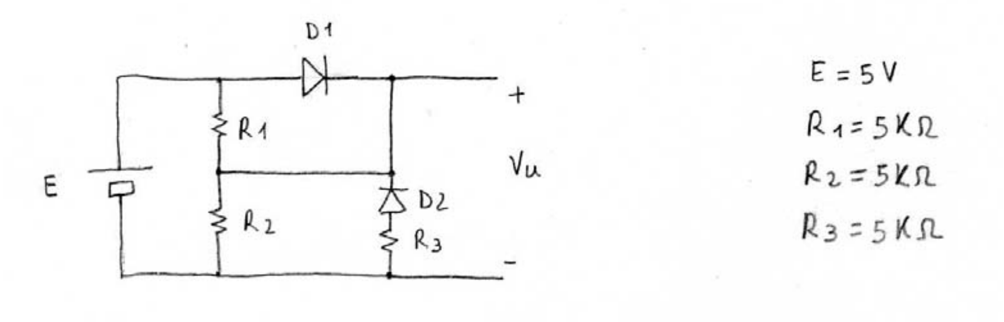
Scheda **A17_03**		Data: **21 febbraio 2017**
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

6 punti (4)

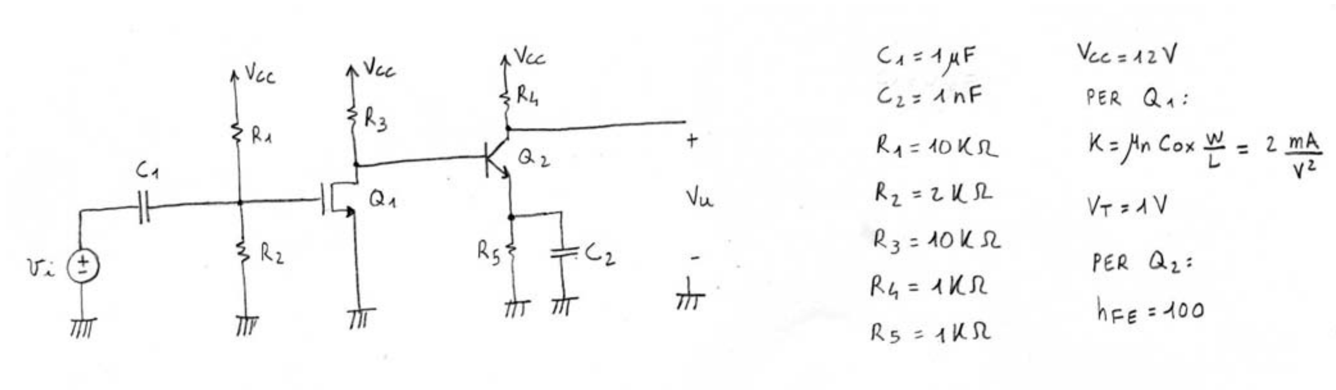
Con riferimento al circuito in figura, si determinino la tensione di uscita e la corrente nelle tre resistenze, verificando la zona di funzionamento dei due diodi. Si considerino i diodi ideali.



ESERCIZIO N°2

8 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, determinare il punto di lavoro dei due transistori.



ESERCIZIO N°3

7 punti (4)

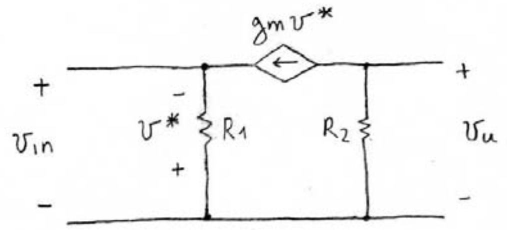
Per il circuito mostrato nell'esercizio precedente si ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s)=V_u/V_s$ (il diagramma di Bode **non** è richiesto).

Si considerino per Q_1: g_m=2 mA/V, e per Q_2: *hie*=5 KΩ e *hfe*=150.

ESERCIZIO N°4

6 punti (4)

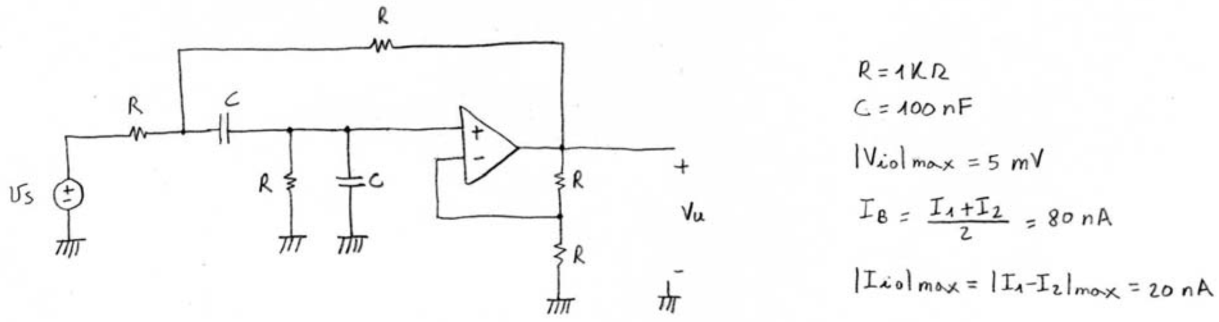
Si ricavino i parametri h_f e h_i per il circuito mostrato in figura.



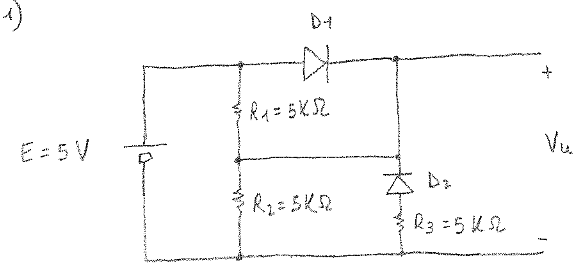
ESERCIZIO N°5

6 punti (4)

Ricavare il massimo sbilanciamento in uscita del circuito mostrato in figura. Si consideri l'amplificatore operazionale ideale.

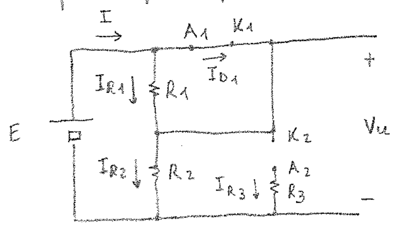


1)



ipotesi: D_1 acceso, D_2 spento

sotto queste ipotesi possiamo sostituire D_1 con un cortocircuito e D_2 con un circuito aperto



(la caduta ai capi di R1 è nulla)

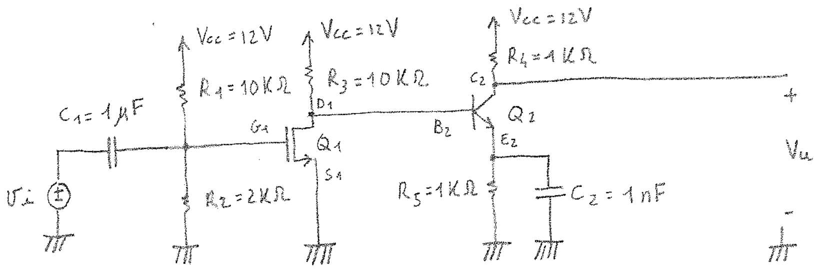
$$I_{R1} = \frac{0}{R_1} = 0 \implies I_{D1} = I = I_{R2} = \frac{E}{R_2} = 1mA > 0 \implies D_1 \text{ effettivamente conduce}$$

$$\left.\begin{matrix} V_{K2} = E \\ V_{A2} = 0 \end{matrix}\right\} \implies V_{AK_2} = -E = -5V < 0 \implies D_2 \text{ effettivamente è spento}$$

quindi le due ipotesi fatte sono verificate

$V_u = E = 5V$ $\qquad I_{R_3} = 0$

2)

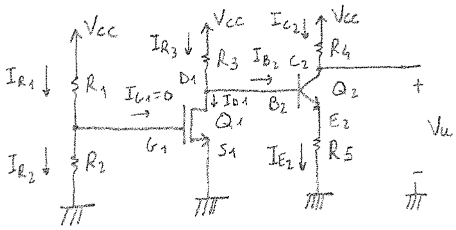


$K = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 2 \frac{mA}{V^2}$

$V_T = 1V$

$h_{FE} = 100$

in continua i condensatori sono aperti e v_i è disattivato



R_1 e R_2 sono attraversate dalla stessa corrente $\implies V_{G1} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2V$

$V_{S1} = 0 \implies V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = V_{G1} = 2V$

ipotesi 1: Q_1 in saturazione

$$I_{D1} = \frac{K}{2}(V_{GS1} - V_T)^2 = 1mA$$

$I_{R3} = I_{D1} + I_{B2}$

ipotesi 2: Q_2 in zona attiva diretta

$$V_{cc} - R_3 \underbrace{I_{R3}}_{I_{D1} + I_{B2}} - V_\gamma - R_5 \underbrace{I_{E2}}_{(h_{FE}+1) I_{B2}} = 0 \implies$$

$$V_{cc} - R_3 I_{D1} - R_3 I_{B2} - V_\gamma - R_5 (h_{FE}+1) I_{B2} = 0 \implies$$

$$I_{B2}(R_3 + R_5(h_{FE}+1)) = V_{cc} - R_3 I_{D1} - V_\gamma \implies$$

$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - R_3 I_{D1} - V_\gamma}{R_3 + R_5 (h_{FE}+1)} = 11.\overline{711}\ \mu A \Rightarrow$$

$$I_{E2} = (h_{FE}+1)\, I_{B2} = 1.18\overline{288}\ mA$$

$$I_{C2} = h_{FE}\, I_{B2} = 1.17\overline{117}\ mA$$

$$V_u = V_{C2} = V_{CC} - R_4 I_{C2} = 10.8\overline{288}\ V$$

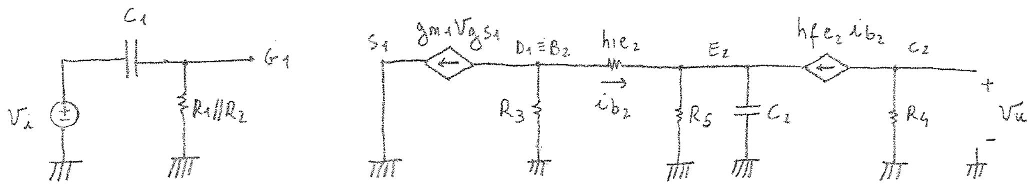
$$V_{E2} = R_5 I_{E2} = 1.18\overline{288}\ V$$

$$V_{D1} = V_{E2} + V_\gamma = 1.88\overline{288}\ V$$

$V_{DS1} = V_{D1} = 1.88\overline{288}\ V > V_{GS1} - V_T = 1\ V$
$V_{GS1} = 2V > V_T$
$\Big\} \rightarrow$ ipotesi 1 verificata

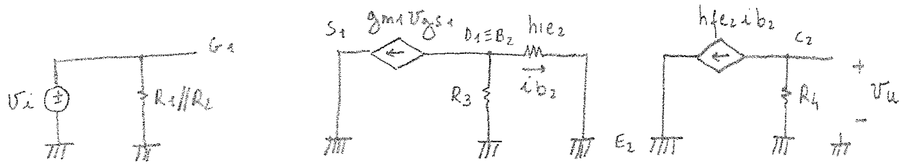
$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 9.645946\ V > V_{CE\,sat}$
$I_{B2} = 11.\overline{711}\ \mu A > 0$
$\Big\} \rightarrow$ ipotesi 2 verificata

3)



$g_{m1} = 2 mA/V$
$h_{ie2} = 5 K\Omega$
$h_{fe2} = 150$

che per $\omega \to \infty$ diventa



$$v_u = -h_{fe2}\, i_{b2} R_4$$

$$i_{b2} = -g_{m1} v_{gs1} \frac{R_3}{R_3 + h_{ie2}}$$

$$v_{gs1} = v_{g1} - v_{s1} = v_{g1}$$

$$v_{g1} = v_i$$

$$A_{V\infty} = \frac{v_u}{v_i} = h_{fe2} R_4\, g_{m1} \frac{R_3}{R_3 + h_{ie2}} = 200 \Rightarrow |A_{V\infty}|_{dB} = 46.0206\ dB$$

$\omega_{z1} = 0$ perché C_1 è in serie sul percorso del segnale

$R_{VC1} = R_1 // R_2 = 1666.\overline{6}\ \Omega$

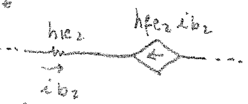
$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 600\ rad/s \Rightarrow f_{P1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 95.492966\ Hz$$

$$R_{VC_2} = R_5 // \frac{h_{ie2} + R_3}{h_{fe2}+1} = 90.361446\ \Omega$$

se $v_i = 0$, allora $v_{g1} = 0 \Rightarrow v_{gs1} = 0$

$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 11'066'666.\overline{6}\ rad/s \Rightarrow f_{P2} = \frac{\omega_{P2}}{2\pi} = 1761314.70356\ Hz$$

C_2 introduce uno zero quando $R_5 // \frac{1}{C_2 s} = \infty$ perché allora si ha ...



... quindi deve essere

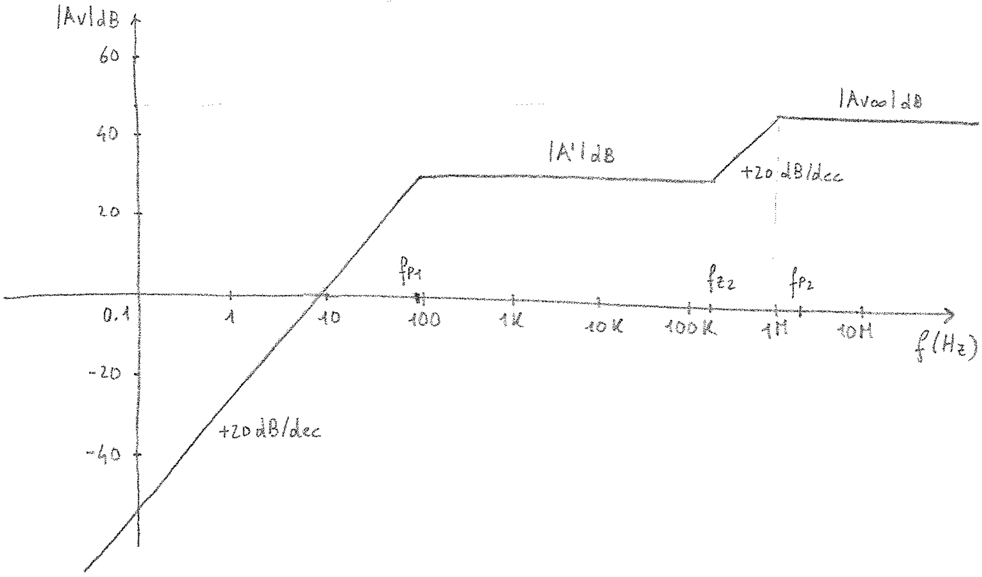
$$i_{b2} = -h_{fe2}\, i_{b2} \Rightarrow i_{b2}\underbrace{(1 + h_{fe2})}_{\neq 0} = 0 \Rightarrow i_{b2} = 0 \Rightarrow v_u = -h_{fe2}\, i_{b2} R_4 = 0$$

$$R_5 // \frac{1}{C_2 s} = \frac{R_5 \cdot \frac{1}{C_2 s}}{R_5 + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{R_5}{1 + R_5 C_2 s} = \infty \Rightarrow 1 + R_5 C_2 s = 0 \Rightarrow s = -\frac{1}{R_5 C_2} \Rightarrow \omega_{z2} = \frac{1}{R_5 C_2} = 1'000'000\ rad/s \Rightarrow$$

$$f_{z2} = \frac{\omega_{z2}}{2\pi} = 159154.943\ Hz$$

$$A_V(s) = A_{V\infty} \frac{s(s + \omega_{z2})}{(s + \omega_{P1})(s + \omega_{P2})}$$

[



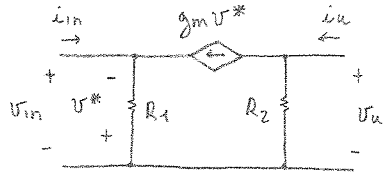
PARTE NON RICHIESTA

$$|A'| = |A_{v\infty}| \frac{f_{Z2}}{f_{P2}} = 18.07229$$

$$|A'|_{dB} = 25.14026 \text{ dB}$$

]

4)

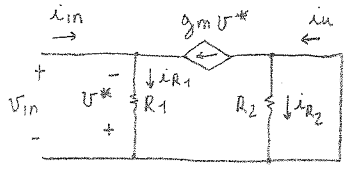


$$\begin{cases} i_u = h_f\, i_{in} + h_o\, v_u \\ v_{in} = h_i\, i_{in} + h_r\, v_u \end{cases}$$

$$h_f = \frac{i_u}{i_{in}}\bigg|_{v_u=0} \qquad h_o = \frac{i_u}{v_u}\bigg|_{i_{in}=0}$$

$$h_i = \frac{v_{in}}{i_{in}}\bigg|_{v_u=0} \qquad h_r = \frac{v_{in}}{v_u}\bigg|_{i_{in}=0}$$

per $v_u = 0$ (uscita cortocircuitata) si ha



$$i_u = g_m v^* + i_{R_2}$$

$$i_{R_2} = \underbrace{\frac{0}{R_2}}_{\text{(tensione ai capi di } R_2)} = 0$$

per cui $i_u = g_m v^*$

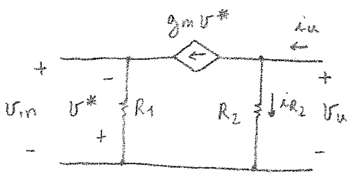
$$v^* = -v_{in}$$

$$i_{in} = i_{R_1} - g_m v^* = -\frac{v^*}{R_1} - g_m v^* = -v^*\left(\frac{1}{R_1} + g_m\right) = -v^* \frac{1 + R_1 g_m}{R_1}$$

$$h_f = \frac{i_u}{i_{in}} = \frac{g_m v^*}{-v^* \frac{1 + R_1 g_m}{R_1}} = -\frac{g_m R_1}{1 + g_m R_1}$$

$$h_i = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{-v^*}{-v^* \frac{1 + R_1 g_m}{R_1}} = \frac{R_1}{1 + R_1 g_m}$$

[per $i_{in} = 0$ (ingresso lasciato aperto) si ha



essendo l'ingresso lasciato aperto, R_1 è attraversata dalla corrente $g_m v^* \Rightarrow$

$$v^* = -R_1 g_m v^* \Rightarrow v^* \underbrace{(1 + R_1 g_m)}_{\neq 0} = 0 \Rightarrow v^* = 0 \Rightarrow g_m v^* = 0$$

quindi

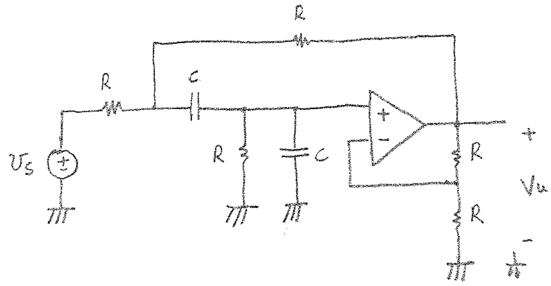
$$i_u = i_{R_2} = \frac{v_u}{R_2} \Rightarrow h_o = \frac{i_u}{v_u} = \frac{1}{R_2}$$

PARTE NON RICHIESTA

$$v_{in} = -v^* = 0 \Rightarrow h_r = \frac{v_{in}}{v_u} = 0$$

]

5)



$R = 1\,k\Omega$

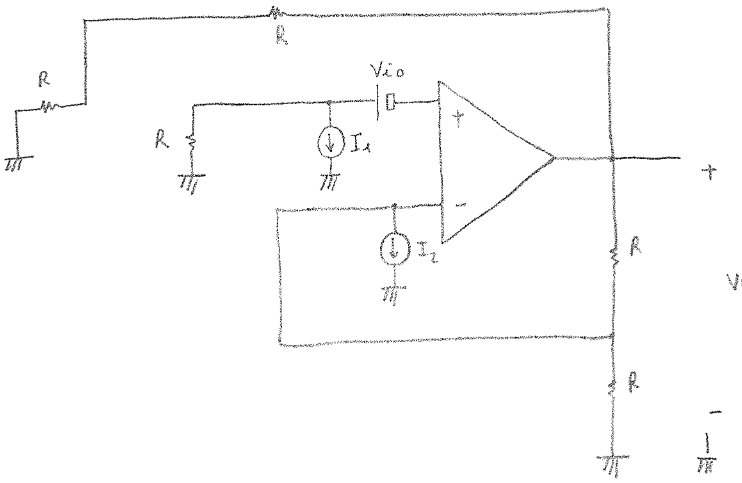
$C = 100\,nF$

$|V_{io}|_{max} = 5\,mV$

$I_B = \dfrac{I_1 + I_2}{2} = 80\,nA$

$|I_{io}|_{max} = |I_1 - I_2|_{max} = 20\,nA$

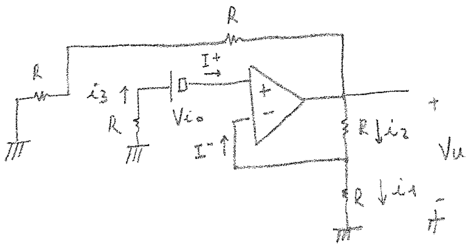
per $\omega = 0$ e disattivando V_S, abbiamo



*

usiamo il principio di sovrapposizione degli effetti

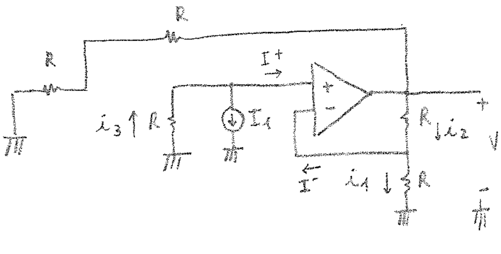
contributo di V_{io}:



$$i_3 = I^+ \overset{\text{per il c.c.v.}}{=} 0 \Rightarrow V^+ = -V_{io} \overset{\text{per il c.c.v. (cortocircuito virtuale)}}{=} V^- \Rightarrow i_1 = \frac{V^-}{R} = \frac{-V_{io}}{R} \underset{\text{dato che } I^- = 0 \text{ per il c.c.v.}}{=} i_2 \Rightarrow V_u = R i_1 + R i_2 = 2R \cdot \left(-\frac{V_{io}}{R}\right) = -2V_{io}$$

(*)

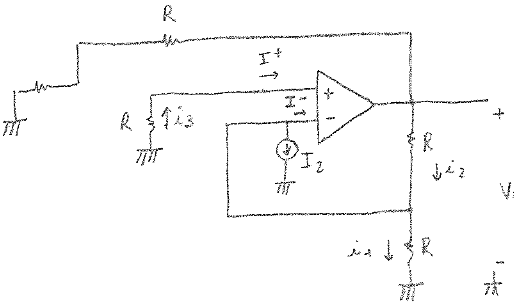
contributo di I_1:



$$I^+ \overset{\text{per il c.c.v.}}{=} 0 \Rightarrow i_3 = I_1 \Rightarrow V^+ = -R i_3 = -R I_1 \overset{\text{per il c.c.v.}}{=} V^- \Rightarrow$$

$$i_1 = \frac{V^-}{R} = \frac{-R I_1}{R} \underset{\text{dato che } I^- = 0 \text{ per il c.c.v.}}{=} i_2 \Rightarrow V_u = R i_1 + R i_2 = 2R \cdot (-I_1) = -2RI_1$$

contributo di I_2:



$$i_3 = I^+ \overset{\text{per il c.c.v}}{=} 0 \Rightarrow V^+ = 0 \overset{\text{per il c.c.v}}{=} V^- \Rightarrow i_1 = \frac{V^-}{R} = 0 \Rightarrow \text{essendo inoltre } I^- \overset{\text{per il c.c.v.}}{=} 0$$

$$i_2 = I_2 \Rightarrow V_u = V^- + R i_2 = 0 + R I_2 = R I_2$$

quindi complessivamente $V_u = -2V_{io} - 2RI_1 + RI_2$

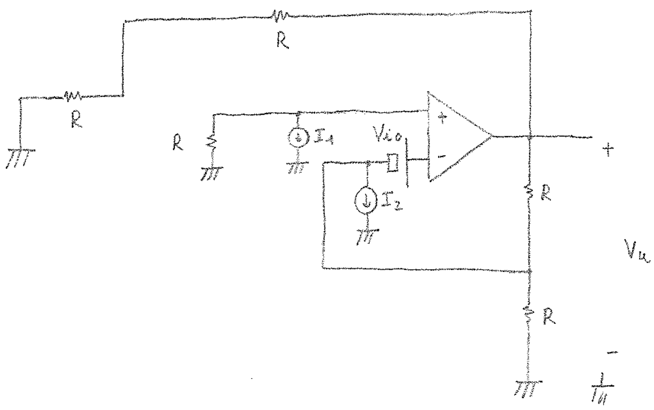
$$\begin{cases} I_B = \dfrac{I_1 + I_2}{2} \\ I_{io} = I_1 - I_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} 2I_B = I_1 + I_2 \\ I_{io} = I_1 - I_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{matrix} \text{sommandole:} \\ \text{sottraendole:} \end{matrix} \begin{cases} 2I_1 = 2I_B + I_{io} \\ 2I_2 = 2I_B - I_{io} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} I_1 = I_B + \dfrac{I_{io}}{2} \\ I_2 = I_B - \dfrac{I_{io}}{2} \end{cases}$$

$V_u = -2V_{io} - 2R\left(I_B + \frac{I_{io}}{2}\right) + R\left(I_B - \frac{I_{io}}{2}\right) = -2V_{io} - 2RI_B - RI_{io} + RI_B - R\frac{I_{io}}{2} = -2V_{io} - RI_B - 3R\frac{I_{io}}{2}$

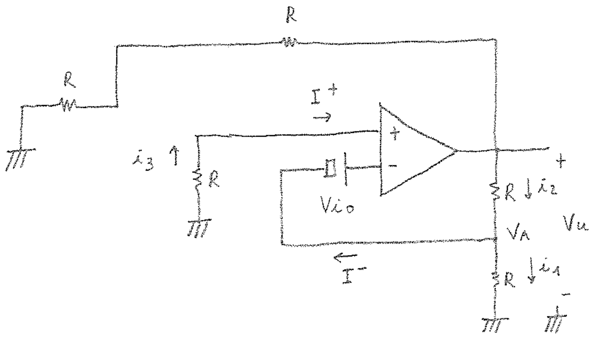
Di queste grandezze sappiamo che $|V_{io}|_{max} = 5\,mV$, $I_B = 80\,nA$, $|I_{io}|_{max} = 20\,nA$, per cui l'unico termine di segno definito nell'espressione della V_u è $-RI_B = -80\,\mu V$;
essendo questa quantità negativa, per ottenere il massimo sbilanciamento in uscita dobbiamo scegliere per gli altri termini il modulo massimo e un segno tale che anche tutti gli altri addendi siano negativi ; quindi consideriamo $V_{io} = +5\,mV$ e $I_{io} = 20\,nA$, col che si ha che

$V_u = -2 \cdot 5\,mV - 80\,\mu V - 30\,\mu V = -10.11\,mV$

* o equivalentemente (se facciamo scorrere Vio lungo la porta di ingresso dall'ingresso non invertente a quello invertente):



(*) o equivalentemente (se abbiamo messo il Vio sull'ingresso invertente)



$$i_3 = \underset{\text{per il c.c.v.}}{I^+ = 0} \Rightarrow V^+ = 0 = V^- \Rightarrow V_A = -V_{io} \Rightarrow i_1 = \frac{V_A}{R} = -\frac{V_{io}}{R} = \underset{\text{dato che } I^- = 0 \text{ per il c.c.v}}{i_2} \Rightarrow$$

$$V_u = Ri_1 + Ri_2 = 2R \cdot \left(-\frac{V_{io}}{R}\right) = -2V_{io}$$