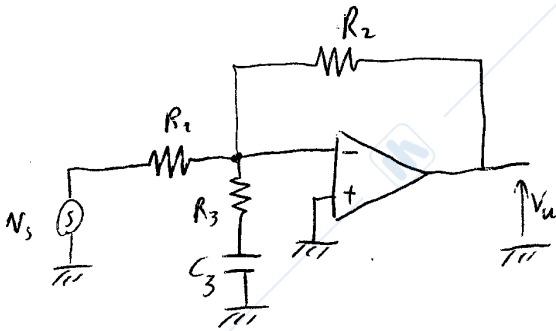


## ESERCITAZIONE DEL 20/12/09

SI CONSIDERI L'AMPLIFICATORE A OPERAZIONALE:



$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

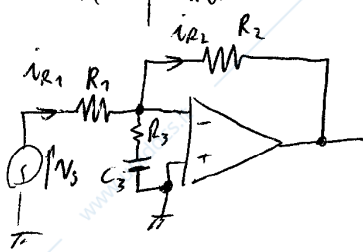
$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

- 1) CALCOLARE IL GUADAGNO IDEALE DELL'AMPLIFICATORE
- 2) SUPPONENDO CHE L'OPERAZIONALE ABBA UN GUADAGNO DIFFERENZIALE  $A_0 = 85 \text{ dB}$  E PRESENTI 2 POLI, IL PRIMO A  $f_0 = 10 \text{ kHz}$  E IL SECONDO A  $f_2 = 1 \text{ MHz}$ , VERIFICARE LA STABILITÀ DELL'AMPLIFICATORE SENZA  $R_3$  E  $C_3$
- 3) CALCOLARE IL VALORE DI  $R_3$  E  $C_3$  CHE CONSENTANO DI RENDERE STABILE L'AMPLIFICATORE ESEGUENDO UNA COMPENSAZIONE POLO-ZERO (SI FACCIA COINCIDERE LO ZERO INTRODOTTO DA  $R_3$  E  $C_3$  CON IL PRIMO POLO DELL'OP.AMP).

SOLUZIONE

1) Per la retroazione,  $V^+ = V^-$  ed, essendo  $V^+ = 0 \Rightarrow V^- = 0$  terra virtuale.  
 Avendo una tensione nulla ai capi,  $R_3$  e  $C_3$  non influenzano il guadagno ideale.

La corrente di  $R_1$ , pari a  $i_{R1} = \frac{V_s}{R_1}$ , fluisce tutta in  $R_2$ , in quanto  $V^- \approx 0$ .

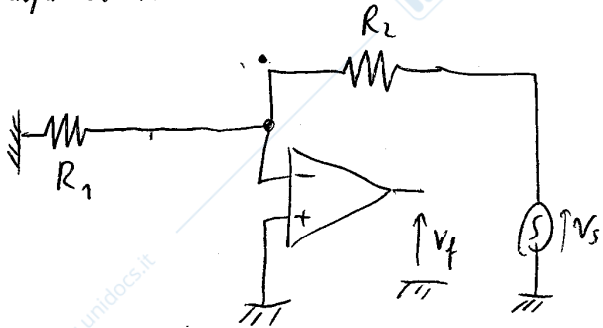


$i_{R3} = 0$  perché  $V^- = 0$  e  $V^+ = 0$

$i_{R2} = i_{R1} = \frac{V_s}{R_1}$

$V_u = -R_2 i_{R2} = -\frac{R_2}{R_1} V_s \Rightarrow G_{10} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{100k\Omega}{10k\Omega} = -10$

2) CALCOLO IL GLOPP SENZA  $R_3$  e  $C_3$   
 Dopo l'anello

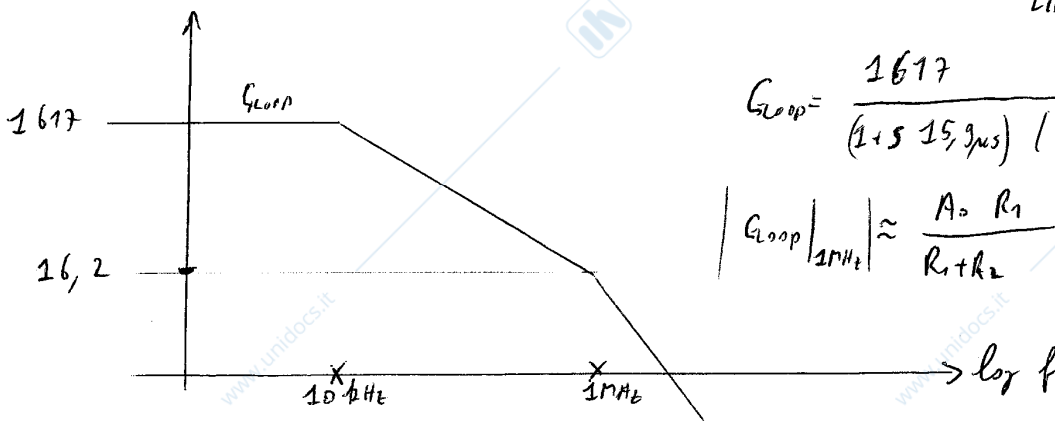


$G_{loop} = -\frac{A_o}{(1+s\tau_0)(1+s\tau_1)} \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2}$

$A_o = 17783$

$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} = 15,9 \mu s$

$\tau_1 = \frac{1}{2\pi f_1} = 159 ns$



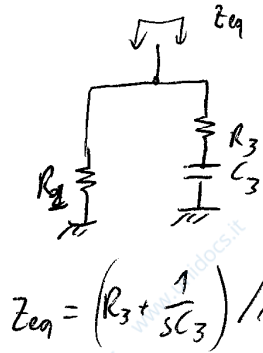
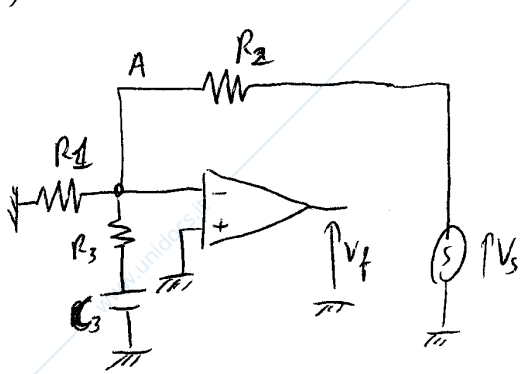
$G_{loop} = \frac{1617}{(1+s15,9\mu s)(1+s159ns)}$

$|G_{loop}|_{1MHz} \approx \frac{A_o R_1}{R_1+R_2} \frac{f_0}{f_1} = 16,2$

Il loop taglia l'asse delle ascisse con pendenza  $40 \frac{dB}{decade}$   $\Rightarrow$   
 cio vuol dire che margine di fase  $< 45^\circ$ .

L'amplificatore e', pertanto, da considerarsi instabile (o, meglio, al limite della stabilita' in quanto il Margine di fase e' comunque  $> 0^\circ$ )

3) Calcolo DEL LOOP con  $R_3$  e  $C_3$ :



$$Z_{eq} = \left( R_3 + \frac{1}{sC_3} \right) // R_1$$

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_3 + \frac{1}{sC_3}} + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_1}{\frac{sC_3 R_1}{1 + sR_3 C_3} + 1} = \frac{R_1 (1 + sR_3 C_3)}{1 + s(R_1 + R_3)C_3}$$

$$V_A = V_s \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + R_2} = V_s \frac{\frac{R_1 (1 + sR_3 C_3)}{1 + s(R_1 + R_3)C_3}}{\frac{R_1 (1 + sR_3 C_3)}{1 + s(R_1 + R_3)C_3} + R_2} = \frac{(1 + sR_3 C_3) R_1 V_s}{1 + sR_3 C_3 R_1 + R_2 + s(R_1 + R_3) R_2 C_3}$$

$$= \frac{1 + sR_3 C_3}{1 + s\left(R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right) C_3} \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

$$G_{loop} = - \underbrace{\frac{A_0}{(1 + s\tau_0)(1 + s\tau_1)}}_{G_{loop} \text{ senza } R_3, C_3} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{1 + sR_3 C_3}{1 + s\left(R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right) C_3}$$

ZERO INSERITO DA  $R_3, C_3$

POLO INSERITO DA  $R_3, C_3$

Per rendere stabile l'amplificatore annullo lo zero introdotto da  $R_3$  e  $C_3$  con il polo dell'operazionale  $f_0$ , cioè pongo:

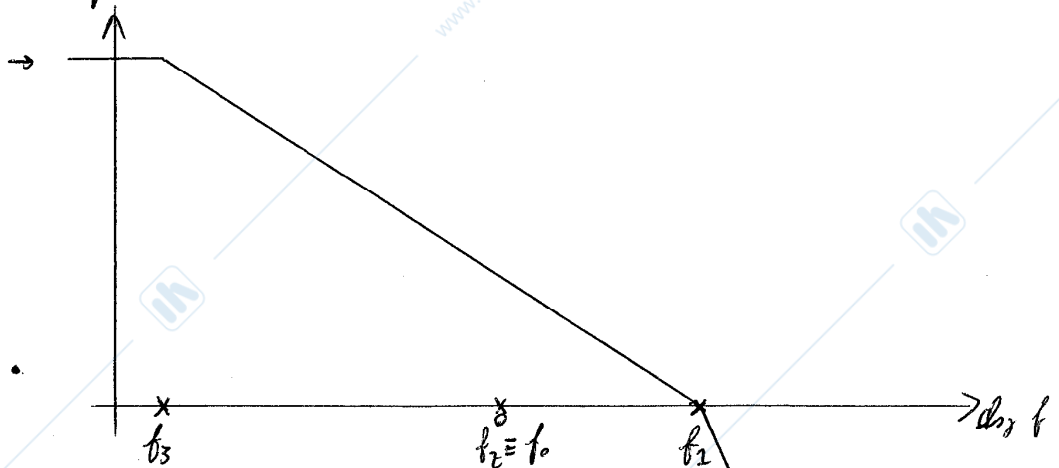
$$R_3 C_3 = \tau_0$$

In questo modo il loop si semplifica in:

$$G_{loop} \approx - \frac{A_0}{(1+s\tau_1)} \frac{R_1}{R_1+R_2} \frac{1}{1+s\left(R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}\right)C_3}$$

Calcolo la resistenza  $R_3$  in modo che il loop tagli l'asse a 0dB in corrispondenza del secondo polo dell'operazionale, in modo da garantire un margine di fase di  $45^\circ$

$$\frac{A_0 R_1}{R_1+R_2} = 1617 \rightarrow$$



$$f_3 = \frac{f_1}{\frac{A_0 R_1}{R_1+R_2}} = \frac{1 \text{ MHz}}{1617} = 618,4 \text{ Hz}$$

$$\tau_p = \frac{1}{2\pi f_3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 618,4 \text{ Hz}} = 257 \mu\text{s}$$

$$\tau_p = \left( R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} \right) C_3 \quad \Rightarrow$$

$$R_3 C_3 = \tau_0$$

$$\frac{\tau_p}{\tau_0} = \frac{R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} \left( \frac{1}{\frac{\tau_p}{\tau_0} - 1} \right) = 600 \Omega$$

$$C_3 = \frac{\tau_0}{R_3} = 26,5 \text{ nF}$$