

Scheda A20_04

Data: 12 giugno 2020

Cognome

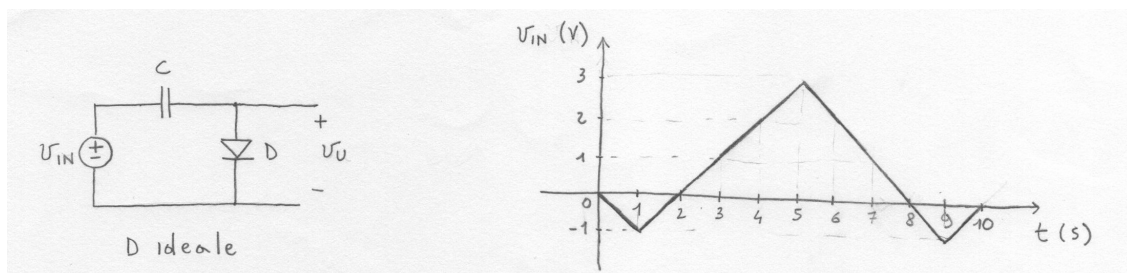
Nome

Matricola

ESERCIZIO N°1

6.5 punti (4)

Si consideri il fissatore rappresentato a sinistra nella seguente figura. Ipotizzando il condensatore inizialmente scarico, si ricavi e si disegni l'andamento nel tempo, per $0 \leq t \leq 10s$, 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 nella figura. In particolare, si specifichi in quali intervalli di tempo il diodo conduce e in quali è interdetto. Si consideri il diodo ideale.

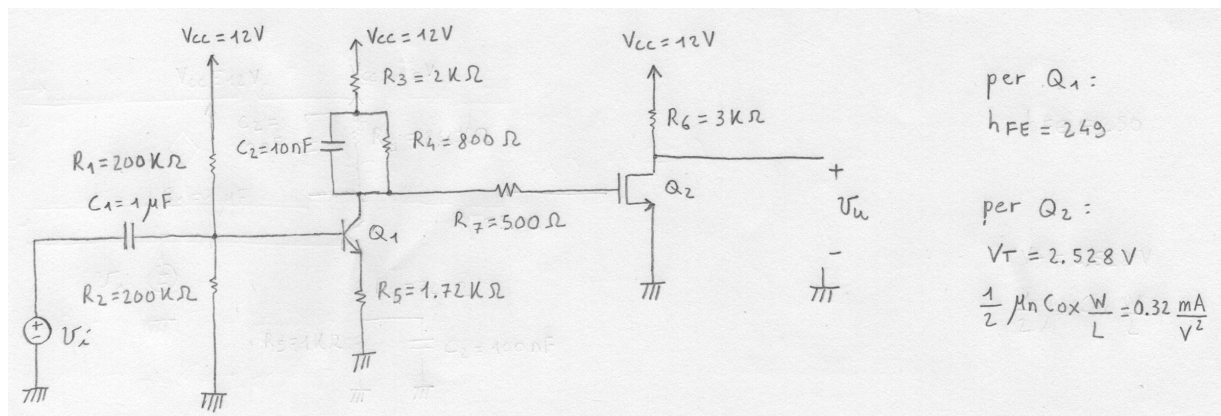


ESERCIZIO N°2

7 punti (4)

Con riferimento al circuito in figura, determinare il punto di lavoro dei transistori Q_1 e Q_2 ed il valore della tensione di uscita V_U a riposo.

[Si consiglia di iniziare l'analisi del circuito a riposo dal Q_1 ; a questo scopo può essere utile fare un equivalente di Thevenin di ciò che sta sulla base di Q_1 .]



ESERCIZIO N°3

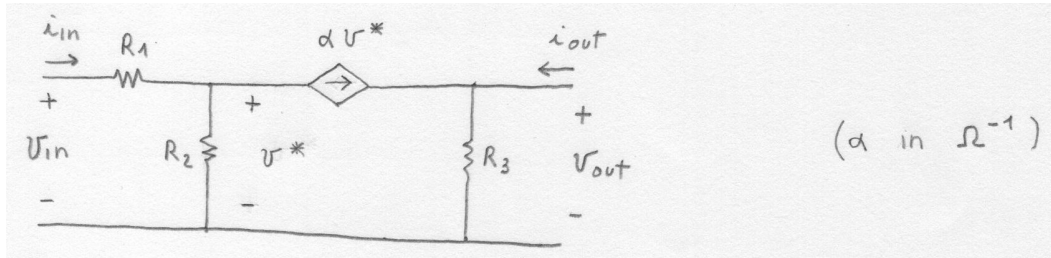
7.5 punti (4)

Considerando il circuito mostrato nell'esercizio precedente, 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 non è richiesto. Si considerino per Q_1 : $h_{ie} = 4k\Omega$, $h_{fe} = 300$ e per Q_2 : $g_m = 1.5 mA/V$.

ESERCIZIO N°4

6 punti (4)

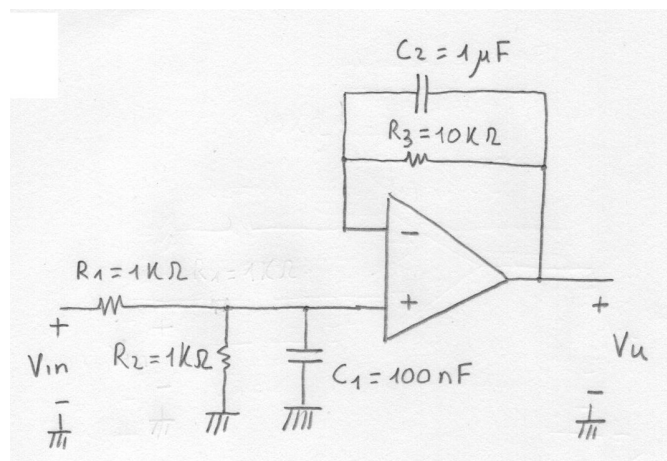
Si ricavino i parametri g_f e g_i per il quadripolo mostrato nella seguente figura.



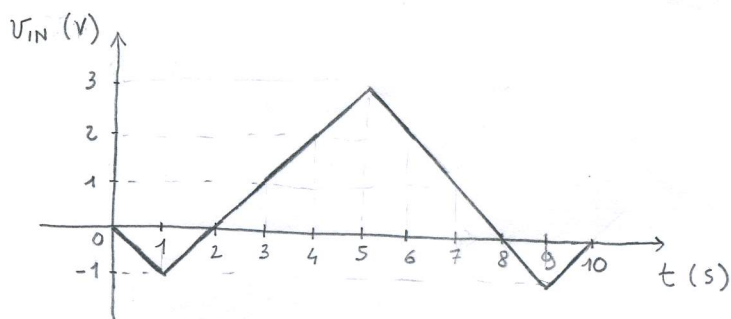
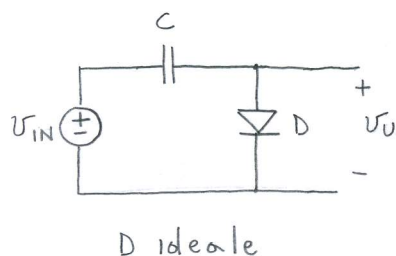
ESERCIZIO N°5

6 punti (4)

Lavorando nel dominio di Laplace, si trovi e si scriva 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)

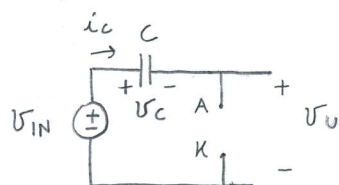


C inizialmente scarico;

per $t=0$ $V_U = V_{IN} - V_C = V_{IN} = 0$;

poi per t maggiori inizialmente la V_{IN} decresce e diventa negativa; visto che invece la tensione sul catodo rispetto al nodo inferiore è nulla, l'ipotesi più probabile è che il diodo D sia interdetto

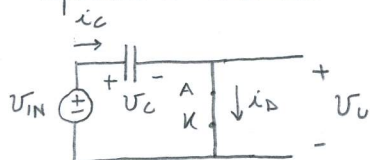
ipotesi: D interdetto



la maglia è aperta $\rightarrow i_C = C \frac{dV_C}{dt} = 0 \rightarrow V_C$ costante e pari al valore che aveva all'inizio di questa fase, cioè 0 $\rightarrow V_U = V_{IN} - V_C = V_{IN}$

verifica dell'ipotesi: $V_{AK} = V_A - V_K = V_{IN} - V_C = V_{IN} < 0$, vero fino a $t=2s$;
dopo $t=2s$ quest'ipotesi viene meno, quindi ipotizziamo che il diodo conduca

ipotesi: D conduce



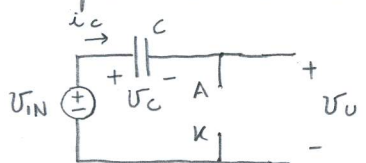
$$V_U = 0$$

$$V_C = V_{IN} - 0 = V_{IN}$$

verifica dell'ipotesi: $i_D = i_C = C \frac{dV_C}{dt} = C \frac{dV_{IN}}{dt} > 0 \rightarrow \frac{dV_{IN}}{dt} > 0$, vero fino a $t=5s$;

dopo $t=5s$ quest'ipotesi viene meno, quindi ipotizziamo che il diodo sia interdetto

ipotesi: D interdetto



la maglia è aperta $\rightarrow i_C = C \frac{dV_C}{dt} = 0 \rightarrow V_C$ costante e pari al valore che aveva all'inizio di questa fase cioè alla fine della fase precedente, cioè a $V_{IN}(5s) = 3V$
 $V_U = V_{IN} - V_C = V_{IN} - 3V$

verifica dell'ipotesi: $V_{AK} = V_A - V_K = V_{IN} - V_C = V_{IN} - 3V < 0 \rightarrow V_{IN} < 3V$, vero sicuramente fino a $t=10s$ (ultimo istante da considerare).

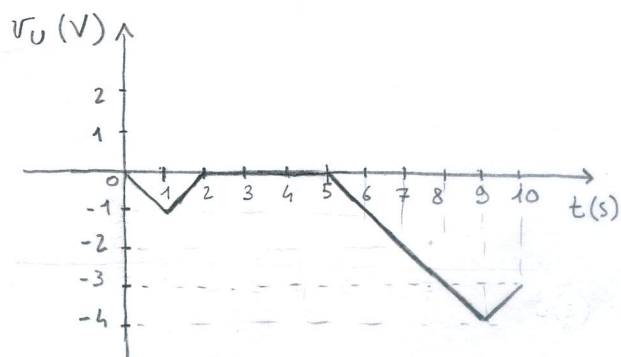
Quindi:

per $0 < t < 2s$: D interdetto e $V_U = V_{IN}$

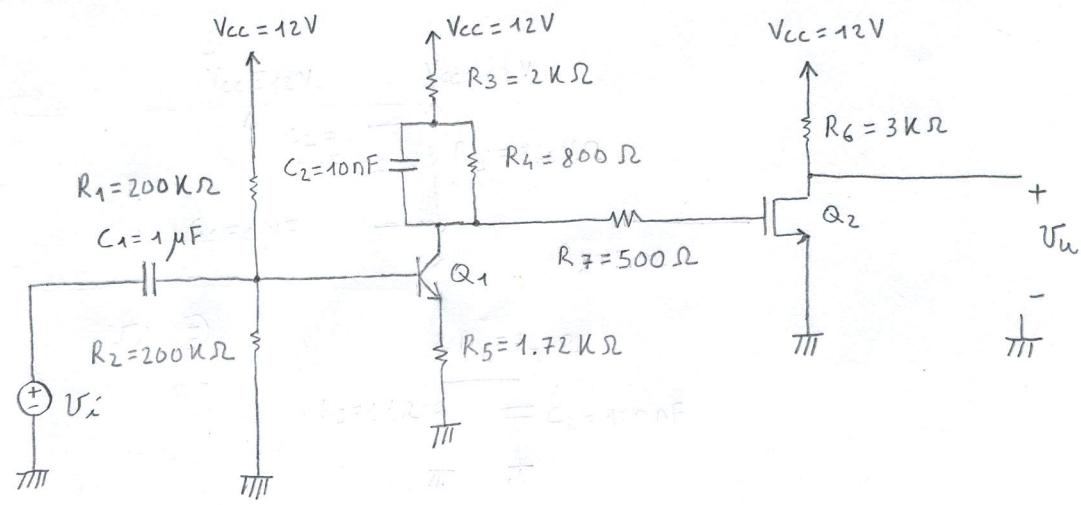
per $2s < t < 5s$: D conduce e $V_U = 0$

per $5s < t < 10s$: D interdetto e $V_U = V_{IN} - 3V$

È un pinnatore in alto a zero



2)

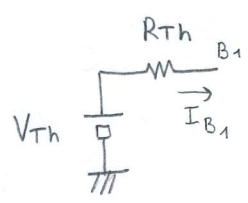
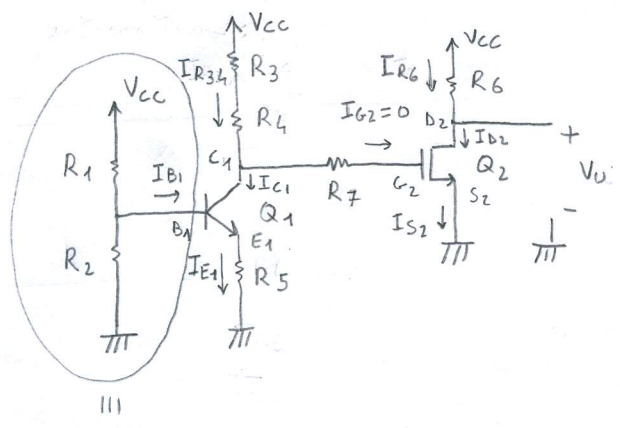


per Q_1 :
 $h_{FE} = 249$

per Q_2 :
 $V_T = 2.528 V$

$$\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 0.32 \frac{mA}{V^2}$$

in continuo:



con $V_{Th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6V$
 $R_{Th} = R_1 // R_2 = 100k\Omega$

ipotesi 1: Q_1 in zona attiva diretta

$$V_{Th} = R_{Th} I_{B1} + V_{gs} + R_5 I_{E1} \rightarrow I_{B1} = \frac{V_{Th} - V_{gs}}{R_{Th} + R_5 (h_{FE} + 1)} = 10 \mu A > 0$$

$$I_{E1} = (h_{FE} + 1) I_{B1} = 2.5 mA$$

$$I_{C1} = h_{FE} I_{B1} = 2.49 mA = I_{R34} \text{ (perché } I_{G2} = 0)$$

$$V_{C1} = V_{CC} - (R_3 + R_4) I_{R34} = 5.028 V = V_{G2} \text{ (perché } I_{G2} = 0 \rightarrow R_5 I_{G2} = 0)$$

$$V_{E1} = R_5 I_{E1} = 4.3 V \rightarrow V_{B1} = V_{E1} + V_{gs} = 5V$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 0.728 V > V_{CEsat} \approx 0.1 V$$

$$V_{GS2} = V_{G2} - V_{S2} = V_{G2} = 5.028 V > V_T$$

$$I_{G2} = 0 \rightarrow I_{S2} = I_{D2}$$

ipotesi 2: Q_2 in saturazione

$$I_{D2} = K (V_{GS2} - V_T)^2 \text{ con } K = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 0.32 \frac{mA}{V^2}$$

$$I_{D2} = 0.32 \frac{mA}{V^2} \cdot (2.5V)^2 = 2 mA = I_{R6}$$

$$V_{D2} = V_{CC} - R_6 I_{D2} = 6V = V_U$$

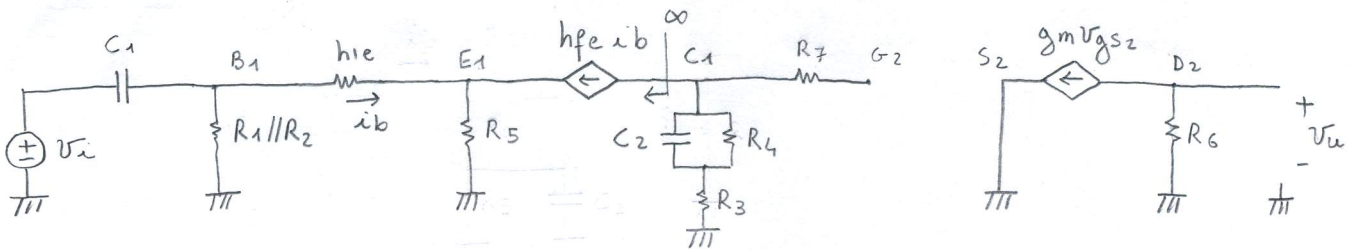
$$V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} = V_{D2} = 6V > V_{GS2} - V_T = 2.5V$$

ipotesi 1 verificata

ipotesi 2 verificata

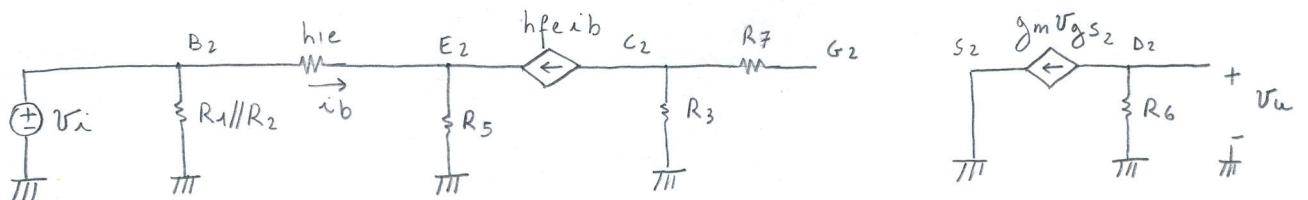
3) $h_{ie} = 4 \text{ k}\Omega$
 $h_{fe} = 300$
 $g_m = 1.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

circuito equivalente per le variazioni:



2 condensatori, nessuna maglia impropria $\rightarrow$ 2 poli

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



$$V_u = -R_6 g_m V_{gs2}$$

$$V_{gs2} = V_{g2} - V_{s2} = V_{g2}$$

$$V_{g2} = -h_{fe} i_b R_3 \quad (\text{nella } R_5 \text{ non scorre corrente e quindi non c'è caduta})$$

$$V_i = h_{ie} i_b + R_5 (i_b + h_{fe} i_b) = (h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)) i_b \rightarrow i_b = \frac{V_i}{h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)}$$

$$A_v(\infty) = \frac{V_u}{V_i} = \frac{R_6 g_m h_{fe} R_3}{h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)} = 5.1752 \quad (\text{positivo, come deve essere, dato che si tratta di uno stadio a emettitore comune, invertente, e di uno stadio a source comune, invertente, in cascata})$$

$$|A_v(\infty)|_{\text{dB}} = 14.279 \text{ dB}$$

$$A_v(\infty) \neq 0 \rightarrow \text{numero zeri} = \text{numero poli} \rightarrow 2 \text{ zeri}$$

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

$$R_{VC1} = R_1 // R_2 // (h_{ie} + R_5 (h_{fe} + 1)) = 83915.59 \Omega$$

$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_{VC1}} = 11.917 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P1} = \frac{\omega_{P1}}{2\pi} = 1.8966 \text{ Hz}$$

$$\text{L'uscita si annulla per lo } s \text{ per cui } \frac{1}{C_1 s} = \infty \rightarrow s = 0 \rightarrow \omega_{Z1} = 0 \rightarrow f_{Z1} = 0$$

$$R_{VC2} = R_4 // (R_3 + \infty) = R_4 = 800 \Omega$$

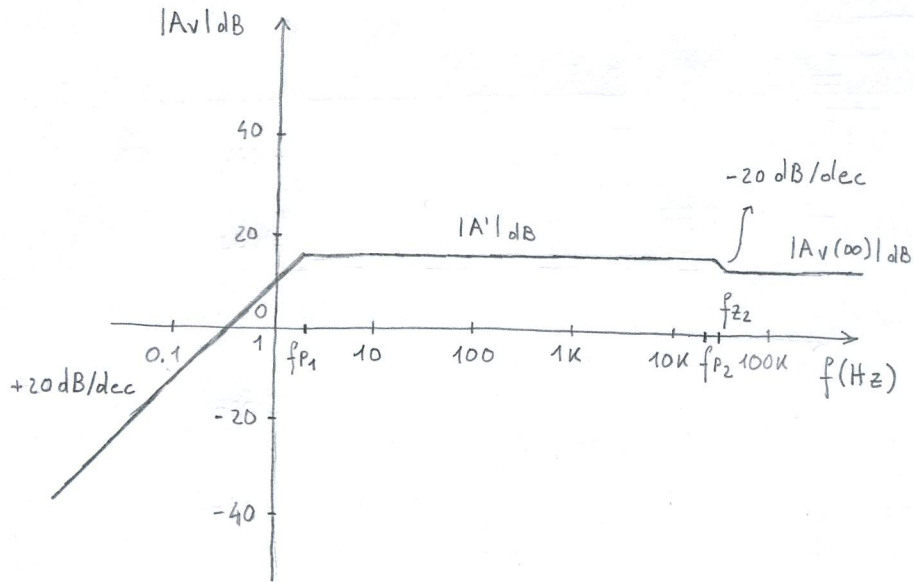
$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_{VC2}} = 125000 \text{ rad/s} \rightarrow f_{P2} = \frac{\omega_{P2}}{2\pi} = 19894.37 \text{ Hz}$$

$$\text{L'uscita si annulla per lo } s \text{ per cui } R_3 + \left(R_4 // \frac{1}{C_2 s} \right) = 0 \rightarrow R_3 + \frac{R_4 \frac{1}{C_2 s}}{R_4 + \frac{1}{C_2 s}} = 0 \rightarrow R_3 + \frac{R_4}{1 + R_4 C_2 s} = 0 \rightarrow \frac{R_3 + R_4 + R_3 R_4 C_2 s}{1 + R_4 C_2 s} = 0 \rightarrow$$

$$R_3 + R_4 + R_3 R_4 C_2 s = 0 \rightarrow s = -\frac{R_3 + R_4}{R_3 R_4 C_2} = -\frac{1}{\frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} C_2} = -\frac{1}{(R_3 // R_4) C_2} \rightarrow$$

$$\omega_{z2} = \frac{1}{(R_3 \parallel R_4) C_2} = 175000 \text{ rad/s} \rightarrow f_{z2} = \frac{\omega_{z2}}{2\pi} = 27852.115 \text{ Hz}$$

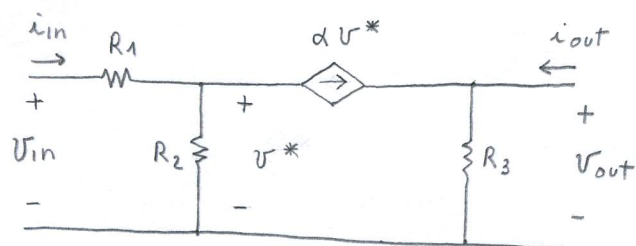
$$A_v(s) = A_v(\infty) \frac{s(s + \omega_{z2})}{(s + \omega_{p1})(s + \omega_{p2})}$$



$$|A'| = |A_v(\infty)| \frac{f_{z2}}{f_{p2}} = 7.245$$

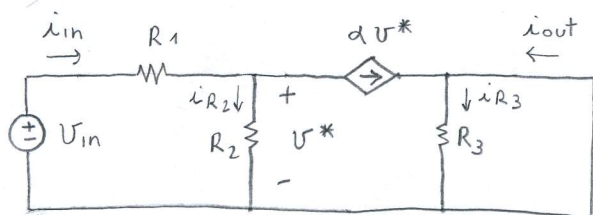
$$|A'|_{dB} = 17.2 \text{ dB}$$

4)


 $(\alpha \text{ in } \Omega^{-1})$

$$\begin{cases} i_{out} = g_f V_{in} + g_o V_{out} \\ i_{in} = g_i V_{in} + g_r V_{out} \end{cases}$$

$$g_f = \left. \frac{i_{out}}{V_{in}} \right|_{V_{out}=0} \quad ; \quad g_i = \left. \frac{i_{in}}{V_{in}} \right|_{V_{out}=0}$$



$$i_{R2} = \frac{V^*}{R_2}$$

$$i_{in} = i_{R2} + \alpha V^* = \frac{V^*}{R_2} + \alpha V^* = \left(\frac{1}{R_2} + \alpha \right) V^* = \frac{1 + \alpha R_2}{R_2} V^*$$

$$V_{in} = R_1 i_{in} + V^* = \left[R_1 \left(\frac{1}{R_2} + \alpha \right) + 1 \right] V^* \rightarrow V^* = \frac{V_{in}}{R_1 \left(\frac{1}{R_2} + \alpha \right) + 1} = \frac{R_2 V_{in}}{R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2}$$

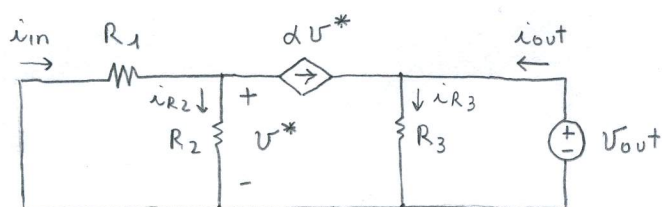
$$i_{R3} = \frac{0}{R_3} = 0$$

$$i_{out} = -\alpha V^* = -\frac{\alpha R_2}{R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2} V_{in}$$

$$g_f = \frac{i_{out}}{V_{in}} = -\frac{\alpha R_2}{R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2}$$

$$g_i = \frac{i_{in}}{V_{in}} = \frac{1 + \alpha R_2}{R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2} = \frac{1 + \alpha R_2}{R_1 + R_2 + \alpha R_1 R_2}$$

$$g_o = \left. \frac{i_{out}}{V_{out}} \right|_{V_{in}=0} \quad ; \quad g_r = \left. \frac{i_{in}}{V_{out}} \right|_{V_{in}=0}$$



$$i_{R2} = \frac{V^*}{R_2}$$

$$i_{in} = i_{R2} + \alpha V^* = \frac{V^*}{R_2} + \alpha V^* = \left(\frac{1}{R_2} + \alpha \right) V^* = \frac{1 + \alpha R_2}{R_2} V^*$$

$$R_1 i_{in} + v^* = 0 \rightarrow \frac{1 + \alpha R_2}{R_2} v^* + v^* = 0 \rightarrow \underbrace{\left(\frac{1 + \alpha R_2}{R_2} + 1 \right)}_{\neq 0} v^* = 0 \rightarrow v^* = 0$$

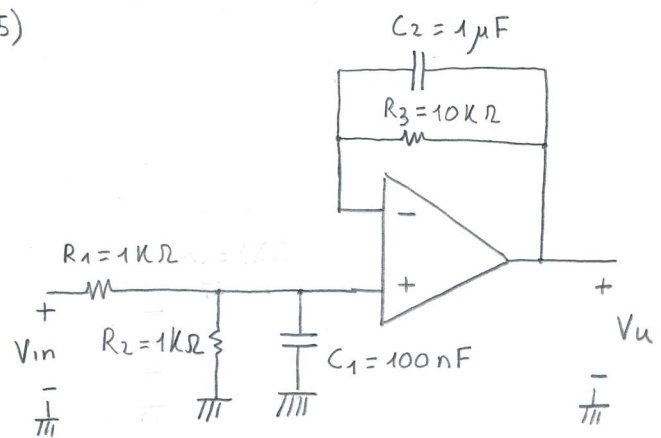
$$i_{in} = \frac{1 + \alpha R_2}{R_2} v^* = 0$$

$$i_{out} = i_{R_3} - \alpha v^* = i_{R_3} = \frac{v_{out}}{R_3}$$

$$g_o = \frac{i_{out}}{v_{out}} = \frac{1}{R_3}$$

$$g_r = \frac{i_{in}}{v_{out}} = 0$$

5)



per il c.c.v. $I^- = 0 \rightarrow V_u = V^-$
 per il c.c.v. $V^- = V^+$
 quindi $V_u = V^+$

$$Z_2 = R_2 // \frac{1}{C_1 s} = \frac{R_2 \frac{1}{C_1 s}}{R_2 + \frac{1}{C_1 s}} = \frac{R_2}{1 + R_2 C_1 s}$$

$$V^+ = V_{in} \frac{Z_2}{R_1 + Z_2} = V_{in} \frac{R_2}{R_1(1 + R_2 C_1 s) + R_2}$$

$$H = \frac{V_u}{V_{in}} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2) + R_1 R_2 C_1 s} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{1 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 s} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_{P_1}}}$$

$$\omega_{P_1} = \frac{1}{(R_1 // R_2) C_1} = 20\text{ Krad/s}$$

$$H(0) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.5$$

$$H(\infty) = 0$$