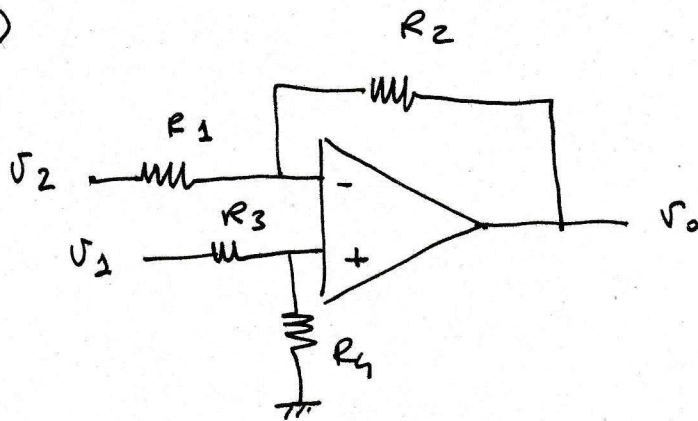


1)



$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_2 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_1$$

$$\boxed{\frac{R_2}{R_1} = 7}$$

$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 4 \Rightarrow (1 + 7) \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 4$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1}{2}}$$

Soluzione possibile

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

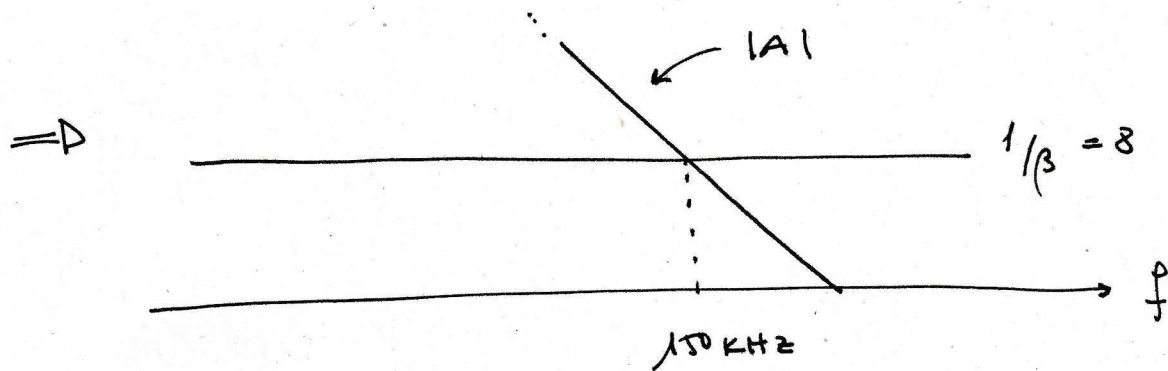
2) Se si considera che l'Ao abbia guadagno e bande finiti, detto $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ e ~~che~~ considerando le equazioni dell'Ao delle forme tipiche $\frac{A_o}{1 + j\frac{f}{f_H}}$

$$V_o = \left[\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) V_2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\beta} V_1 \right] \frac{\beta A_o}{1 + \beta A_o} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_H}(1 + \beta A_o)}$$

(2)

$$f_{Hf} = f_H (1 + \beta A_0) \text{ deve essere } \geq 150 \text{ kHz}$$

$\Rightarrow$ nel diagramma di Bode del modulo, $1/\beta$ interseca il guadagno col quello aperto dell'AO ~~per~~ in f_{Hf}

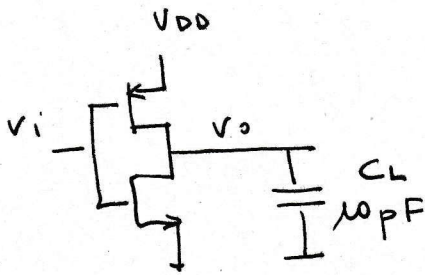


$\Rightarrow$ la GBW min per soddisfare le specifiche
 e' $GBW_{min} = 8 \cdot 150 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 1.2 \text{ MHz}$

c) $SR \geq A 2\pi f_{Hf}$ con $A = 10 \text{ V}$

$$\Rightarrow SR \geq 10 \cdot 2\pi \cdot 150 \cdot 10^3 \text{ V/s} = 9.42 \text{ V}/\mu\text{s}$$

2)



$$V_{DD} = 5V$$

$$V_{TN} = -V_{TP} = 1V$$

$$K_n = 125 \mu A/V^2$$

$$K_p = 50 \mu A/V^2$$

(3)

d) tempo di propagazione $t_p = \frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2}$

$$t_{PLH} \approx \frac{C_L V_{DD}/2}{K_p (V_{DD} - |V_{TP}|)^2} = \frac{10^{-11} \cdot 2.5}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 16} s = 31.25 ns$$

$$t_{PHL} \approx \frac{C_L V_{DD}/2}{K_n (V_{DD} - V_{TN})^2} = \frac{10^{-11} \cdot 2.5}{125 \cdot 10^{-6} \cdot 16} s = 12.5 ns$$

$$t_p \approx \frac{31.25 + 12.5}{2} ns = 21.875 ns$$

b) le tensioni di soglia logica V_{IL} e V_{OH} relative di V_i per cui $V_o = V_i$ e, dai conti visti a lezione, corrispondono al valore di V_i per cui entrambi i MOS sono in saturazione (non stiamo considerando le modulazioni delle lunghezze di canale)

$$K_n (V_i - V_{TN})^2 = K_p (V_{DD} - V_i - |V_{TP}|)^2$$

$$\Rightarrow V_i = 2.16 V$$