Scheda **A17_08**		Data: **13 settembre 2017**
Cognome	Nome	Matricola

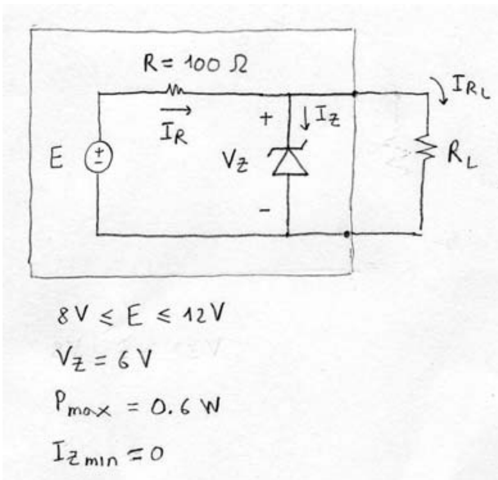
ESERCIZIO N°1

6 punti (4)

Si consideri il regolatore di tensione a diodo zener riquadrato in figura, con R=100 Ω. La tensione di zener del diodo sia V_z=6 V. Si assuma nulla la corrente di ginocchio del diodo zener (cioè il diodo funziona in zona zener purché la I_Z indicata in figura sia maggiore o uguale a zero). Inoltre si ipotizzi che il diodo zener possa sopportare una potenza massima pari a 0.6 W. Si ipotizzi che la tensione di ingresso E assuma solo valori compresi tra 8 V e 12 V. Si determini l'intervallo di valori del carico R_L per cui il circuito può funzionare come regolatore di tensione. A tal fine:

a) per calcolare il valore massimo di R_L, si consideri E=12 V (valore di E per cui la I_R è massima) e si veda se il circuito può funzionare anche per R_L infinita (cioè in assenza di carico R_L): in tale situazione il diodo è in grado di sopportare la potenza che si viene a sviluppare su di esso?

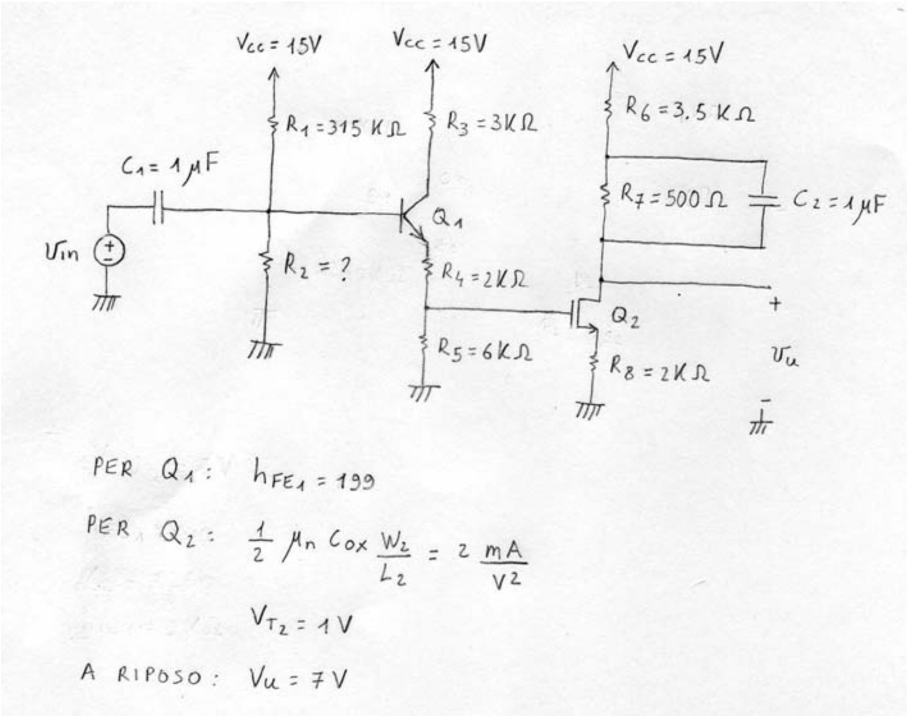
b) per calcolare il valore minimo di R_L, si consideri E=8 V (valore di E per cui la I_R è minima): in tale condizione si calcoli la I_R e poi (sfruttando il principio di Kirchhoff sulle correnti) si determini il valore minimo di R_L per cui la corrente I_Z rimane maggiore o uguale alla corrente di ginocchio (nelle nostre ipotesi zero).



ESERCIZIO N°2

7 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 7 V. Determinare il punto di lavoro dei transistori Q_1 e Q_2.

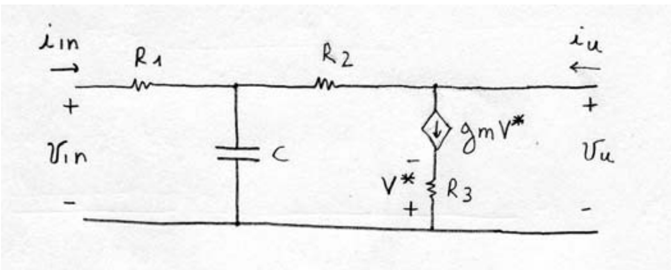


ESERCIZIO N°3
8 punti (4)

Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma $R_1//R_2$=200 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. Si considerino per Q_1: h_{ie1}=4 KΩ, h_{fe1}=250, h_{re1}=0, h_{oe1}=0, e per Q_2: g_{m2}=4 mA/V.

ESERCIZIO N°4
6 punti (4)

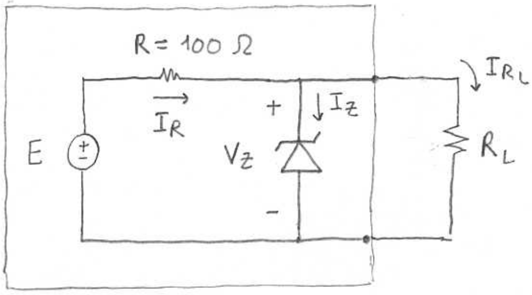
Si ricavino (come funzioni di s) i parametri r del circuito mostrato in figura. Come primo passo si analizzi il solo ramo contenente g_mV^* e R_3 e in tal modo si determini il valore di V^*, ipotizzando $g_m \neq 1/R_3$.



ESERCIZIO N°5
6 punti (4)

Si realizzi un filtro passa-basso (di ordine uguale o maggiore di 1, a scelta del candidato) con guadagno a frequenza nulla pari a 2 e con pulsazione di taglio ω_P=1 Krad/s.

1)



$8V \le E \le 12V$

$V_Z = 6V$

$P_{max} = 0.6 W$

$I_{Z\,min} \simeq 0$

b) $R_{L\,min} = ?$

anche quando $E = E_{min} = 8V$ (caso in cui I_R è minima) perché il diodo continui a funzionare in zona zener deve essere $I_Z \geq 0$;

ma $I_Z = I_R - I_{RL}$

$$I_R = \frac{E_{min} - V_Z}{R} = 20 mA$$

$$I_{RL} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{6V}{R_L}$$

$$I_Z = 20mA - \frac{6V}{R_L} \geq 0 \rightarrow \frac{6V}{R_L} \leq 20 mA \rightarrow R_L \geq \frac{6V}{20mA} = 300 \Omega$$

a) $R_{L\,max} = ?$

anche quando $E = E_{max} = 12V$ (caso in cui I_R è massima) perché il diodo non si rovini deve essere $P_Z = V_Z I_Z \leq P_{max} = 0.6 W$;

ma $I_Z = I_R - I_{RL}$

$$I_R = \frac{E_{max} - V_Z}{R} = 60 mA$$

$$I_{RL} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{6V}{R_L}$$

$$I_Z V_Z = (I_R - I_{RL}) V_Z = \left(60mA - \frac{6V}{R_L}\right) \cdot 6V \leq 0.6 W \rightarrow$$

$$0.36 W - \frac{36 V^2}{R_L} \leq 0.6 W \rightarrow$$

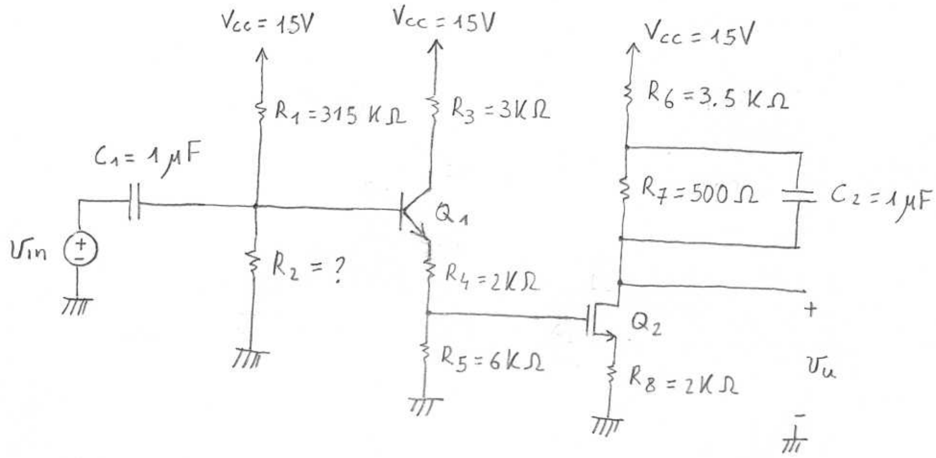
$\frac{36 V^2}{R_L} \geq 0.36 W - 0.6 W = -0.24 W$ sempre verificato, dato che R_L è positivo ;

in particolare anche quando $R_L \rightarrow \infty$ (cioè non c'è alcun carico attaccato) $I_Z = I_R = 60 mA \rightarrow$

$I_Z V_Z = I_R V_Z = 0.36 W < 0.6 W$ per cui non c'è alcun problema

In conclusione l'unica condizione su R_L è $R_L \geq 300 \Omega$

2)



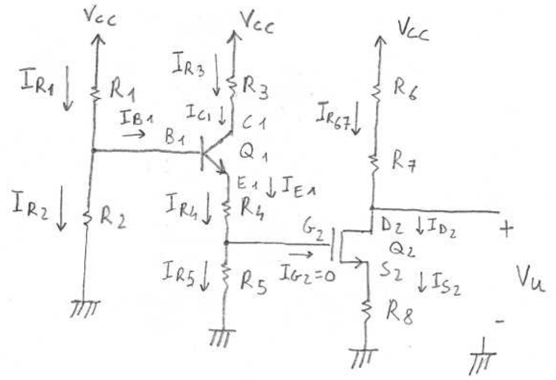
PER Q_1: $h_{FE1} = 199$

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

$V_{T2} = 1V$

A RIPOSO: $V_u = 7V$

In continua il circuito diventa:



$I_{R67} = \frac{V_{cc} - V_u}{R_6 + R_7} = 2mA = I_{D2} = I_{S2}$

dato che $I_{G2} = 0$

$V_{S2} = R_8 I_{S2} = 4V$

ipotesi 1: Q_2 in saturazione

$I_{D2} = K_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2$ con $K_2 = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W_2}{L_2} = 2\ \frac{mA}{V^2}$

$V_{GS2} = V_{T2} \cancel{\pm} \sqrt{\frac{I_{D2}}{K_2}} = 2V > V_{T2}$

(perché in un mos a canale n $V_{GS2} > V_{T2}$)

$V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} = 7V - 4V = 3V > V_{GS2} - V_{T2} = 2V - 1V = 1V$ → ipotesi 1 verificata

$V_{G2} = V_{GS2} + V_{S2} = 6V$

$I_{R5} = \frac{V_{G2}}{R_5} = 1mA = I_{R4} = I_{E1}$

(essendo $I_{G2} = 0$)

$V_{E1} = V_{G2} + R_4 I_{R4} = 8V$

ipotesi 2: Q_1 in zona attiva diretta

$V_{B1} = V_{E1} + V_\gamma = 8.7V$

$I_{E1} = (h_{FE1}+1) I_{B1} \rightarrow I_{B1} = \frac{I_{E1}}{h_{FE1}+1} = 5\mu A \geq 0$

$I_{C1} = h_{FE1} I_{B1} = 995\mu A = I_{R3}$

$V_{C1} = V_{CC} - R_3 I_{C1} = 12.015\,V$

$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 4.015\,V > V_{CEsat} = 0.2\,V \longrightarrow$ ipotesi 2 verificata

$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_{B1}}{R_1} = 20\mu A$

$I_{R2} = I_{R1} - I_{B1} = 15\mu A$

$R_2 = \frac{V_{B1}}{I_{R2}} = 580\,K\Omega$

3) dati:

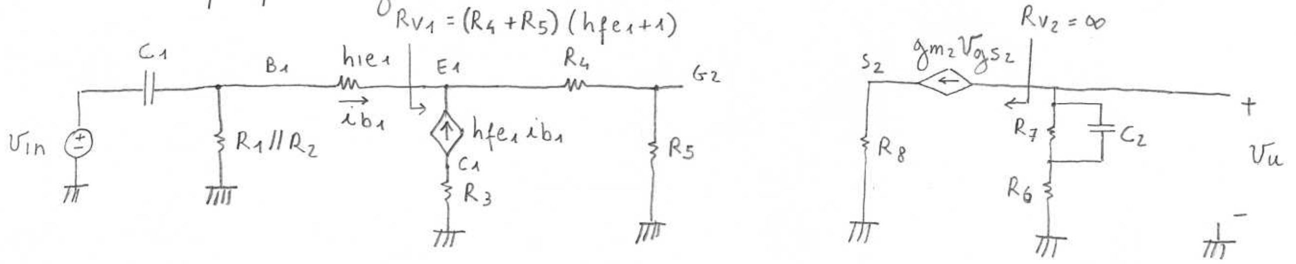
$R_1 // R_2 = 200\,K\Omega$

$h_{fe1} = 250$

$h_{ie1} = 4\,K\Omega$

$g_{m2} = 4\,\frac{mA}{V}$

Il circuito per piccoli segnali è:



essendoci due 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;

$R_{V1} = (R_4+R_5)(h_{fe1}+1)$ perché $\left.\begin{array}{l} v_P = (R_4+R_5)(i_{b1}+h_{fe1} i_{b1}) \\ i_P = i_{b1} \end{array}\right\} \rightarrow R_{V1} = \frac{v_P}{i_P} = (R_4+R_5)(h_{fe1}+1)$

$R_{VC1} = R_1//R_2//(h_{ie1}+R_{V1}) = R_1//R_2//(h_{ie1}+(R_4+R_5)(h_{fe1}+1)) = 181916.81736\,\Omega$

$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 5.497\,rad/s \rightarrow f_{P1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 0.8749\,Hz$

C_1 è in serie sull'unico percorso che porta in uscita l'effetto del segnale $\rightarrow \omega_{Z1} = 0 \rightarrow f_{Z1} = 0$

$R_{V2} = \infty$ perché quando si disattiva il generatore indipendente v_{in} la $g_{m2} v_{gs2} = 0$, per cui $i_P = 0$ e quindi $\frac{v_P}{i_P} = \infty$; quindi

$R_{VC2} = R_7 = 500\,\Omega$ (sarebbe $R_{VC2} = R_7 // (R_6 + R_{V2}) = R_7 // \infty = R_7$)

$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 2000\,rad/s \rightarrow f_{P2} = \frac{\omega_{P2}}{2\pi} = 318.31\,Hz$

C_2 introduce uno zero in corrispondenza del valore di s per cui $\left(R_7 // \frac{1}{C_2 s}\right) + R_6 = 0 \rightarrow$

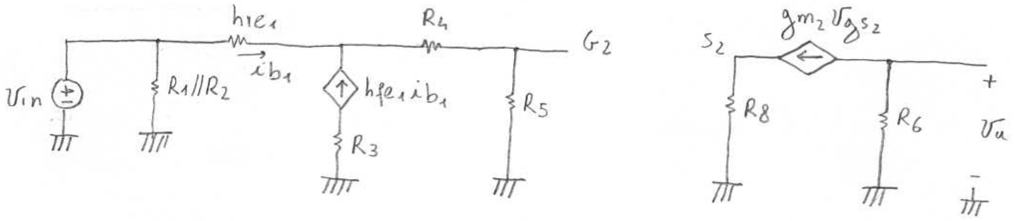
$$\frac{R_7 \frac{1}{C_2 s}}{R_7 + \frac{1}{C_2 s}} + R_6 = 0 \rightarrow \frac{R_7}{1+R_7 C_2 s} + R_6 = 0 \longrightarrow \frac{R_7 + R_6 + R_6 R_7 C_2 s}{1+R_7 C_2 s} = 0 \rightarrow$$

$$R_6 + R_7 + R_6 R_7 C_2 s = 0 \rightarrow s = -\frac{R_6+R_7}{R_6 R_7 C_2} = -\frac{1}{C_2 \frac{R_6 R_7}{R_6+R_7}} = -\frac{1}{C_2 (R_6//R_7)} \rightarrow$$

$$\omega_{Z2} = \frac{1}{C_2 (R_6//R_7)} = 2285.7\,rad/s \rightarrow f_{Z2} = \frac{\omega_{Z2}}{2\pi} = 363.78\,Hz$$

$$A_V(s) = A_{V\infty} \frac{s\,(s+\omega_{z_2})}{(s+\omega_{p_1})(s+\omega_{p_2})}$$

Per calcolare $A_{V\infty}$ chiudiamo C_1 e C_2:



$$v_u = -g_{m_2} v_{gs_2} R_6$$

$$v_{gs_2} = v_{g_2} - v_{s_2} = v_{g_2} - g_{m_2} v_{gs_2} R_8 \rightarrow v_{gs_2}(1+g_{m_2}R_8) = v_{g_2} \rightarrow v_{gs_2} = \frac{v_{g_2}}{1+g_{m_2}R_8}$$

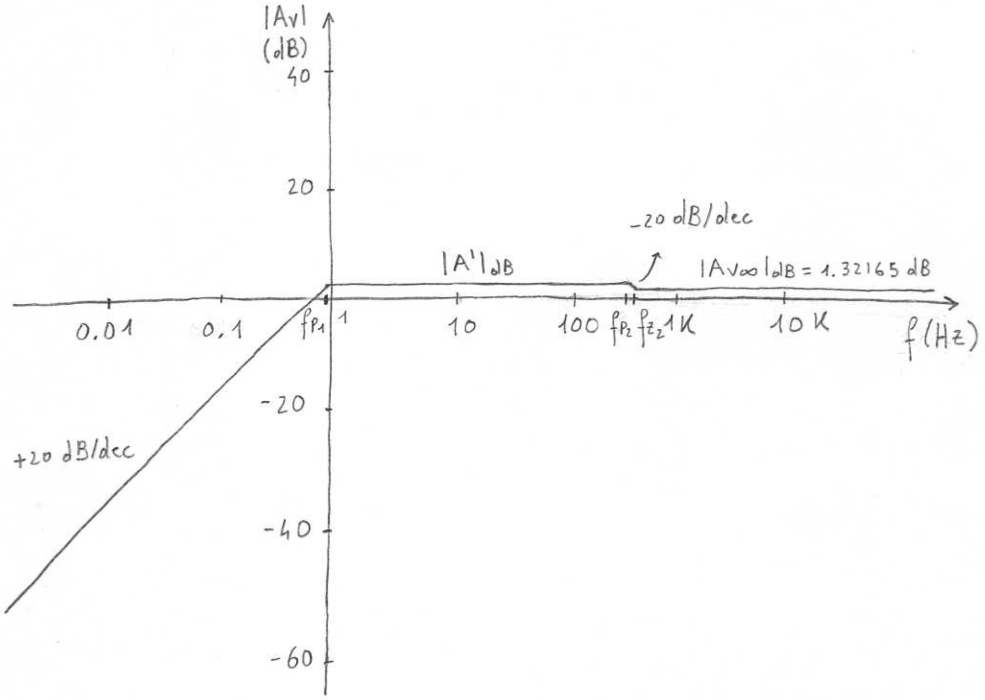
$$v_{g_2} = R_5\, i_{b_1} (1+h_{fe_1})$$

$$v_{in} = h_{ie_1} i_{b_1} + (R_4+R_5)\, i_{b_1} (1+h_{fe_1}) \rightarrow i_{b_1} = \frac{v_{in}}{h_{ie_1} + (R_4+R_5)(h_{fe_1}+1)}$$

quindi

$$A_{V\infty} = \frac{v_u}{v_{in}} = -g_{m_2} R_6 \frac{1}{1+g_{m_2}R_8} \frac{R_5(h_{fe_1}+1)}{h_{ie_1}+(R_4+R_5)(h_{fe_1}+1)} = -1.16435$$

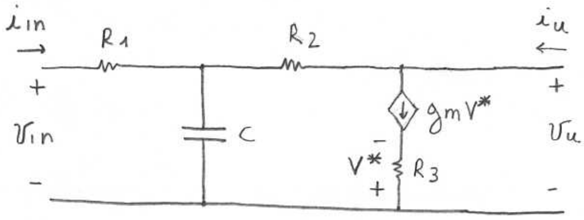
$|A_{V\infty}|_{dB} = 1.32165$ dB



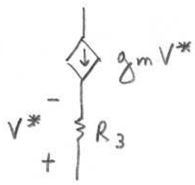
$$|A'| = |A_{V\infty}| \frac{f_{z_2}}{f_{p_2}} = 1.33$$

$|A'|_{dB} = 2.48$ dB.

4)

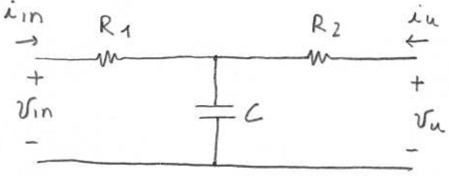


esaminiamo il ramo:



$$\underset{\substack{\downarrow \\ \text{caduta su } R_3 \text{ cambiata} \\ \text{di segno}}}{V^*} = -R_3(g_m V^*) \rightarrow V^* \underbrace{(1 + R_3 g_m)}_{\substack{\text{quantità } \neq 0 \\ \text{per } g_m \neq -\frac{1}{R_3}}} = 0 \rightarrow V^* = 0 \rightarrow g_m V^* = 0 \rightarrow$$

il ramo in questione è un ramo aperto e il circuito si riduce a

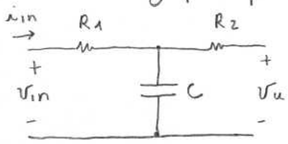


$$\begin{cases} v_u = r_f\, i_{in} + r_o\, i_u \\ v_{in} = r_i\, i_{in} + r_r\, i_u \end{cases}$$

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

$$r_i = \left.\frac{v_{in}}{i_{in}}\right|_{i_u = 0}$$

$i_u = 0$ significa porta di uscita aperta



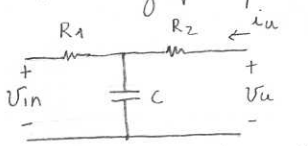
$$r_f = \frac{v_u}{i_{in}} = \frac{\frac{1}{Cs} i_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{Cs}$$

$$r_i = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{\left(R_1 + \frac{1}{Cs}\right) i_{in}}{i_{in}} = R_1 + \frac{1}{Cs}$$

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

$$r_r = \left.\frac{v_{in}}{i_u}\right|_{i_{in} = 0}$$

$i_{in} = 0$ significa porta di ingresso aperta



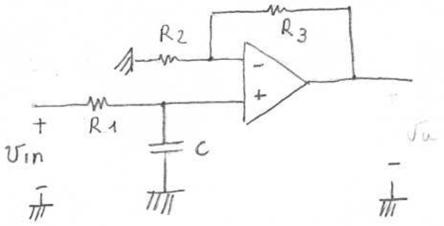
$$r_o = \frac{v_u}{i_u} = \frac{\left(R_2 + \frac{1}{Cs}\right) i_u}{i_u} = R_2 + \frac{1}{Cs}$$

$$r_r = \frac{v_{in}}{i_u} = \frac{\frac{1}{Cs} i_u}{i_u} = \frac{1}{Cs}$$

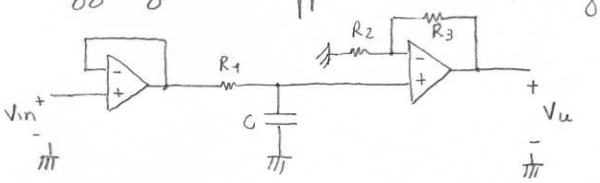
5) $H(s) = \dfrac{H_0}{1 + \dfrac{s}{\omega_p}}$ se si realizza un filtro del 1° ordine

con $H_0 = 2$

$\omega_p = 1\ Krad/s$



(se poi, oltre ad una R_{out} molto bassa bassa, volessimo anche una R_{in} molto alta basterebbe aggiungere un buffer di tensione in ingresso:



)

$$v^+ = v_{in} \frac{\frac{1}{Cs}}{R_1 + \frac{1}{Cs}} = \frac{v_{in}}{1 + R_1 Cs} \rightarrow$$

$$v_u = v^+ \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \frac{1}{1 + R_1 Cs} v_{in} \rightarrow$$

$$H = \frac{v_u}{v_{in}} = \frac{\left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)}{1 + \frac{s}{\left(\frac{1}{R_1 C}\right)}}$$

per cui $H_0 = 1 + \dfrac{R_3}{R_2}$

$\omega_P = \dfrac{1}{R_1 C}$

se ad es. prendiamo $R_3 = R_2 = 1K\Omega$

$R_1 = 1K\Omega$

$C = \dfrac{1}{1K\Omega \cdot 1\ K\frac{rad}{s}} = 1\mu F$

otteniamo

$H_0 = 2$

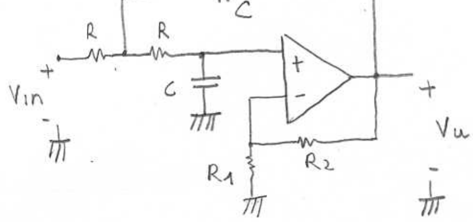
$\omega_P = 1\ Krad/s$

come desiderato

Se invece si realizza con un filtro del 2° ordine

$$H(s) = \frac{H_0}{\left(\frac{s}{\omega_P}\right)^2 + \frac{s}{Q\,\omega_P} + 1}$$

se si implementa tramite una cella di Sallen-Key passa-basso



$H_0 = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}$

$\omega_P = \dfrac{1}{RC}$

$Q = \dfrac{1}{3 - H_0}$ (non specificato nel testo)

se ad es. prendiamo $R_2 = R_1 = 1K\Omega$

$R = 1K\Omega$

$C = 1\mu F$

otteniamo $H_0 = 2$, $\omega_P = 1\ Krad/s$ come desiderato (e $Q = 1$)

(anche qui, se oltre ad una R_{out} molto bassa, volessimo anche una R_{in} molto alta basterebbe aggiungere un buffer di tensione in ingresso)