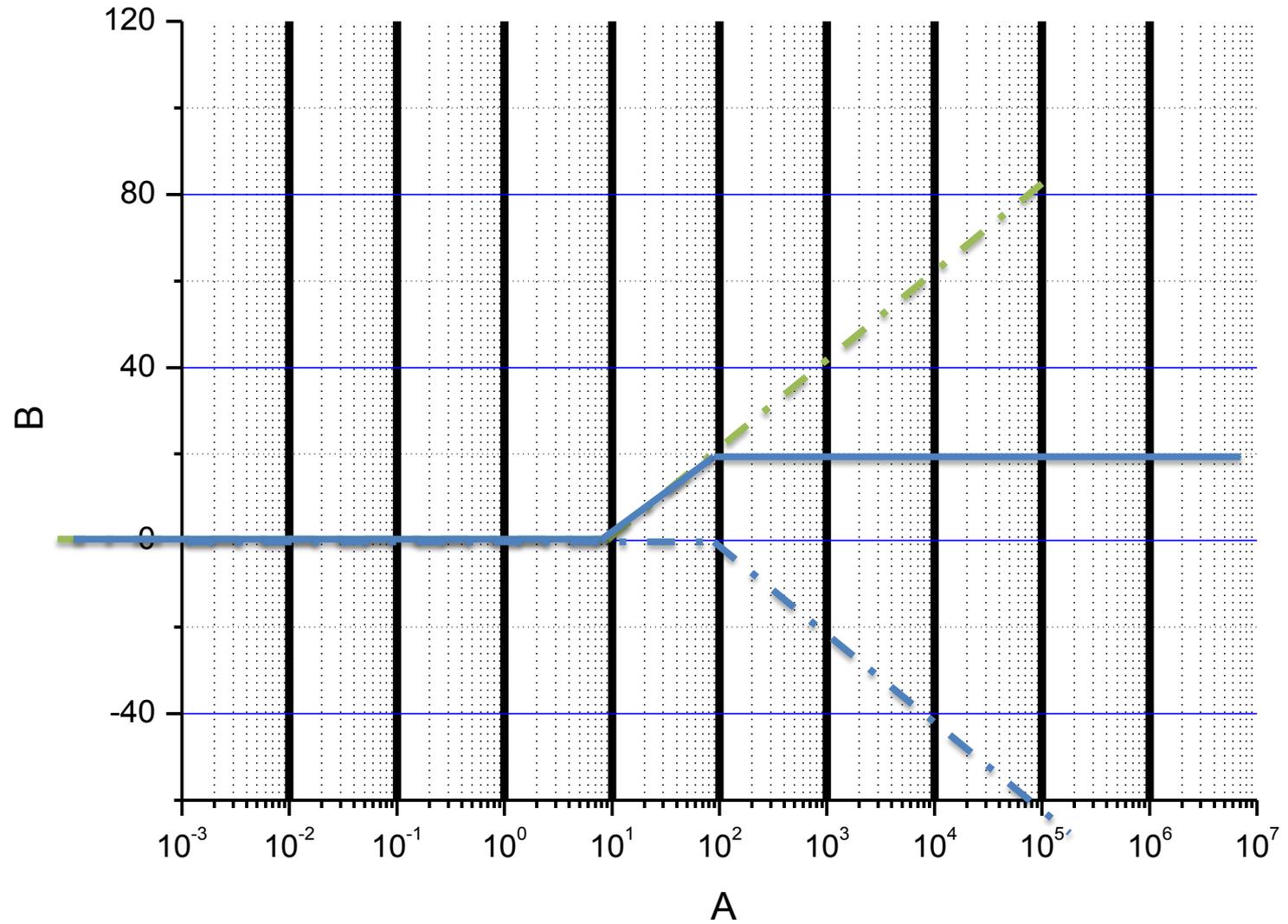
# Diagramma di Bode - Operazionali



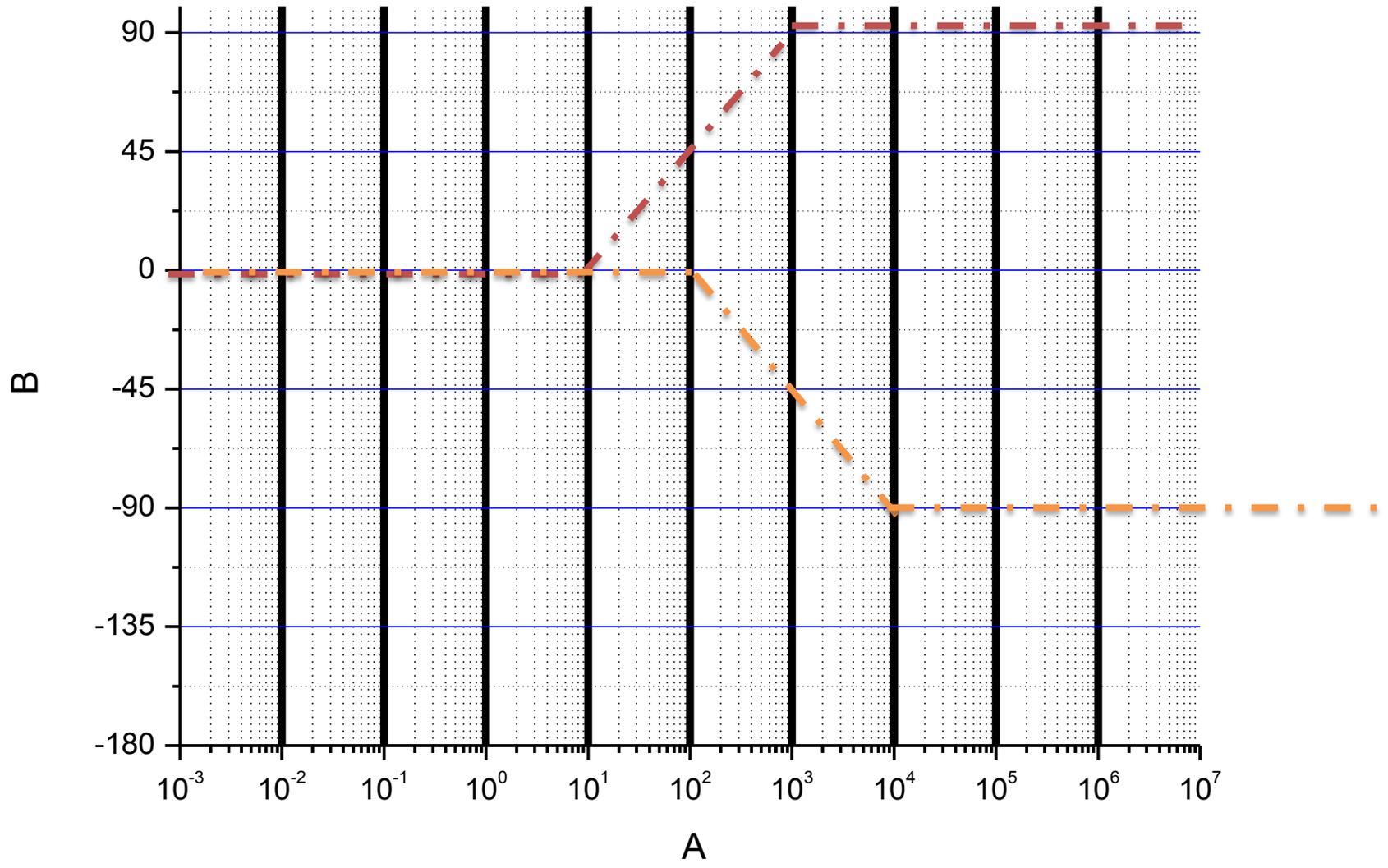
# Diagramma di Bode - Operazionali



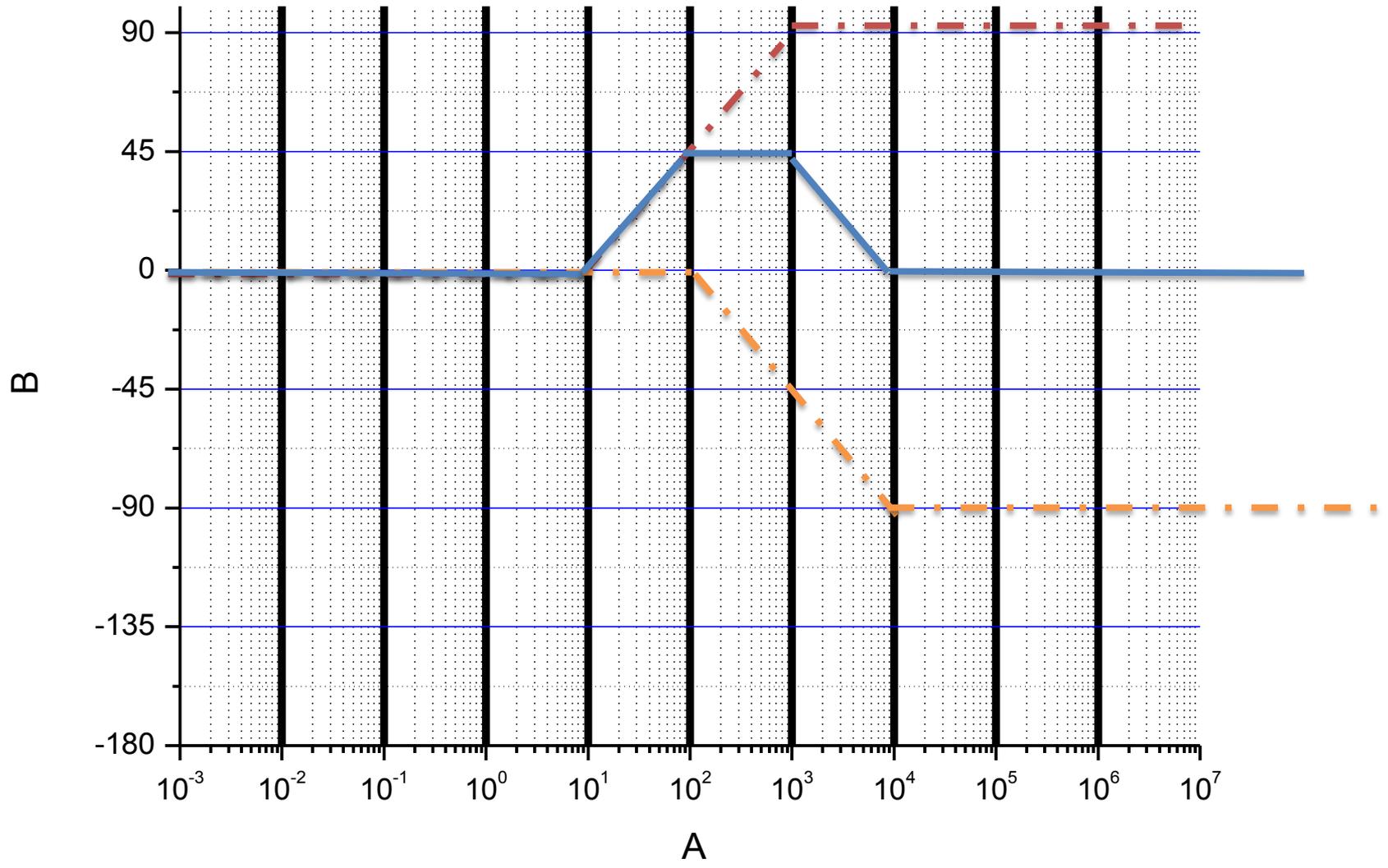
# Diagramma di Bode - Operazionali



# Diagramma di Bode - Operazionali



# Diagramma di Bode - Operazionali



# **Amplificatori reali**

**Guadagno ad anello aperto non infinito**

**Gain Band Width**

# Diagramma di Bode

In realtà non è vero che il mio operazionale ha guadagno ad anello aperto infinito

In generale per ogni operazionale viene definito nelle specifiche un suo guadagno massimo, per esempio 100dB

Se così fosse, posso anche mettere una  $R_2$  grandissima, ma tale valore in dB non può essere superato!

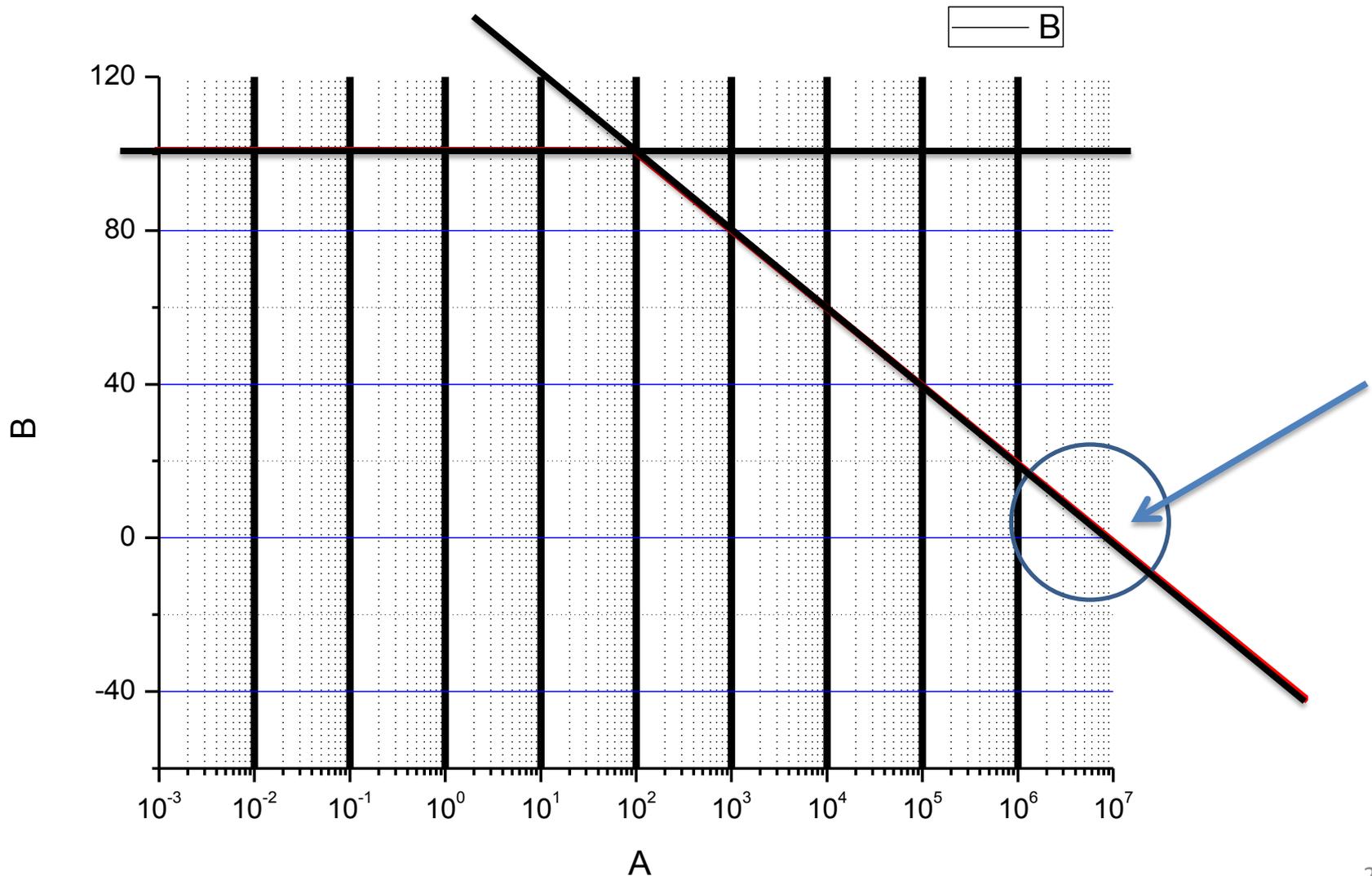
Rappresenterà il guadagno massimo del mio amplificatore ad anello chiuso

Inoltre tale guadagno non è costante!!!

Introduciamo il **Gain Band Width GBW**

# Diagramma di Bode

Noi considereremo solamente amplificatori compensati, la cui caratteristica ad anello aperto è di questo tipo



# Diagramma di Bode

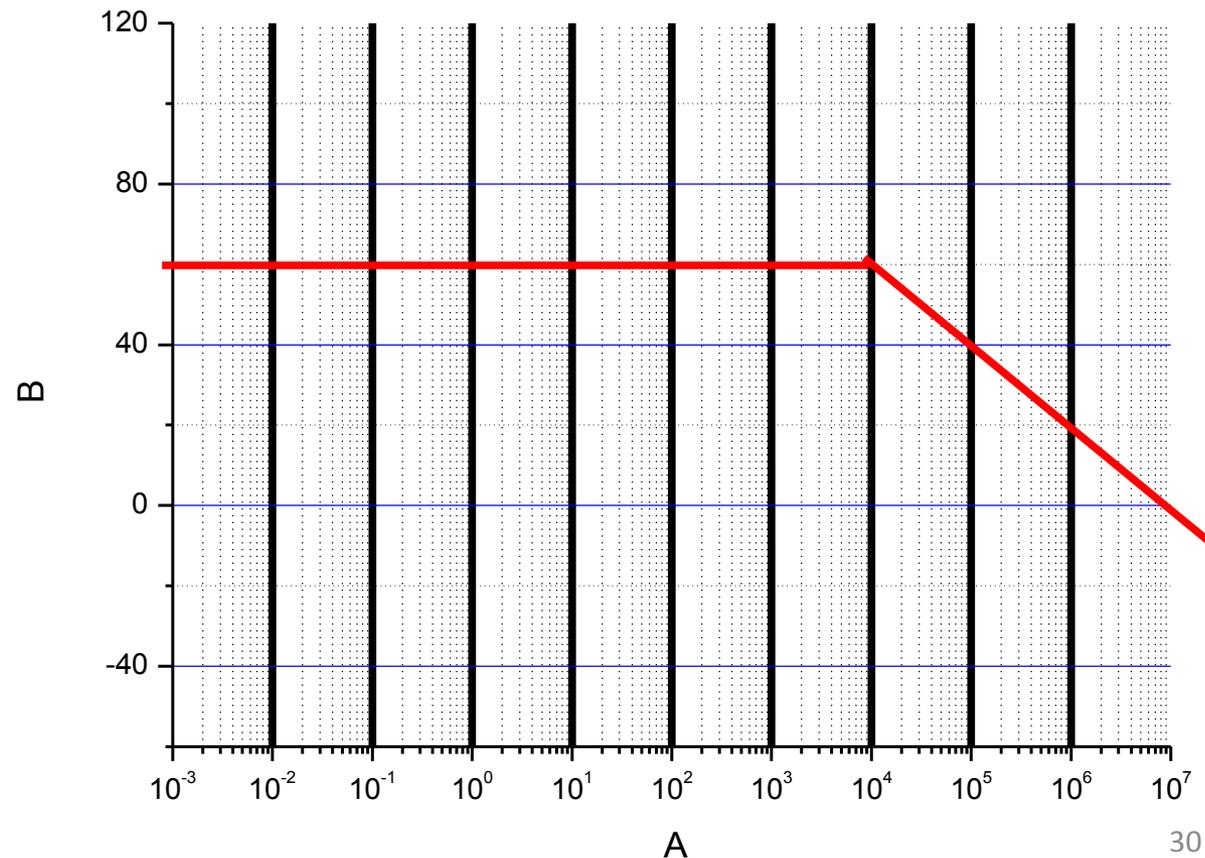
Se conosco  $A_{max}$  e GBW, allora posso determinarmi in maniera univoca la mia curva

## Esempio

Disegnare la caratteristica per

$A_{max}=60\text{dB}$

$GBW=10\text{MHz}$



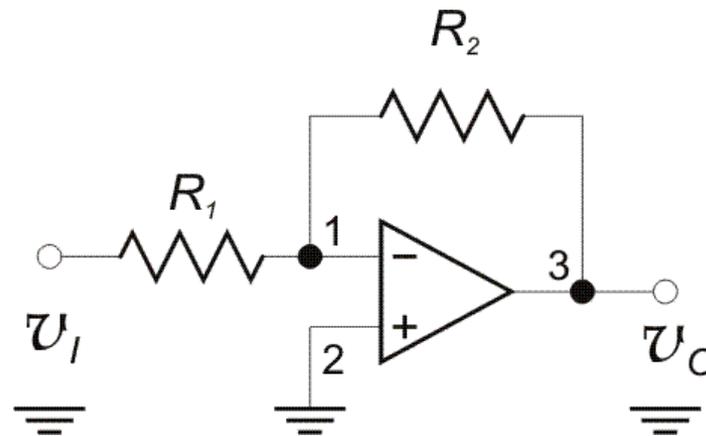
# Diagramma di Bode

Consideriamo un amplificatore invertente avente  $R_2=10\text{k}\ \Omega$  e  $R_1=100\Omega$   
Si sa inoltre che il guadagno ad anello aperto è pari a

$$A_{\text{max}}=60\text{dB}$$

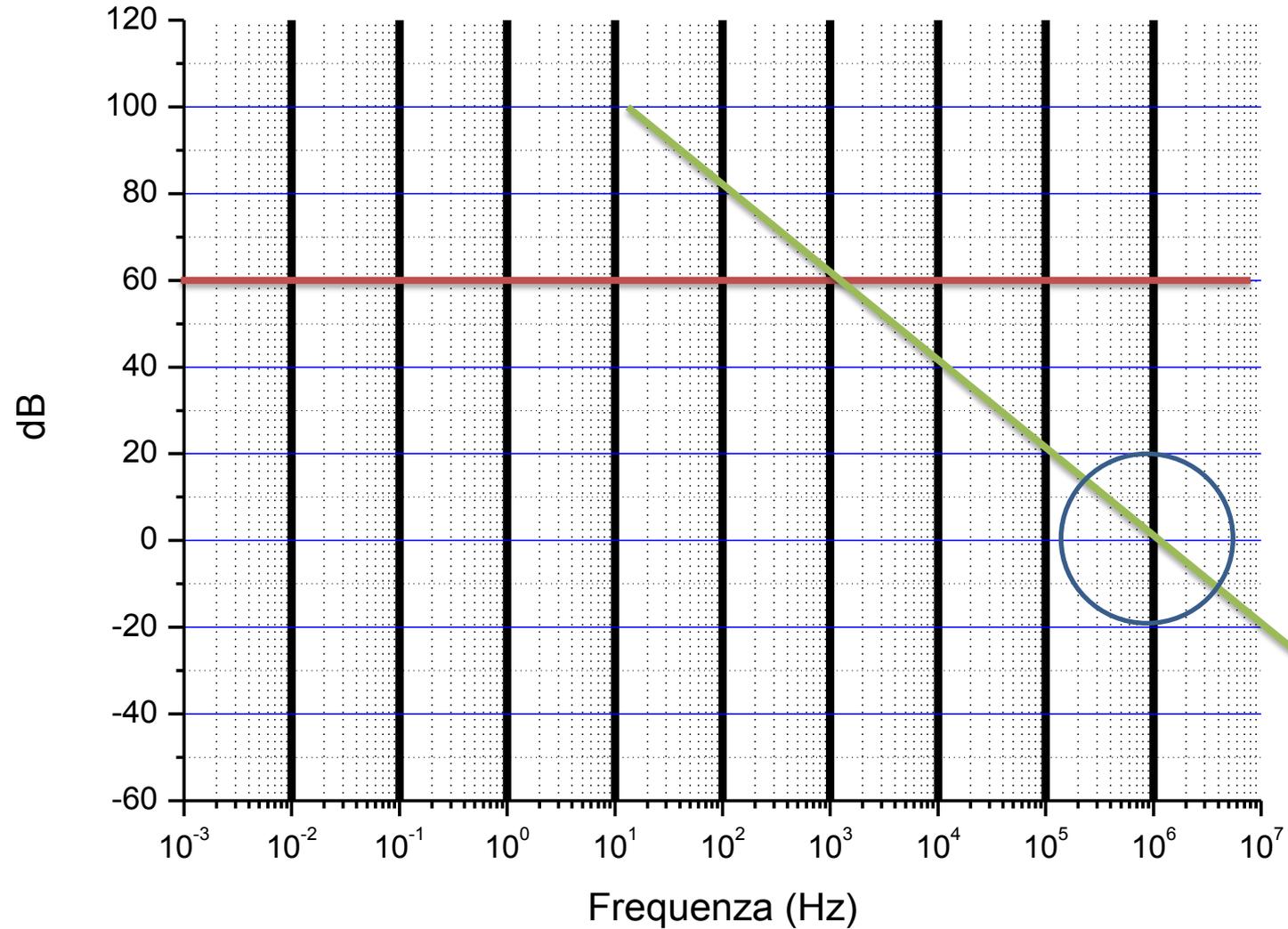
E che

$$GBW=1\text{MHz}$$

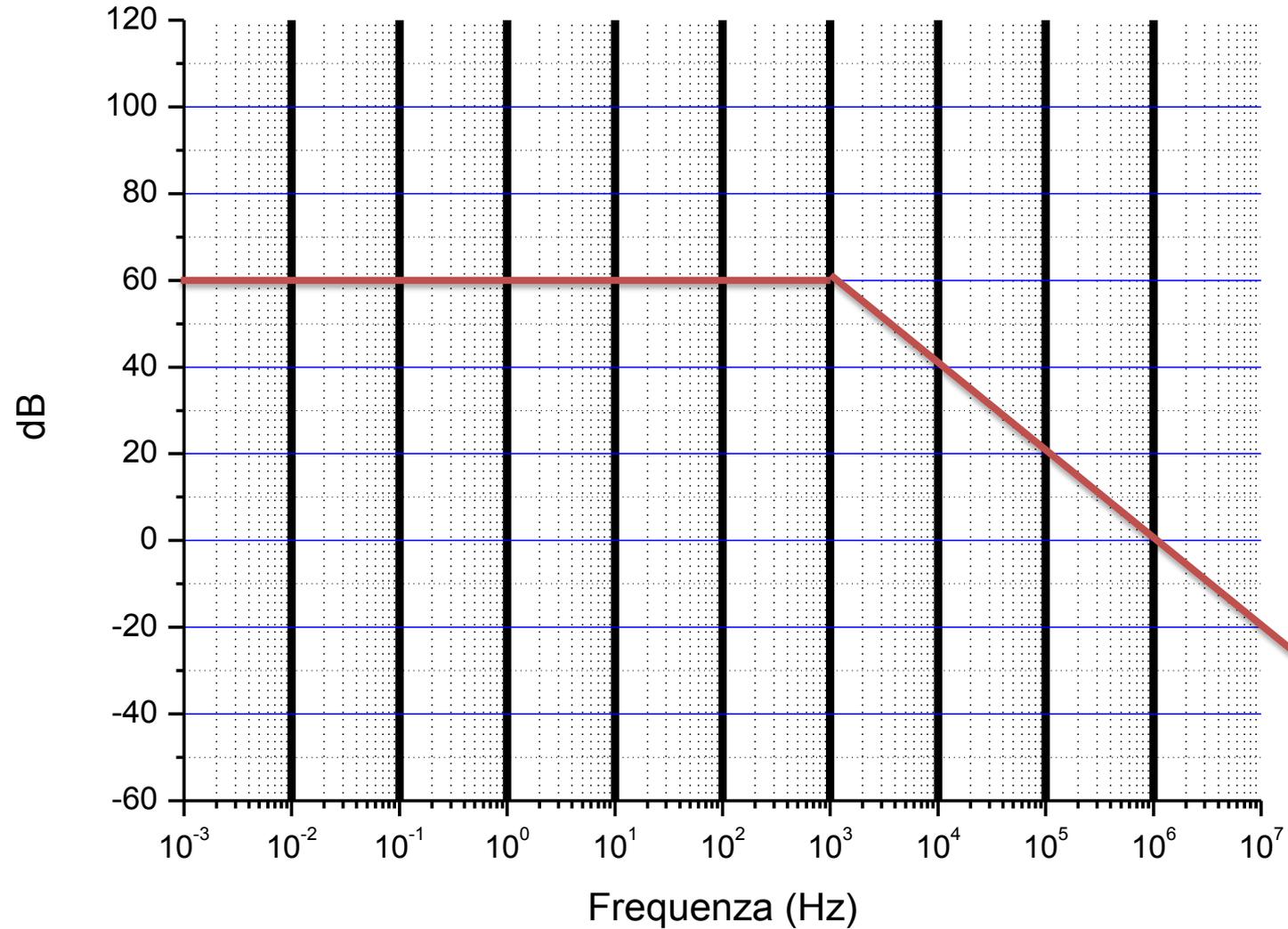


**Disegnare il diagramma di Bode**

# Diagramma di Bode



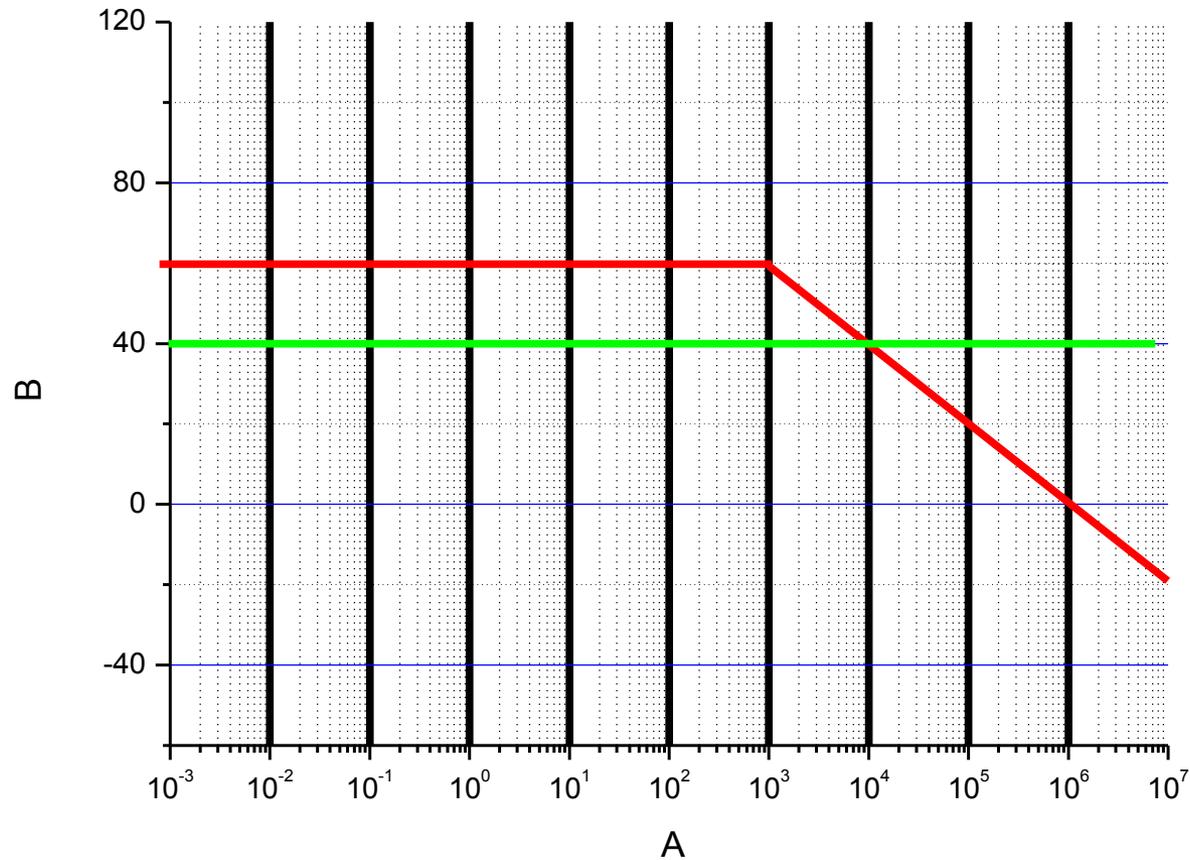
# Diagramma di Bode



# Diagramma di Bode

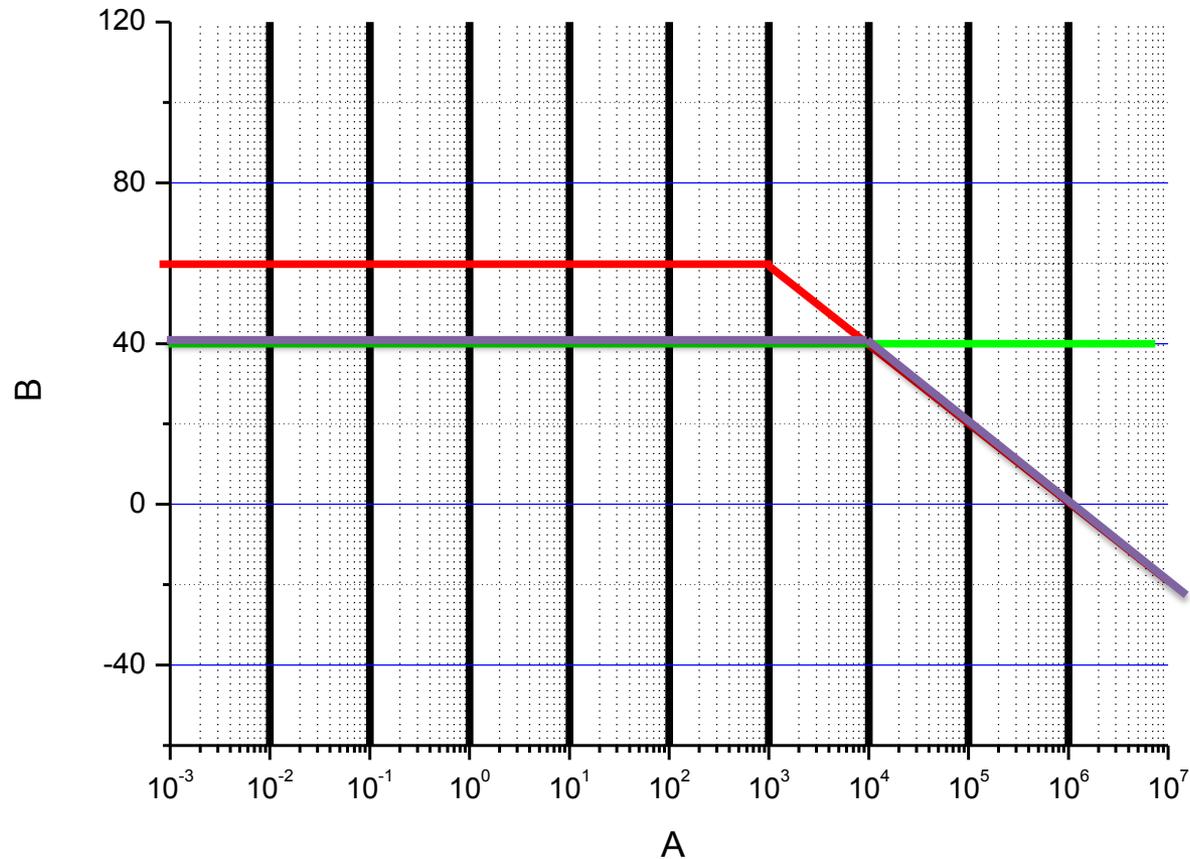
Il guadagno del mio invertente è pari a 100

**Ovvero 40 dB**



# Diagramma di Bode

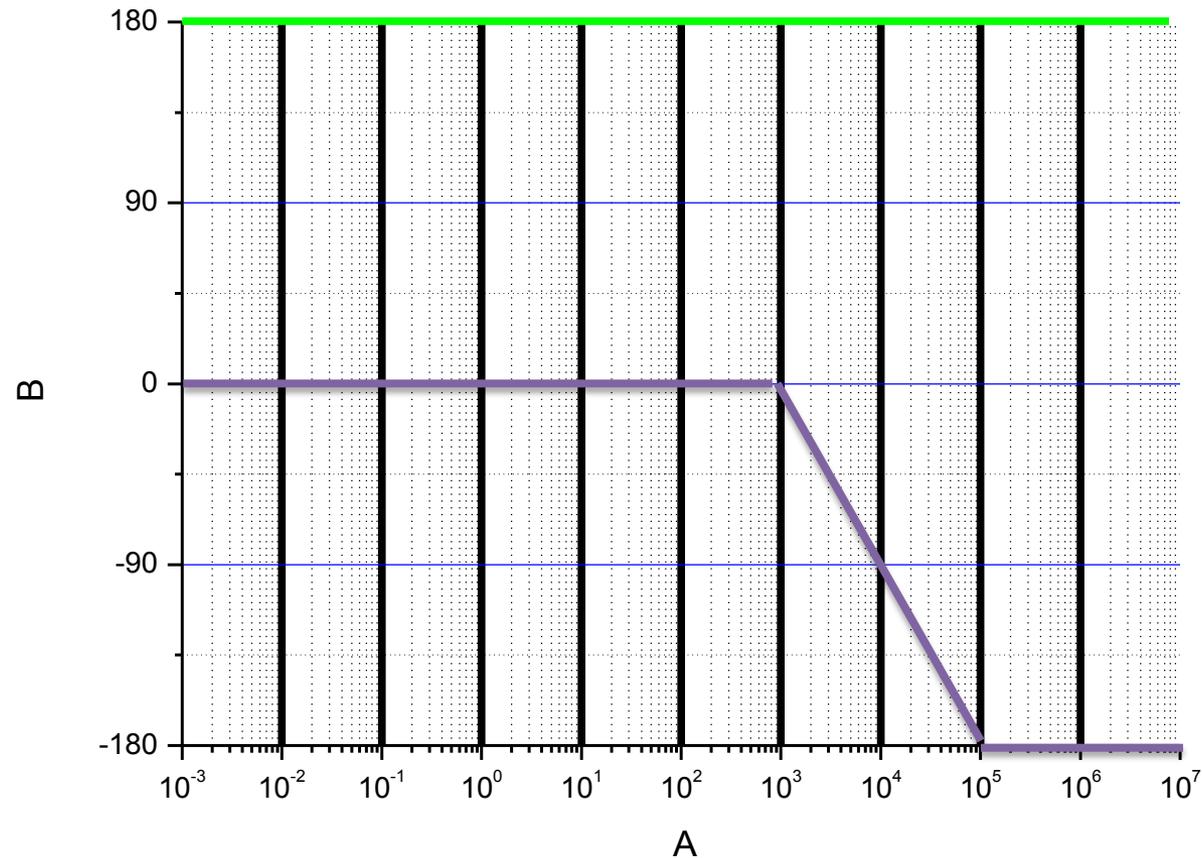
Il mio sistema non potrà mai, per nessuna frequenza, superare il guadagno ad anello aperto!



# Diagramma di Bode

E la fase?

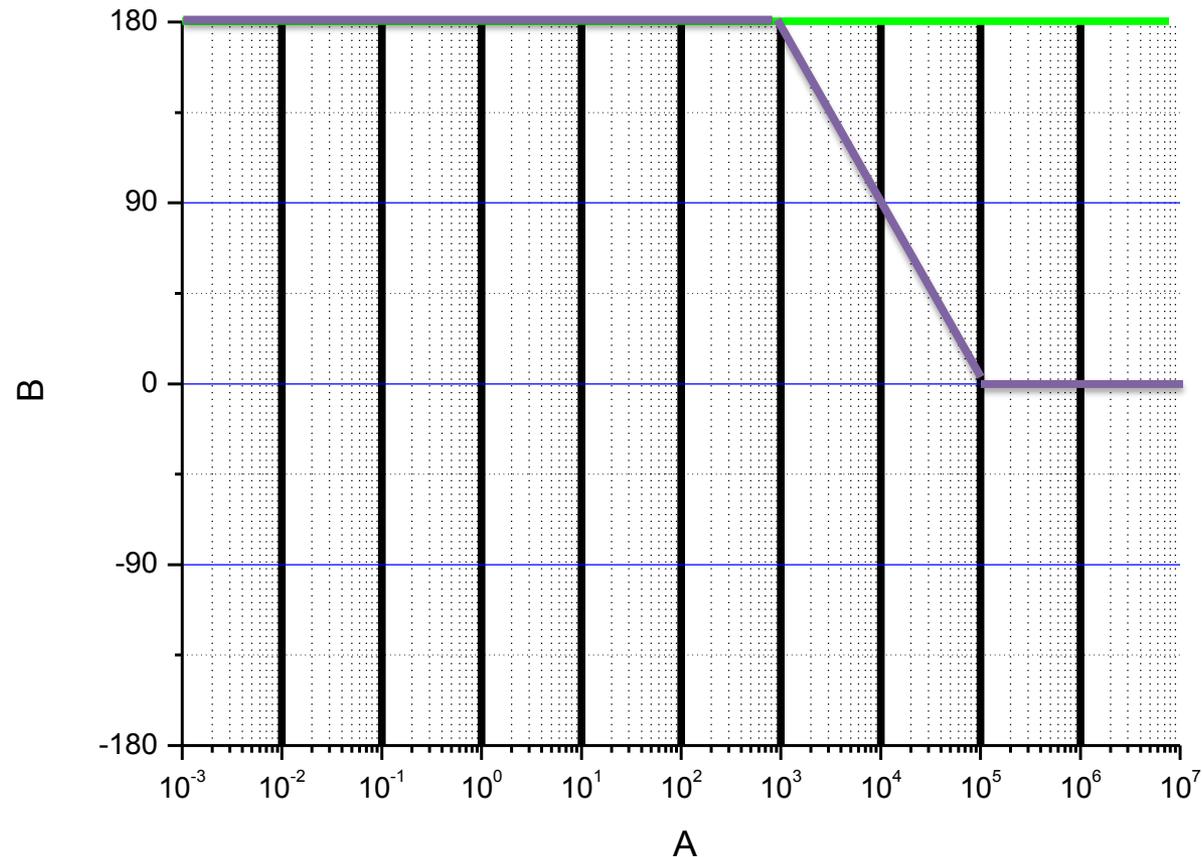
**È come se ci fosse un polo nel punto in cui il guadagno inizia a scendere (10 kHz)**



# Diagramma di Bode

E la fase?

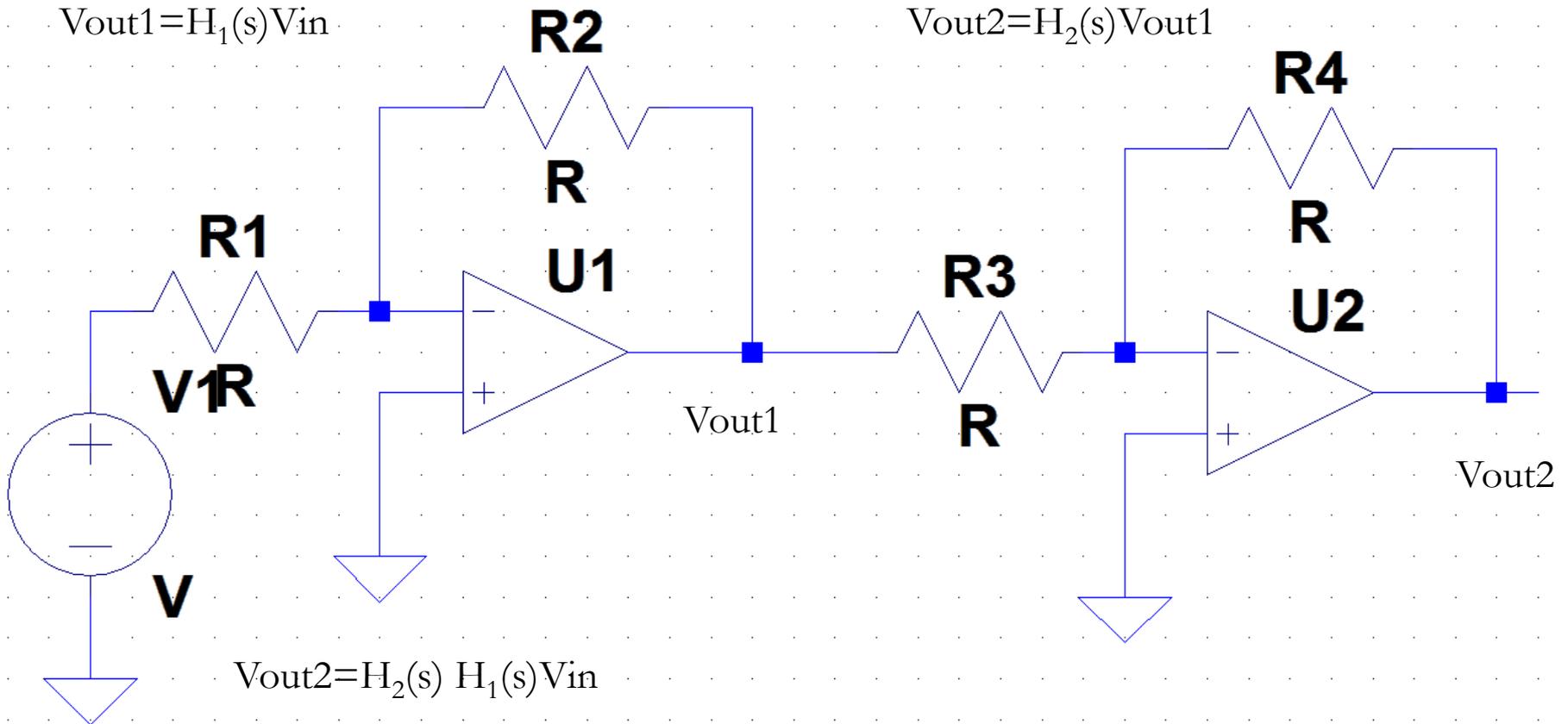
**È come se ci fosse un polo nel punto in cui il guadagno inizia a scendere (10 kHz)**



# Amplificatori multistadio

# Amplificatore multistadio

Determinare nel dominio di Laplace il rapporto tra uscita e ingresso  $H(s)$



$$H(s) = H_2(s) H_1(s)$$

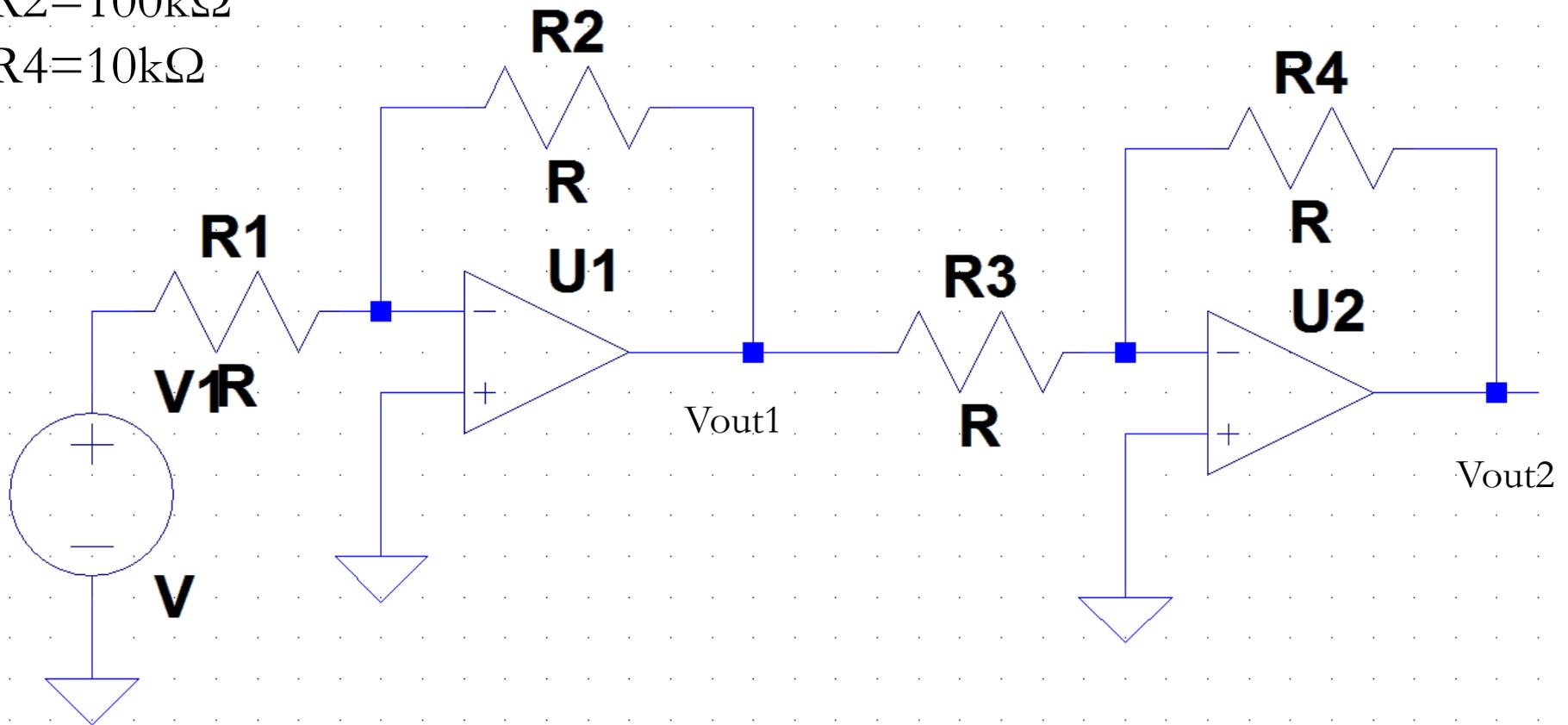
# Amplificatore multistadio

Supponiamo che gli operazionali siano uguali, con  $A_{max}$  80dB e GBW 1MHz

$$R1=R3= 1k\Omega$$

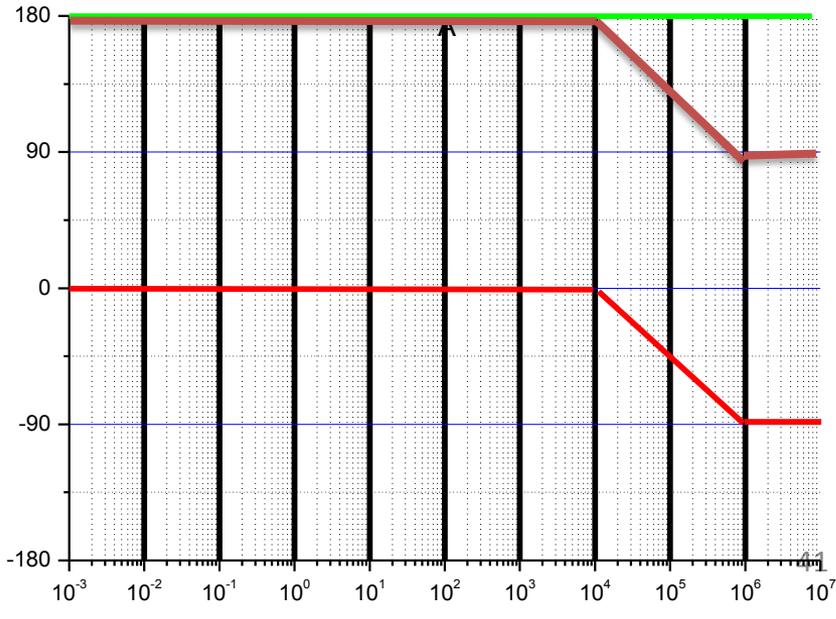
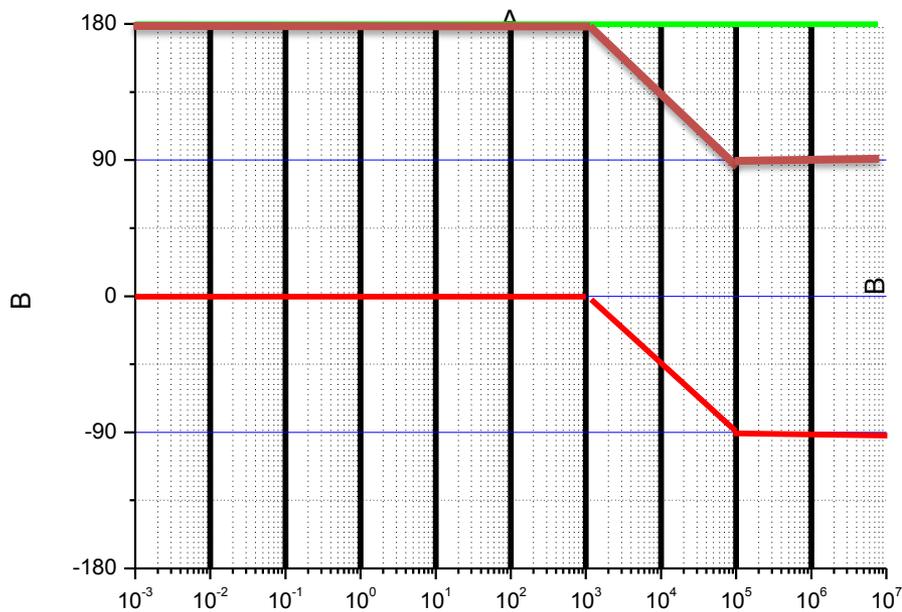
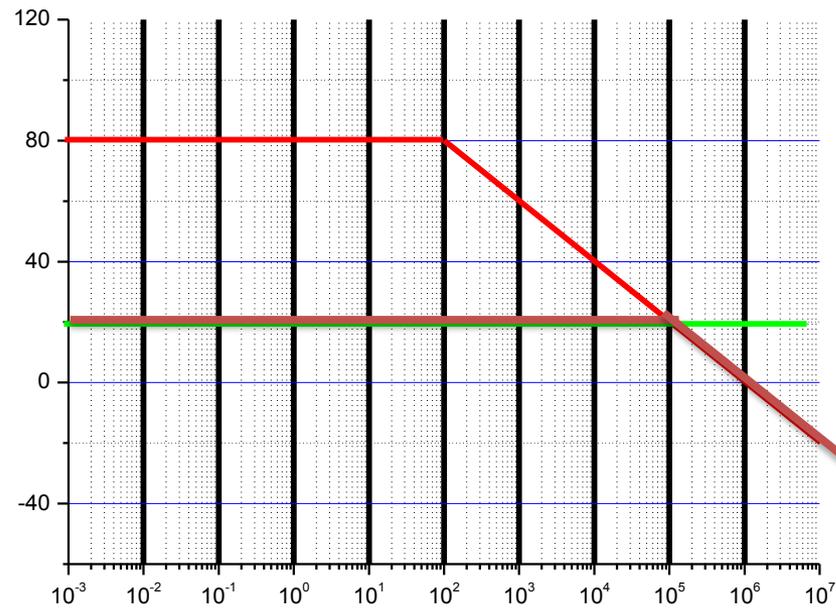
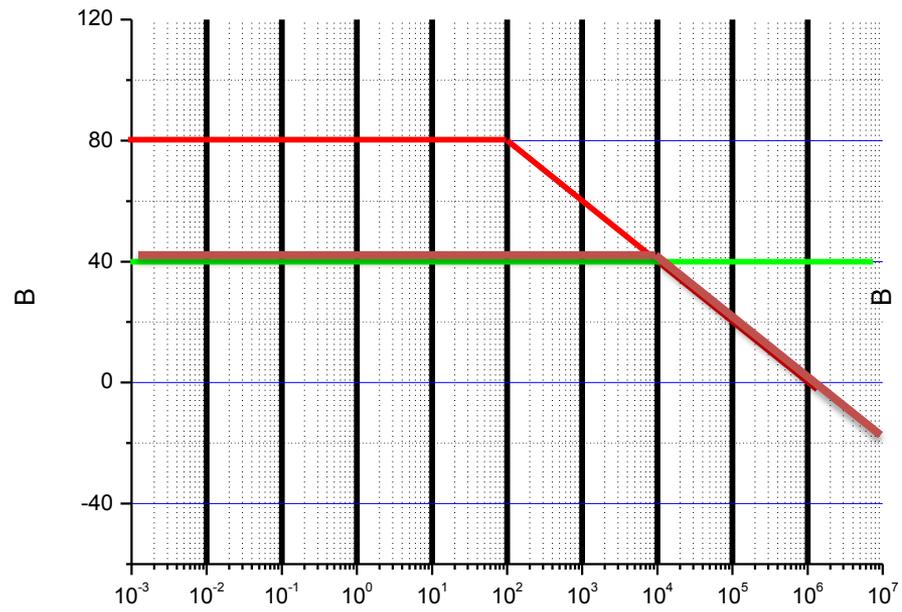
$$R2=100k\Omega$$

$$R4=10k\Omega$$

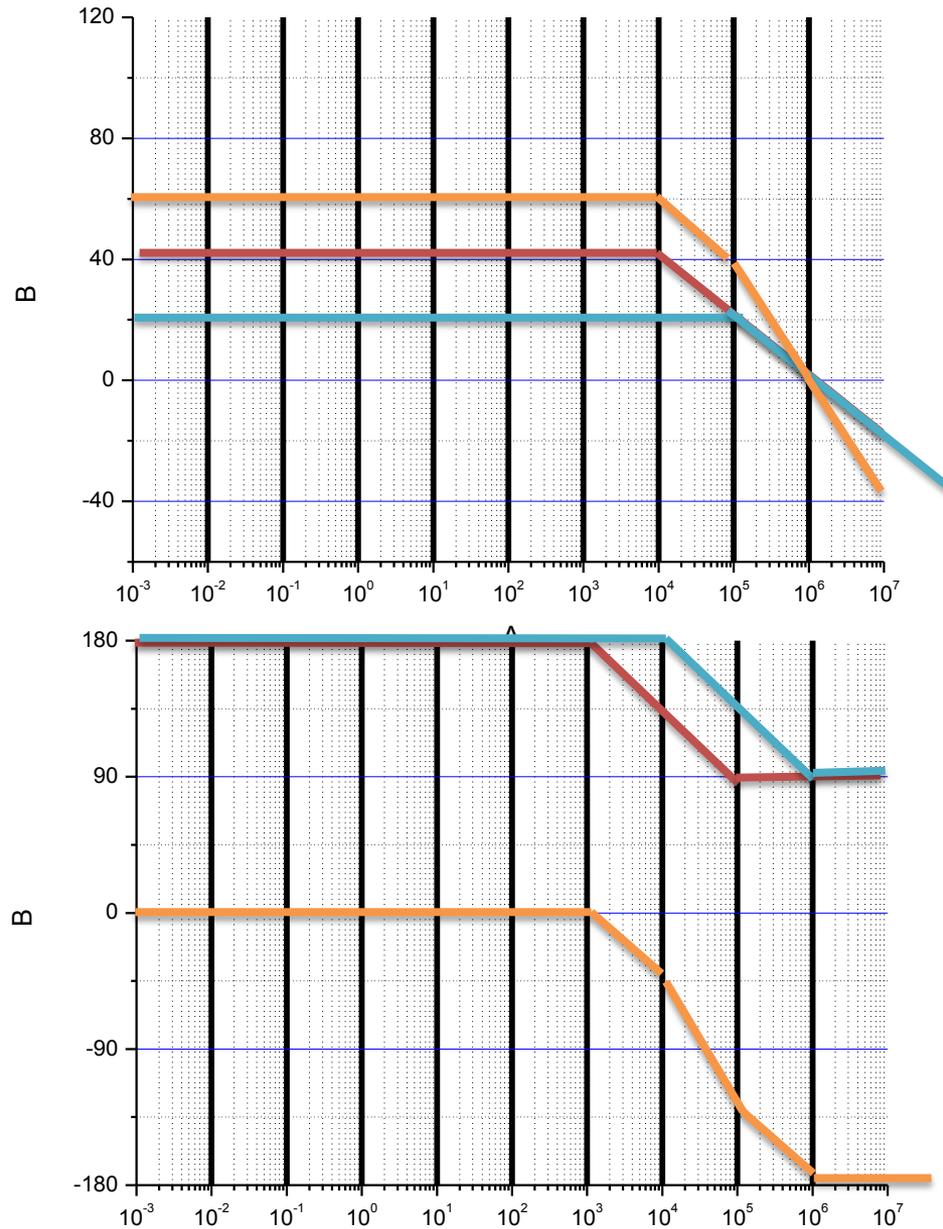


Disegnare il diagramma di Bode

# Amplificatore multistadio



# Diagramma di Bode - multistadio



# Amplificatore multistadio

Perché può avere senso mettere degli operazionali in cascata?

Perché ognuno singolarmente NON può superare un determinato guadagno

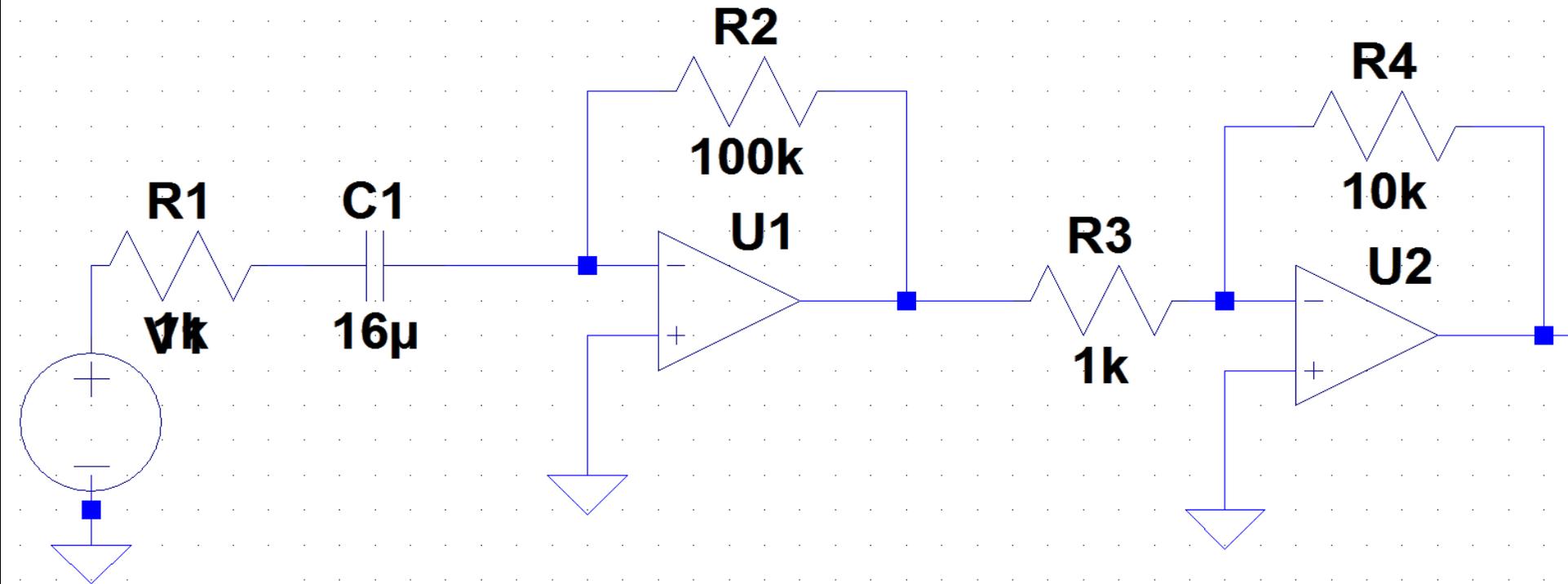
Questo ovviamente non vale per la somma!

**La somma dei guadagni PUO' superare il guadagno massimo di ogni singolo stadio**

# Amplificatore multistadio

Disegnare il diagramma di Bode in questo caso

Stessi operazionali di prima



# Amplificatore multistadio

Supponiamo di avere a che fare con un segnale dato dalla sovrapposizione di una sinusoide di ampiezza 5V e frequenza 50 Hz (rumore) e un segnale sinusoidale (il mio contenuto informativo) che ha ampiezza 2V e frequenza 100kHz

**Progettare un circuito che mi permetta di amplificare di un fattore 5 (positivo o negativo) solamente il mio segnale**

