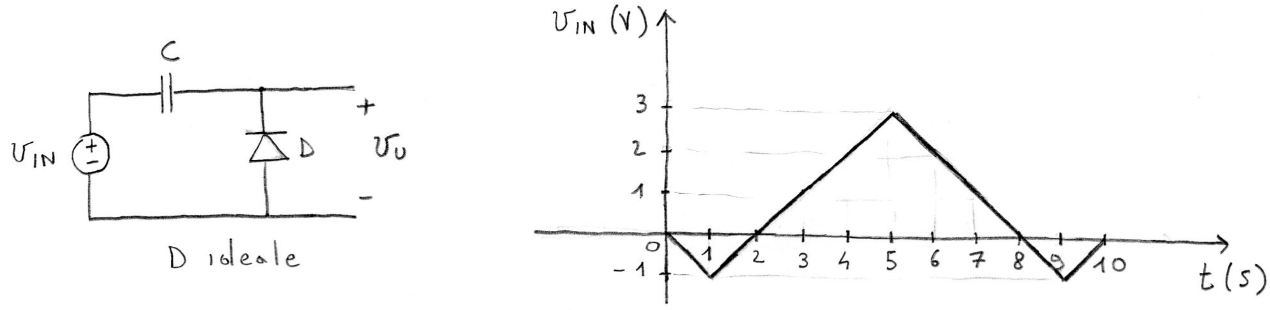
Scheda: **A21_07**	Data: **21 luglio 2021**

Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

6.5 punti (4)

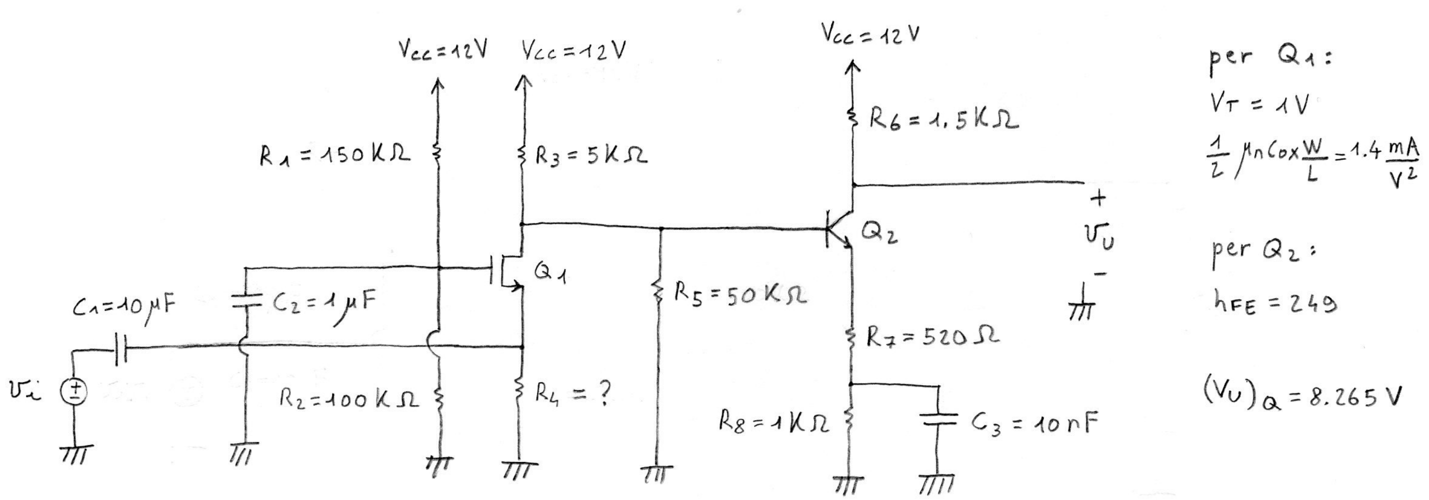
Si consideri il circuito rappresentato a sinistra in figura. Ipotizzando il condensatore inizialmente scarico, si ricavi passo passo e si disegni l'andamento nel tempo, per $0 \le t \le 10$ s, della tensione $v_U(t)$ in uscita da tale circuito quando in ingresso al circuito si applica la tensione $v_{IN}(t)$ il cui andamento nel tempo è rappresentato a destra in figura. In particolare, si specifichi in quali intervalli di tempo il diodo conduce e in quali è interdetto (e lo si verifichi). Si consideri il diodo ideale.



ESERCIZIO N°2

7 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, ipotizzando Q_1 (transistore MOS a canale n) in saturazione e Q_2 (transistore BJT npn) in zona attiva diretta e sapendo che la tensione V_U di uscita a riposo è pari a 8.265 V, si ricavi il valore della resistenza R_4. Si determini il punto di lavoro di Q_1 e Q_2 e si verifichino le ipotesi fatte sullo stato dei due transistori.

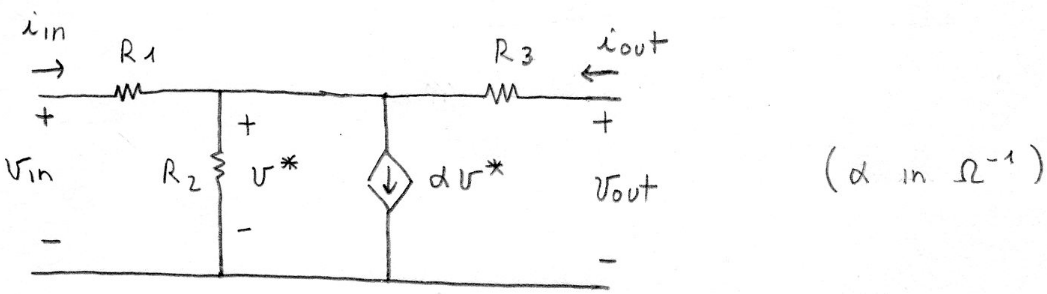


ESERCIZIO N°3
7.5 punti (4)

Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma $R_4 = 2.5$ KΩ. Considerando per Q_1: $g_m = 3$ mA/V e per Q_2: $h_{ie} = 4$ KΩ, $h_{fe} = 300$, se ne ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s) = V_u/V_i$ (calcolando separatamente poli, zeri e costante moltiplicativa). Il diagramma di Bode non è richiesto.

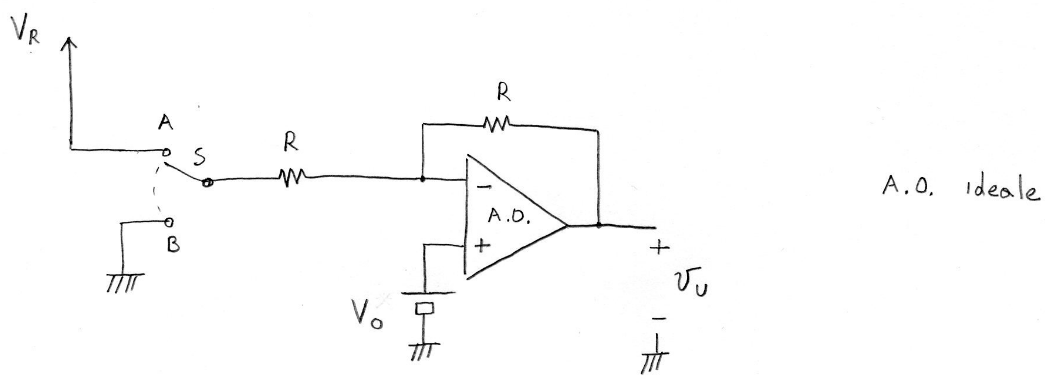
ESERCIZIO N°4
6.5 punti (4)

Si ricavino i parametri r_f e r_i del quadripolo mostrato in figura (le porte di ingresso e di uscita del quadripolo sono quelle alle quali in figura sono prese, rispettivamente, le tensioni v_{in} e v_{out}). α è un coefficiente moltiplicativo espresso in Ω^{-1}.

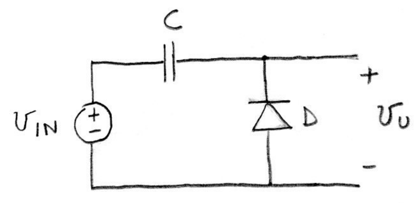


ESERCIZIO N°5
5.5 punti (4)

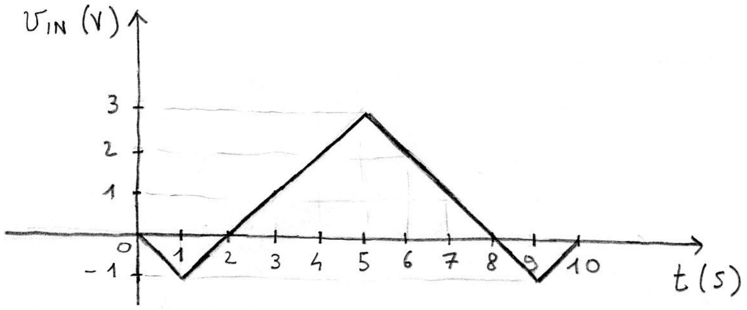
Si consideri il seguente circuito, in cui S è un interruttore (o meglio deviatore) il cui terminale destro è fisso e il cui terminale sinistro può essere collegato alternativamente al nodo A o al nodo B. Si calcoli, in termini delle quantità V_R, V_0 e R, il valore della tensione in uscita V_U per le due possibili posizioni del deviatore (in A e in B). Si consideri l'amplificatore operazionale ideale.



1)



D ideale

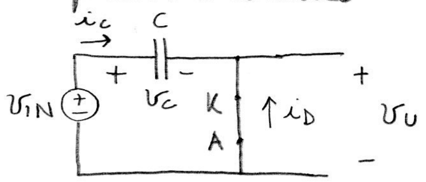


C inizialmente scarico;

per $t=0$ $v_U = v_{IN} - v_C = v_{IN} = 0$;

poi per t maggiori inizialmente la v_{IN} decresce e diventa negativa; visto che la tensione sull'anodo rispetto al nodo inferiore è nulla, l'ipotesi più probabile è che il diodo D conduca

ipotesi: D conduce



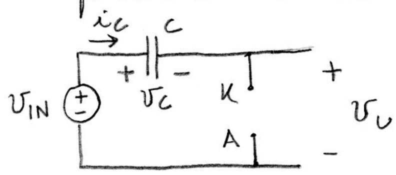
$v_U = 0$

$v_C = v_{IN} - 0 = v_{IN}$

verifica dell'ipotesi: $i_D = -i_C = -C\frac{dv_C}{dt} = -C\frac{dv_{IN}}{dt} > 0 \rightarrow \frac{dv_{IN}}{dt} < 0$, vero fino a $t = 1s$;

dopo $t = 1s$ quest'ipotesi viene meno, quindi ipotizziamo che il diodo sia interdetto

ipotesi: D interdetto



la maglia è aperta $\rightarrow i_C = C\frac{dv_C}{dt} = 0 \rightarrow v_C$ costante e pari al valore che aveva all'inizio di questa fase, cioè alla fine della fase precedente, cioè a $v_{IN}(1s) = -1V$

$v_U = v_{IN} - v_C = v_{IN} + 1V$

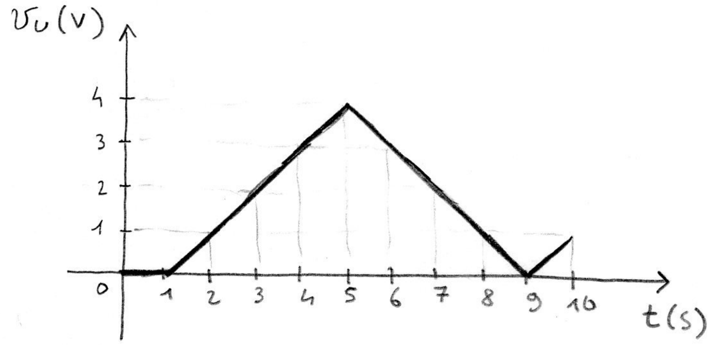
verifica dell'ipotesi: $v_{AK} = v_A - v_K = -(v_{IN} - v_C) = -(v_{IN} + 1V) = -v_{IN} - 1V < 0 \rightarrow$ $v_{IN} > -1V$, vero sicuramente fino a $t = 10s$ (ultimo istante da considerare)

Quindi:

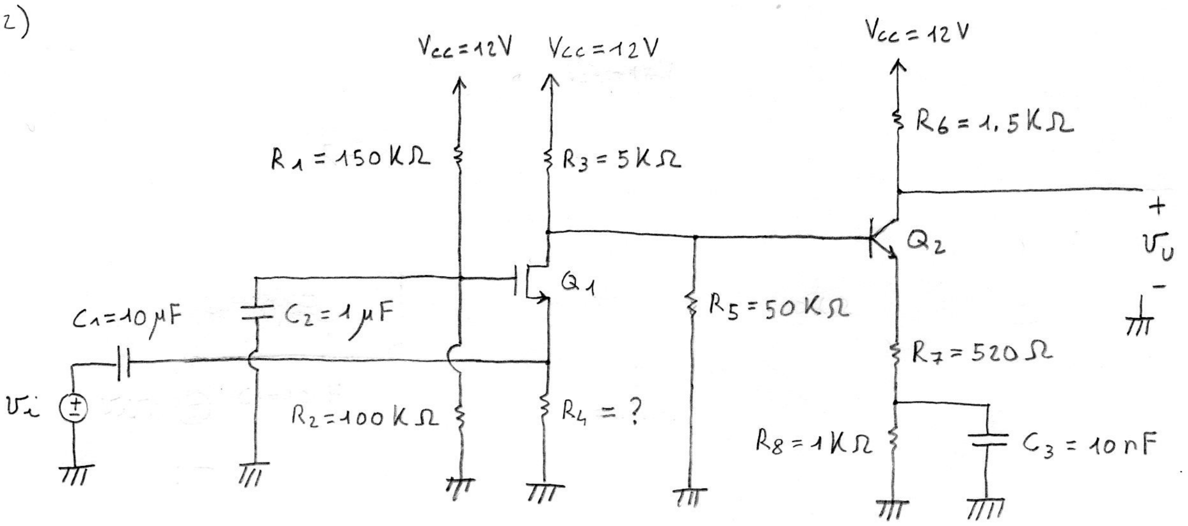
per $0 < t < 1s$: D conduce e $v_U = 0$

per $1s < t < 10s$: D interdetto e $v_U = v_{IN} + 1V$

È un fissatore in basso a zero.



2)



per Q_1:

$V_T=1V$

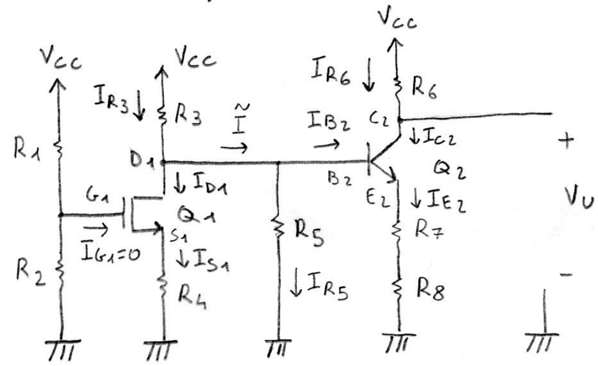
$\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}=1.4\frac{mA}{V^2}$

per Q_2:

$h_{FE}=249$

$(V_U)_Q=8.265V$

in continua:



$V_{C2}=V_U=8.265V$

$I_{R6}=\frac{V_{CC}-V_U}{R_6}=2.49\ mA=I_{C2}$

ipotesi 1: Q_2 in zona attiva diretta

$I_{B2}=\frac{I_{C2}}{h_{FE}}=10\mu A>0$

$I_{E2}=I_{B2}(h_{FE}+1)=2.5\ mA$

$V_{E2}=(R_7+R_8)I_{E2}=3.8V$

$V_{CE2}=V_{C2}-V_{E2}=4.465V>V_{CEsat}\approx 0.1V$

ipotesi 1 verificata

$V_{B2}=V_{E2}+V_\gamma=4.5V=V_{D1}$

$I_{R5}=\frac{V_{B2}}{R_5}=90\mu A$

$\tilde{I}=I_{R5}+I_{B2}=0.1\ mA$

$I_{R3}=\frac{V_{CC}-V_{D1}}{R_3}=1.5\ mA$

$I_{D1}=I_{R3}-\tilde{I}=1.4\ mA=I_{S1}$

$\uparrow$
$I_{G1}=0$

ipotesi 2: Q_1 in saturazione

$I_{D1}=K(V_{GS1}-V_T)^2$ con $K=\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}=1.4\frac{mA}{V^2}$

$V_{GS1}=V_T\ \cancel{\pm}\sqrt{\frac{I_{D1}}{K}}=2V>V_T$

un mos a canale n conduce se $V_{GS1}>V_T$

$I_{G1}=0\rightarrow V_{G1}=V_{CC}\frac{R_2}{R_1+R_2}=4.8V$

$V_{S1}=V_{G1}-V_{GS1}=2.8V$

$V_{DS1}=V_{D1}-V_{S1}=1.7V>V_{GS1}-V_T=1V\longrightarrow$ ipotesi 2 verificata

$R_4=\frac{V_{S1}}{I_{S1}}=2K\Omega$

$I_{R1}=I_{R2}=\frac{V_{CC}}{R_1+R_2}=48\mu A$

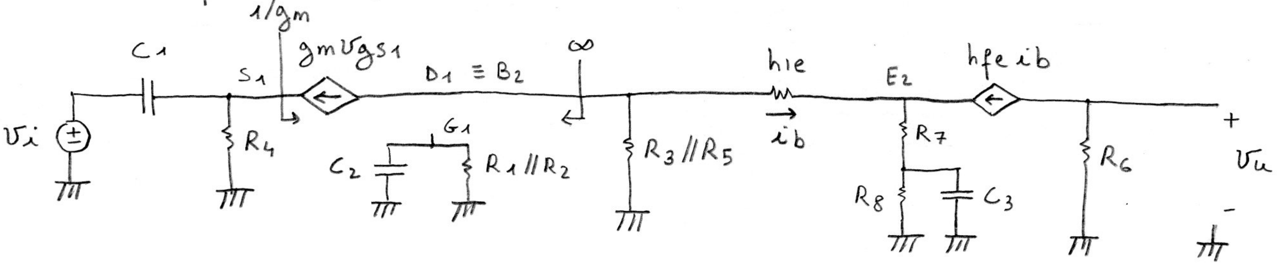
3) $R_4 = 2.5\,K\Omega$

$g_m = 3\ \frac{mA}{V}$

$h_{ie} = 4\,K\Omega$

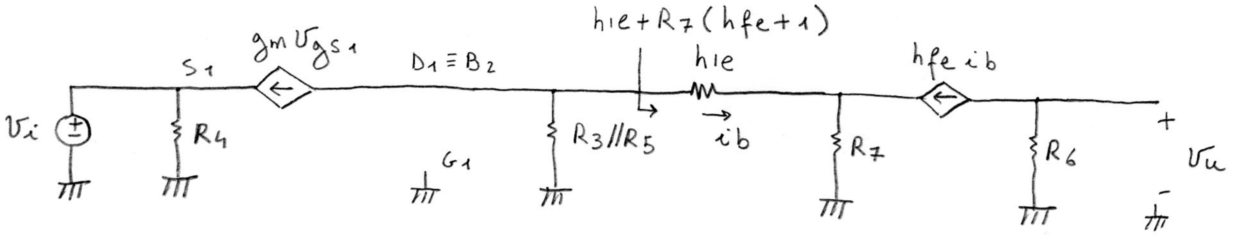
$h_{fe} = 300$

circuito equivalente per le variazioni:



3 condensatori, nessuna maglia impropria → 3 poli

calcoliamo $A_v(\infty)$ chiudendo i tre condensatori



$v_u = -h_{fe}\, i_b\, R_6$

$i_b = -g_m v_{gs1} \dfrac{R_3//R_5}{(R_3//R_5)+(h_{ie}+R_7(h_{fe}+1))}$ (partitore di corrente)

$v_{gs1} = -v_{s1}$
$(v_{g1}=0)$

$v_{s1} = v_i$

$A_v(\infty) = \dfrac{v_u}{v_i} = -h_{fe} R_6\, g_m \dfrac{R_3//R_5}{(R_3//R_5)+(h_{ie}+R_7(h_{fe}+1))} = -37.175$ (negativo, come è giusto che sia dato che si tratta di uno stadio a gate comune, non invertente, e di uno stadio a emettitore comune, invertente, in cascata)

$|A_v(\infty)|_{dB} = 31.4\ dB$

$A_v(\infty) \neq 0 \rightarrow$ numero zeri = numero poli = 3

$R_{VC1} = R_4 // \dfrac{1}{g_m} = 294.118\ \Omega$

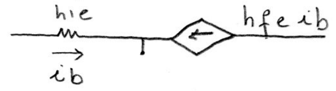
$\omega_{P1} = \dfrac{1}{C_1 R_{VC1}} = 340\ rad/s \rightarrow f_{P1} = \dfrac{\omega_{P1}}{2\pi} = 54.113\ Hz$

l'uscita si annulla per la s per cui $\dfrac{1}{C_1 s} = \infty \rightarrow s=0 \rightarrow \omega_{z1}=0 \rightarrow f_{z1}=0$

$R_{VC3} = R_8 // \left(R_7 + \dfrac{h_{ie}+R_3//R_5//\infty}{1+h_{fe}}\right) = R_8 // \left(R_7 + \dfrac{h_{ie}+R_3//R_5}{1+h_{fe}}\right) = 354.168\ \Omega$

$\omega_{P3} = \dfrac{1}{C_3 R_{VC3}} = 282351.9\ rad/s \rightarrow f_{P3} = \dfrac{\omega_{P3}}{2\pi} = 44937.7\ Hz$

l'uscita si annulla per la s per cui $R_8 // \dfrac{1}{C_3 s} = \infty$ (perché in tale situazione si ha che $R_7 + \left(R_8 // \dfrac{1}{C_3 s}\right) = \infty$ e quindi si ha



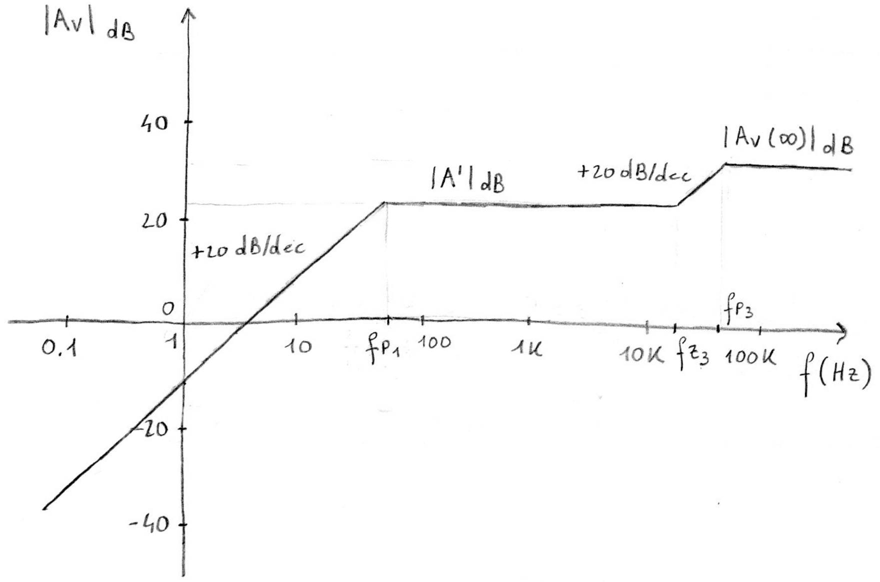
$i_b = -h_{fe} i_b \rightarrow i_b \underbrace{(1+h_{fe})}_{\neq 0} = 0 \rightarrow i_b = 0$)

$\dfrac{R_8 \frac{1}{C_3 s}}{R_8 + \frac{1}{C_3 s}} = \dfrac{R_8}{1+R_8 C_3 s} = \infty \rightarrow 1+R_8 C_3 s = 0 \rightarrow s = -\dfrac{1}{R_8 C_3} \rightarrow$

$\omega_{z3} = \frac{1}{R_8 C_3} = 100 \text{ Krad/s} \rightarrow f_{z3} = \frac{\omega_{z3}}{2\pi} = 15'915.49 \text{ Hz}$

C_2 non ha effetto sulla v_u, dato che $v_{g1} = 0$ a prescindere dal valore dell'impedenza della C_2 $\rightarrow \omega_{z2} = \omega_{p2}$

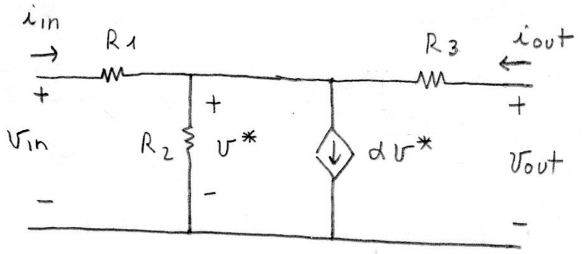
$$A_v(s) = A_v(\infty) \frac{s(s+\omega_{z3})}{(s+\omega_{p1})(s+\omega_{p3})}$$



$$|A'| = |A_v(\infty)| \frac{f_{z3}}{f_{p3}} = 13.1662$$

$$|A'|_{dB} = 22.3892 \text{ dB}$$

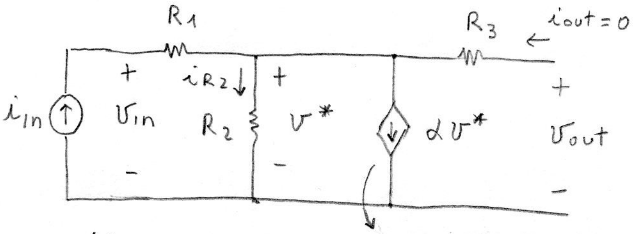
4)



$(\alpha \text{ in } \Omega^{-1})$

$$\begin{cases} v_{out} = r_f\, i_{in} + r_o\, i_{out} \\ v_{in} = r_i\, i_{in} + r_r\, i_{out} \end{cases}$$

$$r_f = \left.\frac{v_{out}}{i_{in}}\right|_{i_{out}=0} \quad ; \quad r_i = \left.\frac{v_{in}}{i_{in}}\right|_{i_{out}=0}$$



(che, avendo ai suoi capi proprio v^*, equivale a una resistenza di valore $\frac{v^*}{\alpha v^*} = \frac{1}{\alpha}$)

$$i_{in} = i_{R2} + \alpha v^* = \frac{v^*}{R_2} + \alpha v^* = \left(\frac{1}{R_2} + \alpha\right) v^* = \frac{1+\alpha R_2}{R_2} v^* \rightarrow v^* = \frac{R_2}{1+\alpha R_2} i_{in}$$

$$v_{in} = R_1 i_{in} + v^* = \left(R_1 \frac{1+\alpha R_2}{R_2} + 1\right) v^* = \frac{R_1+R_2+\alpha R_1 R_2}{R_2} v^* =$$

$$= \frac{R_1+R_2+\alpha R_1 R_2}{\cancel{R_2}} \frac{\cancel{R_2}}{1+\alpha R_2} i_{in} = \frac{R_1+R_2+\alpha R_1 R_2}{1+\alpha R_2} i_{in}$$

$$v_{out} = R_3 i_{out} + v^* = v^* = \frac{R_2}{1+\alpha R_2} i_{in}$$

$$r_f = \frac{v_{out}}{i_{in}} = \frac{R_2}{1+\alpha R_2}$$

$$r_i = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{R_1+R_2+\alpha R_1 R_2}{1+\alpha R_2}$$

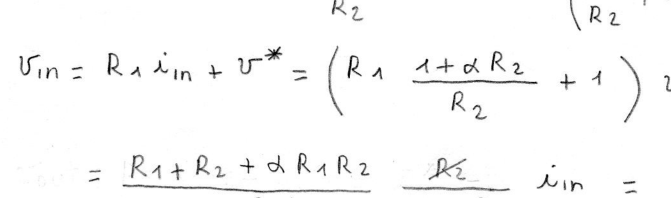
[equivalentemente, visto che αv^* equivale a una resistenza $1/\alpha$:

$$v_{out} = \left(R_2 // \frac{1}{\alpha}\right) i_{in} \rightarrow r_f = \frac{v_{out}}{i_{in}} = R_2 // \frac{1}{\alpha} = \frac{R_2 \frac{1}{\alpha}}{R_2 + \frac{1}{\alpha}} = \frac{R_2}{1+\alpha R_2}$$

$$v_{in} = \left(R_1 + R_2 // \frac{1}{\alpha}\right) i_{in} \rightarrow r_i = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_1 + R_2 // \frac{1}{\alpha} = R_1 + \frac{R_2}{1+\alpha R_2} =$$

$$= \frac{R_1+R_2+\alpha R_1 R_2}{1+\alpha R_2}$$]

$$r_o = \left.\frac{v_{out}}{i_{out}}\right|_{i_{in}=0} \quad ; \quad r_r = \left.\frac{v_{in}}{i_{out}}\right|_{i_{in}=0}$$



(che, avendo ai suoi capi proprio v^*, equivale a una resistenza di valore $\frac{v^*}{\alpha v^*} = \frac{1}{\alpha}$)

$$i_{out} = i_{R2} + \alpha v^* = \frac{v^*}{R_2} + \alpha v^* = \left(\frac{1}{R_2} + \alpha\right) v^* = \frac{1+\alpha R_2}{R_2} v^* \rightarrow$$

$$v^* = \frac{R_2}{1+\alpha R_2} i_{out}$$

$$v_{in} = R_1 i_{in} + v^* = v^* = \frac{R_2}{1+\alpha R_2} i_{out}$$

$$v_{out} = R_3\, i_{out} + v^* = R_3\, i_{out} + \frac{R_2}{1+\alpha R_2}\, i_{out} = \frac{R_2 + R_3 + \alpha R_2 R_3}{1+\alpha R_2}\, i_{out}$$

$$r_o = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{R_2 + R_3 + \alpha R_2 R_3}{1+\alpha R_2}$$

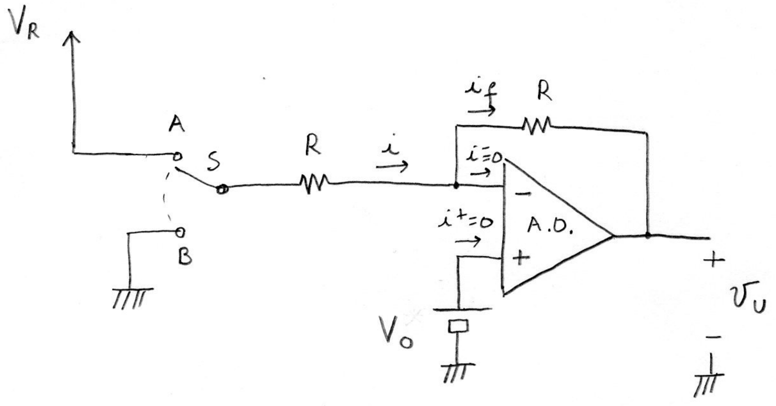
$$r_r = \frac{v_{in}}{i_{out}} = \frac{R_2}{1+\alpha R_2}$$

[equivalentemente, visto che αv^* equivale a una resistenza $1/\alpha$:

$$v_{out} = \left(R_3 + R_2 // \frac{1}{\alpha}\right) i_{out} \rightarrow r_o = \frac{v_{out}}{i_{out}} = R_3 + R_2 // \frac{1}{\alpha} = R_3 + \frac{R_2}{1+\alpha R_2} = \frac{R_2 + R_3 + \alpha R_2 R_3}{1+\alpha R_2}$$

$$v_{in} = \left(R_2 // \frac{1}{\alpha}\right) i_{out} \rightarrow r_r = \frac{v_{in}}{i_{out}} = R_2 // \frac{1}{\alpha} = \frac{R_2}{1+\alpha R_2}$$]

5)



A.O. ideale

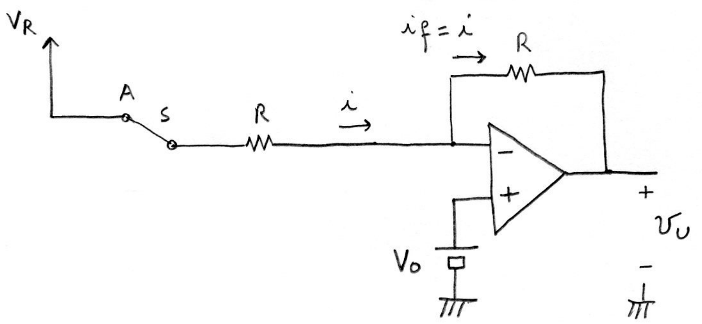
per il c.c.v.: $i^+ = 0$, $i^- = 0$, $v^- = v^+$

di conseguenza: $v^- = V_0$

$$i_f = i - i^- = i$$

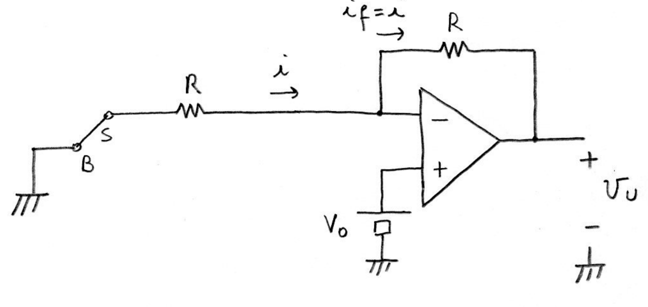
quindi $v_U = v^- - R\,i_f = V_0 - R\,i$

a) se S è in A abbiamo:



$$i = \frac{V_R - v^-}{R} = \frac{V_R - V_0}{R} \longrightarrow v_U = v^- - R\,i = V_0 - \cancel{R}\left(\frac{V_R - V_0}{\cancel{R}}\right) = V_0 - V_R + V_0 =$$
$$= 2V_0 - V_R$$

b) se S è in B abbiamo:



$$i = \frac{0 - v^-}{R} = \frac{0 - V_0}{R} = -\frac{V_0}{R} \rightarrow v_U = v^- - R\,i = V_0 - \cancel{R}\left(-\frac{V_0}{\cancel{R}}\right) = 2V_0$$