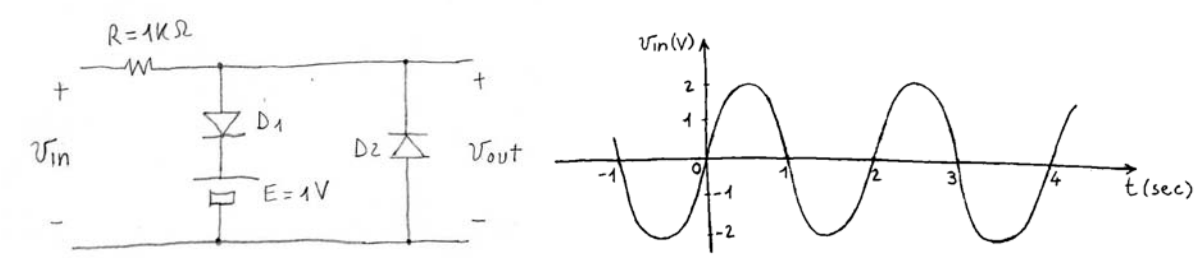
Scheda **A17_07**		Data: **21 luglio 2017**
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

6 punti (4)

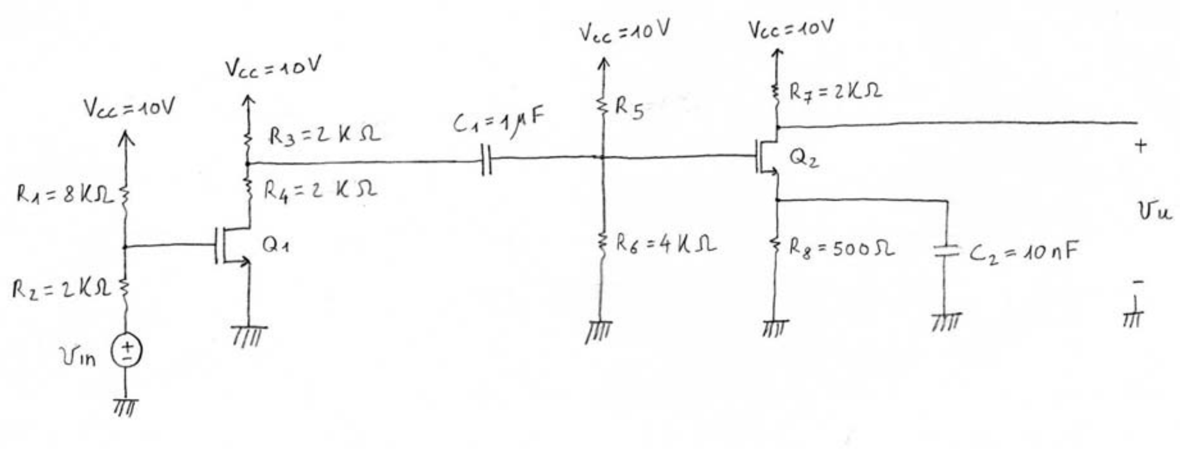
Si disegni la caratteristica ingresso/uscita del circuito rappresentato nella parte sinistra della figura. Si determini inoltre l'andamento nel tempo della tensione di uscita $v_u(t)$ nel caso in cui la tensione di ingresso $v_{in}(t)$ sia il segnale sinusoidale rappresentato nella parte destra della figura (cioè $v_{in}(t)=V_m \sin(\omega t)$ con V_m=2 V e $\omega=\pi$ rad/s). Si considerino i diodi ideali.



ESERCIZIO N°2

7.5 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, ricavare il valore della resistenza R_5 sapendo che la tensione di uscita V_u a riposo è pari a 6 V. ***Determinare inoltre*** il punto di lavoro dei transistori Q_1 e Q_2.



PER Q_1: $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W_1}{L_1} = 1 \frac{mA}{V^2}$

$V_{T_1} = 1V$

PER Q_2: $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W_2}{L_2} = 0.5 \frac{mA}{V^2}$

$V_{T_2} = 1V$

ESERCIZIO N°3

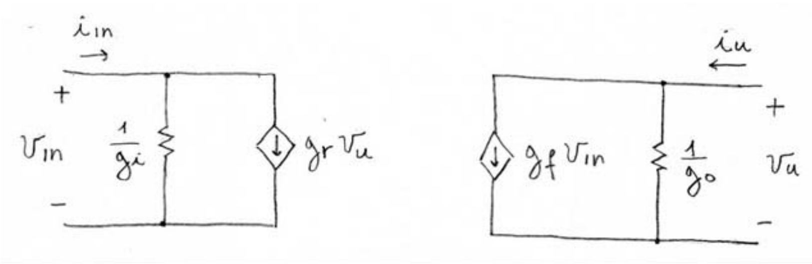
7.5 punti (4)

Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma R_5=4 KΩ. Se ne ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s)=V_u/V_{in}$ e se ne grafichi il diagramma di Bode del modulo. Per entrambi i transistori si consideri g_m=2 mA/V.

ESERCIZIO N°4

6 punti (4)

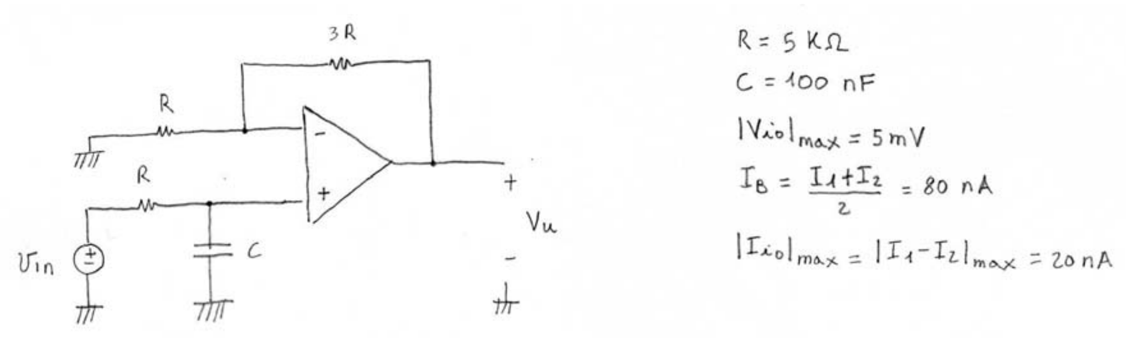
Si ricavino i parametri f_f e f_o per il circuito mostrato in figura (che, per inciso, rappresenta l'equivalente a parametri g di un quadripolo qualsiasi).



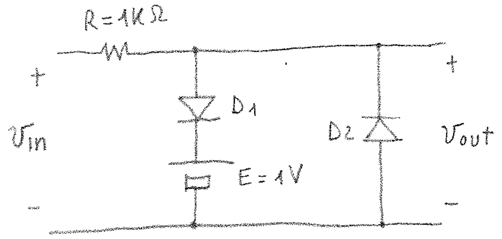
ESERCIZIO N°5

6 punti (4)

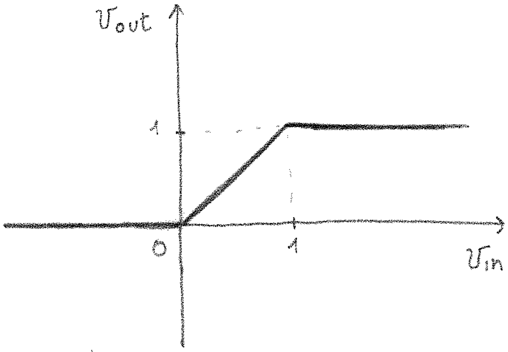
Ricavare il massimo sbilanciamento in uscita del circuito mostrato in figura. A parte i generatori di sbilanciamento, si consideri l'amplificatore operazionale ideale.



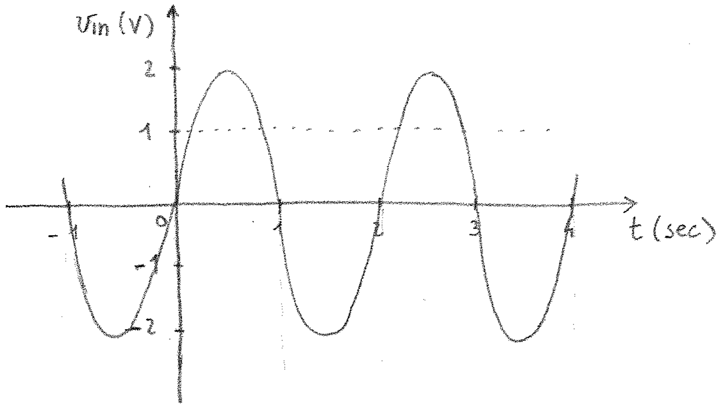
1)



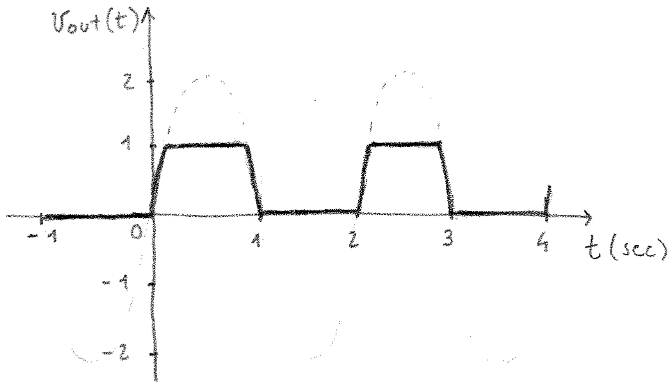
per $v_{in} \leq 0$ D2 conduce e D1 è interdetto $\rightarrow V_{out} = 0$
per $0 < v_{in} < 1$ D2 è interdetto e D1 è interdetto $\rightarrow V_{out} = V_{in}$
per $v_{in} \geq 1$ D2 è interdetto e D1 conduce $\rightarrow V_{out} = 1V$



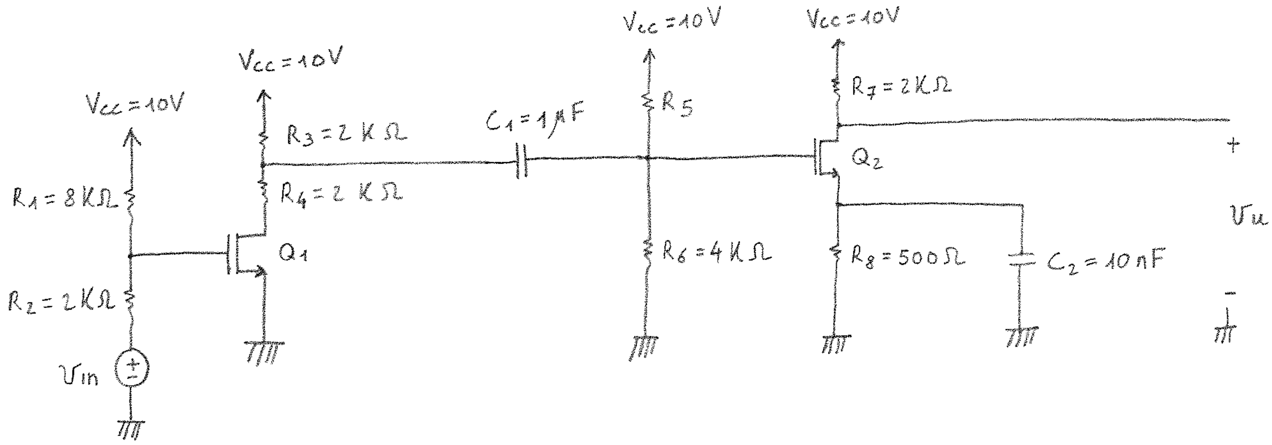
se $v_{in}(t) = V_M \operatorname{sen}(\omega t)$ con $V_M = 2V$ e $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\,sec} = \pi$ rad/s



allora la $v_{out}(t)$ sarà pari a 0 per $v_{in}(t) \leq 0$, sarà pari a $v_{in}(t)$ per $0 \leq v_{in}(t) \leq 1$ e sarà pari a 1 per $v_{in}(t) \geq 1$:



2)



PER Q_1: $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W_1}{L_1} = 1 \frac{mA}{V^2}$

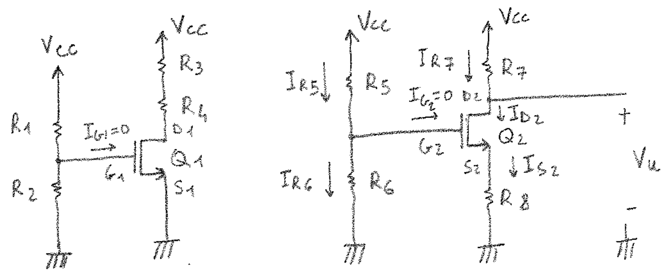
$V_{T_1} = 1V$

PER Q_2: $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W_2}{L_2} = 0.5 \frac{mA}{V^2}$

$V_{T_2} = 1V$

A RIPOSO: $V_u = 6V$

In continua il circuito diventa:



$$I_{R7} = \frac{V_{cc} - V_u}{R_7} = 2\,mA = I_{D_2} = I_{S_2}$$

dato che $I_{G_2} = 0$

$V_{S2} = R_8 I_{S2} = 1V$

ipotesi 1: Q_2 in saturazione

$I_{D2} = K_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2 \rightarrow$ $V_{GS2} = V_{T2} \pm \sqrt{\frac{I_{D2}}{K_2}} = 3V$

$\hookrightarrow = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox} \frac{W_2}{L_2} = 0.5 \frac{mA}{V^2}$

essendo un mos a canale n deve essere $V_{GS2} > V_{T2}$

$V_{G2} = V_{GS2} + V_{S2} = 4V$

$I_{R6} = \frac{V_{G2}}{R_6} = 1mA = I_{R5}$

dato che $I_{G2} = 0$

$R_5 = \frac{V_{cc} - V_{G2}}{I_{R5}} = 6\,K\Omega$

$V_{S2} = R_8 I_{S2} = 1V$

$V_{GS2} = 3V > V_{T2} = 1V$

$V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} = V_u - V_{S2} = 5V > V_{GS2} - V_{T2} = 2V$

$\} \rightarrow$ ipotesi 1 verificata

$\left[g_{m2} = 2K (V_{GS2} - V_{T2}) = 2 \frac{mA}{V} \right]$ NON RICHIESTO

$I_{G1} = 0 \rightarrow R_1$ e R_2 sono in serie (cioè attraversate dalla stessa corrente) $\rightarrow V_{G1} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = 2V$

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

ipotesi 2: Q_1 in saturazione

$I_{D1} = K_1 (V_{GS1} - V_{T1})^2 = 1\,mA$

$\hookrightarrow = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W_1}{L_1} = 1 \frac{mA}{V^2}$

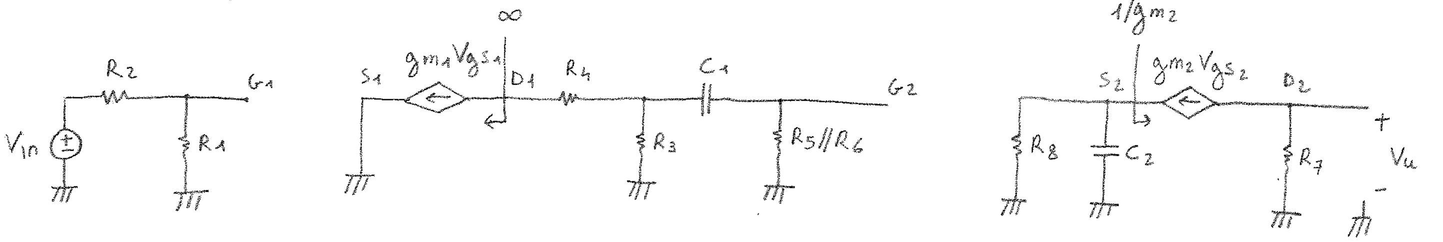
$V_{D1} = V_{CC} - (R_3 + R_4) I_{D1} = 6V$

$V_{S1} = 0 \rightarrow V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 6V$

$$\left.\begin{array}{l} V_{GS1} = 2V > V_{T1} = 1V \\ V_{DS1} = 6V > V_{GS1} - V_{T1} = 1V \end{array}\right\} \rightarrow \text{ipotesi 2 soddisfatta}$$

$\left[g_{m1} = 2K (V_{GS1} - V_{T1}) = 2 \frac{mA}{V} \right]$ NON RICHIESTO

3) Per i piccoli segnali il circuito diventa: $R_5 = 4K\Omega$; $g_{m1} = 2\,\frac{mA}{V}$; $g_{m2} = \frac{2mA}{V}$



essendoci 2 condensatori e nessuna maglia impropria, ci saranno due poli
essendo $A_V(\infty) \neq 0$, il numero degli zeri sarà pari al numero dei poli, cioè pari a due

$$R_{VC1} = R_3 + (R_5 // R_6) = 4000\,\Omega$$

$\downarrow$

la resistenza vista dal drain di Q_1 verso sinistra è ∞ (perché quando si spegne Vin si ha che $V_{g1} = 0 \rightarrow V_{gs1} = 0 \rightarrow g_{m1} V_{gs1} = 0$)

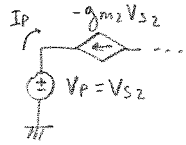
$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 250 \text{ rad/s} \longrightarrow f_{P1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 39.789 \text{ Hz}$$

C_1 è in serie sull'unico percorso che porta in uscita l'effetto del segnale $\rightarrow \omega_{z1} = 0 \rightarrow f_{z1} = 0$

$$R_{VC2} = R_8 // \frac{1}{g_{m2}} = 250\,\Omega$$

$\downarrow$

[Vin è disattivato $\rightarrow V_{g2} = 0 \rightarrow g_{m2} V_{gs2} = -g_{m2} V_{s2}$
quindi la resistenza vista dal source verso destra è $\frac{1}{g_{m2}}$



$$R_V = \frac{V_P}{I_P} = \frac{V_{S2}}{g_{m2} V_S} = \frac{1}{g_{m2}}$$]

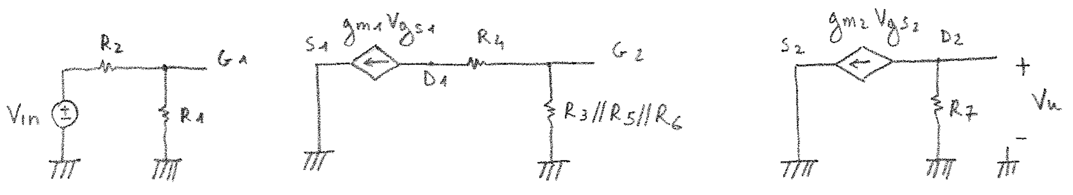
$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 400'000 \text{ rad/s} \longrightarrow f_{P2} = 63'661.977 \text{ Hz}$$

C_2 introduce uno zero in corrispondenza del valore di s per cui $R_8 // \frac{1}{C_2 s} = \infty \longrightarrow \dfrac{R_8 \frac{1}{C_2 s}}{R_8 + \frac{1}{C_2 s}} = \dfrac{R_8}{1 + R_8 C_2 s} = \infty \rightarrow$

$$1 + R_8 C_2 s = 0 \longrightarrow s = -\frac{1}{R_8 C_2} \longrightarrow \omega_{z2} = \frac{1}{R_8 C_2} = 200'000 \text{ rad/s} \longrightarrow f_{z2} = 31'830.989 \text{ Hz}$$

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

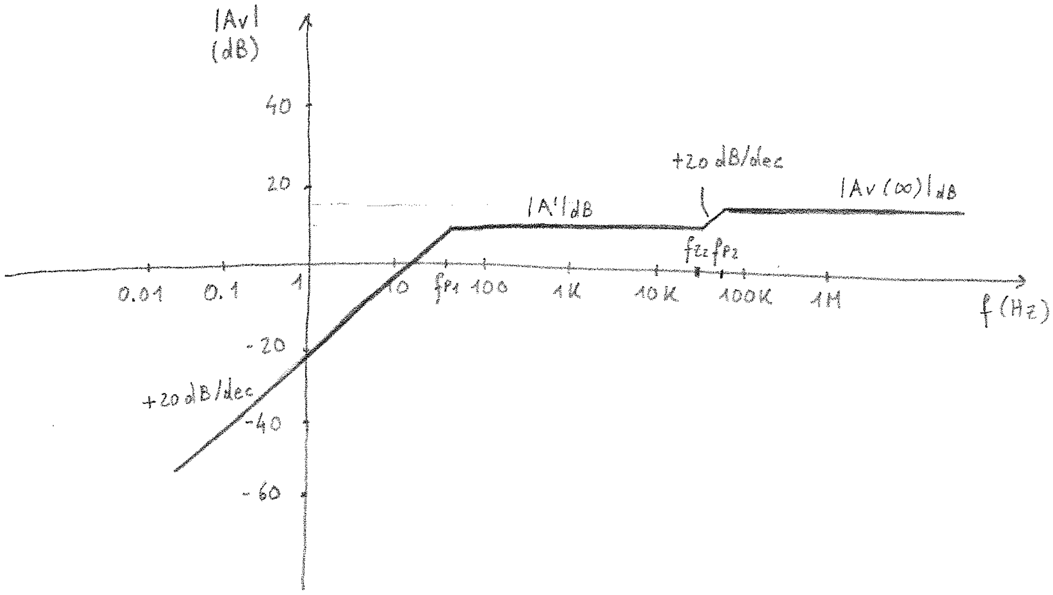
Per calcolare $A_V(\infty)$ chiudiamo C_1 e C_2:



$$V_u = -g_{m2} V_{gs2} R_7$$
$$V_{gs2} = V_{g2} - V_{s2} = V_{g2}$$
$$V_{g2} = -g_{m1} V_{gs1} (R_3 // R_5 // R_6)$$
$$V_{gs1} = V_{g1} - V_{s1} = V_{g1} = V_{in} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$A_V(\infty) = \frac{V_u}{V_{in}} = g_{m2} R_7 \, g_{m1} (R_3 // R_5 // R_6) \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 6.4$$

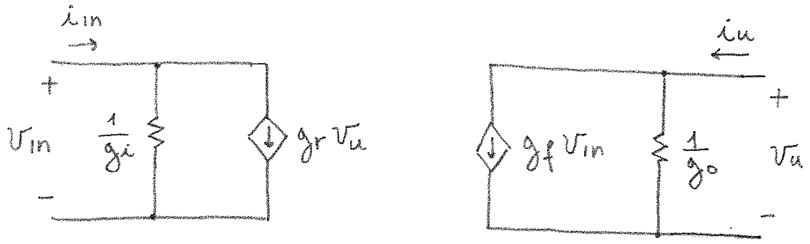
$$|A_V(\infty)|_{dB} = 16.1236 \text{ dB}$$



$$|A'| = |A_v(\infty)| \; \frac{f_{z2}}{f_{p2}} = 3.2$$

$$|A'|_{dB} = 10.103 \text{ dB}$$

4)

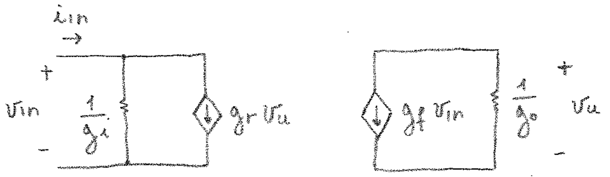


$$\begin{cases} v_u = f_f \, v_{in} + f_o \, i_u \\ i_{in} = f_i \, v_{in} + f_r \, i_u \end{cases}$$

$$f_f = \left.\frac{v_u}{v_{in}}\right|_{i_u=0} \qquad f_o = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_{in}=0}$$

$$\left[\; f_i = \left.\frac{i_{in}}{v_{in}}\right|_{i_u=0} \qquad f_r = \left.\frac{i_{in}}{i_u}\right|_{v_{in}=0} \;\right]$$ NON RICHIESTO

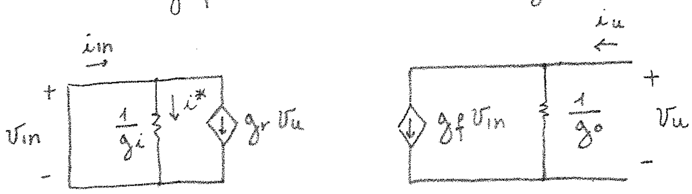
$i_u = 0$ significa lasciare aperta l'uscita



$$v_u = -g_f v_{in} \cdot \frac{1}{g_o} \;\rightarrow\; f_f = \left.\frac{v_u}{v_{in}}\right|_{i_u=0} = -\frac{g_f}{g_o}$$

$$\left[\; i_{in} = \frac{v_{in}}{1/g_i} + g_r v_u = g_i v_{in} + g_r\left(-\frac{g_f}{g_o} v_{in}\right) = \left(g_i - \frac{g_r g_f}{g_o}\right) v_{in} \rightarrow \quad f_i = \left.\frac{i_{in}}{v_{in}}\right|_{i_u=0} = g_i - \frac{g_r g_f}{g_o} \;\right]$$ NON RICHIESTO

$v_{in} = 0$ significa cortocircuitare l'ingresso

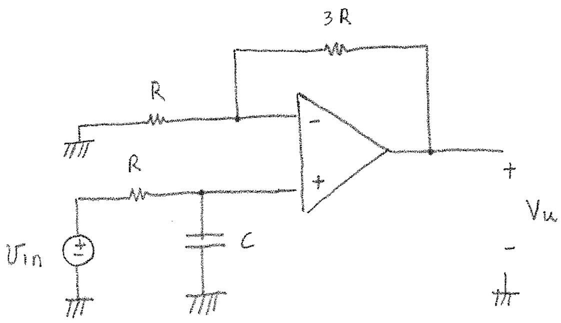


$$v_{in} = 0 \rightarrow g_f v_{in} = 0$$

$$v_u = \frac{1}{g_o} i_u \;\rightarrow\; f_o = \frac{v_u}{i_u} = \frac{1}{g_o}$$

$$\left[\; \begin{array}{l} v_{in} = 0 \rightarrow i^* = \frac{v_{in}}{1/g_i} = 0 \\ i_{in} = g_r v_u = g_r \frac{i_u}{g_o} \;\rightarrow\; f_r = \frac{i_{in}}{i_u} = \frac{g_r}{g_o} \end{array} \;\right]$$ NON RICHIESTO

5)



$R = 5\,K\Omega$

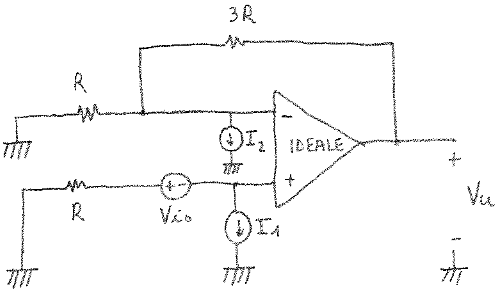
$C = 100\ nF$

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

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

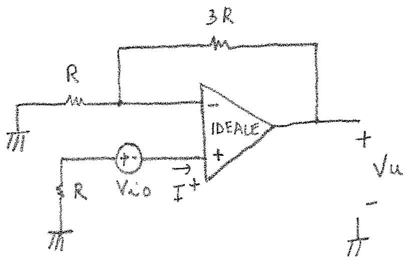
$|I_{io}|_{max} = |I_1 - I_2|_{max} = 20\,nA$

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



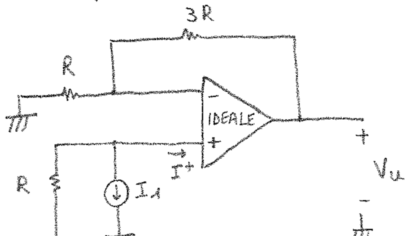
usando il principio di sovrapposizione degli effetti:

effetto di V_{io}:



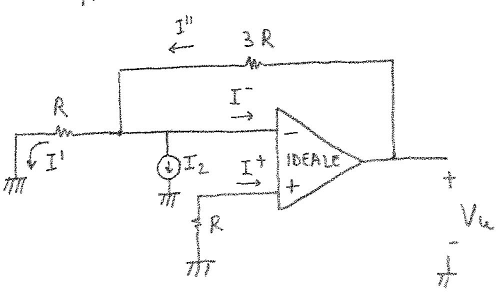
essendo $I^+ = 0$ (per il ccv) non c'è caduta su R, per cui $V^+ = -V_{io} \overset{\text{per il ccv}}{=} V^- \rightarrow V_u = (-V_{io})\underbrace{\left(1 + \frac{3R}{R}\right)}_{\text{amplificazione dell'amplificatore non invertente}} = -4V_{io}$

effetto di I_1:



essendo $I^+ = 0$ (per il ccv) da R passa I_1, per cui $V^+ = -RI_1 \rightarrow V_u = (-RI_1)\underbrace{\left(1 + \frac{3R}{R}\right)}_{\text{amplificazione dell'amplificatore non invertente}} = -4RI_1$

effetto di I_2:



essendo $I^+ = 0$ (per il ccv) su R non scorre corrente $\rightarrow V^+ = 0 \overset{\text{per il ccv}}{=} V^- \rightarrow$ la differenza di potenziale ai capi della R più a sinistra è nulla $\rightarrow I' = 0 \rightarrow$ essendo anche $I^- = 0$ (per il ccv), $I'' = \underset{0}{I'} + I_2 + \underset{0}{I^-} = I_2 \rightarrow$
$V_u = V^- + 3RI_2 = 3RI_2$

complessivamente

$V_u = -4V_{io} - 4RI_1 + 3RI_2$

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

$$V_u = -4V_{io} - 4R\left(I_B + \frac{I_{io}}{2}\right) + 3R\left(I_B - \frac{I_{io}}{2}\right) = -4V_{io} + (-4R+3R)I_B + (-4R-3R)\frac{I_{io}}{2} = -4V_{io} - RI_B - \frac{7}{2}RI_{io}$$

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 $-RI_B = -0.4\,mV$;
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 $I_{io} = +20\,nA$, ottenendo così che

$$|V_u|_{max} = \left|-4\cdot 5\,mV - 0.4\,mV - \frac{7}{2}\cdot 5\,K\Omega \cdot 20\,nA\right| = |-20.75\,mV| = 20.75\,mV$$