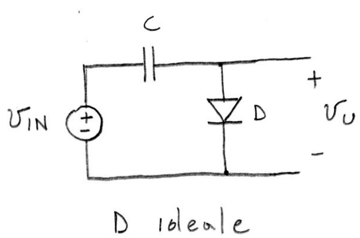
Scheda: **A22_01**	Data: **7 gennaio 2022**

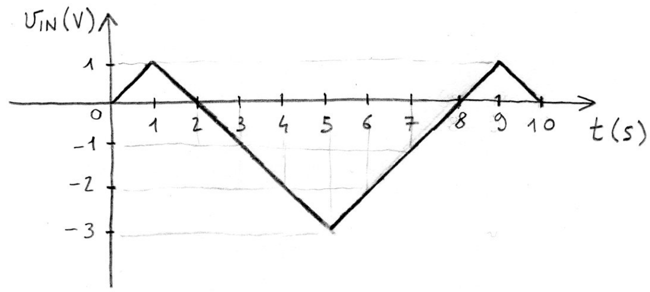
Cognome	Nome	Matricola

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 $0 \leq t \leq 10$ 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.

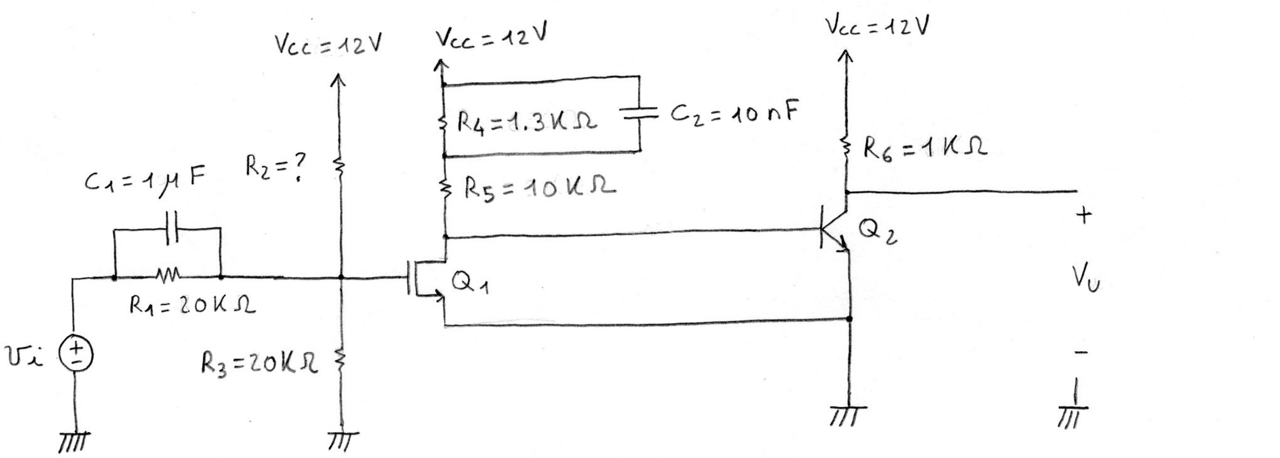




ESERCIZIO N°2

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 6 V, si ricavi il valore della resistenza R_2. Si determini il punto di lavoro di Q_1 e Q_2 e si verifichino le ipotesi fatte sullo stato dei due transistori.



per Q_1: $V_T = 0.5V$, $\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 3.92 \frac{mA}{V^2}$; per Q_2: $h_{FE} = 300$

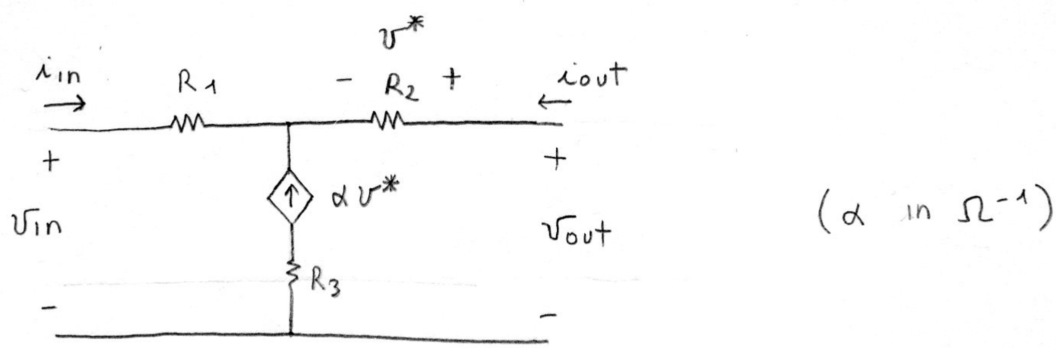
$(V_U)_Q = 6 V$

ESERCIZIO N°3
7.5 punti (4)

Si consideri il circuito mostrato nell'esercizio precedente, in cui però stavolta si assuma $R_2 = 100$ KΩ. Considerando per Q_1: $g_m = 4$ mA/V e per Q_2: $h_{fe} = 320$, $h_{ie} = 4$ KΩ, 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 <u>non</u> è richiesto.

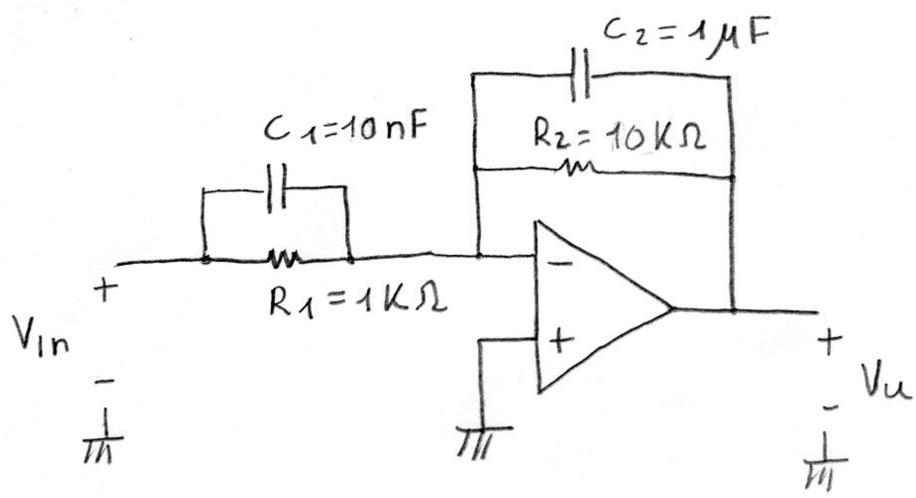
ESERCIZIO N°4
6 punti (4)

Si ricavino i parametri f per il quadripolo mostrato nella seguente figura.

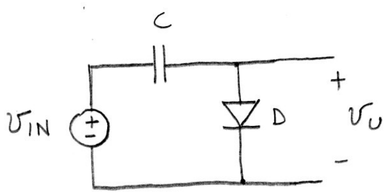


ESERCIZIO N°5
6 punti (4)

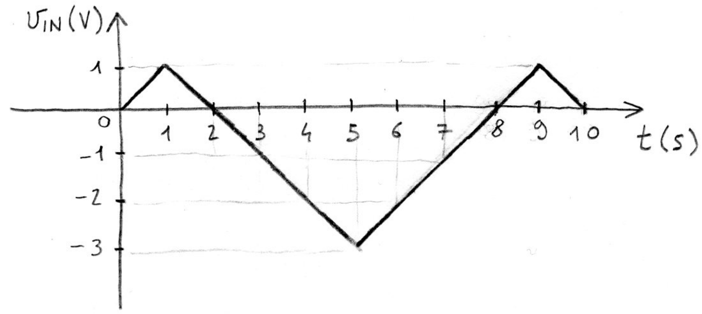
Lavorando nel dominio di Laplace, si ricavi l'espressione della funzione di trasferimento del seguente circuito. A partire dall'espressione della funzione di trasferimento, in particolare si valutino numericamente le singolarità, il guadagno in zero e all'infinito. Si consideri l'amplificatore operazionale ideale.



1)



D ideale

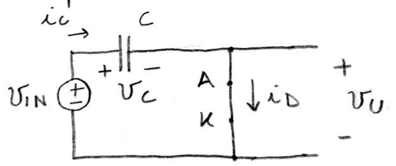


C inizialmente scarico;

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

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

ipotesi: D conduce



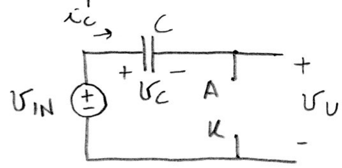
$v_U = 0$

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

verifica dell'ipotesi: $i_D = i_C = C\dfrac{dv_C}{dt} = C\dfrac{dv_{IN}}{dt} > 0 \rightarrow \dfrac{dv_{IN}}{dt} > 0$, 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 $\rightarrow i_C = C\dfrac{dv_C}{dt} = 0 \rightarrow v_C$ costante e pari al valore che aveva all'inizio di questa fase, cioè alla fine della fase precedente, cioè a $v_{IN}(1s) = 1V$

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

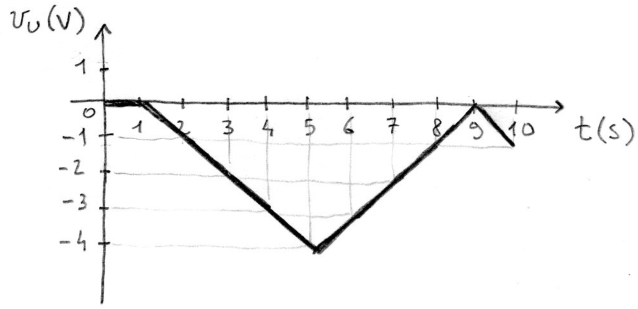
verifica dell'ipotesi: $v_{AK} = v_A - v_K = v_{IN} - v_C = v_{IN} - 1V < 0 \rightarrow v_{IN} < 1V$, vero sicuramente fino a $t=10s$ (ultimo istante da considerare).

Quindi:

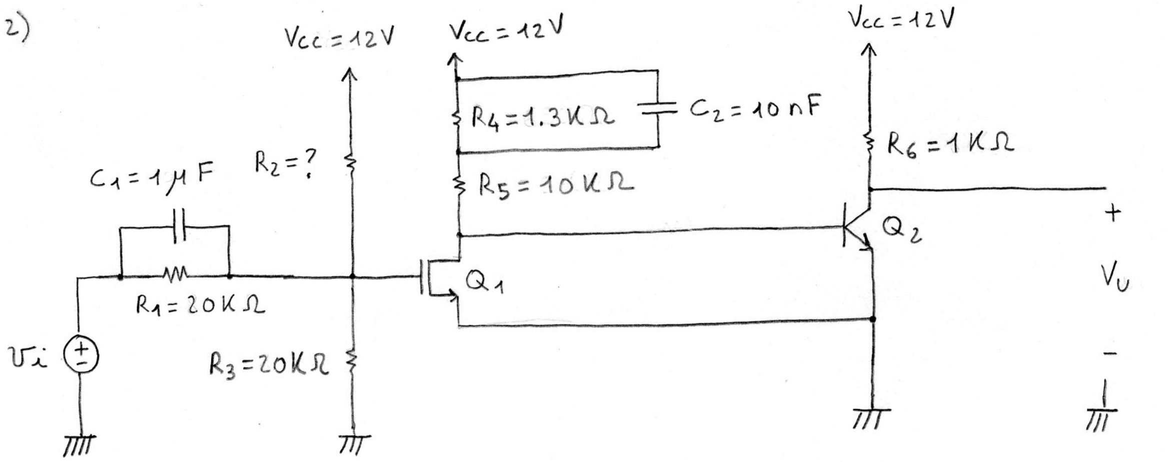
per $0 < t < 1s$: D conduce e $v_U = 0$

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

È un fissatore in alto a zero.



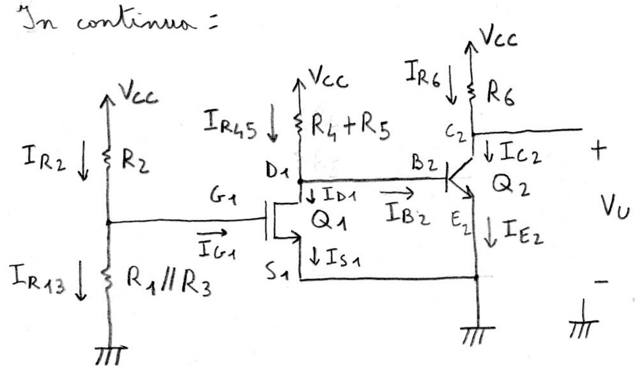
2)



per Q_1: $V_T = 0.5V$, $\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 3.92 \frac{mA}{V^2}$; per Q_2: $h_{FE} = 300$

$(V_U)_Q = 6V$

In continua:



$V_u = 6V$

$I_{R6} = \frac{V_{CC} - V_U}{R_6} = 6 mA = I_{C2}$

ipotesi 1: Q_2 in zona attiva diretta

$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE}} = 20 \mu A > 0$

$I_{E2} = I_{B2} + I_{C2} = 6.02 mA$

$V_{E2} = 0 \rightarrow V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = V_{C2} = 6V > V_{CEsat} \approx 0.1V$ ⟶ ipotesi 1 verificata

$V_{B2} = V_{E2} + V_\gamma = V_\gamma = 0.7V = V_{D1}$

$I_{R45} = \frac{V_{CC} - V_{D1}}{R_4 + R_5} = 1 mA$

$I_{D1} = I_{R45} - I_{B2} = 0.98 mA = I_{S1}$ (dato che $I_{G1} = 0$)

ipotesi 2: Q_1 in saturazione

$I_{D1} = K (V_{GS1} - V_T)^2$ con $K = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 3.92 mA$

$V_{GS1} = V_T \cancel{\pm} \sqrt{\frac{I_{D1}}{K}} = 1V > V_T = 0.5V$

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

$V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = V_{D1} = 0.7V > V_{GS1} - V_T = 0.5V$ ⟶ ipotesi 2 verificata

$V_{G1} = V_{GS1} + V_{S1} = V_{GS1} = 1V$

$I_{R13} = \frac{V_{G1}}{R_1 // R_3} = 0.1 mA = I_{R2}$ (dato che $I_{G1} = 0$)

$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{G1}}{I_{R2}} = 110 K\Omega$

$I_{R1} = \frac{V_{G1}}{R_1} = 50 \mu A$

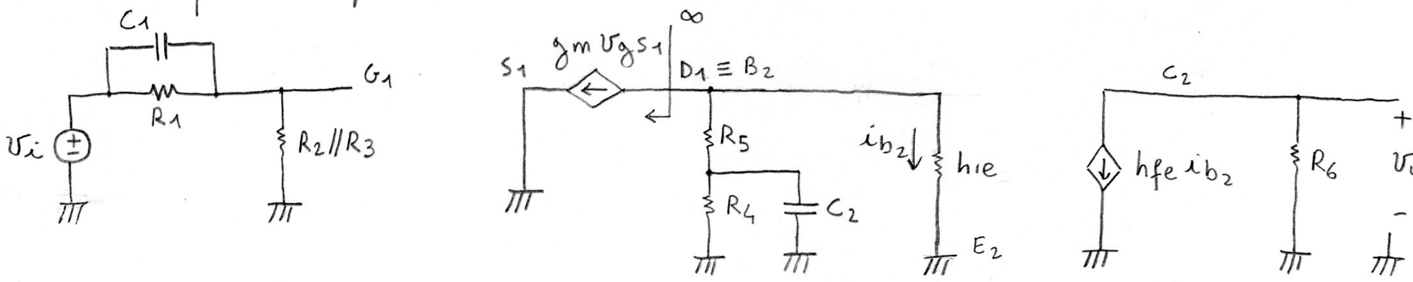
$I_{R2} = \frac{V_{G1}}{R_2} = 50 \mu A$

3) $R_2 = 100\ K\Omega$

per Q_1: $g_m = 4\ \frac{mA}{V}$

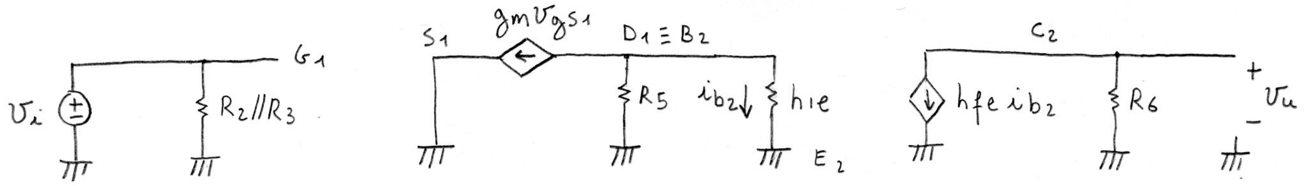
per Q_2: $h_{fe} = 320$, $h_{ie} = 4\ K\Omega$

Circuito equivalente per le variazioni:



2 condensatori, nessuna maglia impropria → 2 poli

Calcoliamoci $A_v(\infty)$ chiudendo i due condensatori:



$v_u = -h_{fe}\, i_{b2} R_6$

$i_{b2} = -g_m v_{gs1} \frac{R_5}{R_5 + h_{ie}}$ (partitore di corrente)

$v_{gs1} = v_{g1} - v_{s1} = v_{g1}$

$v_{g1} = v_i$

$A_v(\infty) = \frac{v_u}{v_i} = h_{fe} R_6\, g_m \frac{R_5}{R_5 + h_{ie}} = 914.286$ (positivo, come è giusto che sia dato che si tratta di uno stadio a source comune, invertente, e di uno stadio a emettitore comune, invertente, in cascata)

$|A_v(\infty)|_{dB} = 59.2216\ dB$

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

Calcoliamo adesso le singolarità (facendo riferimento al circuito per le variazioni che include C_1 e C_2).

$R_{VC1} = R_1 // R_2 // R_3 = 9090.\overline{90}\ \Omega$

$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 110\ \frac{rad}{s} \rightarrow f_{P1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 17.507\ Hz$

la v_u si annulla per la s per cui $R_1 // \frac{1}{C_1 s} = \infty$ perché $R_1 // \frac{1}{C_1 s}$ si trova in serie sull'unico percorso che porta l'effetto del segnale in uscita

$R_1 // \frac{1}{C_1 s} = \frac{R_1 \frac{1}{C_1 s}}{R_1 + \frac{1}{C_1 s}} = \frac{R_1}{1 + R_1 C_1 s} = \infty \rightarrow 1 + R_1 C_1 s = 0 \rightarrow s = -\frac{1}{R_1 C_1} \rightarrow$

$\omega_{Z1} = \frac{1}{R_1 C_1} = 50\ \frac{rad}{s} \rightarrow f_{Z1} = \frac{\omega_{Z1}}{2\pi} = 7.9577\ Hz$

$R_{VC2} = R_4 // (R_5 + h_{ie} // \infty) = R_4 // (R_5 + h_{ie}) = 1189.54\ \Omega$

$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 84'065.934\ \frac{rad}{s} \rightarrow f_{P2} = \frac{\omega_{P2}}{2\pi} = 13'379.51\ Hz$

la v_u si annulla per la s per cui $R_5 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right) = 0$ perché in queste condizioni tutta la corrente $g_m v_{gs1}$ scorre nella $R_5 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right)$, quindi la i_{b2} si annulla (o equivalentemente: se $R_5 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s}\right) = 0$ la $V_{b2} = 0 \rightarrow i_{b2} = \frac{v_{b2}}{h_{ie}} = 0$), di conseguenza $h_{fe}\, i_{b2} = 0$ e la $v_u = 0$

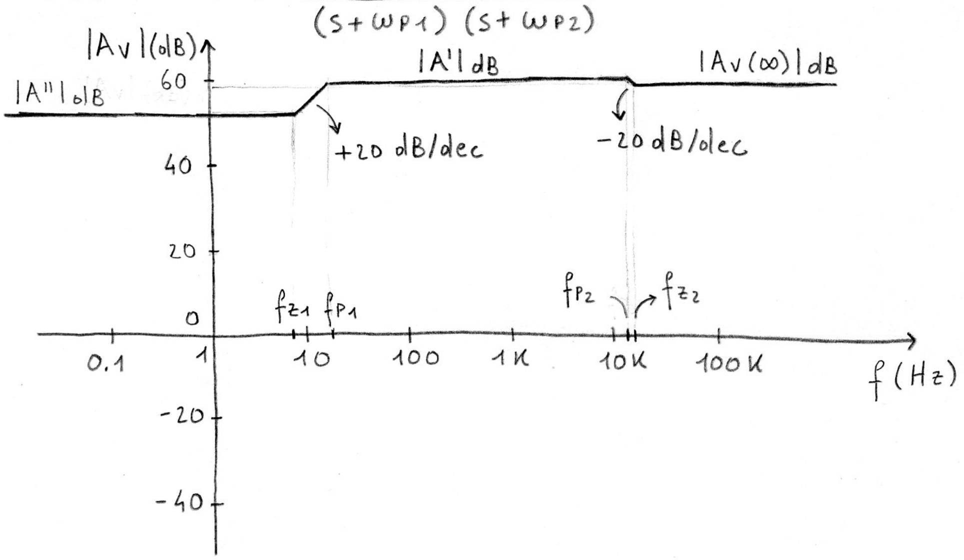
$$R_5 + R_4 // \frac{1}{C_2 s} = R_5 + \frac{R_4 \frac{1}{C_2 s}}{R_4 + \frac{1}{C_2 s}} = R_5 + \frac{R_4}{1 + R_4 C_2 s} = \frac{R_5 + R_4 R_5 C_2 s + R_4}{1 + R_4 C_2 s} = 0 \rightarrow$$

$$R_4 + R_5 + R_4 R_5 C_2 s = 0 \rightarrow s = -\frac{R_4 + R_5}{R_4 R_5 C_2} = -\frac{1}{C_2 (R_4 // R_5)} \rightarrow \omega_{z2} = \frac{1}{C_2 (R_4 // R_5)} = 86923.077 \ \frac{rad}{s} \rightarrow$$

$$f_{z2} = \frac{\omega_{z2}}{2\pi} = 13'834.24 \ Hz$$

La funzione di trasferimento è

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



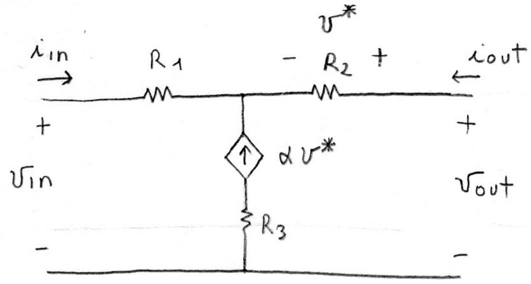
$$|A'| = |A_v(\infty)| \frac{f_{z2}}{f_{p2}} = 945.36$$

$$|A'|_{dB} = 59.512 \ dB$$

$$|A''| = |A'| \frac{f_{z1}}{f_{p1}} = 429.7075$$

$$|A''|_{dB} = 52.663 \ dB$$

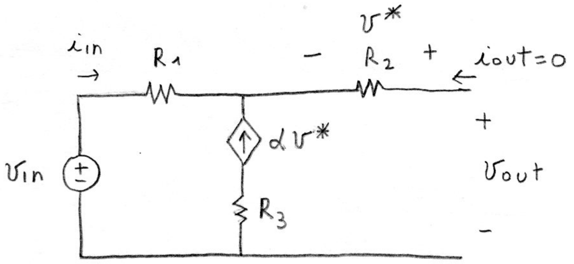
4)



(α in Ω^{-1})

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

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



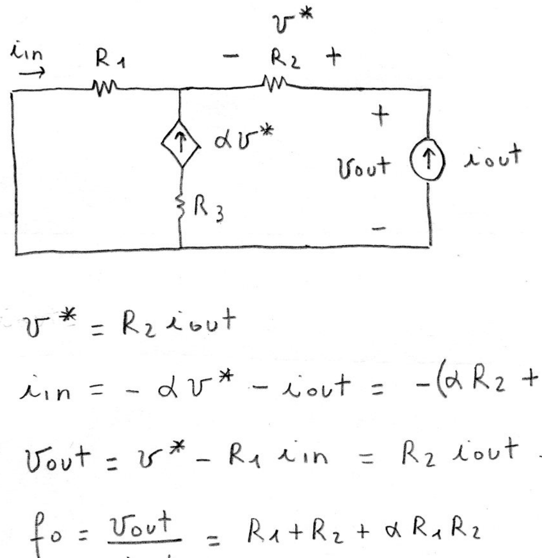
$i_{out}=0 \rightarrow v^* = R_2\, i_{out} = 0 \rightarrow \alpha v^* = 0 \rightarrow i_{in} = -\alpha v^* - i_{out} = 0$

$v_{out} = v_{in} - R_1 i_{in} + R_2 i_{out} = v_{in}$

$$f_f = \frac{v_{out}}{v_{in}} = 1$$

$$f_i = \frac{i_{in}}{v_{in}} = 0$$

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



$v^* = R_2\, i_{out}$

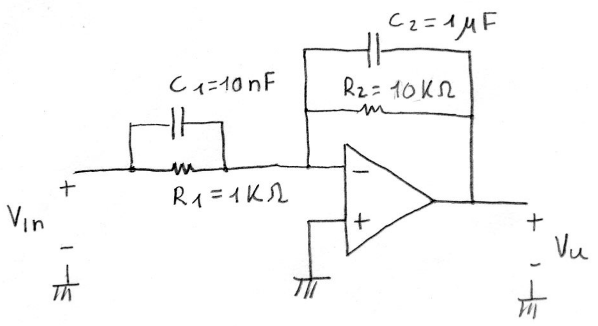
$i_{in} = -\alpha v^* - i_{out} = -(\alpha R_2 + 1)\, i_{out}$

$v_{out} = v^* - R_1 i_{in} = R_2 i_{out} + R_1(\alpha R_2 + 1)\, i_{out} = (R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2)\, i_{out}$

$$f_o = \frac{v_{out}}{i_{out}} = R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2$$

$$f_r = \frac{i_{in}}{i_{out}} = -(\alpha R_2 + 1)$$

5)



$$Z_1 = R_1 // \frac{1}{C_1 s} = \frac{R_1 \frac{1}{C_1 s}}{R_1 + \frac{1}{C_1 s}} = \frac{R_1}{1 + R_1 C_1 s}$$

$$Z_2 = R_2 // \frac{1}{C_2 s} = \frac{R_2 \frac{1}{C_2 s}}{R_2 + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{R_2}{1 + R_2 C_2 s}$$

$$H(s) = \frac{V_u}{V_{in}} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1 + R_1 C_1 s}{1 + R_2 C_2 s} = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1 + \frac{s}{\omega_{z_1}}}{1 + \frac{s}{\omega_{p_2}}}$$

$$\omega_{z_1} = \frac{1}{R_1 C_1} = 100 \text{ Krad/s}$$

$$\omega_{p_2} = \frac{1}{R_2 C_2} = 100 \text{ rad/s}$$

$$H(0) = -\frac{R_2}{R_1} = -10$$

$$H(\infty) = -\frac{\cancel{R_2}}{\cancel{R_1}}\frac{\cancel{R_1} C_1 \cancel{s}}{\cancel{R_2} C_2 \cancel{s}} = -0.01$$