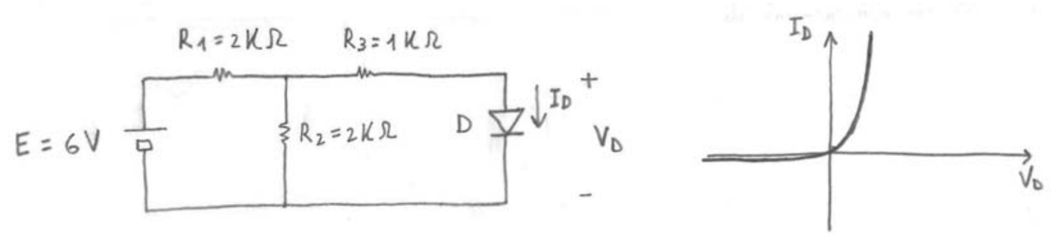
Scheda **A18_03**		Data: **20 febbraio 2018**
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

5 punti (4)

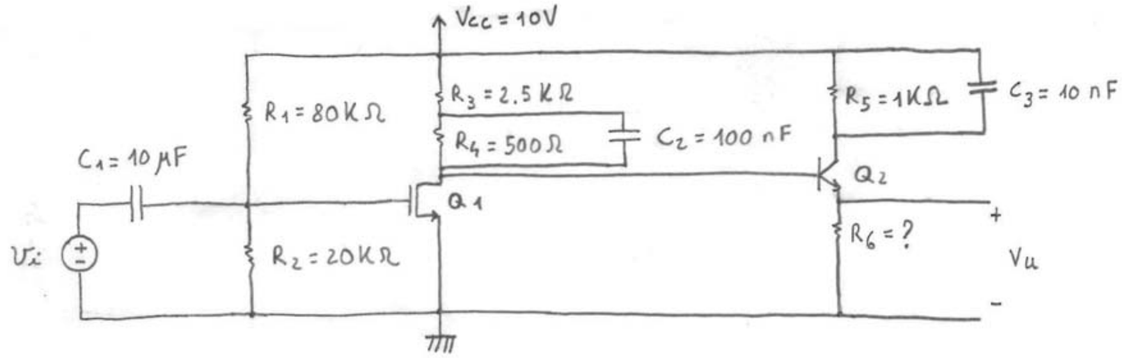
Con riferimento al circuito rappresentato a sinistra nella seguente figura, ricavare la corrente I_D e la tensione V_D nei seguenti due diversi modi:
a) prima ipotizzando il diodo ideale;
b) poi immaginando invece che sia nota graficamente la caratteristica corrente-tensione del diodo (curva rappresentata a destra in figura) e utilizzando il metodo della retta di carico (scrivere l'equazione della retta di carico, rappresentarla graficamente e spiegare la procedura da seguire per trovare I_D e V_D).



ESERCIZIO N°2

7.5 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, determinare il valore di R_6 sapendo che la tensione V_u a riposo vale 3.24 V. Determinare inoltre il punto di lavoro dei due transistori.



per Q_1: $V_T = 1\,V$, $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} = 2\,\frac{mA}{V^2}$

per Q_2: $h_{FE} = 149$

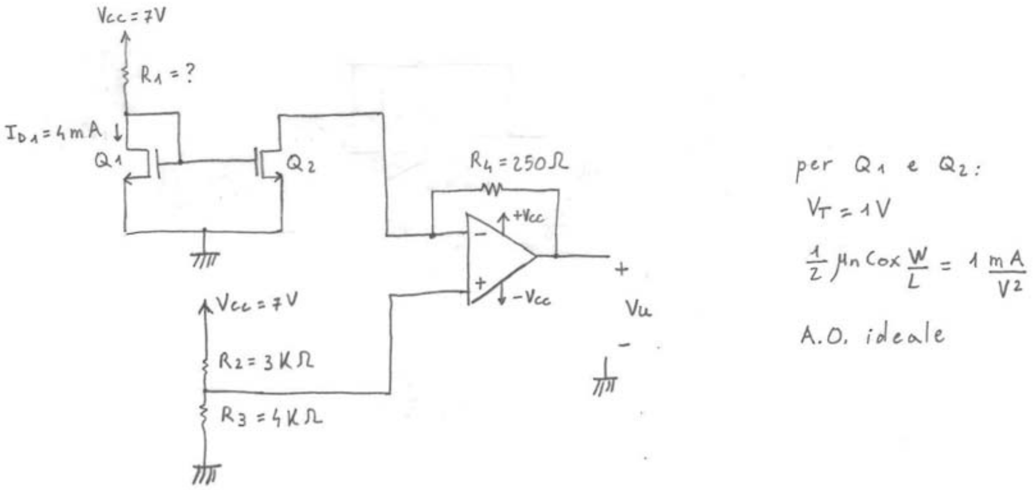
a riposo: $V_u = 3.24\,V$

ESERCIZIO N°3
7.5 punti (4)

Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma R_6=1 KΩ. Se ne ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s)=V_u/V_{in}$ ed il relativo diagramma di Bode del modulo. Per i due transistori, si considerino: per Q_1, g_m=4 mA/V, per Q_2, h_{ie}=5 KΩ, h_{fe}=200.

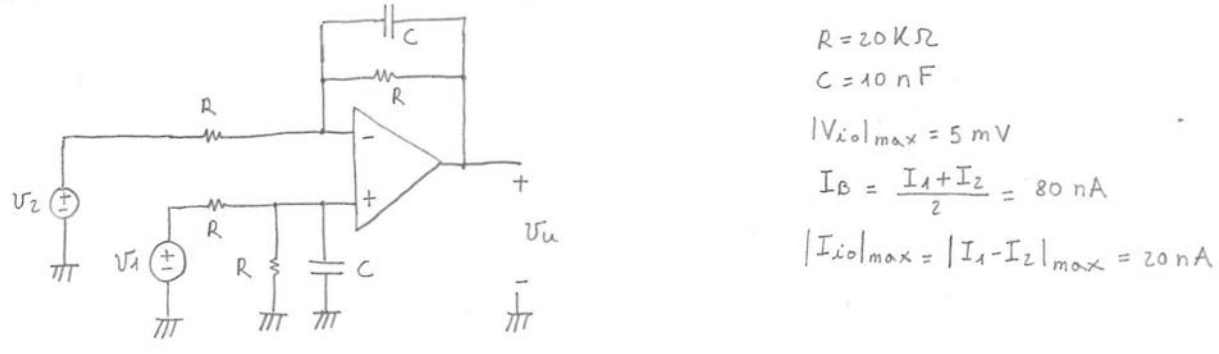
ESERCIZIO N°4
6.5 punti (4)

Nel circuito sottostante, determinare il valore di R_1 sapendo che la corrente I_{D1} è 4 mA. Inoltre valutare il corrispondente valore di V_u e verificare le ipotesi fatte su Q_1 e Q_2.

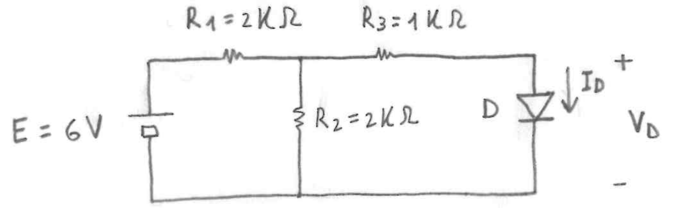


ESERCIZIO N°5
6.5 punti (4)

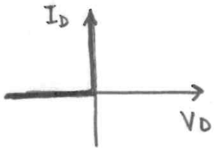
Ricavare il massimo sbilanciamento in uscita del circuito mostrato nella figura sottostante. A parte i generatori di sbilanciamento, si consideri l'amplificatore operazionale ideale. [Si ricorda che, al fine della determinazione del massimo sbilanciamento, v_1 e v_2 vanno disattivati.]



1)



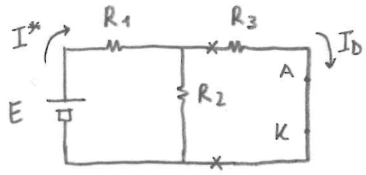
a) nell' ipotesi di diodo D ideale, cioè



:

ipotesi: D in conduzione

allora si sostituisca D con un cortocircuito

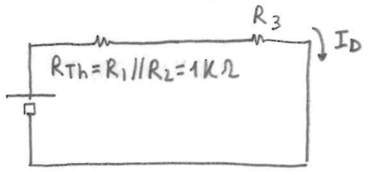


$$I^* = \frac{E}{R_1 + R_2 /\!/ R_3} = 2.25 \text{ mA}$$

$$I_D = I^* \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 1.5 \text{ mA}$$

(oppure facendo l'equivalente di Thevenin della parte a sinistra dei terminali indicati con "x":

$$V_{Th} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V$$

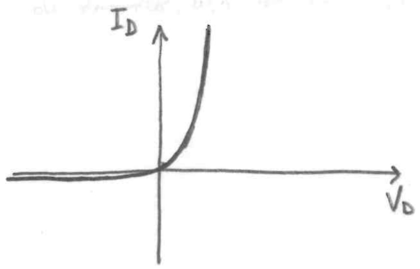


$$I_D = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_3} = 1.5 \text{ mA} \quad)$$

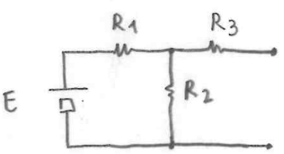
$I_D > 0 \rightarrow$ ipotesi verificata

$V_D = 0$

b) se conosciamo la caratteristica corrente - tensione del diodo in forma grafica

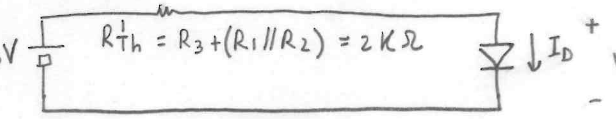


e vogliamo calcolare il punto di riposo usando il metodo della resistenza vista basta fare l'equivalente di Thevenin di ciò che si vede dai terminali del diodo, cioè di

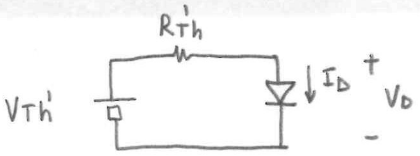


; la tensione di Thevenin (tensione a vuoto tra i terminali) è pari a $E \frac{R_2}{R_1+R_2}$; la resistenza di Thevenin (resistenza vista tra i terminali, con E disattivato) è $R_3 + (R_1 /\!/ R_2)$;

quindi abbiamo $V'_{Th} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V$



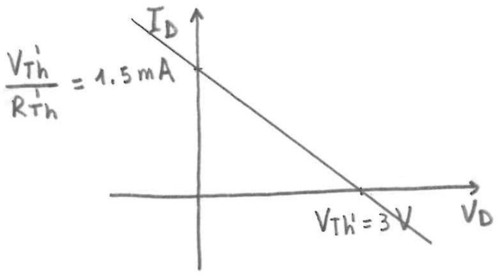
essendo il circuito



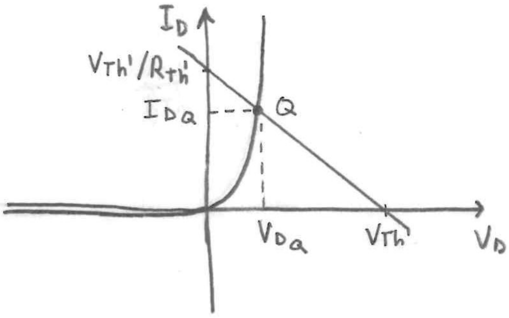
l'altra relazione tra I_D e V_D da mettere a sistema con la caratteristica corrente-tensione del diodo è quella che si ottiene facendo l'equilibrio delle tensioni alla maglia cioè

$$V'_{Th} = R'_{Th} I_D + V_D$$

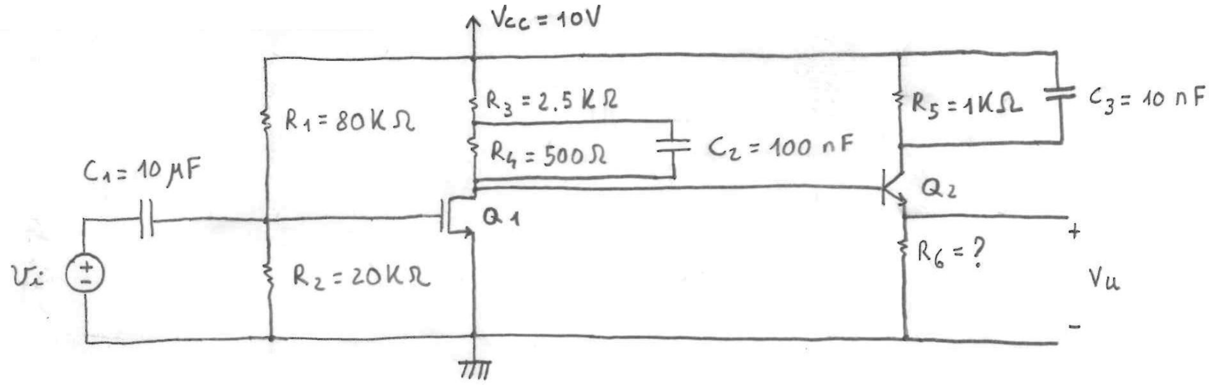
che nel piano I_D, V_D rappresenta una retta la cui intersezione con l'asse delle ascisse (cioè $I_D = 0$) è $V_D = V'_{Th}$ e la cui intersezione con l'asse delle ordinate (cioè $V_D = 0$) è $I_D = \frac{V'_{Th}}{R'_{Th}}$ cioè



l'intersezione di questa retta (retta di carico) con la caratteristica corrente-tensione del diodo dà il punto di lavoro del diodo, la cui ascissa e ordinata rappresentano rispettivamente la tensione e la corrente a riposo nel diodo D



2)

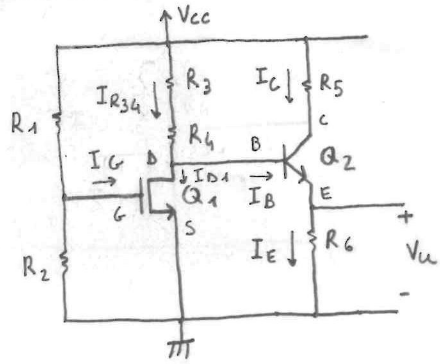


per Q_1: $V_T = 1V$, $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} = 2\frac{mA}{V^2}$

per Q_2: $h_{FE} = 149$

a riposo: $V_u = 3.24V$

In continua il circuito diventa:



$V_G = V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2} = 2V$ (dato che $I_G = 0$)

$V_{GS} = V_G - V_S = V_G = 2V > V_T = 1V$

ipotesi 1: Q_1 in saturazione

$I_D = K(V_{GS}-V_T)^2 = 2mA$

(con $K = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}$)

ipotesi 2: Q_2 in zona attiva diretta

$V_B = V_u + V_\gamma = 3.94V = V_D \rightarrow V_{DS} = V_D = 3.94V > V_{GS} - V_T = 1V \longrightarrow$ ipotesi 1 verificata

$I_{R34} = \frac{V_{CC}-V_B}{R_3+R_4} = 2.02\ mA$

$I_B = I_{R34} - I_{D1} = 20\ \mu A > 0$

$I_C = h_{FE}\, I_B = 2.98\ mA$

$I_E = (h_{FE}+1)\, I_B = 3\ mA$

$R_6 = \frac{V_u}{I_E} = 1080\ \Omega$

$V_C = V_{CC} - R_5 I_C = 7.02\ V$

$V_{CE} = V_C - V_E = V_C - V_u = 3.78V > V_{CE\,sat} \approx 0.2V \longrightarrow$ ipotesi 2 verificata

$\left[g_m = \left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right|_Q = 2K(V_{GS}-V_T) = 4\frac{mA}{V} \right]$ NON RICHIESTO

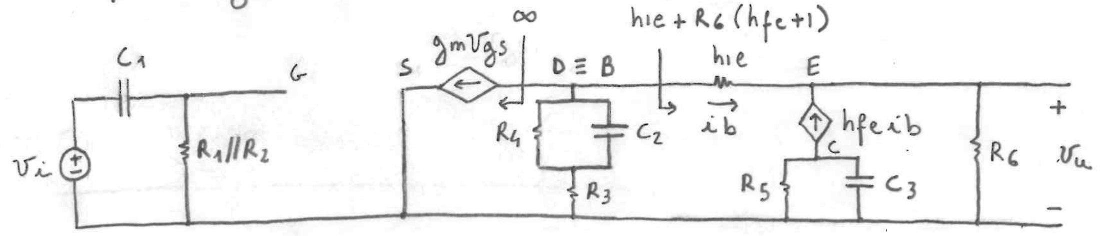
3) $R_6 = 1 K\Omega$

$g_m = 4 \frac{mA}{V}$

$h_{ie} = 5 K\Omega$

$h_{fe} = 200$

Per i piccoli segnali il circuito diventa:



essendoci 3 condensatori indipendenti e nessuna maglia impropria, ci sono 3 poli; essendo $A_v(\infty) \neq 0$, il numero degli zeri è uguale al numero dei poli e quindi pari a 3

$R_{VC_1} = R_1 // R_2 = 16 K\Omega$

$\omega_{P_1} = \frac{1}{C_1 R_{VC_1}} = 6.25 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P_1} = \frac{\omega_{P_1}}{2\pi} = 0.9947 \text{ Hz}$

C_1 introduce uno zero nell'origine perché sta in serie sull'unico percorso che porta sull'uscita l'effetto del segnale in ingresso →

$\omega_{z_1} = 0 \rightarrow f_{z_1} = 0$

$R_{VC_2} = R_4 // (R_3 + \infty // (h_{ie} + R_6(h_{fe}+1))) = R_4 // (R_3 + h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)) = 498.8038 \Omega$

$\omega_{P_2} = \frac{1}{C_2 R_{VC_2}} = 20'047.9616 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P_2} = \frac{\omega_{P_2}}{2\pi} = 3190.7322 \text{ Hz}$

C_2 introduce uno zero in corrispondenza della s per cui $R_3 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right) = 0$ perché in tal caso $v_d = v_b = 0 \rightarrow i_b = 0 \rightarrow v_u = 0$

$$R_3 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right) = R_3 + \frac{R_4 \frac{1}{C_2 s}}{R_4 + \frac{1}{C_2 s}} = R_3 + \frac{R_4}{1 + R_4 C_2 s} = \frac{R_3 + R_3 R_4 C_2 s + R_4}{1 + R_4 C_2 s} = 0 \rightarrow$$

$$R_3 + R_4 + R_3 R_4 C_2 s = 0 \rightarrow s = -\frac{R_3 + R_4}{R_3 R_4 C_2} = -\frac{1}{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} C_2} = -\frac{1}{(R_3 // R_4) C_2} \rightarrow$$

$$\omega_{z_2} = \frac{1}{(R_3 // R_4) C_2} = 24000 \text{ rad/s} \rightarrow f_{z_2} = \frac{\omega_{z_2}}{2\pi} = 3819.7186 \text{ Hz}$$

la tensione $v_u = R_6(h_{fe}+1) i_b$ ed i_b non è influenzato dal valore dell'impedenza che sta sul collettore (in quanto $i_b = \frac{v_b}{h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)}$), quindi C_3 non introduce singolarità o equivalentemente introduce un polo e uno zero coincidenti

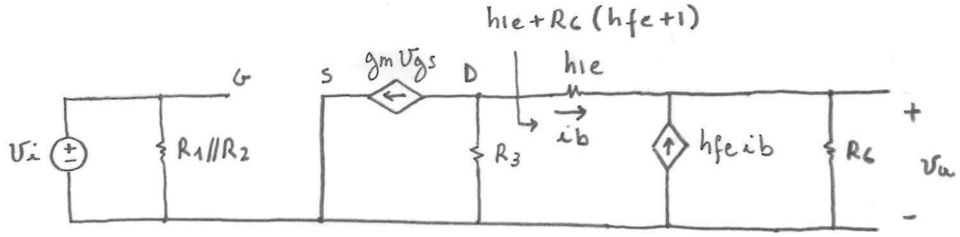
$R_{VC_3} = R_5 // \infty = R_5 = 1 K\Omega$

$\omega_{P_3} = \frac{1}{R_{VC_3} C_3} = 100\,000 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P_3} = \frac{\omega_{P_3}}{2\pi} = 15915.4943 \text{ Hz}$

e per quanto detto sopra $\omega_{z_3} = \omega_{P_3} \rightarrow f_{z_3} = f_{P_3}$

$$A_v(s) = A_v(\infty) \frac{\cancel{(s+\ldots)}\, s\, (s + \omega_{z_2})}{(s + \omega_{P_1})(s + \omega_{P_2})}$$

Per calcolare $A_v(\infty)$ sostituiamo C_1, C_2 e C_3 con dei cortocircuiti.



$$v_u = R_6\,(h_{fe}+1)\,i_b$$

$$i_b = -g_m\,v_{gs}\,\frac{R_3}{R_3 + h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)}$$

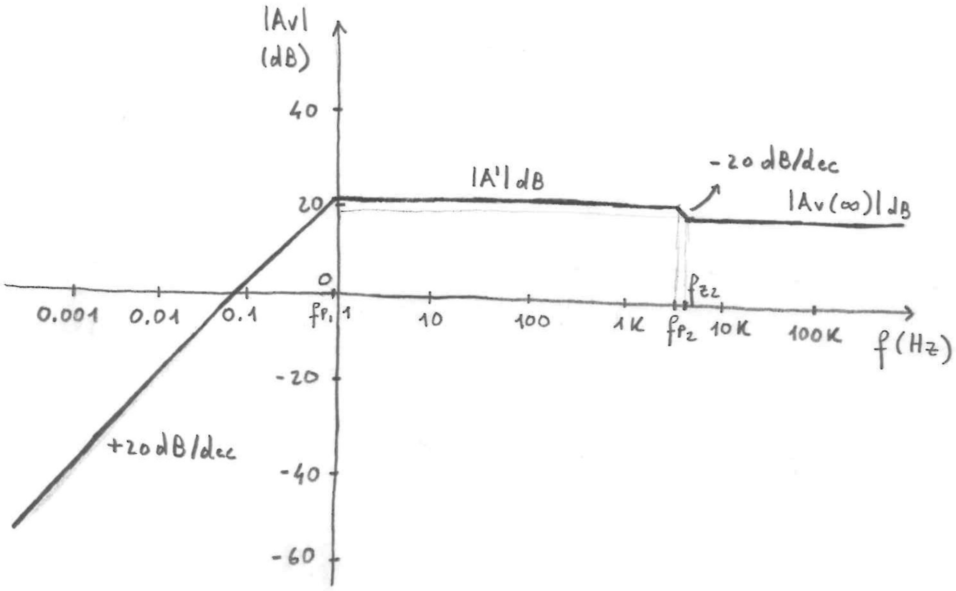
$$v_{gs} = v_g - v_s = v_g$$

$$v_g = v_i$$

$$A_v(\infty) = \frac{v_u}{v_i} = -\,R_6\,(h_{fe}+1)\,\frac{g_m R_3}{R_3 + h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)} = -9.6403$$

(negativo, come è giusto che sia dato che è la cascata di uno stadio a source comune, invertente, e di uno stadio a collettore comune, non invertente)

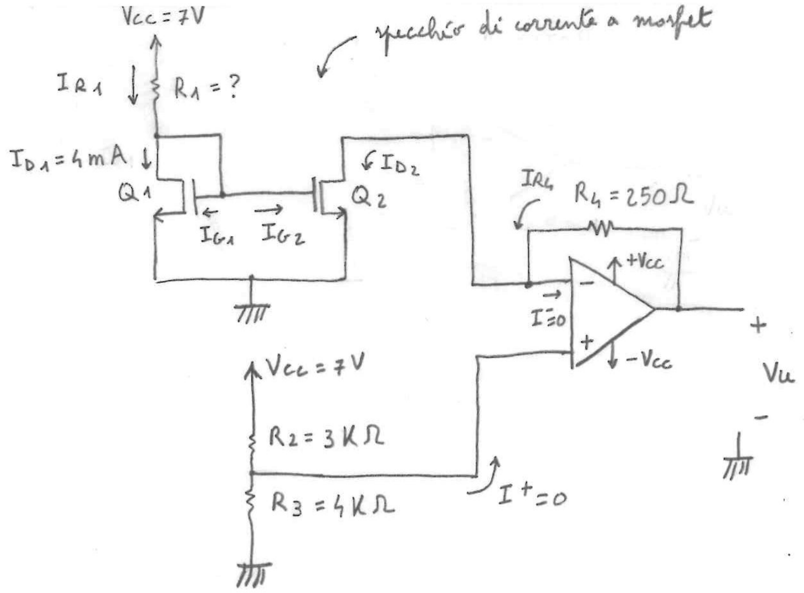
$$|A_v(\infty)|_{dB} = 19.6818\ dB$$



$$|A'| = |A_v(\infty)| \cdot \frac{f_{Z2}}{f_{P2}} = 11.5407$$

$$|A'|_{dB} = 21.2446\ dB$$

4)



per Q_1 e Q_2:

$V_T = 1V$

$\frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 1 \frac{mA}{V^2}$

A.O. ideale

$I_{D1} = 4mA$

ipotesi 1: Q_1 in saturazione

$$I_{D1} = K_1(V_{GS1} - V_{T1})^2 \rightarrow V_{GS1} = V_{T1} \pm \sqrt{\frac{I_{D1}}{K_1}} = 3V = V_{DS1} = V_{GS2}$$

$\left(K = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}\right)$

consideriamo il segno + perché in un nmos in conduzione $V_{GS} > V_T$

$V_{D1} = V_{DS1} + V_{S1} = V_{DS1} = 3V$

$I_{R1} = I_{D1} = 4mA$ perché $I_{R1} = I_{D1} + I_{G1} + I_{G2}$ e $I_{G1} = I_{G2} = 0$

$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_1} = 1K\Omega$

$\left.\begin{array}{l} V_{GS1} = 3V > V_{T1} = 1V \\ V_{DS1} = 3V > V_{GS1} - V_{T1} = 2V \end{array}\right\} \rightarrow$ ipotesi 1 verificata

ipotesi 2: Q_2 in saturazione

$I_{D2} = K_2(V_{GS2} - V_{T2})^2 = 4mA = I_{R4}$ (dato che $I^- = 0$ per il ccv)

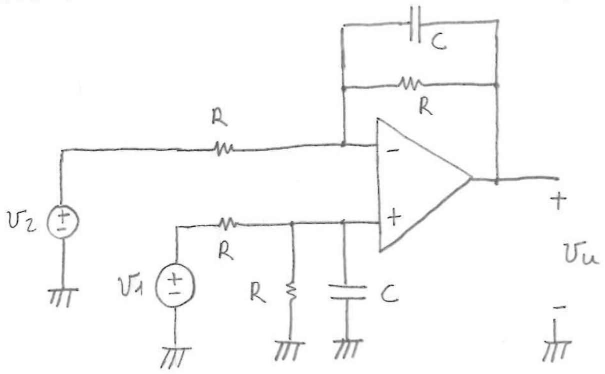
$V^+ = V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 4V$ (notare che R_2 e R_3 sono in serie dato che $I^+ = 0$ per il ccv)

$V^- = V^+ = 4V$ per il ccv

$\left.\begin{array}{l} V_{GS2} = 3V > V_{T2} = 1V \\ V_{DS2} = V^- = 4V > V_{GS2} - V_{T2} = 2V \end{array}\right\} \rightarrow$ ipotesi 2 verificata

$V_u = V^- + R_4 I_{R4} = 5V$

5)



$R = 20\,K\Omega$

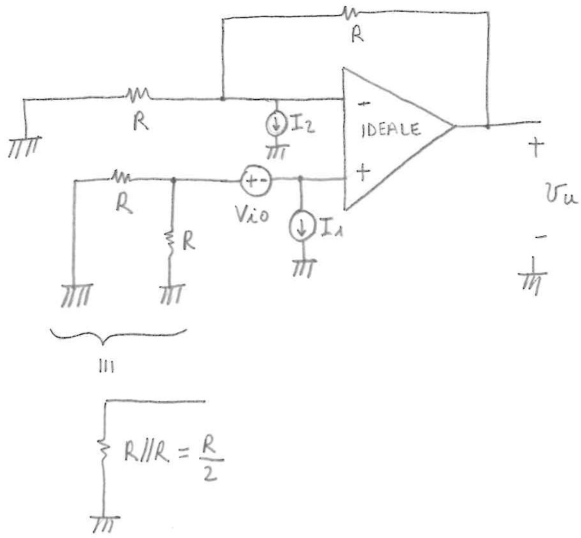
$C = 10\,nF$

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

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

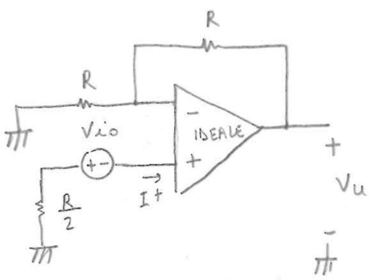
$|I_{io}|_{max} = |I_1 - I_2|_{max} = 20\,nA$

operando in continua e considerando solo l'effetto dei generatori di offset (disattivando quindi v_1 e v_2) abbiamo:



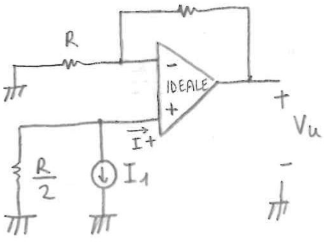
con la sovrapposizione degli effetti:

effetto di V_{io}:



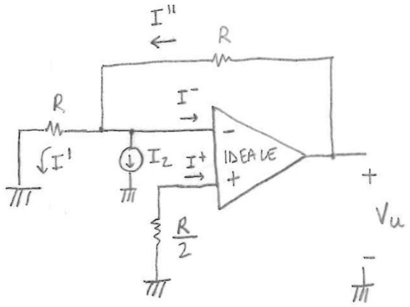
essendo $I^+ = 0$ (per il ccv) non c'è caduta su $\frac{R}{2}$, per cui $V^+ = -V_{io} \overset{\text{per il c.c.v.}}{=} V^-$ $\rightarrow$ $V_u = (-V_{io})\overbrace{\left(1 + \frac{R}{R}\right)}^{\text{amplificazione dell'amplificatore non invertente}} = -2V_{io}$

effetto di I_1:



essendo $I^+ = 0$ (per il ccv) da $\frac{R}{2}$ passa I_1, per cui $V^+ = -\frac{R}{2} I_1$ $\rightarrow$ $V_u = \left(-\frac{R}{2} I_1\right)\overbrace{\left(1 + \frac{R}{R}\right)}^{\text{amplificazione dell'amplificatore non invertente}} = -R I_1$

effetto di I_2:



essendo $I^+ = 0$ (per il ccv) su $\frac{R}{2}$ non scorre corrente → $V^+ = 0 \overset{\text{per il c.c.v.}}{\underset{\uparrow}{=}} V^-$ → la differenza di potenziale ai capi della R a sinistra è nullo → $I' = 0$ → essendo anche $I^- = 0$ (per c.c.v), $I'' = +\underset{0}{\underset{\parallel}{I'}} + I_2 + \underset{0}{\underset{\parallel}{I^-}} = I_2$ →

$V_u = V^- + R I'' = R I_2$

complessivamente

$V_u = -2 V_{io} - R I_1 + R I_2 = -2 V_{io} + R (I_2 - I_1)$

$$\begin{cases} I_B = \dfrac{I_1 + I_2}{2} \\ I_{io} = I_1 - I_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} I_1 + I_2 = 2 I_B \\ I_1 - I_2 = I_{io} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} 2 I_1 = 2 I_B + I_{io} \\ 2 I_2 = 2 I_B - I_{io} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} I_1 = I_B + \dfrac{I_{io}}{2} \\ I_2 = I_B - \dfrac{I_{io}}{2} \end{cases}$$

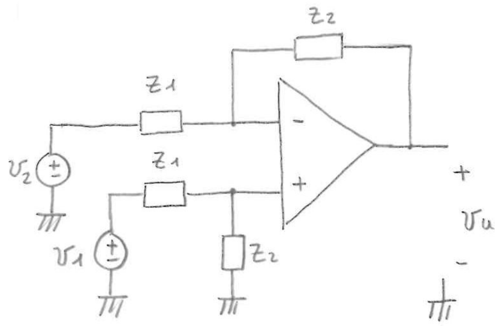
$V_u = -2 V_{io} + R (-I_{io}) = -2 V_{io} - R I_{io}$

quindi $|V_u|_{max}$ si ottiene sia per $V_{io} = 5\,mV$ e $I_{io} = 20\,nA$
che per $V_{io} = -5\,mV$ e $I_{io} = -20\,nA$

ed è pari a:

$|V_u|_{max} = +2 \cdot 5\,mV + 20\,K\Omega \cdot 20\,nA = 10.4\,mV$

NON RICHIESTO



$$v_u = \underbrace{\left(v_1 \frac{Z_2}{Z_1+Z_2}\right)\left(1+\frac{Z_2}{Z_1}\right)}_{} + v_2\left(-\frac{Z_2}{Z_1}\right) = \frac{Z_2}{Z_1}(v_1-v_2)$$

$$v_1 \frac{Z_2}{\cancel{Z_1+Z_2}} \frac{\cancel{Z_1+Z_2}}{Z_1} =$$

$$= v_1 \frac{Z_2}{Z_1}$$

qui in particolare $Z_1 = R$

$$Z_2 = R \,//\, \frac{1}{CS} = \frac{R \cdot \frac{1}{CS}}{R + \frac{1}{CS}} = \frac{R}{1+RCS} \rightarrow \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{1}{1+RCS} \rightarrow v_u = \frac{1}{1+RCS}(v_1-v_2)$$