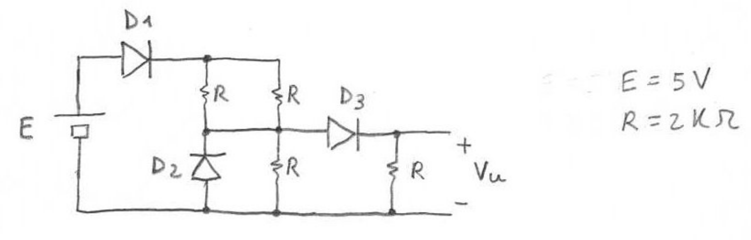
Scheda **A18_05**		Data: **8 giugno 2018**
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

5.5 punti (4)

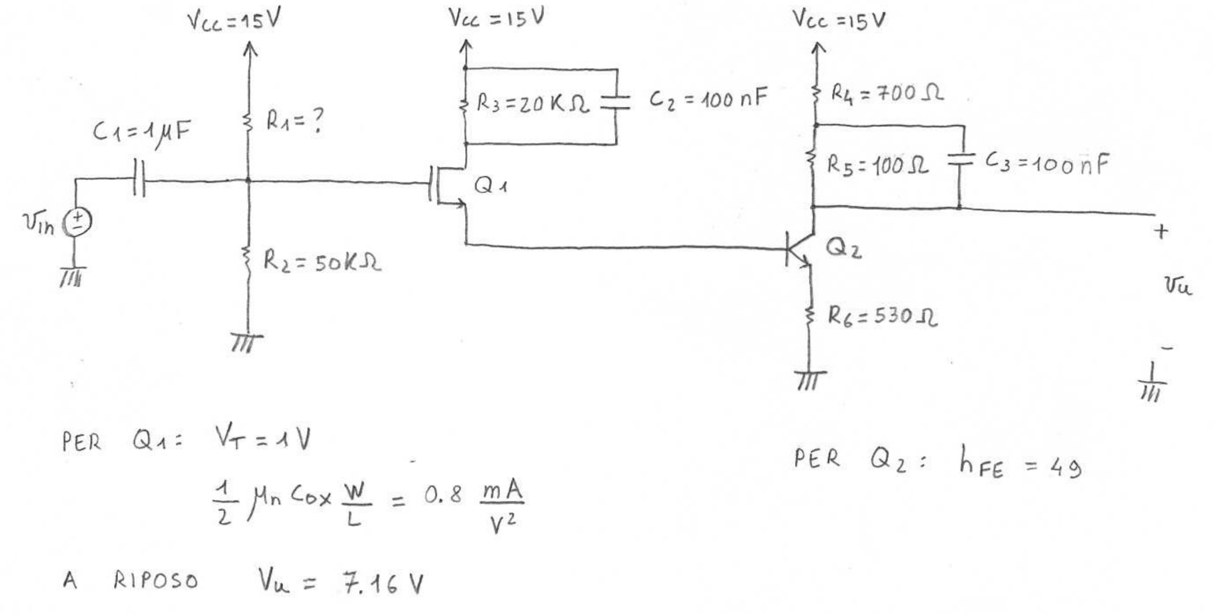
Nel circuito rappresentato in figura, si determini lo stato dei tre diodi (facendo le opportune ipotesi e verifiche) ed il valore della tensione in uscita V_u. Si considerino i diodi ideali.



ESERCIZIO N°2

7 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, ricavare il valore di R_1 sapendo che la tensione in uscita V_u a riposo è pari a 7.16 V. Determinare inoltre il punto di lavoro dei transistori Q_1 e Q_2.



ESERCIZIO N°3

7.5 punti (4)

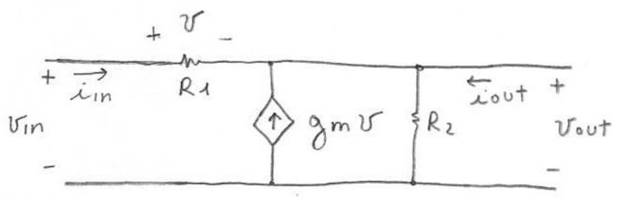
Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma R_1=75 KΩ. Se ne ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s)=V_u/V_{in}$ ed il relativo diagramma di Bode del modulo. Si considerino stavolta per Q_1: g_m=2 mA/V, e per Q_2: hie=4 KΩ e hfe=60.

[Nel calcolo del guadagno, per legare v_{gs} a v_g può essere utile sfruttare la resistenza vista dalla base di Q_2 verso destra.]

ESERCIZIO N°4

6.5 punti (4)

Si ricavino i parametri f_o ed f_r del circuito mostrato in figura.

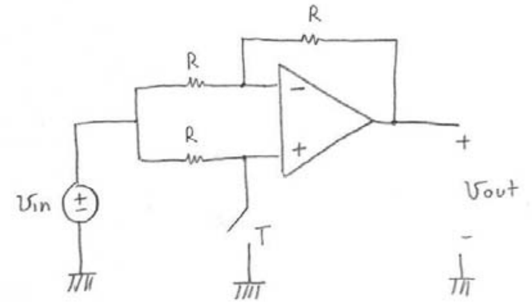


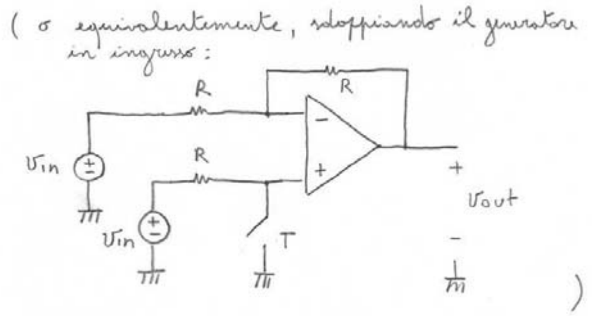
ESERCIZIO N°5

6.5 punti (4)

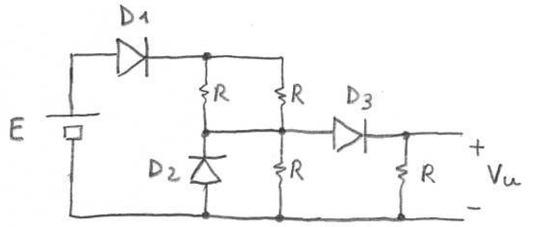
Per ciascuna delle due posizioni (chiuso e aperto) dell'interruttore *T*, valutare il valore della tensione v_{out} in uscita dal circuito riportato sotto a sinistra. Considerare l'amplificatore operazionale ideale.

[Si consiglia, per entrambe le posizioni dell'interruttore, di sdoppiare il generatore in ingresso (come riportato a destra) ed utilizzare il principio di sovrapposizione degli effetti.]





1)

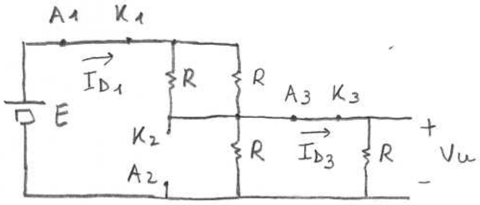


$E = 5\,V$

$R = 2\,K\Omega$

ipotesi: D1 conduce, D2 interdetto, D3 conduce

sotto tali ipotesi il circuito diventa:



per cui $V_u = E \cdot \dfrac{R//R}{R//R + R//R} = \dfrac{E}{2} = 2.5\,V.$

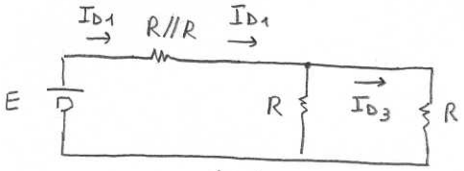
verifichiamo le ipotesi:

$$I_{D1} = \frac{E}{R//R + R//R} = \frac{5\,V}{1K\Omega + 1K\Omega} = 2.5\,mA > 0$$

$$V_{AK2} = -V_u = -2.5\,V < 0$$

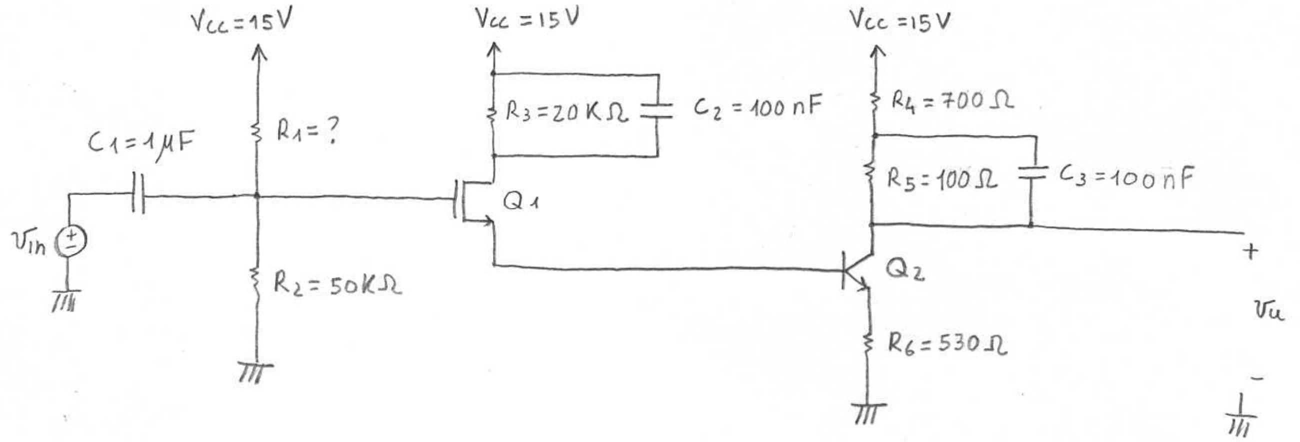
$$I_{D3} = I_{D1}\,\frac{R}{R+R} = \frac{I_{D1}}{2} = 1.25\,mA > 0$$

↳ partitore di corrente



per cui le tre ipotesi sono verificate e quindi i conti effettuati sono corretti.

2)



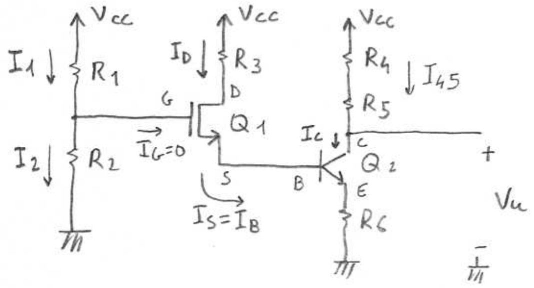
PER Q_1: $V_T = 1\,V$

$$\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} = 0.8\ \frac{mA}{V^2}$$

PER Q_2: $h_{FE} = 49$

A RIPOSO $V_u = 7.16\,V$

a riposo il circuito diventa:



$$I_{45} = \frac{V_{cc} - V_u}{R_4 + R_5} = 9.8\,mA = I_C$$

ipotesi 1: Q_2 in zona attiva diretta

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 0.2\,mA > 0$$

$$I_E = (h_{FE}+1)\,I_B = 10\,mA$$

$$V_E = R_6 I_E = 5.3\,V$$

$$V_C = V_u = 7.16\,V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 1.86\,V > V_{CEsat} = 0.2\,V$$ → ipotesi 1 verificata

$$V_B = V_E + V_\gamma = 6\,V = V_S$$

$$I_B = I_S \underset{\uparrow}{=} I_D = 0.2\,mA$$

dato che $I_G = 0$

ipotesi 2: Q_1 in saturazione

$$I_D = K\,(V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow V_{GS} = V_T \pm \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 1.5\,V > V_T$$

K: $\frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} = 0.8\,\frac{mA}{V^2}$

dato che il mos è a canale n, per condurre deve essere $V_{GS} > V_T$

$$V_G = V_{GS} + V_S = 7.5\,V$$

$$V_D = V_{cc} - R_3 I_D = 11\,V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 5\,V > V_{GS} - V_T = 0.5\,V$$ → ipotesi 2 verificata

$$I_2 = \frac{V_G}{R_2} = 0.15\,mA = I_1 \quad (\text{dato che } I_G = 0)$$

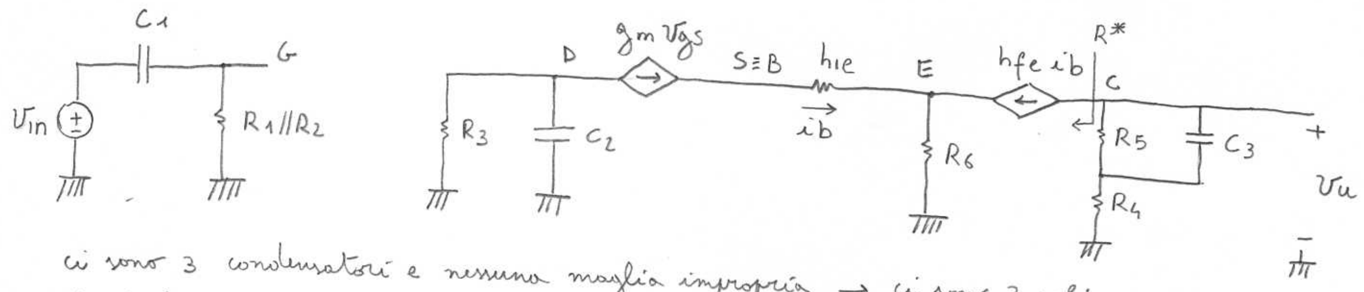
$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_G}{I_1} = 50\,K\Omega$$

3) PER Q_1: $g_m = 2\,\frac{mA}{V}$

PER Q_2: $h_{fe} = 60$, $h_{ie} = 4\,K\Omega$

$R_1 = 75\,K\Omega$

Il circuito per i piccoli segnali é il seguente:



ci sono 3 condensatori e nessuna maglia impropria → ci sono 3 poli

$A_V(\infty) \neq 0$ → n° zeri = n° poli → ci sono 3 zeri

C_2 non influisce in alcun modo sul valore di v_u → C_2 non introduce singolarità, o equivalentemente introduce un polo e uno zero coincidenti.

$R_{VC1} = R_1 // R_2 = 30\,K\Omega$

$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 33.\bar{3}$ rad/s → $f_{P1} = 5,3052$ Hz

C_1 si trova in serie sull'unico percorso che porta il segnale in uscita → v_u si annulla se $\frac{1}{C_1 s} = \infty$ → $s = 0$ → $\omega_{Z1} = 0$ → $f_{Z1} = 0$

$R_{VC3} = R_5 // (R_4 + R^*) = R_5 // (R_4 + \infty) = R_5 = 100\,\Omega$

$\omega_{P3} = \frac{1}{C_3 R_{VC3}} = 100'000$ rad/s → $f_{P3} = 15915.494$ Hz

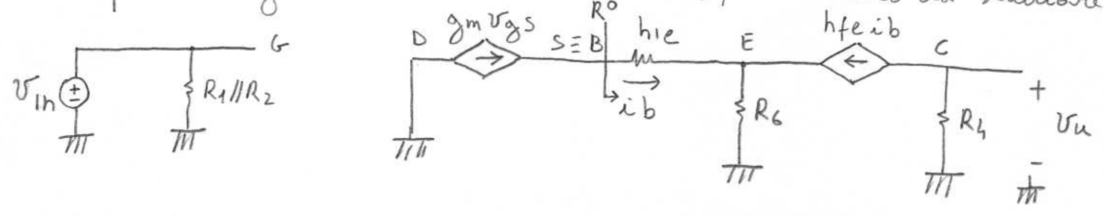
v_u si annulla per la s per cui $R_4 + \left(R_5 // \frac{1}{C_3 s}\right) = 0$ →

$$R_4 + \frac{R_5 \cdot \frac{1}{C_3 s}}{R_5 + \frac{1}{C_3 s}} = R_4 + \frac{R_5}{1 + R_5 C_3 s} = \frac{R_4 + R_4 R_5 C_3 s + R_5}{1 + R_5 C_3 s} = 0 \rightarrow$$

$$R_4 R_5 C_3 s = -(R_4 + R_5) \rightarrow s = -\frac{1}{C_3 \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}} = -\frac{1}{C_3 (R_4 // R_5)} \rightarrow$$

$$\omega_{Z3} = \frac{1}{C_3 (R_4 // R_5)} = 114285.714 \text{ rad/s} \rightarrow f_{Z3} = \frac{\omega_{Z3}}{2\pi} = 18189.136 \text{ Hz}$$

Per quanto riguarda il calcolo di $A_V(\infty)$, il circuito da studiare é questo:



$v_u = -h_{fe}\, i_b\, R_4$

$i_b = g_m v_{gs}$

$v_{gs} = v_g - v_s = v_g - R^\circ g_m v_{gs}$ (con $R^\circ = h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)$ resistenza vista tra base e massa) →

$$v_{gs}(1 + R^\circ g_m) = v_g \rightarrow v_{gs} = \frac{v_g}{1 + R^\circ g_m} = \frac{v_g}{1 + [h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)]\, g_m}$$

(o equivalentemente: $v_{gs} = v_g - v_s$ con $v_s = h_{ie}\, i_b + R_6(h_{fe}+1)\, i_b$ e $i_b = g_m v_{gs}$, per cui $v_{gs} = v_g - [h_{ie} + R_6(h_{fe}+1)]\, g_m v_{gs}$)

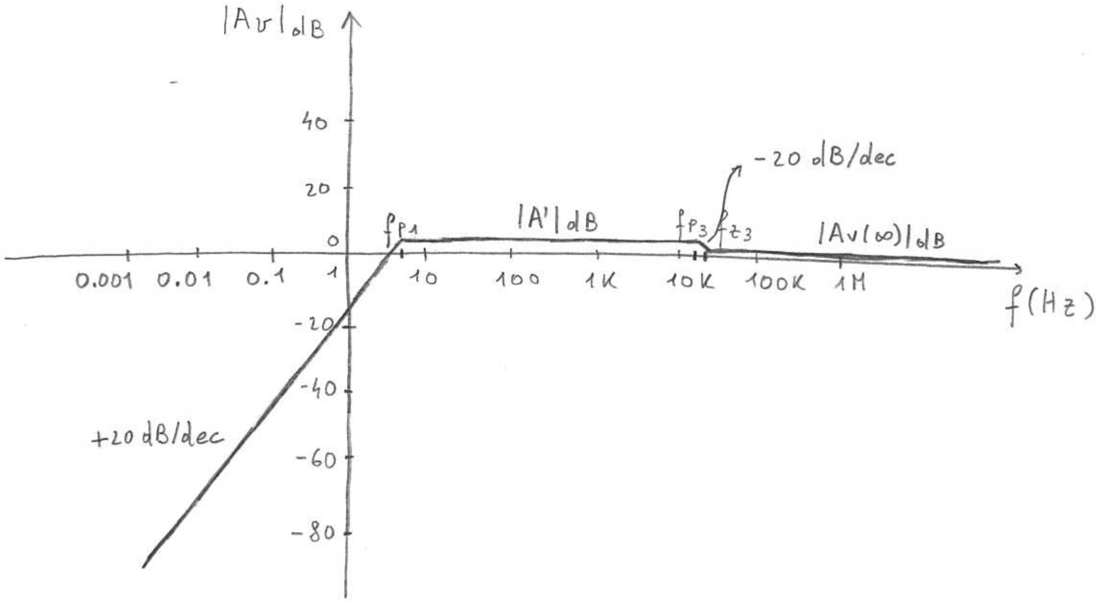
$v_g = v_{in}$

$$A_v(\infty) = \frac{v_u}{v_{in}} = \frac{-h_{fe} R_4 g_m}{1 + [h_{ie} + R_6 (h_{fe}+1)] g_m} = -1.1404$$

(negativo, come deve essere visto che è la cascata di uno stadio a drain comune, non invertente, e di uno stadio a emettitore comune, invertente)

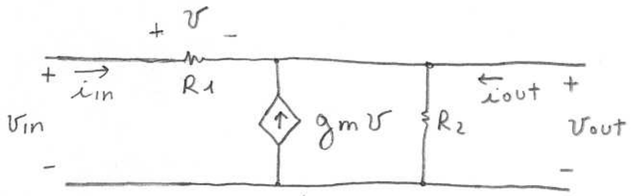
$$|A_v(\infty)|_{dB} = 1.141 \text{ dB}$$

$$A_v(s) = A_v(\infty) \frac{s(s+\omega_{z3})}{(s+\omega_{p1})(s+\omega_{p2})}$$



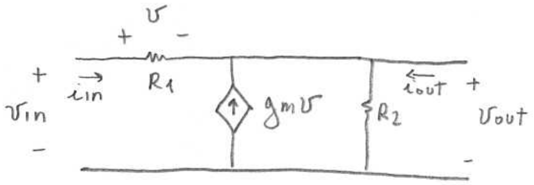
$$|A'| = |A_v(\infty)| \cdot \frac{f_{z3}}{f_{p3}} = 1.3033 \rightarrow |A'|_{dB} = 2.3 \text{ dB}$$

4)



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

[per $i_{out} = 0$ NON RICHIESTO



$$f_f = \left.\frac{v_{out}}{v_{in}}\right|_{i_{out}=0}$$

$$v_{out} = R_2\,(i_{in} + g_m v) \underset{v = R_1 i_{in}}{=} R_2\,(i_{in} + g_m R_1 i_{in}) = R_2(1+g_m R_1)\, i_{in}$$

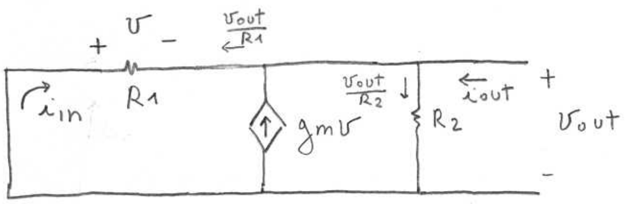
$$v_{in} = v + v_{out} = R_1 i_{in} + R_2(1+g_m R_1)\, i_{in} = [R_1 + R_2(1+g_m R_1)]\, i_{in}$$

$$f_f = \frac{R_2(1+g_m R_1)\, i_{in}}{[R_1+R_2(1+g_m R_1)]\, i_{in}} = \frac{R_2(1+g_m R_1)}{R_1+R_2(1+g_m R_1)}$$

$$f_i = \left.\frac{i_{in}}{v_{in}}\right|_{i_{out}=0}$$

$$f_i = \frac{i_{in}}{[R_1+R_2(1+g_m R_1)]\, i_{in}} = \frac{1}{R_1+R_2(1+g_m R_1)}$$]

per $v_{in} = 0$



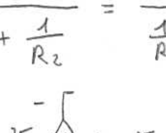
$$f_o = \left.\frac{v_{out}}{i_{out}}\right|_{v_{in}=0}$$

$$v_{out} = -v$$

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{R_1} - g_m v + \frac{v_{out}}{R_2}$$ (per l'equilibrio delle correnti) →

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{R_1} + g_m v_{out} + \frac{v_{out}}{R_2} = v_{out}\left(\frac{1}{R_1} + g_m + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$f_o = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + g_m + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{1/g_m} + \frac{1}{R_2}} = R_1 /\!/ R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}$$

(d'altra parte il bipolo  equivale a una resistenza di valore $\frac{1}{g_m}$ perché la resistenza vista tra i suoi due terminali è pari a $\frac{v_P}{i_P} = \frac{v}{g_m v} = \frac{1}{g_m}$, per cui la resistenza di uscita v_{out}/i_{out} è data dal parallelo di R_1, $1/g_m$ e R_2)

$$f_r = \left.\frac{i_{in}}{i_{out}}\right|_{v_{in}=0}$$

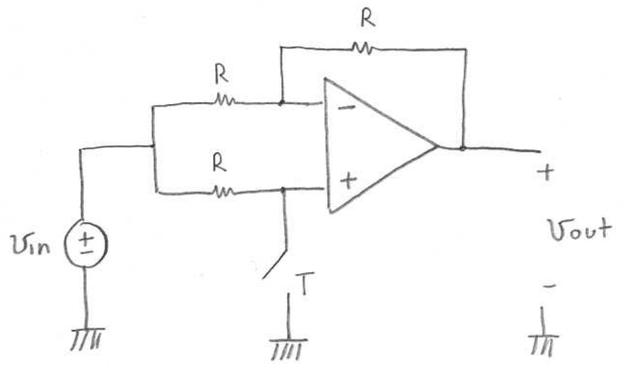
$$i_{in} = \frac{v}{R_1} = -\frac{v_{out}}{R_1} \rightarrow$$

$$f_r = \frac{i_{in}}{i_{out}} = \frac{-\frac{v_{out}}{R_1}}{v_{out}\left(\frac{1}{R_1}+g_m+\frac{1}{R_2}\right)} = -\frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1}+g_m+\frac{1}{R_2}} = -\frac{R_1 /\!/ R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}}{R_1} =$$

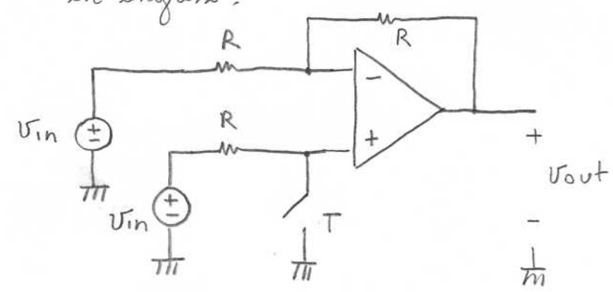
$$= -\frac{\cancel{R_1}\left(R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}\right)}{R_1+\left(R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}\right)}\,\frac{1}{\cancel{R_1}} = -\frac{R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}}{R_1+\left(R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}\right)}$$

come è giusto che sia dato che  $g_m v$ equivale a  $\frac{1}{g_m}$ e quindi la $-i_{in}$ è una partizione della corrente i_{out} tra $\frac{1}{g_m} /\!/ R_2$ (in cui la $-i_{in}$ non scorre) e la R_1 (in cui la $-i_{in}$ scorre)

5)



(o equivalentemente, sdoppiando il generatore in ingresso:



)

se si usa il principio di sovrapposizione degli effetti:

- quando l'interruttore è chiuso l'effetto della v_{in} inferiore (con quella superiore disattivata) è

$v^+ = 0 \rightarrow v_{out} = v^+ \underbrace{\left(1+\frac{R}{R}\right)}_{\text{amplificazione dell'amplificatore non invertente}} = 2v^+ = 0$

mentre l'effetto della v_{in} superiore (con quella inferiore disattivata) è

$v^+ = 0 \rightarrow v_{out} = \underbrace{-\frac{R}{R}}_{\text{amplificazione dell'amplificatore invertente}} v_{in} = -v_{in}$

complessivamente quindi $v_{out} = 0 - v_{in} = -v_{in}$

- quando l'interruttore è aperto l'effetto della v_{in} inferiore (con quella superiore disattivata) è

$v^+ = v_{in}$ (dato che $i^+ = 0$ la caduta sulla R che sta sull'ingresso + è nulla) $\rightarrow$

$v_{out} = v^+\left(1+\frac{R}{R}\right) = 2v^+ = 2v_{in}$

mentre l'effetto della v_{in} superiore (con quella inferiore disattivata) è

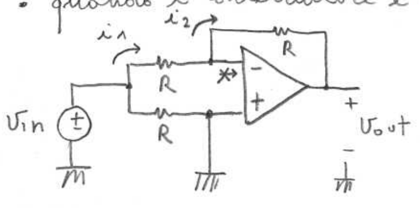
$v^+ = 0$ (dato che $i^+ = 0$ la caduta sulla R che sta sull'ingresso + è nulla) $\rightarrow$

$v_{out} = -\frac{R}{R}v_{in} = -v_{in}$

complessivamente quindi $v_{out} = 2v_{in} - v_{in} = v_{in}$

[Se non avessimo voluto usare il principio di sovrapposizione degli effetti:

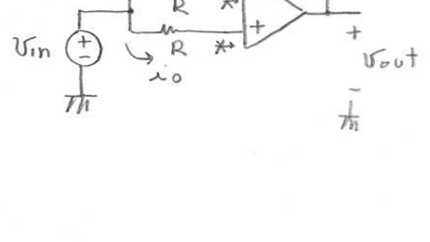
- quando l'interruttore è chiuso



$v^+ = 0 \overset{(\text{per il c.c.v})}{=} v^- \rightarrow i_1 = \frac{v_{in}}{R} = i_2$ (dato che $i^- = 0$ per il ccv) $\rightarrow$

$v_{out} = v^- - Ri_2 = 0 - R\frac{v_{in}}{R} = -v_{in}$

- quando l'interruttore è aperto



$i_0 = i^+ = 0$ (per il ccv) $\rightarrow v^+ = v_{in} - Ri_0 = v_{in} \rightarrow$

$v^- \overset{(\text{per il ccv})}{=} v^+ = v_{in} \rightarrow i_1 = \frac{v_{in} - v^-}{R} = 0 \rightarrow i_1 = i_2 = 0$ (dato che $i^- = 0$ per il ccv) $\rightarrow v_{out} = v^- - Ri_2 = v^- = v_{in}$.]