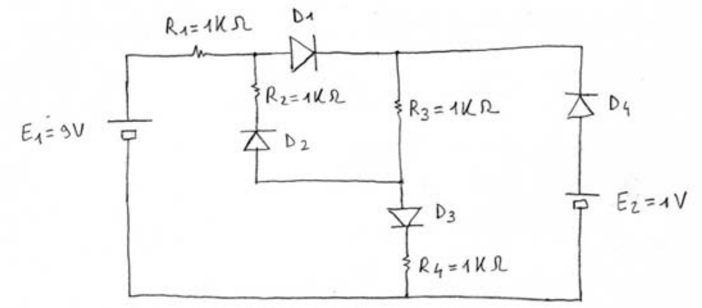
Scheda **A17_06**		Data: **30 giugno 2017**
Cognome	Nome	Matricola

ESERCIZIO N°1

6 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, si determinino: la zona di funzionamento, il valore della tensione tra anodo e catodo e della corrente che scorre dall'anodo al catodo nei 4 diodi. Si considerino i diodi ideali.



ESERCIZIO N°2

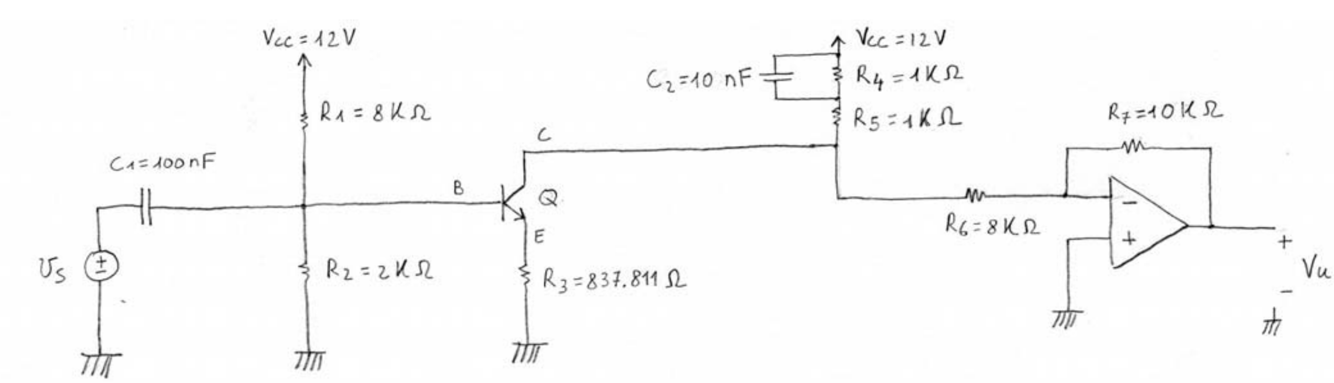
8 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, determinare il punto di lavoro del transistore *Q* e il valore della tensione di uscita V_u a riposo. Si consideri h_{FE}=200 per il transistore *Q* e si supponga l'amplificatore operazionale ideale.

Si consiglia di:

a) per determinare il punto di lavoro del transistore *Q* fare un equivalente di Thevenin tra base e massa della parte di circuito a sinistra della base e un equivalente di Thevenin tra collettore e massa della parte di circuito a destra del collettore (per quest'ultimo tenere conto anche del cortocircuito virtuale all'ingresso dell'amplificatore operazionale);

b) una volta trovati la corrente di collettore I_c e la tensione di collettore V_c del transistore *Q*, continuare il calcolo facendo riferimento al circuito in continua originario (cioè quello in cui ***non*** sono stati fatti gli equivalenti di Thevenin) e usando il cortocircuito virtuale all'ingresso dell'amplificatore operazionale.



ESERCIZIO N°3

7 punti (4)

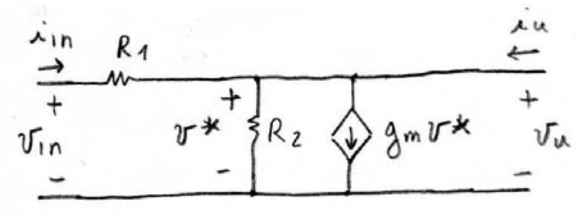
Per il circuito mostrato nell'esercizio precedente, si ricavi la funzione di trasferimento $A_v(s)=V_u/V_s$ e se ne grafichi il diagramma di Bode del modulo.

Per il transistore *Q* si considerino *hie*=4.8 KΩ e *hfe*=250. Anche in questo caso, si supponga valido il cortocircuito virtuale all'ingresso dell'amplificatore operazionale.

ESERCIZIO N°4

6 punti (4)

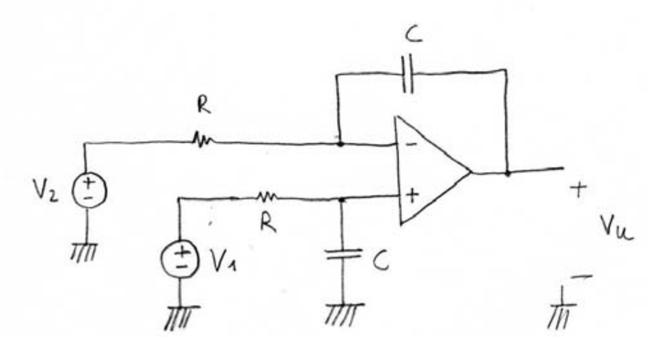
Si ricavino i parametri f_f e f_i per il circuito mostrato in figura.



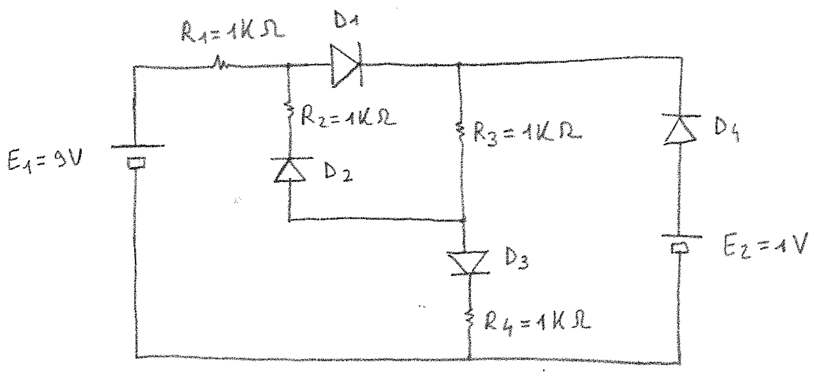
ESERCIZIO N°5

6 punti (4)

Svolgendo il calcolo in *s*, ricavare il legame tra la tensione di uscita $V_u(s)$ e le due tensioni di ingresso $V_1(s)$ e $V_2(s)$ nel seguente circuito. Si consideri l'amplificatore operazionale ideale e, per semplicità, si considerino i due condensatori *C* inizialmente scarichi.

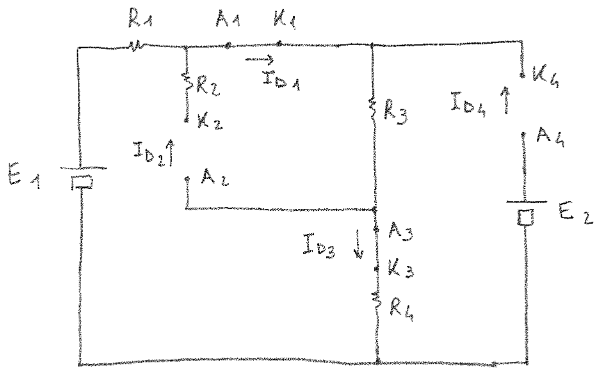


1)



dato che $E_1 > E_2 > 0$ faccio le seguenti ipotesi:
D_1 conduce,
D_3 conduce,
D_2 è interdetto,
D_4 è interdetto

il circuito da studiare diventa:



$$I_{D1} = \frac{E_1}{R_1 + R_3 + R_4} = 3\,mA > 0 \quad \rightarrow D_1 \text{ effettivamente conduce}$$

$$I_{D3} = I_{D1} = 3\,mA > 0 \quad \rightarrow D_3 \text{ effettivamente conduce}$$

$$V_{A_2} = E_1 \frac{R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = 3V$$

$$V_{K_2} = E_1 \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = 6V$$

$$V_{AK_2} = -3V < 0 \quad \rightarrow D_2 \text{ effettivamente è interdetto}$$

$$V_{A_4} = 1V$$

$$V_{K_4} = V_{K_2} = 6V$$

$$V_{AK_4} = -5V < 0 \quad \rightarrow D_4 \text{ effettivamente è interdetto}$$

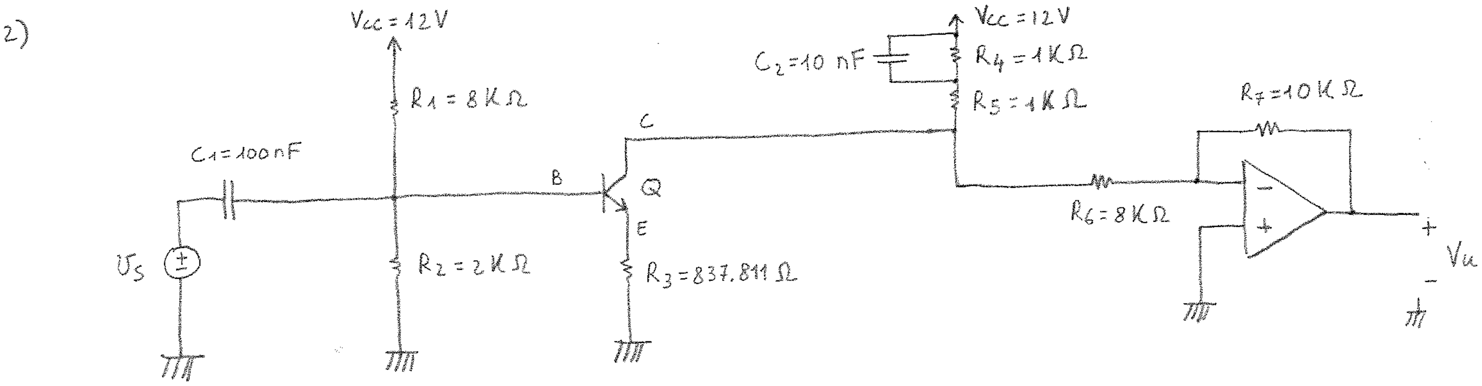
$$V_{AK1} = 0$$

$$V_{AK_4} = 0$$

$$I_{D_2} = 0$$

$$I_{D4} = 0$$

2)

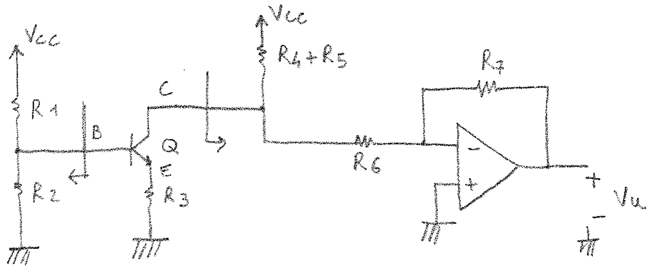


si consideri per Q : $h_{FE} = 200$

$h_{fe} = 250$

$h_{ie} = 4800\,\Omega$

In continua si ha:

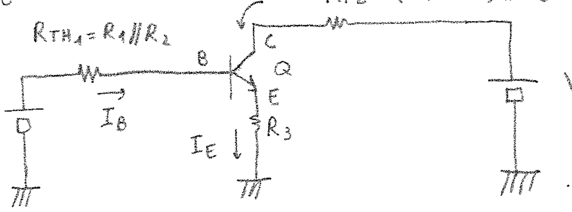


se facciamo l'equivalente di Thevenin visto dalla base verso sinistra e quello dal collettore verso destra (sfruttando anche il cortocircuito virtuale per dire che V^- è a massa virtuale) ci riconduciamo al seguente circuito:

$R_{TH2} = (R_4 + R_5) // R_6$

$R_{TH1} = R_1 // R_2$

$V_{TH1} = \dfrac{V_{CC}\, R_2}{R_1 + R_2}$



$V_{TH2} = \dfrac{V_{CC}\, R_6}{R_4 + R_5 + R_6}$

dove $V_{TH1} = 2.4V$

$R_{TH1} = 1600\,\Omega$

$V_{TH2} = 9.6V$

$R_{TH2} = 1600\,\Omega$

ipotesi: Q in zona attiva diretta

nella maglia di ingresso abbiamo

$$V_{TH1} = R_{TH1} I_B + V_\gamma + R_3 \underbrace{I_E}_{I_B(h_{FE}+1)} = [R_{TH1} + R_3(h_{FE}+1)] I_B + V_\gamma \rightarrow$$

$$I_B = \frac{V_{TH1} - V_\gamma}{R_{TH1} + R_3(h_{FE}+1)} = 10\,\mu A \geq 0$$

$I_E = I_B(h_{FE}+1) = 2.01\ mA$

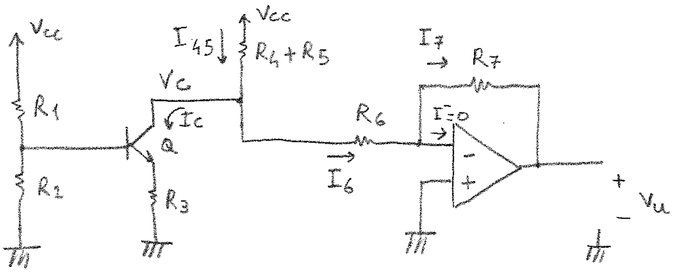
$I_C = I_B\, h_{FE} = 2\ mA$

$V_B = V_{TH1} - R_{TH1} I_B = 2.384V$

$V_C = V_{TH2} - R_{TH2} I_C = 6.4V$ *

$V_E = R_3 I_E = 1.684V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 4.716V > V_{CE\,sat} = 0.2V \longrightarrow$ Q effettivamente è in zona attiva diretta a questo punto possiamo tornare al circuito iniziale in continua e dire che



$$I_{45} = \frac{V_{cc} - V_c}{R_4 + R_5} = 2.8 \text{ mA}$$

$$I_6 = I_{45} - I_c = 0.8 \text{ mA} \underset{\text{per il ccv } I^- = 0}{\underset{\downarrow}{=}} I_7$$

(oppure: $I_6 = \frac{V_c - V^-}{R_6} = \frac{V_c}{R_6} = 0.8 \text{ mA} = I_7$)

$$V_u = -R_7 I_7 = -8 \text{ V}$$

* oppure, una volta ricavato I_c, senza fare l'equivalente di Thevenin sul collettore si può fare l'equilibrio delle correnti al collettore per trovare V_c:

$$I_c = I_{45} - I_6 \rightarrow$$

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_c}{R_4 + R_5} - \frac{V_c}{R_6} \rightarrow$$

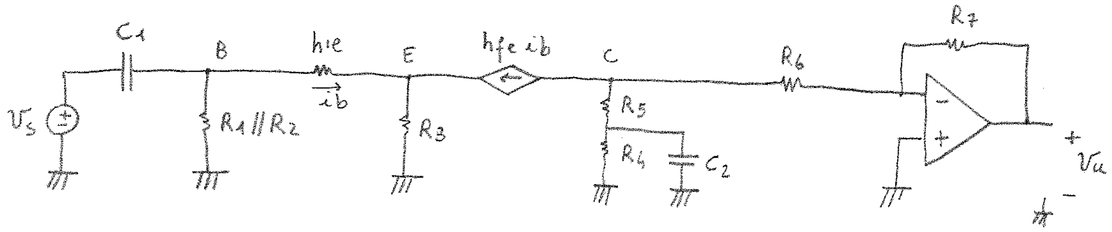
$$\frac{V_{cc}}{R_4 + R_5} - I_c = V_c \left(\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_4 + R_5} \right) \rightarrow$$

$$V_c = \frac{\frac{V_{cc}}{R_4 + R_5} - I_c}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_4 + R_5}} = 6.4 \text{ V}$$

$$\left(\frac{V_{cc}}{R_4 + R_5} - I_c \right) \left(R_6 /\!/ (R_4 + R_5) \right) = \frac{V_{cc}}{\cancel{R_4 + R_5}} \frac{R_6 \, (\cancel{R_4 + R_5})}{R_4 + R_5 + R_6} - \left(R_6 /\!/ (R_4 + R_5) \right) I_c = \frac{V_{cc} R_6}{R_4 + R_5 + R_6} - \left((R_4 + R_5) /\!/ R_6 \right) I_c$$

come abbiamo ottenuto facendo l'equivalente di Thevenin sul collettore

3)



abbiamo due condensatori e nessuna maglia impropria → abbiamo 2 poli

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

$$R_{VC1} = R_1 // R_2 // \left(h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)\right) = 1588.186\ \Omega$$

$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 6296.492 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P1} = 1002.1178 \text{ Hz}$$

$$R_{VC2} = R_4 // (R_5 + R_6) = 900\ \Omega$$

↓

R_4 lo si considera subito in parallelo, poi c'è R_5 in serie al resto, quanto al resto: quando si valuta la resistenza vista da C_2 si spenge V_s, per cui $i_b = 0 \rightarrow h_{fe} i_b = 0$ cioè il generatore $h_{fe} i_b$ è spento (in altre parole dal collettore di un BJT si vede una resistenza infinita), da C verso destra invece si vede R_6 (perché per il ccv $V^- = 0$); quindi complessivamente si ha $R_4 // (R_5 + (\infty // R_6)) = R_4 // (R_5 + R_6)$

$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 111'111.1 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P2} = 17'683.883 \text{ Hz}$$

C_1 è in serie sul percorso del segnale verso l'uscita → $\omega_{Z1} = 0 \rightarrow f_{Z1} = 0$

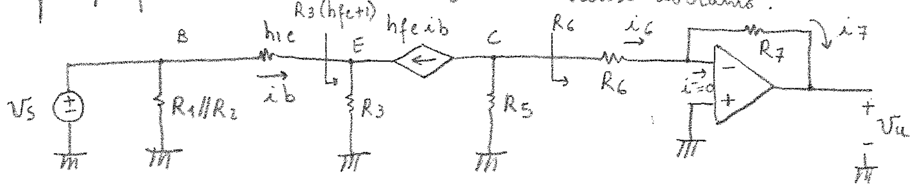
C_2 introduce uno zero in corrispondenza della s per cui $R_5 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right) = 0$ perché quando quest'impedenza è nulla la tensione sul collettore va a 0 e quindi anche $V_u = 0$; ma

$$R_5 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right) = 0 \rightarrow R_5 + \frac{R_4 \frac{1}{C_2 s}}{R_4 + \frac{1}{C_2 s}} = R_5 + \frac{R_4}{1 + R_4 C_2 s} = \frac{R_5 + R_4 R_5 C_2 s + R_4}{1 + R_4 C_2 s} = 0 \rightarrow$$

$$R_4 + R_5 + R_4 R_5 C_2 s = 0 \rightarrow s = -\frac{R_4 + R_5}{R_4 R_5 C_2} = -\frac{1}{\frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} C_2} = -\frac{1}{(R_4 // R_5)\ C_2} \rightarrow$$

$$\omega_{Z2} = \frac{1}{C_2 (R_4 // R_5)} = 200'000 \text{ rad/s} \rightarrow f_{Z2} = 31'830.989 \text{ Hz}$$

per frequenze tali che C_1 e C_2 sono chiusi abbiamo:



$V_u = -R_7 i_7$

per il ccv $i^- = 0 \rightarrow i_7 = i_6$

per il ccv $v^- = 0$, per cui dal collettore verso massa in parallelo a R_5 si vede R_6; applicando il partitore di corrente si trova

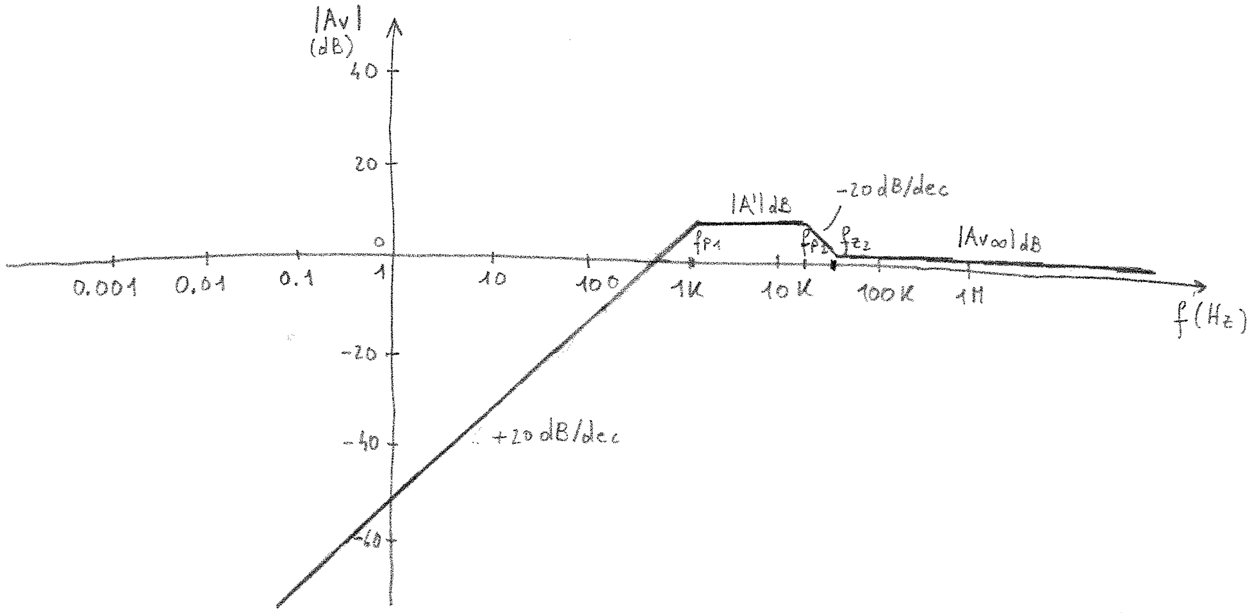
$$i_6 = -h_{fe} i_b \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

$$i_b = \frac{V_s}{h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)}$$

$$A_{v\infty} = +R_7 h_{fe} \frac{R_5}{R_5 + R_6} \frac{1}{h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)} = 1.29144$$

$$|A_{v\infty}|_{dB} = 2.2215 \text{ dB}$$

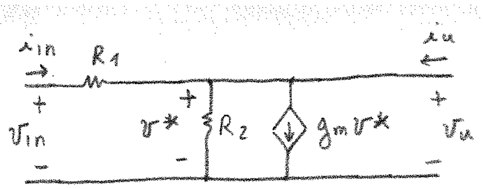
$$A_v(s) = A_{v\infty} \frac{s\,(s + \omega_{Z2})}{(s + \omega_{P1})(s + \omega_{P2})}$$



$$|A'| = |A_{V\infty}| \frac{f_{Z2}}{f_{P2}} = 2.3246$$

$$|A'|_{dB} = 7.327 \text{ dB}$$

4)



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

se $i_u = 0$ (terminali di uscita aperti):

$$f_f = \left.\frac{v_u}{v_{in}}\right|_{i_u=0} = \frac{1}{R_1\left(\frac{1}{R_2}+g_m\right)+1} \left[= \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2}+g_m}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2}+g_m}} = \frac{R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}}{R_1 + R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}} \right]$$

$$\downarrow$$

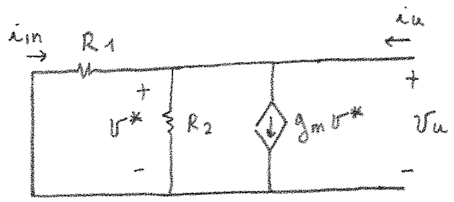
$$\left[\begin{array}{l} v_u = v^* \\ v_{in} = R_1 i_{R_1} + v^* = R_1\left(\frac{v^*}{R_2} + g_m v^*\right) + v^* = v^*\left(R_1\left(\frac{1}{R_2}+g_m\right)+1\right) \end{array}\right]$$

$$f_i = \left.\frac{i_{in}}{v_{in}}\right|_{i_u=0} = \frac{\frac{1}{R_2}+g_m}{R_1\left(\frac{1}{R_2}+g_m\right)+1} \left[= \frac{1}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2}+g_m}} = \frac{1}{R_1 + R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}} \right]$$

$$\downarrow$$

$$\left[\begin{array}{l} i_{in} = \frac{v^*}{R_2} + g_m v^* = v^*\left(\frac{1}{R_2}+g_m\right) \\ v_{in} = R_1 i_{R_1} + v^* = v^*\left(R_1\left(\frac{1}{R_2}+g_m\right)+1\right) \end{array}\right]$$

[se $v_{in} = 0$ (terminali di ingresso cortocircuitati)



NON RICHIESTO

$$f_o = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_{in}=0} = \frac{v^*}{\frac{v^*}{R_1/\!/R_2} + g_m v^*} = \frac{1}{\frac{1}{R_1/\!/R_2}+g_m} \left[= R_1 /\!/ R_2 /\!/ \frac{1}{g_m} \right]$$

$$\downarrow$$

$$\left[\begin{array}{l} v_u = v^* \\ i_u = \frac{v^*}{R_1/\!/R_2} + g_m v^* \end{array}\right]$$

$$f_r = \left.\frac{i_{in}}{i_u}\right|_{v_{in}=0} = \frac{-\frac{v^*}{R_1}}{\frac{v^*}{R_1/\!/R_2} + g_m v^*} = \frac{-\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1/\!/R_2}+g_m} \left[= -\frac{1}{R_1}\left(R_1 /\!/ R_2 /\!/ \frac{1}{g_m}\right) \right]$$

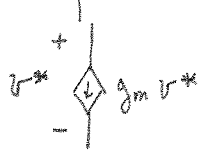
$$\downarrow$$

$$i_{in} = -\frac{v^*}{R_1}$$

$$i_u = \frac{v^*}{R_1/\!/R_2} + g_m v^*$$

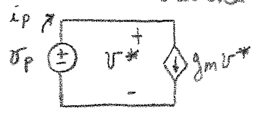
]

A questi risultati si poteva anche arrivare notando che il bipolo



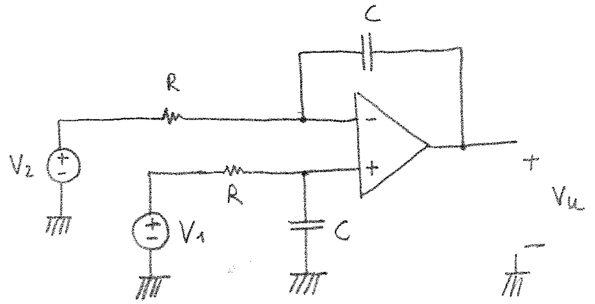
equivale a una resistenza

(basta farne l'equivalente di Thevenin, cioè calcolarne la resistenza vista:



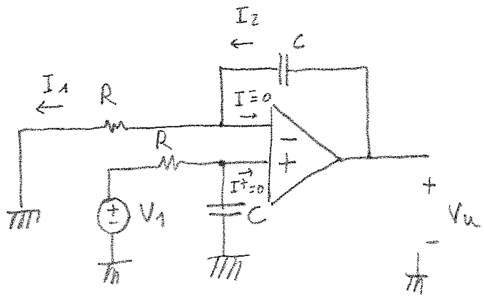
$v_p = v^*$ $\rightarrow$
$i_p = g_m v^*$
$r_v = v_p / i_p = 1/g_m$)

5)



usiamo il principio di sovrapposizione degli effetti e il cortocircuito virtuale:

quando agisce V_1 e V_2 è disattivato, abbiamo



$$V^+ = V_1 \frac{\frac{1}{CS}}{R+\frac{1}{CS}} = V_1 \frac{1}{1+RCS} = V^-$$

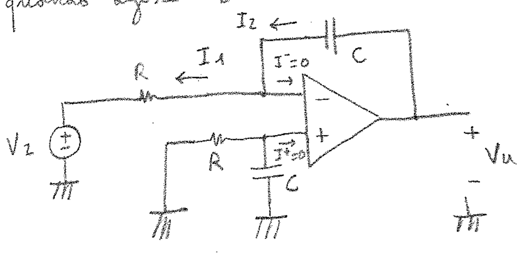
dato che $I^+=0$ — dato che $V^+=V^-$

$$I_1 = \frac{V^-}{R} = \frac{V_1}{R}\frac{1}{1+RCS} = I_2$$

dato che $I^-=0$

$$V_u = V^+ + \frac{1}{CS} I_2 = \frac{V_1}{1+RCS}\left(1+\frac{1}{RCS}\right) = \frac{V_1}{\cancel{1+RCS}}\,\frac{\cancel{1+RCS}}{RCS} = \frac{V_1}{RCS}$$

quando agisce V_2 e V_1 è disattivato, abbiamo



$$V^+ = 0 = V^-$$

dato che $V^+=V^-$

$$I_1 = -\frac{V_2}{R} = I_2$$

dato che $I^-=0$

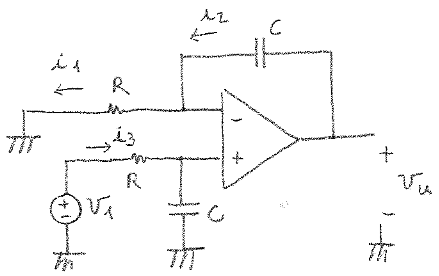
$$V_u = V^- + \frac{1}{CS} I_2 = 0 - \frac{V_2}{RCS} = -\frac{V_2}{RCS}$$

complessivamente, si ha che

$$V_u = \frac{V_1}{RCS} - \frac{V_2}{RCS} = \frac{1}{RCS}(V_1 - V_2) \quad \rightleftarrows \quad v_u(t) = \frac{1}{RC}\int_0^t (v_1(t)-v_2(t))\,d\tau$$

[Analogamente, lavorando nel tempo:

quando agisce v_1 e v_2 è disattivato, abbiamo



NON RICHIESTO

$$v_1 = R i_3 + \underbrace{\frac{1}{C}\int_0^t i_3 \, d\tau}_{v^+}$$

$$v^+ = v_1 - R i_3$$

$$v^+ = \frac{1}{C}\int_0^t i_3 \, d\tau$$

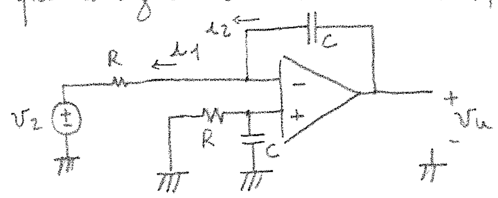
$$i_1 = \frac{v^-}{R} \underset{\substack{\downarrow \\ \text{per il ccv } v^+ = v^-}}{=} \frac{v^+}{R}$$

$$v_u = v^- + \frac{1}{C}\int_0^t i_2 \, d\tau \underset{\substack{\downarrow \\ v^- = v^+, \\ i_2 = i_1}}{=} v^+ + \frac{1}{C}\int_0^t i_1 \, d\tau = v^+ + \frac{1}{C}\int_0^t \frac{v^+}{R} \, d\tau = v^+ + \frac{1}{RC}\int_0^t v^+ \, d\tau =$$

$$= v^+ + \frac{1}{RC}\int_0^t (v_1 - R i_3) \, d\tau = v^+ + \frac{1}{RC}\int_0^t v_1 \, d\tau - \overbrace{\frac{1}{\cancel{R}C}\cancel{R}\int_0^t i_3 \, d\tau}^{v^+} =$$

$$= \cancel{v^+} + \frac{1}{RC}\int_0^t v_1 \, d\tau - \cancel{v^+} = \frac{1}{RC}\int_0^t v_1 \, d\tau$$

quando agisce v_2 e v_1 è disattivato, abbiamo



$$v^+ = 0 = v^-$$
$\downarrow$ dato che $v^+ = v^-$

$$i_1 = -\frac{v_2}{R} = i_2$$
$\downarrow$ dato che $i^- = 0$

$$v_u = v^- + \frac{1}{C}\int_0^t i_2 \, d\tau \underset{\substack{\downarrow \\ v^- = v^+, \\ i_2 = i_1}}{=} 0 - \frac{1}{RC}\int_0^t v_2 \, d\tau$$

complessivamente, si ha

$$v_u = \frac{1}{RC}\int_0^t v_1 \, d\tau - \frac{1}{RC}\int_0^t v_2 \, d\tau = \frac{1}{RC}\int_0^t (v_1 - v_2) \, d\tau$$]