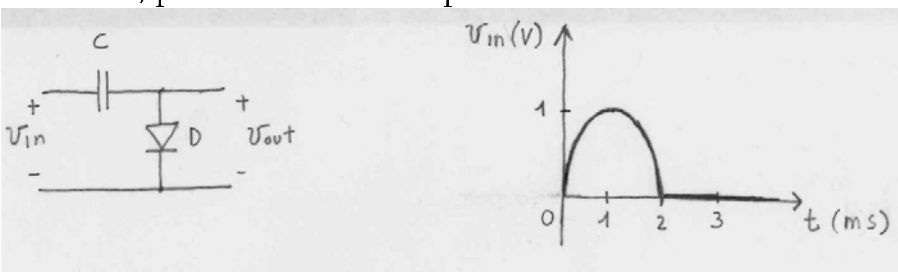
Scheda **A17_09**		Data: **7 novembre 2017**
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

7 punti (4)

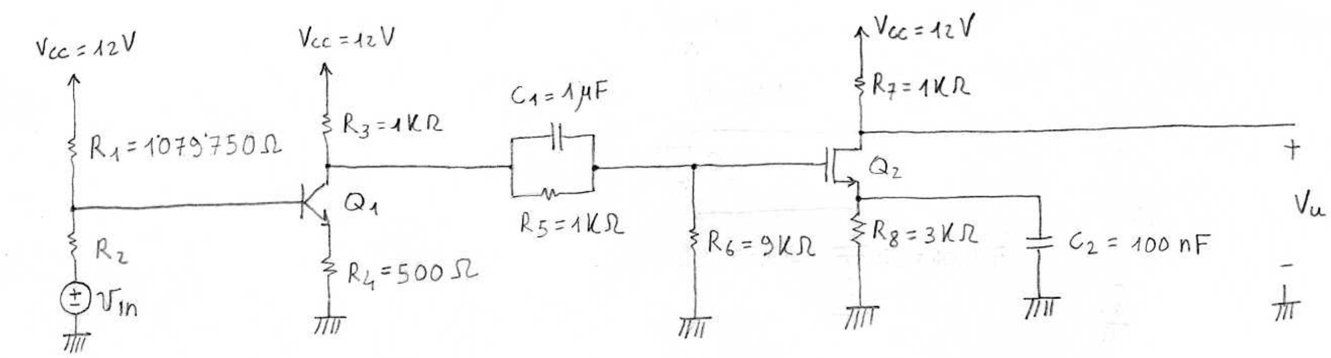
Si consideri il circuito fissatore rappresentato nel lato sinistro della figura sottostante. Ipotizzando il condensatore inizialmente scarico, si determini e si disegni l'andamento nel tempo, per $0 \le t \le 3$ ms, della tensione $v_{out}(t)$ in uscita da tale fissatore quando in ingresso al fissatore si applica la tensione $v_{in}(t)$ il cui andamento nel tempo è rappresentato nel lato destro della figura. Si specifichi la zona di funzionamento del diodo per $0 \le t \le 1$ ms, per $1 \text{ ms} \le t \le 2$ ms e per $t \ge 2$ ms. Si consideri il diodo ideale.



ESERCIZIO N°2

7.5 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, ricavare il valore di R_2 sapendo che la tensione di uscita V_u a riposo è pari a 10 V. Determinare il punto di lavoro dei transistori Q_1 e Q_2.



PER Q_1: $h_{FE} = 200$

PER Q_2: $\frac{1}{2} \cdot \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 0.5 \frac{mA}{V^2}$; $V_T = 1V$

A RIPOSO $V_u = 10V$

ESERCIZIO N°3

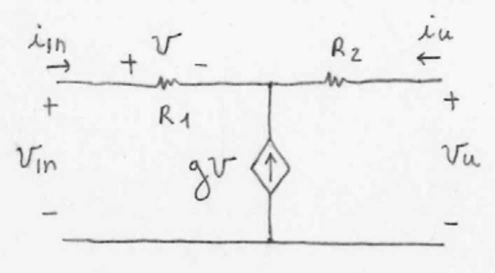
7.5 punti (4)

Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma R_2=250 KΩ. Se ne ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s)=V_u/V_{in}$ (il diagramma di Bode <u>non</u> è richiesto). Si considerino per Q_1: h_{ie}=5 KΩ, h_{fe}=250, h_{re}=0, h_{oe}=0, e per Q_2: g_m=2 mA/V.

ESERCIZIO N°4

6 punti (4)

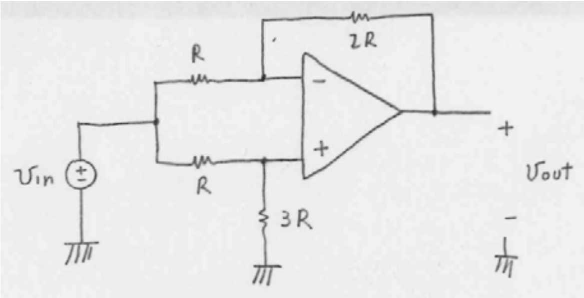
Si ricavino i parametri h_f e h_i per il circuito mostrato nella seguente figura.

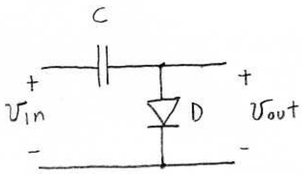


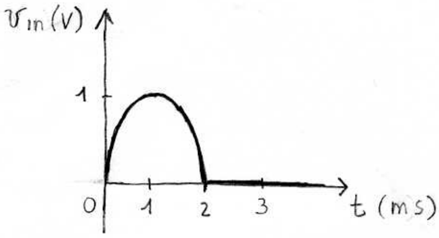
ESERCIZIO N°5

5 punti (4)

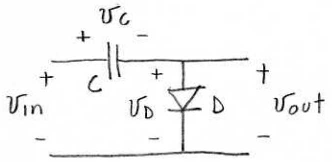
Si ricavi il legame tra la tensione di uscita v_{out} e la tensione di ingresso v_{in} nel seguente circuito, considerando l'amplificatore operazionale ideale. Notare che v_{out} si può ottenere come sovrapposizione degli effetti sull'uscita dell'applicazione della v_{in} sui due rami contenenti le resistenze di valore R.





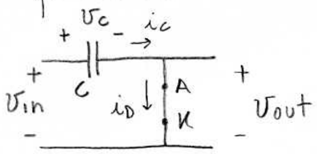


C inizialmente è scarico cioè $v_C(t=0) = 0$, quindi $v_D(0) = v_{in}(0) + v_C(0) = v_{in}(0) = 0$;



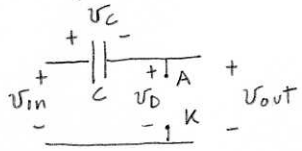
poi v_{in} cresce, istantaneamente v_C non cambia, quindi per $t = 0^+$ ci ritroviamo una v_D che tende a crescere e a diventare > 0, quindi il diodo conduce;
se il diodo conduce (assumendo il diodo ideale) $v_D = v_{out} = 0$;

quindi abbiamo



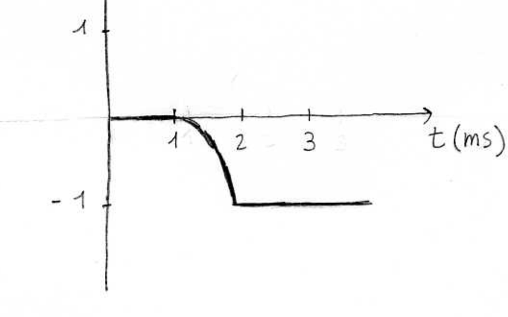
quindi $v_{out} = 0$, $v_C = v_{in} - v_{out} = v_{in}$;
il diodo rimane in conduzione fintantoché $i_D > 0$;
ma $i_D = i_C = C \dfrac{dv_C}{dt} = C \dfrac{dv_{in}}{dt}$;

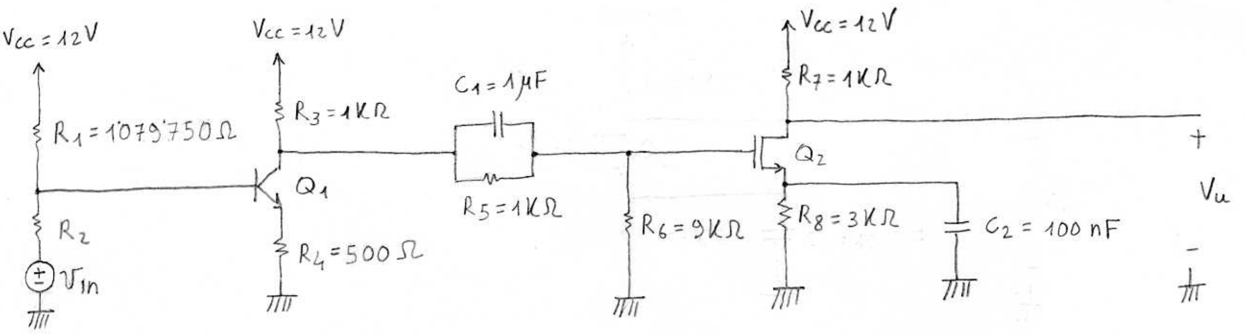
quindi il diodo conduce finché $\dfrac{dv_{in}}{dt} > 0$ cioè finché v_{in} cresce;
nell'istante $t = 1\,ms$ $\dfrac{dv_{in}}{dt} = 0$ e poi diventa < 0, per cui $i_D \le 0$ e il diodo si spegne;
notare che nell'istante $t = 1\,ms$ la $v_C = v_{in}(t = 1ms) - v_{out}(t = 1ms) = 1V - 0V = 1V$;
a partire da $t = 1\,ms$ D si spegne e abbiamo



C non ha più vie di scarica, per cui v_C rimane al valore che aveva per $t = 1\,ms$ cioè $1V$;
quindi $v_{out} = v_{in} - v_C = v_{in} - 1V$;

il diodo rimane interdetto fintantoché $v_D < 0$, mentre inizierebbe di nuovo a condurre se v_D ritornasse $= 0$;
ma $v_D = v_{out} = v_{in} - 1V$ non ritorna più a 0 perché per $t > 1\,ms$ $v_{in}(t) < 1V \rightarrow v_{in} - 1V < 0$, quindi il diodo per $t > 1\,ms$ rimane sempre interdetto;
riassumendo, per $t < 1\,ms$ si ha $v_{out} = 0$ (e $v_C = v_{in}$)
mentre per $t \geq 1\,ms$ si ha $v_{out} = v_{in} - 1V$ (e $v_C = 1V$)
quindi la $v_{out}(t)$ ha questo andamento



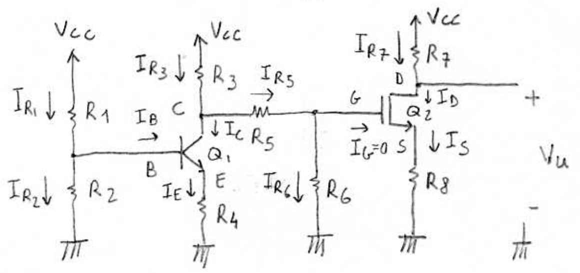


PER Q_1 : $h_{FE} = 200$

PER Q_2 : $\frac{1}{2} \cdot \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 0.5 \frac{mA}{V^2}$; $V_T = 1V$

A RIPOSO $V_u = 10V$

In continua abbiamo



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

perché $I_G = 0$

$V_S = R_8 I_S = 6\,V$

$V_D = V_u = 10V$

ipotesi 1 : Q_2 in saturazione

$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ con $K = 0.5 \frac{mA}{V^2}$

$V_{GS} = V_T \pm \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 3V > V_T$

si prende il segno + perché Q_2 è un nmos e quando un nmos conduce $V_{GS} > V_T$

$V_G = V_{GS} + V_S = 9V$

$V_{DS} = V_D - V_S = 4V > V_{GS} - V_T = 2V$ → ipotesi 1 verificata

$I_{R6} = \frac{V_G}{R_6} = 1\,mA = I_{R5}$ (dato che $I_G = 0$)

$V_C = V_G + R_5 I_5 = 10V$

$I_{R3} = \frac{V_{cc} - V_C}{R_3} = 2\,mA$

$I_C = I_{R3} - I_{R5} = 1\,mA$

ipotesi 2 : Q_1 in zona attiva diretta

$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 5\,\mu A > 0$

$I_E = (h_{FE}+1)\, I_B = 1.005\,mA$

$V_E = I_E R_4 = 0.5025\,V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 9.4975\,V > V_{CEsat} \approx 0.2V$ → ipotesi 2 verificata

$V_B = V_E + V_\gamma = 1.2025\,V$

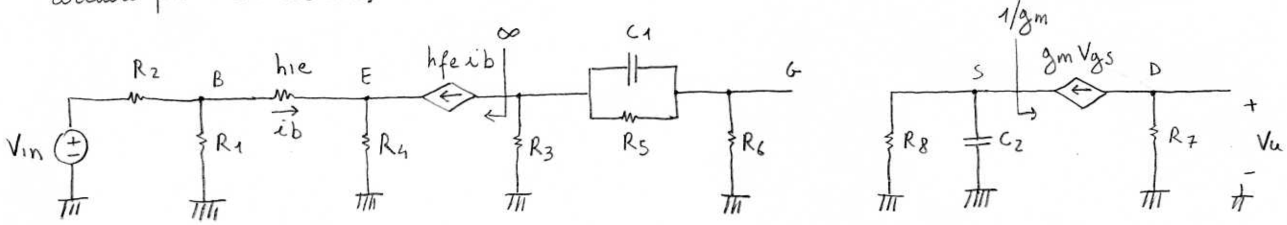
$$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_B}{R_1} = 10\,\mu A$$

$$I_{R2} = I_{R1} - I_B = 5\,\mu A$$

$$R_2 = \frac{V_B}{I_{R2}} = 240500\,\Omega$$

ora consideriamo $h_{ie} = 5\,K\Omega$, $h_{fe} = 250$, $g_m = 2\,\frac{mA}{V}$, $R_2 = 250\,K\Omega$

circuito per le variazioni:



2 condensatori, nessuna maglia impropria → 2 poli

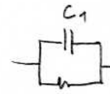
$A_v(\infty) \neq 0$ → numero zeri = numero poli → 2 zeri

$$R_{VC1} = R_5 // (R_3 + R_6) = 909.\overline{09}\,\Omega$$

$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 1100\ rad/s \rightarrow f_{P1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 175.07\,Hz$$

$$R_{VC2} = R_8 // \frac{1}{g_m} = 428.571\,\Omega$$

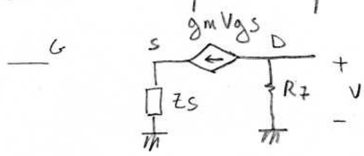
$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 23333.\overline{3}\ rad/s \rightarrow f_{P2} = \frac{\omega_{P2}}{2\pi} = 3713.615\,Hz$$

la V_u va a 0 per la s per cui $R_5 // \frac{1}{C_1 s} = \infty$ perché in tal caso l'impedenza  costituisce un ramo aperto e blocca l'unico percorso che consente all'ingresso di avere effetto sull'uscita

$$R_5 // \frac{1}{C_1 s} = \infty \rightarrow \frac{R_5 \frac{1}{C_1 s}}{R_5 + \frac{1}{C_1 s}} = \frac{R_5}{1 + R_5 C_1 s} = \infty \rightarrow 1 + R_5 C_1 s = 0 \rightarrow s = -\frac{1}{R_5 C_1} \rightarrow \omega_{Z1} = \frac{1}{R_5 C_1} =$$

$$= 1000\ rad/s \rightarrow f_{Z1} = 159.155\,Hz$$

la V_u va a 0 per la s per cui $R_8 // \frac{1}{C_2 s} = \infty$ perché abbiamo



$$V_u = -R_7 g_m V_{gs}$$

$$V_{gs} = V_g - V_s = V_g - Z_s g_m V_{gs} \rightarrow V_{gs}(1 + Z_s g_m) = V_g \rightarrow V_{gs} = \frac{V_g}{1 + Z_s g_m}$$

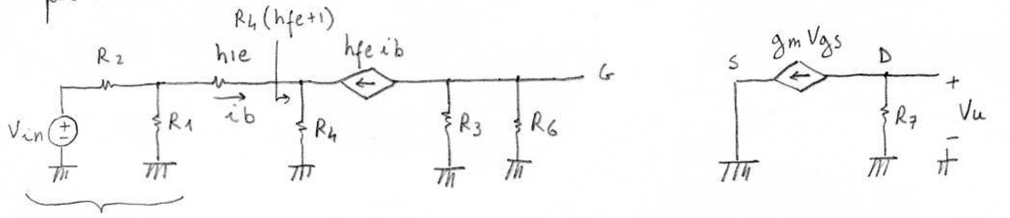
$$V_u = -\frac{R_7 g_m}{1 + Z_s g_m} V_g$$ per cui $V_u = 0$ quando $Z_s = \infty$

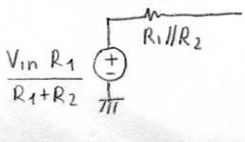
(con $Z_s = R_8 // \frac{1}{C_2 s}$)

$$R_8 // \frac{1}{C_2 s} = \infty \rightarrow \frac{R_8 \frac{1}{C_2 s}}{R_8 + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{R_8}{1 + R_8 C_2 s} = \infty \rightarrow 1 + R_8 C_2 s = 0 \rightarrow s = -\frac{1}{R_8 C_2} \rightarrow \omega_{Z2} = \frac{1}{R_8 C_2} =$$

$$= 3333.\overline{3}\ rad/s \rightarrow f_{Z2} = 530.516\,Hz$$

per $\omega \rightarrow \infty$ si ha





(equivalente di Thevenin)

$$V_u = -g_m V_{gs} R_7$$

$$V_{gs} = V_g$$

$$V_g = -h_{fe}\, i_b\, (R_3 // R_6)$$

$$\frac{V_{in} R_1}{R_1+R_2} = (R_1//R_2)\, i_b + h_{ie}\, i_b + R_4\,(h_{fe}+1)\, i_b \rightarrow$$

$$i_b = \frac{V_{in} R_1}{R_1+R_2} \frac{1}{(R_1//R_2)+h_{ie}+R_4\,(h_{fe}+1)} \qquad *$$

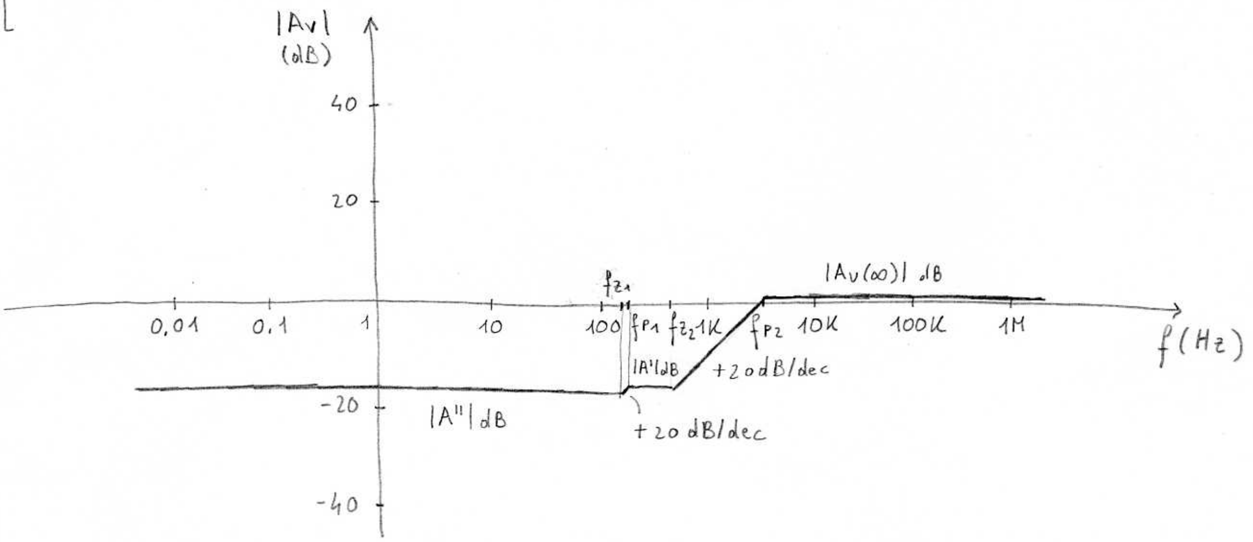
$$A_v(\infty) = \frac{V_u}{V_{in}} = g_m R_7\, h_{fe}\, (R_3//R_6) \frac{R_1}{R_1+R_2} \frac{1}{(R_1//R_2)+h_{ie}+R_4\,(h_{fe}+1)} = 1.09565$$

positivo, come ci aspettavamo dato che si tratta di uno stadio a emettitore comune (invertente) e di uno stadio a source comune (invertente) in cascata

$$|A_v(\infty)| = 0.7934 \text{ dB}$$

$$A_v(s) = A_v(\infty) \frac{(s+\omega_{z1})(s+\omega_{z2})}{(s+\omega_{p1})(s+\omega_{p2})}$$

[

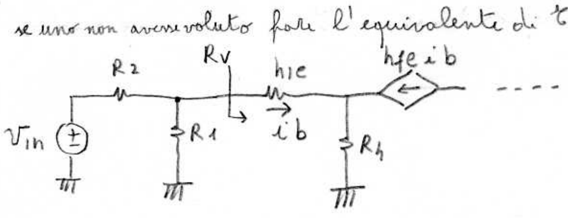


$$|A'| = |A_v(\infty)| \frac{f_{z2}}{f_{p2}} = 0.15652 \rightarrow |A'|_{dB} = -16.11 \text{ dB}$$

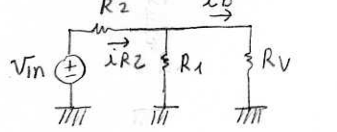
$$|A''| = |A'| \frac{f_{z1}}{f_{p1}} = 0.14229 \rightarrow |A''|_{dB} = -16.94 \text{ dB}$$

]

[* se uno non avesse voluto fare l'equivalente di Thevenin (che era la via più semplice e quindi da preferire) avrebbe potuto ad esempio procedere così :



$R_v = h_{ie} + R_4\,(h_{fe}+1)$; quindi il circuito è equivalente a



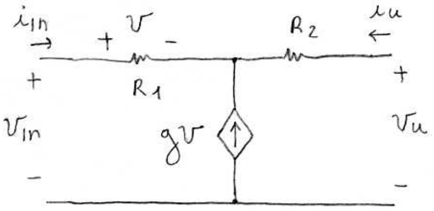
quindi $i_{R2} = \dfrac{V_{in}}{R_2 + R_1//R_v}$; dopodiché $i_b = i_{R2} \dfrac{R_1}{R_1+R_v}$ (partitore di corrente) ;

in conclusione
$$i_b = \frac{V_{in}}{R_2+R_1//R_v} \frac{R_1}{R_1+R_v} = \frac{V_{in}}{R_2+\frac{R_1 R_v}{R_1+R_v}} \frac{R_1}{R_1+R_v} = V_{in} \frac{\cancel{R_1+R_v}}{R_2(R_1+R_v)+R_1R_v} \frac{R_1}{\cancel{R_1+R_v}} =$$

$$= \frac{V_{in} R_1}{R_1R_2+R_v(R_1+R_2)} = V_{in}\frac{R_1}{R_1+R_2}\frac{1}{\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}+R_v} = V_{in}\frac{R_1}{R_1+R_2}\frac{1}{R_1//R_2+R_v} =$$

$$= V_{in}\frac{R_1}{R_1+R_2}\frac{1}{(R_1//R_2)+h_{ie}+R_4(h_{fe}+1)}$$

che è identico a quanto trovato sopra]



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

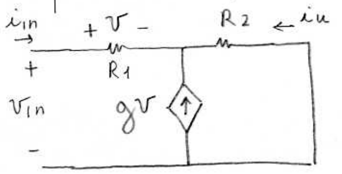
$$h_f = \left.\frac{i_u}{i_{in}}\right|_{v_u=0}$$

$$h_o = \left.\frac{i_u}{v_u}\right|_{i_{in}=0}$$

$$h_i = \left.\frac{v_{in}}{i_{in}}\right|_{v_u=0}$$

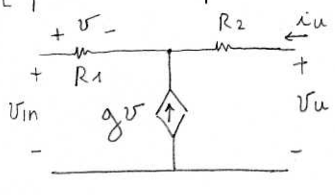
$$h_r = \left.\frac{v_{in}}{v_u}\right|_{i_{in}=0}$$

per $v_u = 0$ (porta di uscita cortocircuitata)

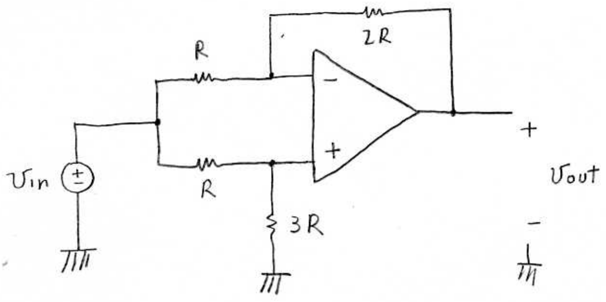


$$v = R_1\, i_{in}$$
$$i_u = -i_{in} - gv = -i_{in} - g R_1\, i_{in}$$
$$h_f = \frac{i_u}{i_{in}} = -(1 + g R_1)$$
$$v_{in} = R_1\, i_{in} + R_2\,(i_{in} + gv) = R_1\, i_{in} + R_2\,(i_{in} + g R_1\, i_{in}) \rightarrow$$
$$h_i = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_1 + R_2\,(1 + g R_1)$$

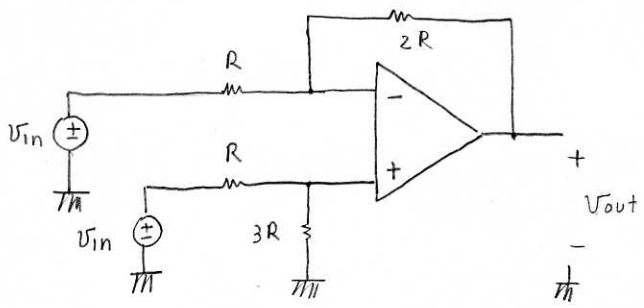
[per $i_{in} = 0$ (porta di ingresso aperta)



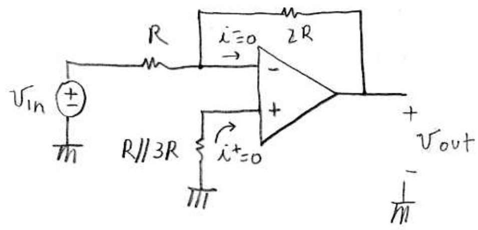
$$v = R_1\, i_{in} = R_1 \cdot 0 = 0$$
$$gv = 0$$
$$i_u = 0$$
$$h_o = \frac{i_u}{v_u} = 0$$
$$v_{in} = v_u - R_2 \underset{0}{\underset{\shortparallel}{i_u}} + \underset{0}{\underset{\shortparallel}{v}} = v_u$$
$$h_r = \frac{v_{in}}{v_u} = 1$$
]



si può anche vedere come (sdoppiando il generatore)



poi usando la sovrapposizione degli effetti si ha che l'effetto del v_{in} superiore è



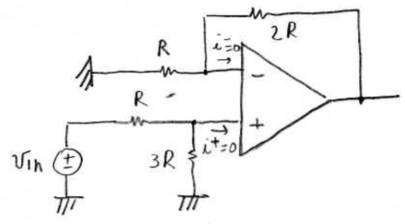
$i^+=0$ per il ccv

$v^+ = -(R//3R)\, i^+ = 0$

è un amplificatore invertente con guadagno $-\frac{2R}{R} = -2$

quindi $v_{out}^{(1)} = -2\, v_{in}$

l'effetto del v_{in} inferiore è



essendo $i^+=0$ le due resistenze inferiori sono in serie →

$v^+ = v_{in}\, \frac{3R}{R+3R} = v_{in}\, \frac{3}{4}$

per il resto è un amplificatore non invertente con guadagno $1 + \frac{2R}{R} = 3$

quindi $v_{out}^{(2)} = 3 \cdot v_{in}\, \frac{3}{4} = \frac{9}{4}\, v_{in}$

complessivamente

$$v_{out} = v_{out}^{(1)} + v_{out}^{(2)} = -2\, v_{in} + \frac{9}{4}\, v_{in} = \frac{1}{4}\, v_{in}$$