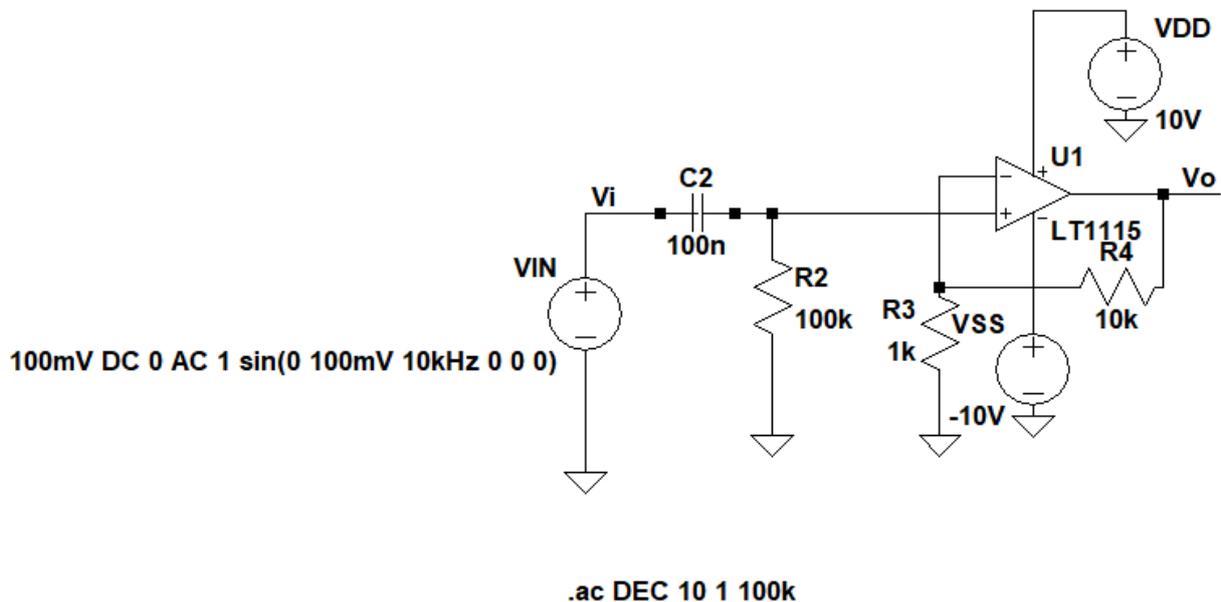


# Prima esercitazione Spice

## Esercizio 1: Amplificatore Audio



### 1.1) Analisi analitica

Si procede considerando l'amplificatore ideale.

- $v_{R_3} = v_- = v_+ = v_{R_2} = v_i \frac{R_2}{R_2 + \frac{1}{sC_2}}$
- $i_{R_3} = \frac{v_{R_3}}{R_3}$
- $v_o = (R_3 + R_4)i_{R_3} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_3(R_2 + \frac{1}{sC_2})} v_i$
- $\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_3(R_2 + \frac{1}{sC_2})} = \frac{R_2 C_2 (R_3 + R_4) / R_3}{s^{-1}} \frac{1}{1 + sC_2 R_2}$

Che in forma di bode diventa:

$$W(s) = \frac{v_o(s)}{v_i(s)} = \frac{K}{s^l} \frac{1}{1 + s/\omega}$$

con:

- Guadagno  $K = \frac{R_2 C_2 (R_3 + R_4)}{R_3} = 0.11 = -19.172 \text{ dB}$
- $l = -1$  quindi la pendenza dello zero nell'origine è  $-20l = +20 \text{ dB/dec}$
- Polo  $\omega = \frac{1}{C_2 R_2} = 100 \text{ rad/s}$  con pendenza  $-20 \text{ dB/dec}$

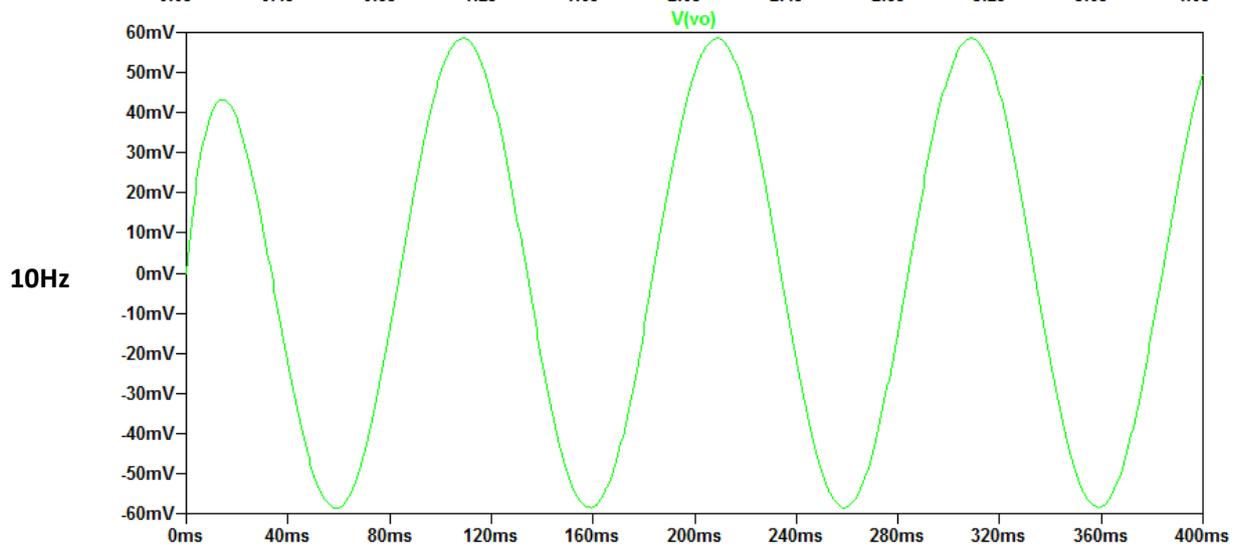
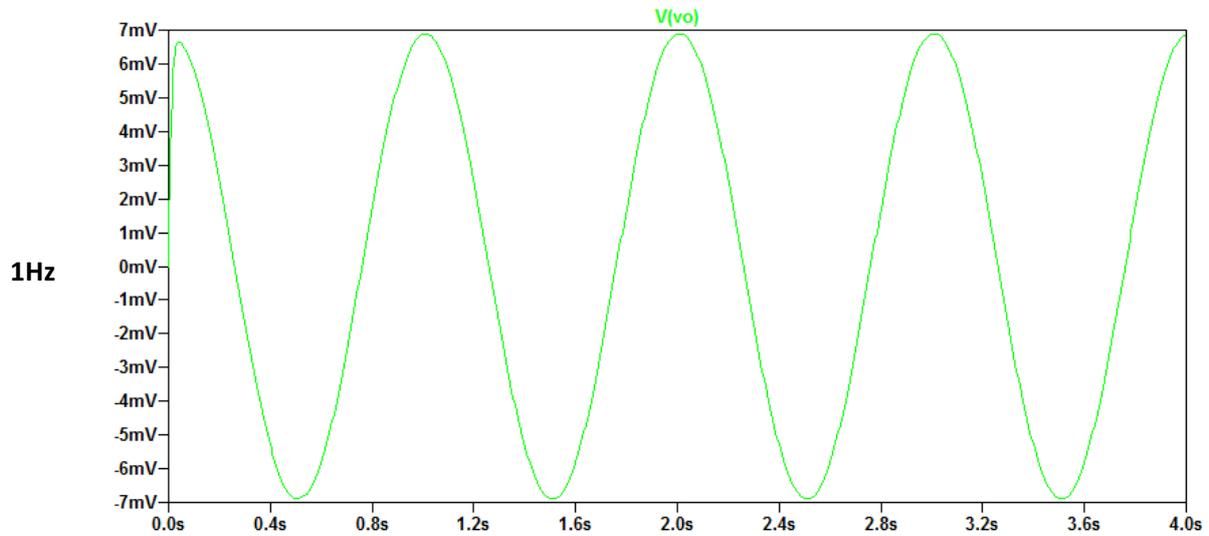
L'amplificatore usato nella simulazione di spice è invece un amplificatore reale, ci si aspettano quindi caratteristiche leggermente diverse.

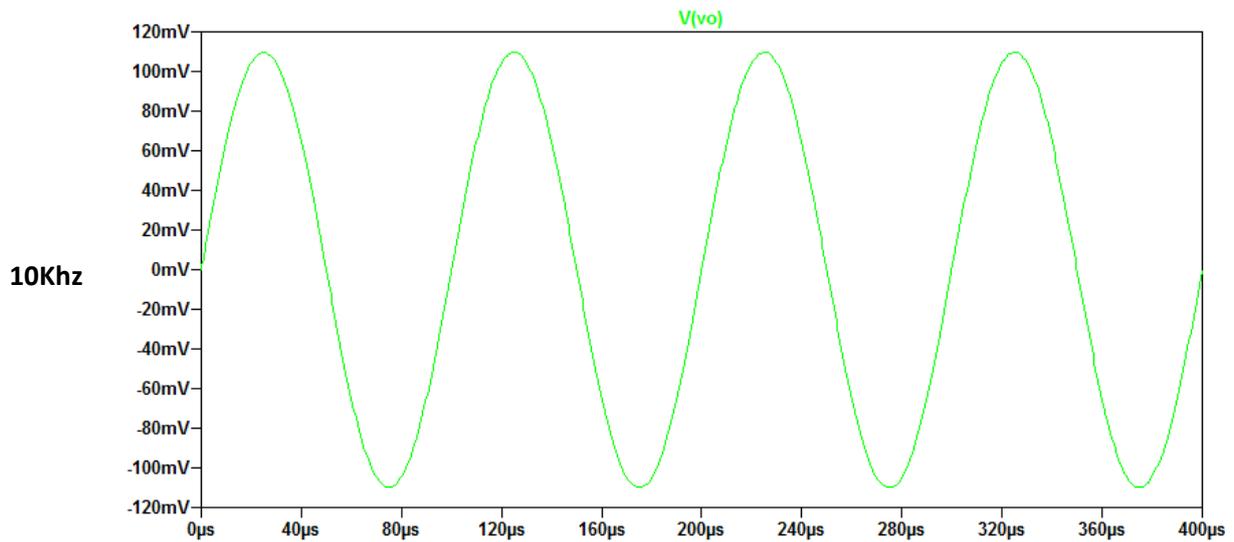
## 1.2) Simulazione forma d'onda di uscita per un segnale d'ingresso sinusoidale di 10mV a 1Hz, 10Hz e 100Hz

### Spice netlist

```
VIN Vi 0 sin(0 10m 1)
C2 Vi v+ 100n
R2 v+ 0 100k
R3 v- 0 1K
R4 Vo v- 10K
XU1 v+ v- Vd Vs Vo LT1028
VDD Vd 0 dc +10
VSS Vs 0 dc -10
.tran 0 4
.lib LTC.lib
.end
```

### Grafico





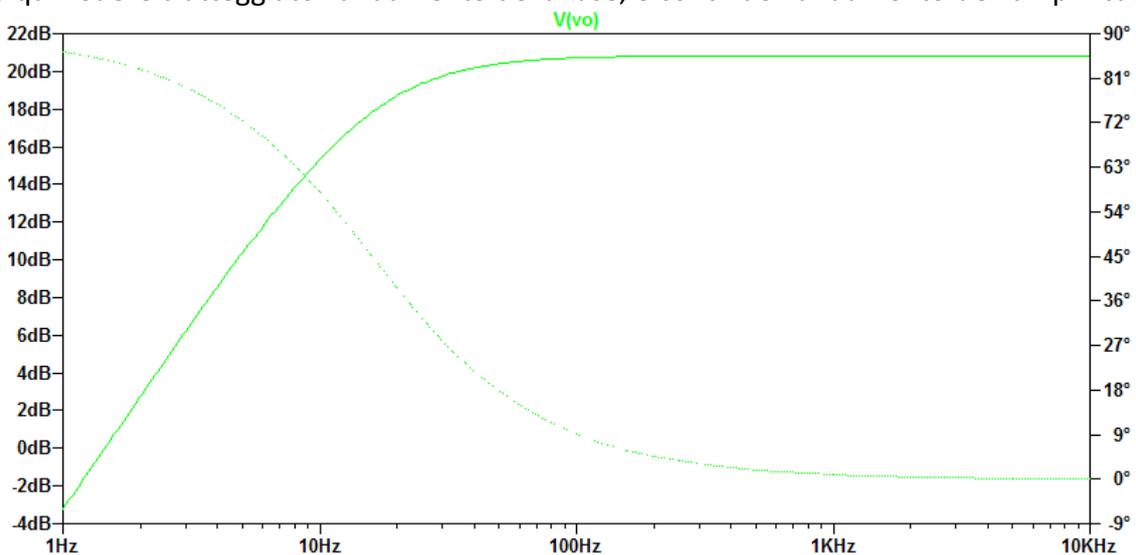
### 1.3) Diagramma di Bode

#### Spice netlist

```
VIN Vi 0 DC 0 AC 1 SIN(0 10mV 10k)
C2 Vi v+ 100n
R2 v+ 0 100k
R3 v- 0 1K
R4 Vo v- 10K
XU1 v+ v- Vd Vs Vo LT1028
VDD Vd 0 dc +10
VSS Vs 0 dc -10
.ac dec 10 1 100k
.lib LTC.lib
.backanno
.end
```

#### Diagramma

Si può qui vedere tratteggiato l'andamento della fase, e continuo l'andamento dell'amplificazione.

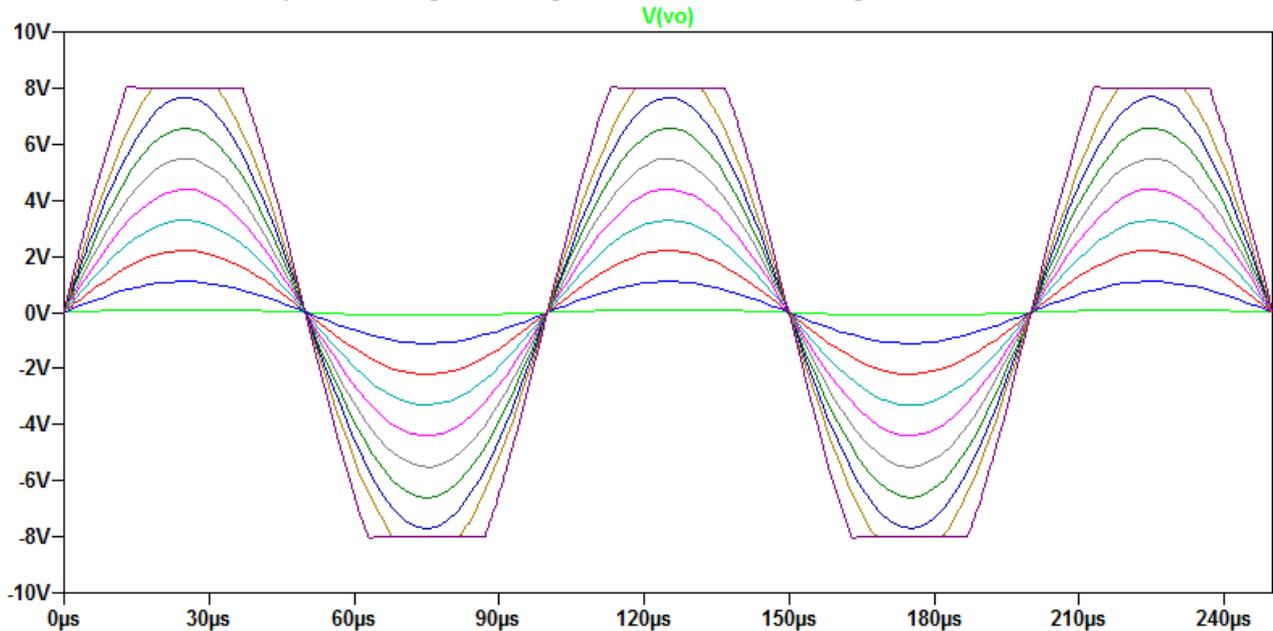


Come si nota dall'analisi analitica, è presente un polo a  $f = \frac{\omega}{2\pi} = 16Hz$

## 1.4) Saturazione

Da ora in avanti ipotizzeremo una frequenza di 10kHz.

Provando diverse ampiezze in ingresso, il grafico risultante è il seguente:

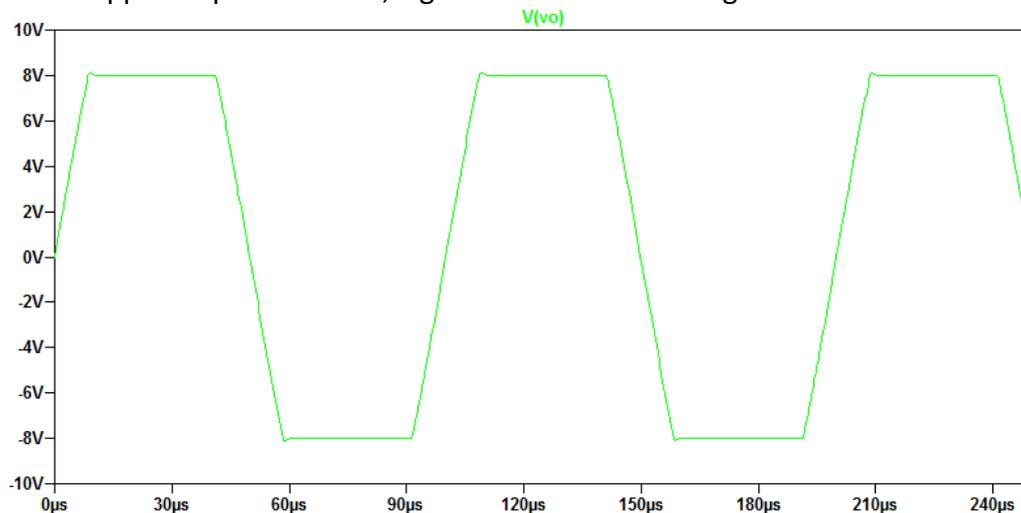


Dopo un'analisi grafica del circuito, giungiamo alla conclusione che l'ampiezza di saturazione (in uscita) sia pari a 8V. Questo per via della non idealità dell'opamp (Fosse stato ideale sarebbe stata 10V).

Effettuando i calcoli, ponendo  $s = j\omega$  e  $\omega = 10kHz * 2\pi$ :

- $v_o = v_i j\omega \frac{R_2 C_2 (R_3 + R_4) / R_3}{1 + j\omega C_2 R_2} = v_i \frac{j2200\pi}{1 + j200\pi}$
- $|v_o| = |v_i| * 11 < 8V$
- $|v_i| < 0.72V$

Impostando il doppio di questo valore, il grafico risultante è il seguente:



## 1.5) Con resistenza R2=111401.7

Calcolo analitico:

$$W(s) = \frac{v_o(s)}{v_i(s)} = \frac{K}{s^l} \frac{1}{1 + s/\omega}$$

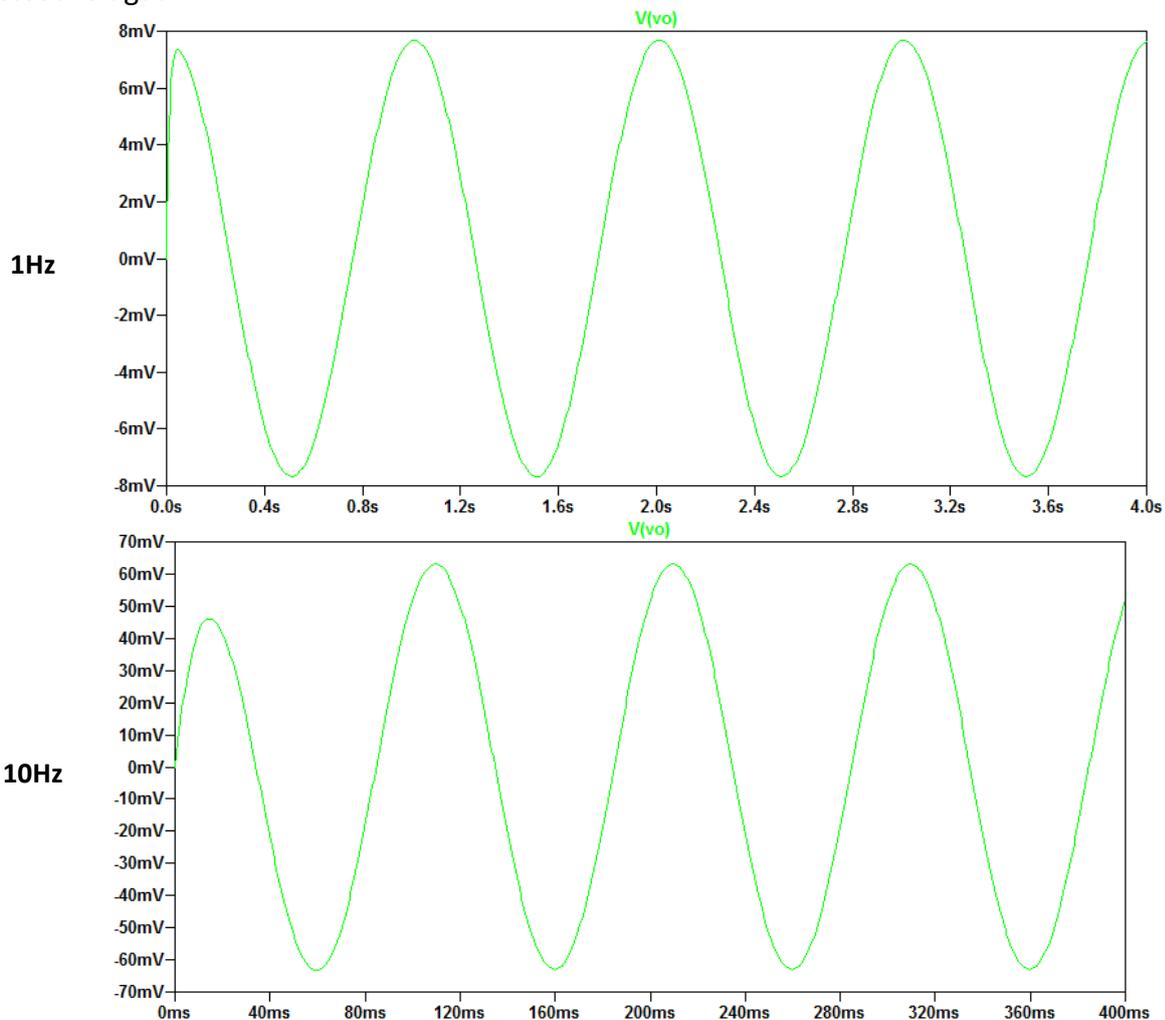
con:

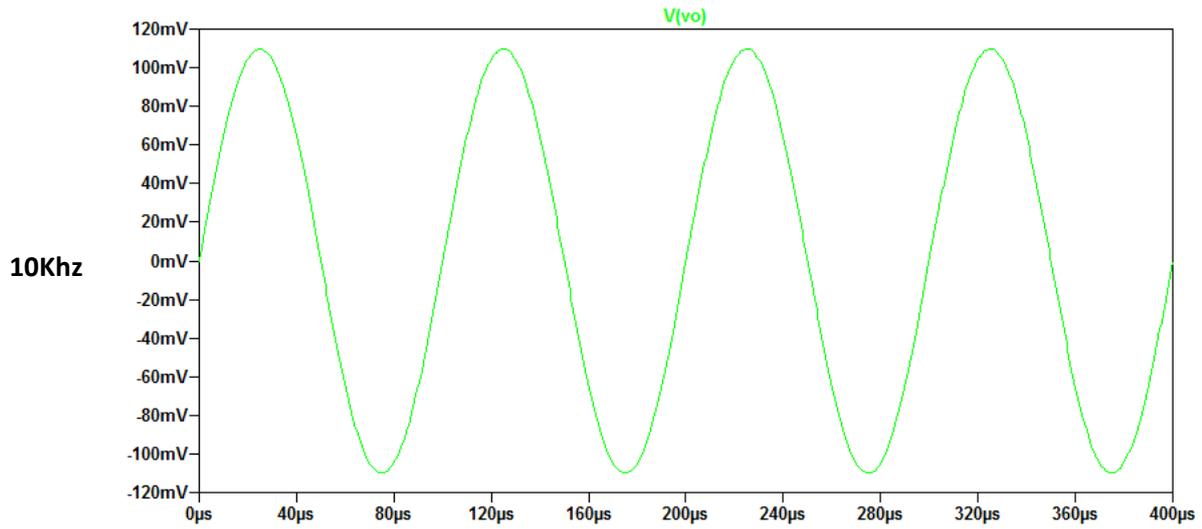
- Guadagno  $K = \frac{R_2 C_2 (R_3 + R_4)}{R_3} = 0.12 = -18.234 \text{ dB}$
- $l = -1$  quindi la pendenza dello zero nell'origine è  $-20l = +20 \text{ dB/dec}$
- Polo  $\omega = \frac{1}{C_2 R_2} = 89.77 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 14.29 \text{ Hz}$  con pendenza  $-20 \text{ dB/dec}$

Saturazione:

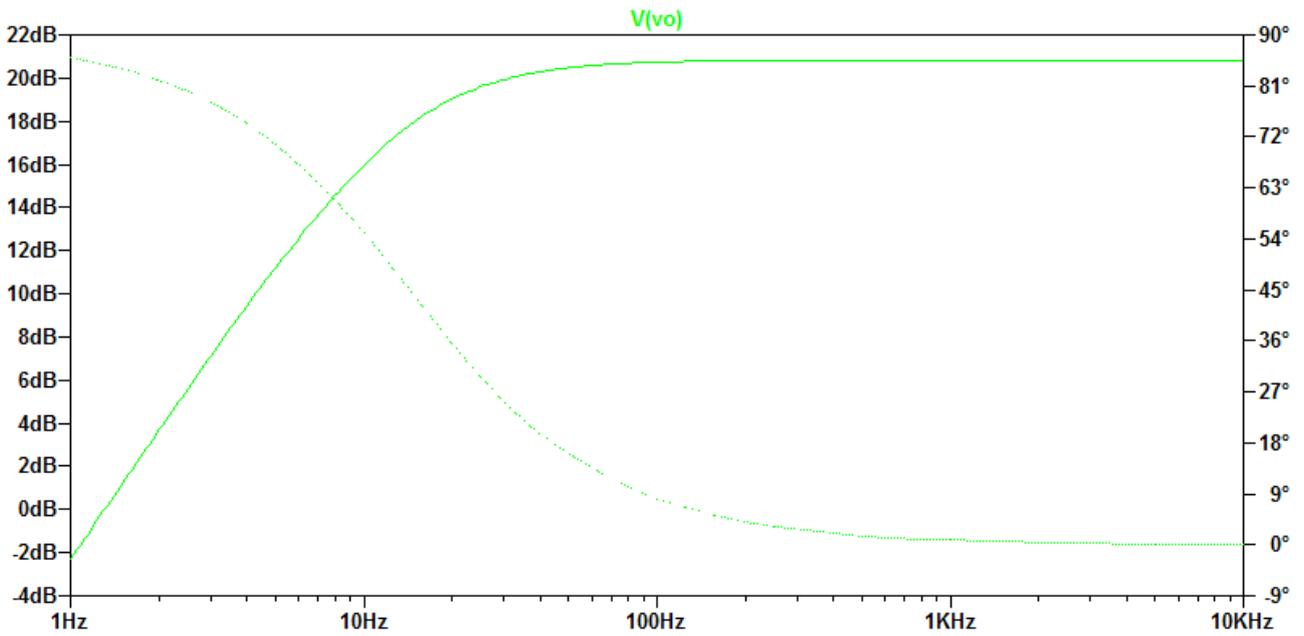
- $v_o = v_i j\omega \frac{R_2 C_2 (R_3 + R_4) / R_3}{1 + j\omega C_2 R_2} = v_i \frac{j2400\pi}{1 + j223\pi}$
- $|v_o| = |v_i| * 10.7 < 8V$
- $|v_i| < 0.75V$

Si può notare che i risultati differiscono minimamente dai precedenti, e quindi i grafici saranno pressoché uguali.

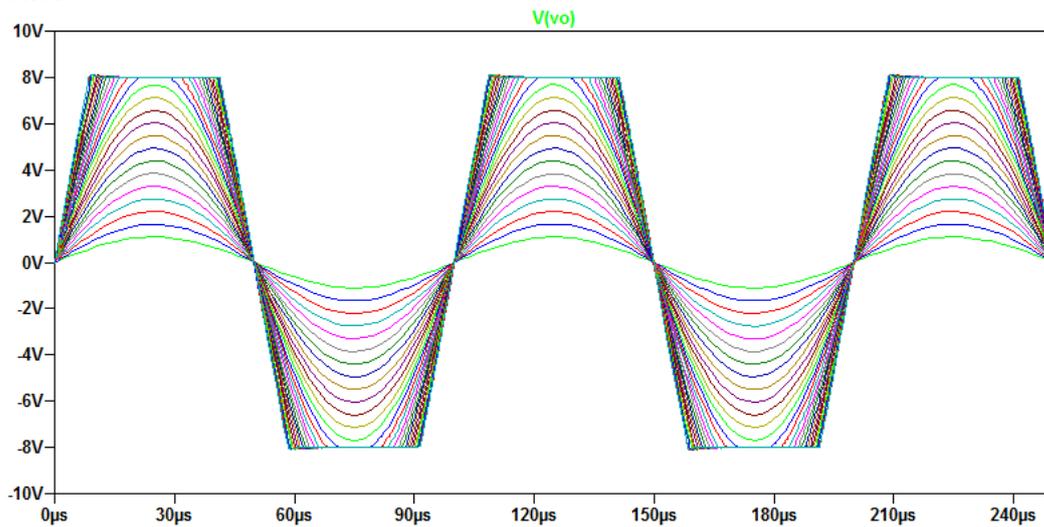




**Bode:**

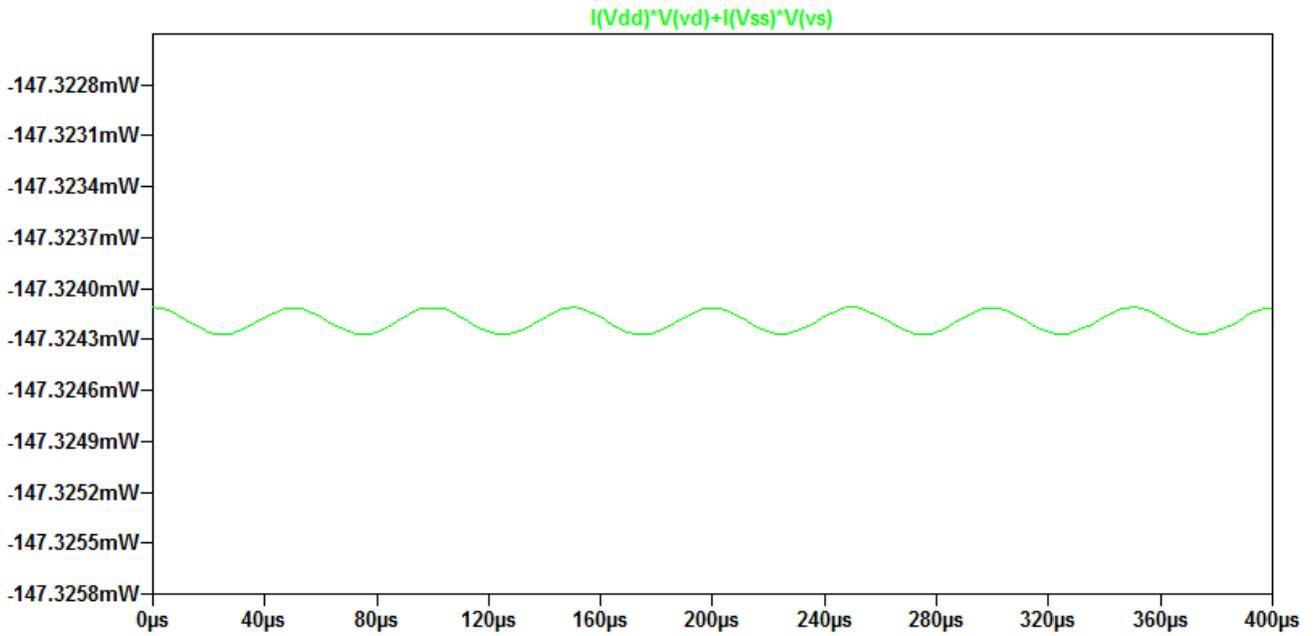


**Saturazione:**

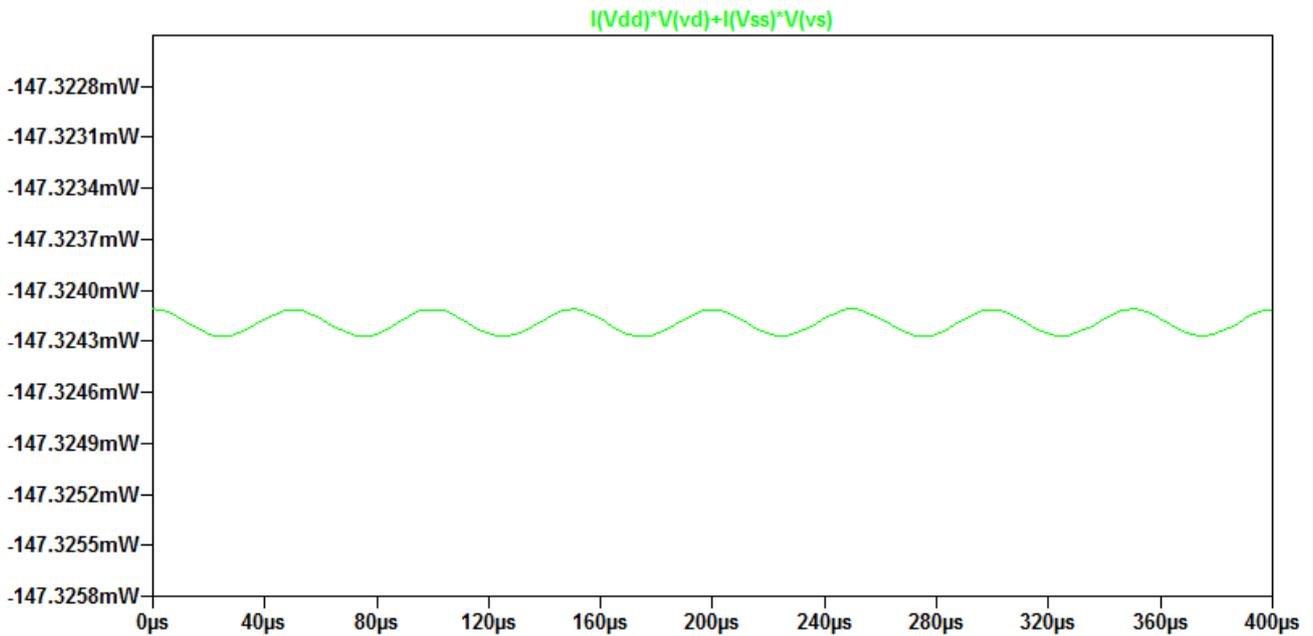


## 1.6) Potenza assorbita

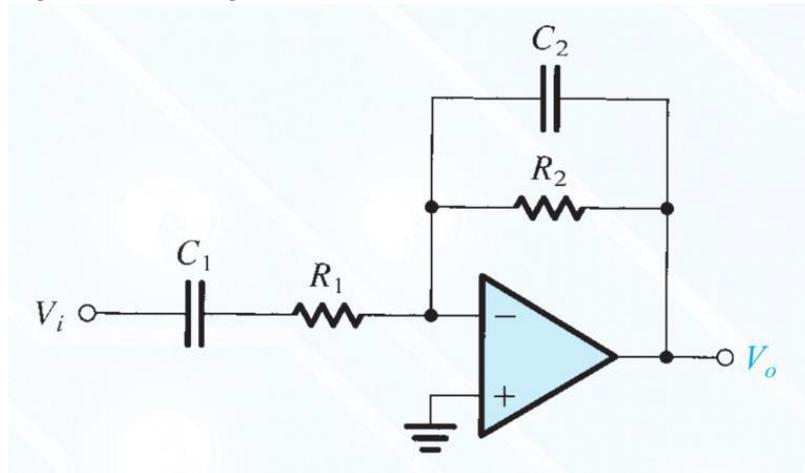
Caso R2= 100k:



Caso R2= 111401.7:



## Esercizio 2: Amplificatore passa banda



### 2.1) Funzione di trasferimento

- $z_1(s) = R_1 + \frac{1}{sC_1} = \frac{1+sR_1C_1}{sC_1}$
- $z_2(s) = \frac{R_2}{sC_2 R_2 + \frac{1}{sC_2}} = \frac{R_2}{1+sR_2C_2}$
- $W(s) = -\frac{z_2(s)}{z_1(s)} = \frac{-R_2C_1}{s^{-1}} * \frac{1}{(1+sR_2C_2)(1+sR_1C_1)}$

### 2.2) Dimensionamento

- $R_i = \frac{v_i}{I_i} = \frac{v_i}{v_i} R_1 = R_1$  prendo  $R_1 = \frac{1114017}{1000} = 1114,017\Omega$
- $\omega_1 = 1 \text{ kHz} = 2\pi 10^3 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{1}{R_1 C_1}$
- Quindi  $C_1 = \frac{1}{R_1 \omega_1} = \frac{1}{1114 * 2\pi * 10^3} = 143 \text{ nF}$

Sapendo di avere uno zero nell'origine che spinge il grafico in su di  $+20\text{db/dec}$  e che a  $\omega_1 = 1\text{kHz}$  si avrà il polo  $\omega_1$ . Per avere 40dB di guadagno a centro banda, vuol dire che si deve avere un guadagno in continua  $K = -20\text{dB}$

- $K = -20\text{dB} = 0.1 = |-R_2 C_1|$
- Ricavo  $R_2 = \frac{K}{C_1} = \frac{0.1}{143 * 10^{-9}} \simeq 70\text{k}\Omega$

Sapendo che  $\omega_2 = 1\text{MHz} = 2\pi 10^6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{1}{R_2 C_2}$

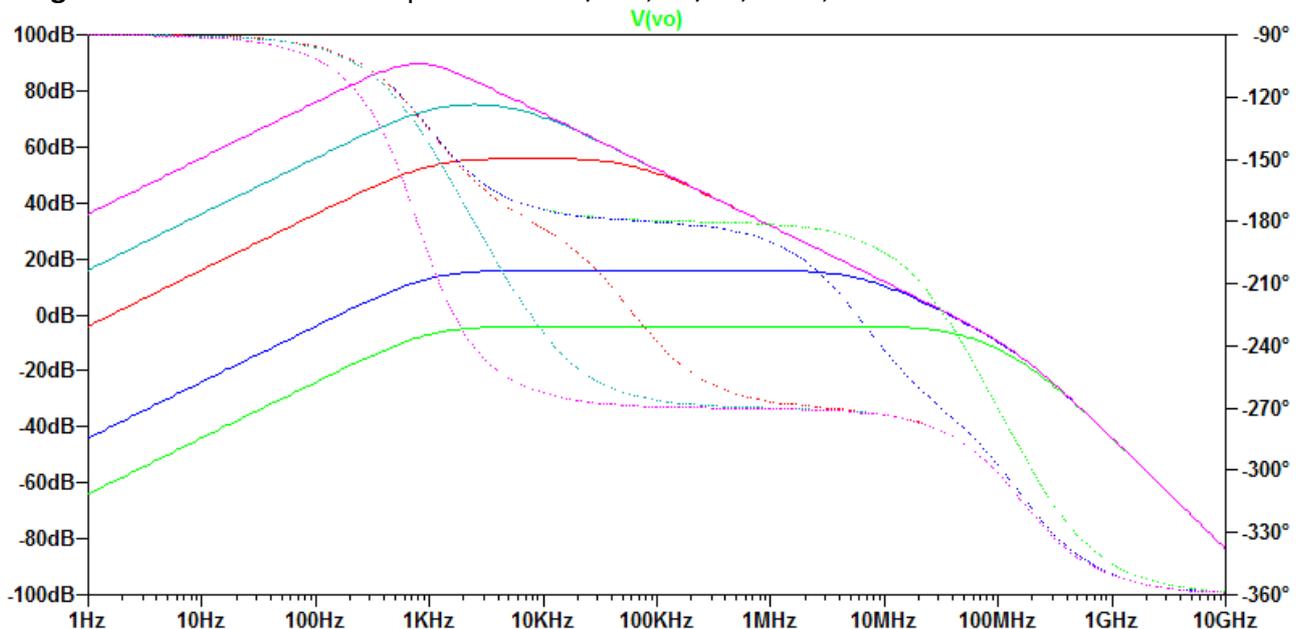
- Ricavo  $C_2 = \frac{1}{R_2 \omega_2} = \frac{1}{70000 * 2\pi * 10^6} = 2.27 \text{ pF}$

## 2.3) Simulazione di Bode al variare di R2

### Listato Spice:

```
VIN Vi 0 DC 0 AC 1 SIN(0 10mV 10k)
R1 Vi n1 1114
C1 n1 v- 143n
R2 v- Vo {RR}
C2 v- Vo 2.27p
XU1 v- 0 Vo opamp Aol=1000k GBW=100meg
.step param RR list 700 7k 700k 7meg 70meg
.lib opamp.sub
.ac dec 10 1 10G
.lib LTC.lib
.backanno
.end
```

**Diagrammi di Bode:** dal basso per i valori R2/100, R2/10, 10R2, 100R2 e 1000R2

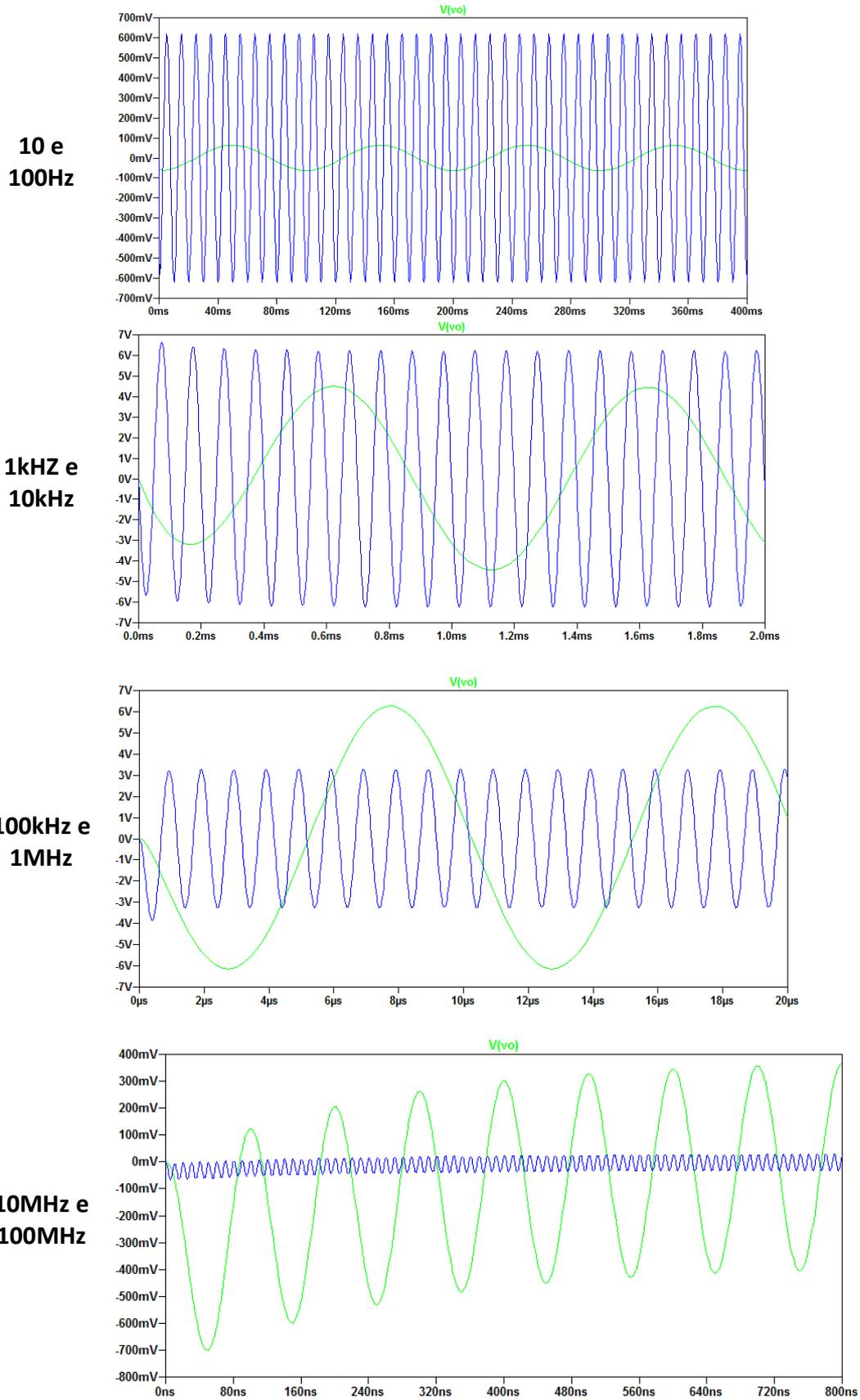


## 2.4) Simulazione Vo al variare della frequenza di ingresso

### Listato Spice

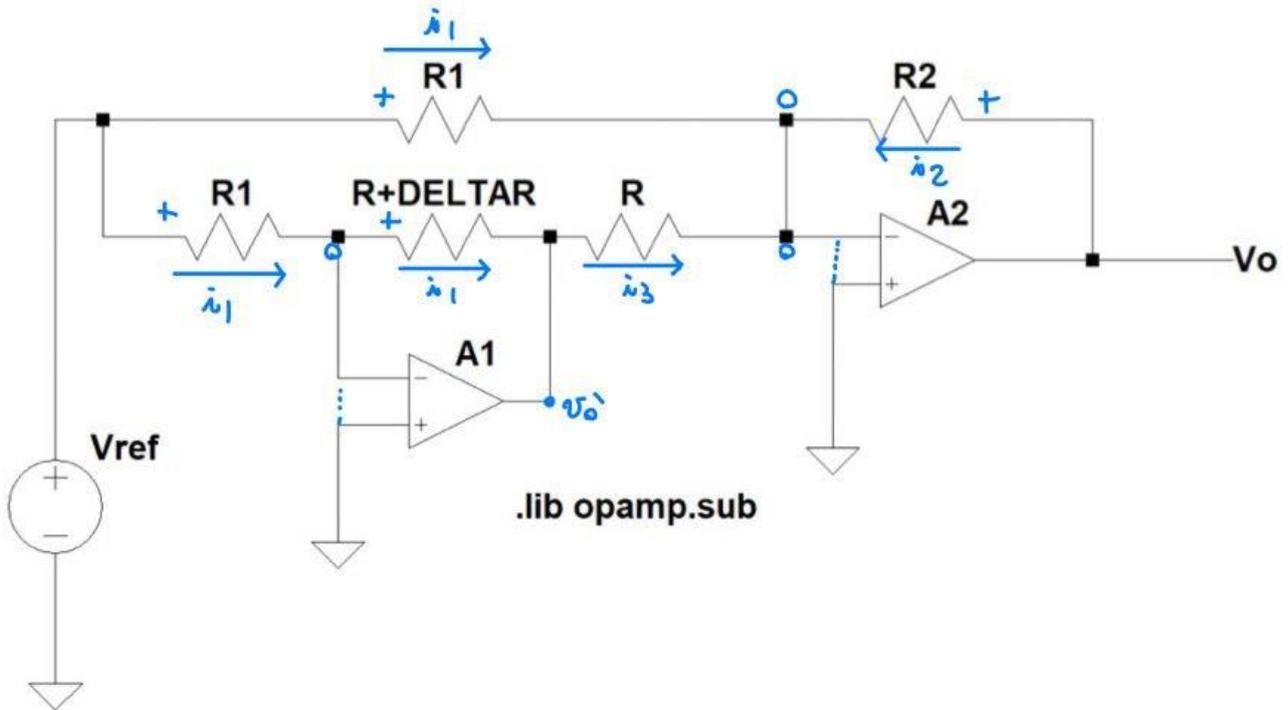
```
VIN Vi 0 DC 0 AC 1 SIN(0 100mV {FF})
R1 Vi n1 1114
C1 n1 v- 143n
R2 v- Vo 70000
C2 v- Vo 2.27p
XU1 v- 0 Vo opamp Aol=1000k GBW=100meg
.tran 400m
.step param FF list 10 100 1k 10k 100k 1meg 10meg 100meg
.lib opamp.sub
.lib LTC.lib
.backanno
.end
```

## Grafico



Come si nota da 10MHz in su il segnale viene attenuato talmente tanto da essere quasi insignificante.

### Esercizio 3: amplificatore front-end per ponte resistivo con sensore resistometrico



#### 3.1) Determinare $V_o$

- $R_d = R + \delta R = R(1 + \delta)$
- $i_1 = \frac{v_{ref}}{R_1}$
- $v_o' = -i_1 R_d$
- $i_3 = \frac{v_o'}{R} = -i_1 \frac{R_d}{R}$
- $i_2 = -i_1 - i_3 = -i_1 - \left(-i_1 \frac{R_d}{R}\right) = i_1 \left(\frac{R_d}{R} - 1\right)$
- $v_o = R_2 i_2 = R_2 i_1 \left(\frac{R_d}{R} - 1\right) = v_{ref} \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{R_d}{R} - 1\right) = v_{ref} \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{R(1+\delta)}{R} - 1\right) = v_{ref} \frac{R_2}{R_1} \delta$

#### 3.2) Dimensionamento

- $R_2 = \frac{1114017}{20} = 55700.85 \Omega$
- $\frac{R_2}{R_1} = \frac{20}{v_{ref}} = \frac{20}{15} = \frac{4}{3}$
- $R_1 = R_2 \frac{3}{4} = 41775 \Omega$
- Scelgo  $R = 10 k\Omega$

### 3.3) Simulazione al variare di $\delta$

Nel codice a= $\delta$ , lo facciamo variare da 0 a 1.

#### Listato Spice:

```
VIN Vref 0 15
R1 Vref v-1 41775
R+deltaR v-1 Vo1 {10k*(1+{a})}
XU1 v-1 0 Vo1 opamp Aol=100k GBW=100meg
R12 Vref v- 41775
R Vo1 v- 10k
R2 v- Vo 55700
XU2 v- 0 Vo opamp Aol=100k GBW=100meg
.op
.step param a 0 1 0.1
.lib opamp.sub
.lib LTC.lib
.backanno
.end
```

#### Grafico:

