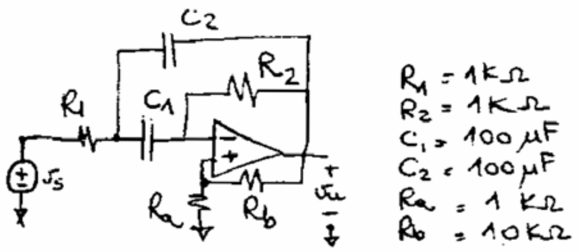
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
27 giugno 2007
Parte A

1. Sia dato un amplificatore con amplificazione di tensione A_v=2400, R_{in} = 80 KΩ, R_{out} = 1200 Ω. Imporre una reazione in modo da ottenere una resistenza d'ingresso minore di 2 KΩ, una resistenza di uscita minore di 80 Ω e maggiore di 30 Ω.
2. Calcolare la funzione di trasferimento del filtro a lato e disegnarne il diagramma di Bode.



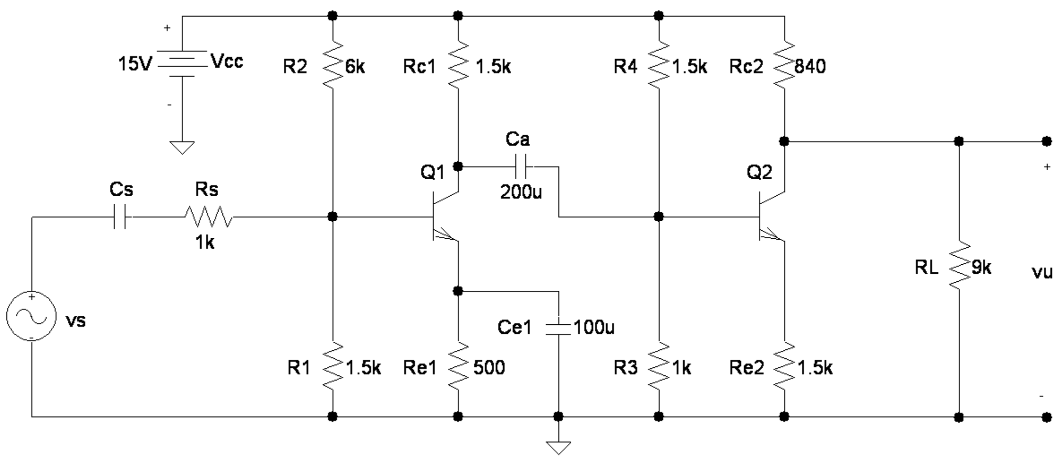
3. Disegnare e dimensionare il circuito di un multivibratore monostabile, realizzato con un timer 555, che generi un "gate" positivo di durata 200 ms quando viene applicato in ingresso un inpulso negativo. Giustificare il procedimento e descrivere il funzionamento del circuito.
4. Disegnare e quotare il circuito della porta logica complessa a quattro ingressi la cui uscita sia 1 se e solo se almeno tre dei quattro ingressi sono uno. Utilizzare il minimo numero di transistori.

Punteggio totale Parte A: 14.

Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, in cui Q1 e Q2 sono BC109B, calcolare:
- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione Vu/Vs a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

Ipotesi semplificative: Q1 e Q2 hanno hoe=0 e hre=0; considerare Cs → ∞
Punteggio totale Parte B: 14.



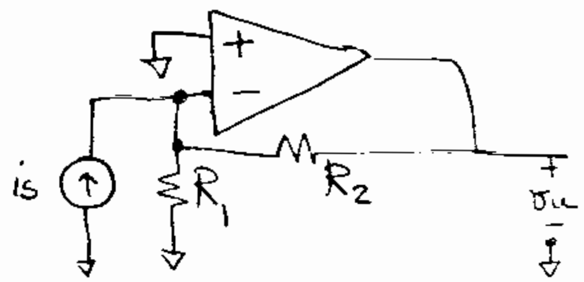
PARTE A

1) dobbiamo effettuare una reazione con prelievo di tensione e inserzione di corrente.

$$R_{IF} = \frac{\overbrace{R_{in} /\!/ R_{o\beta}}^{80k\Omega}}{1-\beta A_{eo}} < 2 K\Omega$$

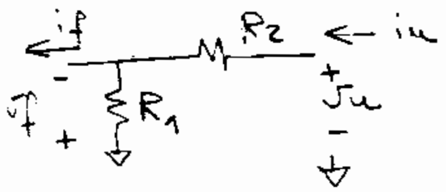
$$30\Omega < R_{oF} = \frac{\overbrace{R_{out} /\!/ R_{i\beta}}^{1200\Omega}}{1-\beta A_{eo}} < 80\Omega$$

circuito



visto che non sono specificati altri valori, per semplicità scegliamo un generatore di corrente ideale all'ingresso, e il circuito a vuoto in uscita.

Rete per β



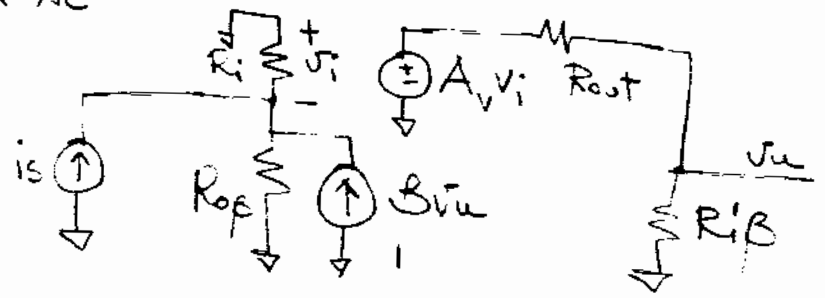
$$\begin{cases} i_f = \beta v_u + \dfrac{v_f}{R_{o\beta}} \\ i_u = \dfrac{v_u}{R_{i\beta}} - \cancel{\alpha v_f} \end{cases} \leftarrow \text{trascuriamo}$$

$$\beta \equiv \left.\frac{i_f}{v_u}\right|_{v_f=0} = \frac{1}{R_2}$$

$$R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{v_u=0} = R_1 /\!/ R_2$$

$$R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = R_2$$

Rete per Ae



$$A_{e0} \equiv \left.\frac{v_u}{i_s}\right|_{\beta=0} = -(R_i /\!/ R_{o\beta}) A_v \frac{R_{out}}{R_{out}+R_{i\beta}}$$

$$1-\beta A_{e0} = 1 + \frac{R_i /\!/ R_1 /\!/ R_2}{R_2} A_v \frac{R_{out}}{R_{out}+R_2}$$

$$R_{IF} = \frac{\overset{5K\Omega}{R_{in}} /\!/ R_1 /\!/ R_2}{(1-\beta A_{e0})} < 2K\Omega \qquad (1)$$

$$30 \le R_{OF} = \frac{\overset{1200\Omega}{R_{out}} /\!/ R_{in}}{(1-\beta A_{e0})} < 80\Omega \qquad (2)$$

Se scegliamo $R_2 = R_{out}$ possiamo poi modificare R_1 per soddisfare la (2).
La (1) viene automaticamente soddisfatta perché il numeratore è più piccolo di R_2 (1200Ω).

Vediamo la (2)

$$30\Omega < R_{OF} = \frac{R_{out}}{2(1-\beta A_{e0})} < 80\Omega$$

da cui

$$\frac{R_{out}}{160\Omega} = 7.5 < (1-\beta A_{e0}) < \frac{R_{out}}{60\Omega} = 20$$

$$7.5 < 1 + \frac{R_i /\!/ R_1 /\!/ R_{out}}{2R_{out}} \underset{2400}{A_v} < 20$$

poiché dovrà essere $R_1 \ll R_{out}$ possiamo scrivere $R_1 /\!/ R_{out} /\!/ R_i \sim R_1$

$$\frac{13 R_{out}}{A_v} < R_1 < 19 \frac{2R_{out}}{A_v}$$

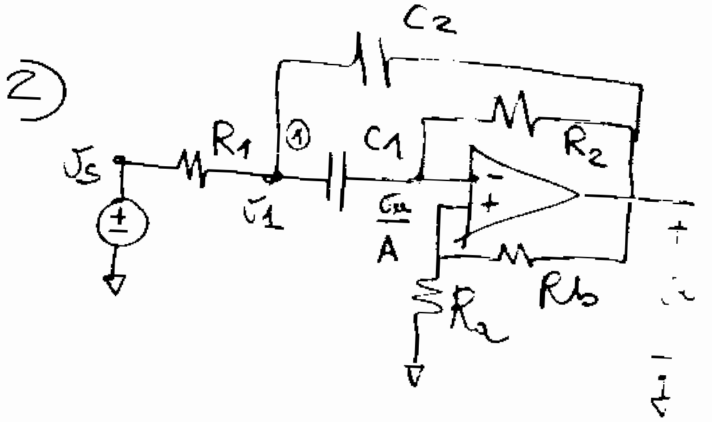
per esempio $R_1 = \frac{R_{out}}{100} = 12\Omega$

Abbiamo $1-\beta A_0 = 1+12 = 13$

$R_{iF} = 0.77\,\Omega$

$R_{oF} = 46.2\,\Omega$

2)



chiamiamo $A = 1 + \frac{R_b}{R_a} = 11$

per il corto circuito virtuale $v^- = \frac{v_u}{A}$

equazione al nodo ①

$$\begin{cases} v_1\left(C_1 s + C_2 s + \frac{1}{R_1}\right) - v_s \frac{1}{R_1} - \frac{v_u}{A} C_1 s - v_u C_2 s = 0 \\ \left(v_1 - \frac{v_u}{A}\right) C_1 s = \left(\frac{v_u}{A} - v_u\right)\frac{1}{R_2} \end{cases}$$

$$v_1 C s = v_u\left[\frac{C_1 s}{A} + \frac{1}{R_2 A} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\left[\frac{C_1 s}{A} + \frac{1}{R_2 A} - \frac{1}{R_2}\right]\frac{v_u}{C_1 s}\left(C_1 s + C_2 s + \frac{1}{R_1}\right) - \frac{v_s}{R_1} - v_u \frac{C_1 s}{A} - v_u C_2 s = 0$$

$$v_u\left[\frac{C_1 s}{A} + \frac{C_1 s}{A}\frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{R_1 A} + \frac{1}{R_2}\left(\frac{1}{A} - 1\right)\left(1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{R_1 C_1 s}\right) - \frac{C_1 s}{A} - C_2 s\right] = \frac{v_s}{R_1}$$

$$v_u \frac{R_1 C_1^2 R_2 s^2 + R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + R_2 C_1 s + R_1 C_1 s(1-A)\left(1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{R_1 C_1 s}\right) - R_1 R_2 C_1^2 s^2 - R_1 R_2 C_1 C_2 A s^2}{A R_1 C_1 R_2 s} = \frac{v_s}{R_1}$$

$$\frac{v_u}{v_s} = \frac{A R_2 C_1 s}{-s^2\left[R_1 R_2 C_1 C_2 (A-1)\right] - \left[R_1 C_1 s(A-1) - R_2 C_1 s + R_1 C_2 (A-1)\right] - (A-1)\left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)}$$

$$\frac{V_u}{V_S} = \frac{-A R_2 C_1 s}{R_1 R_1 C_1 C_2 (A-1) s^2 + \left[R_1 (C_1 + C_2)(A-1) - R_2 C_1\right] s + (A-1)\left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)}$$

poiché $C_2 = C_1 = C$
$R_2 = R_1 = R$

$$H(s) = \frac{V_u}{V_S} = \frac{-ARCs}{R^2C^2(A-1)s^2 + \left[2RC(A-1) - RC\right] s + 2(A-1)}$$

denominatore

$$0.1 s^2 + (2 - 0.1) s + 20 = 0$$

$$0.1 s^2 + 1.9 s + 20 = 0$$

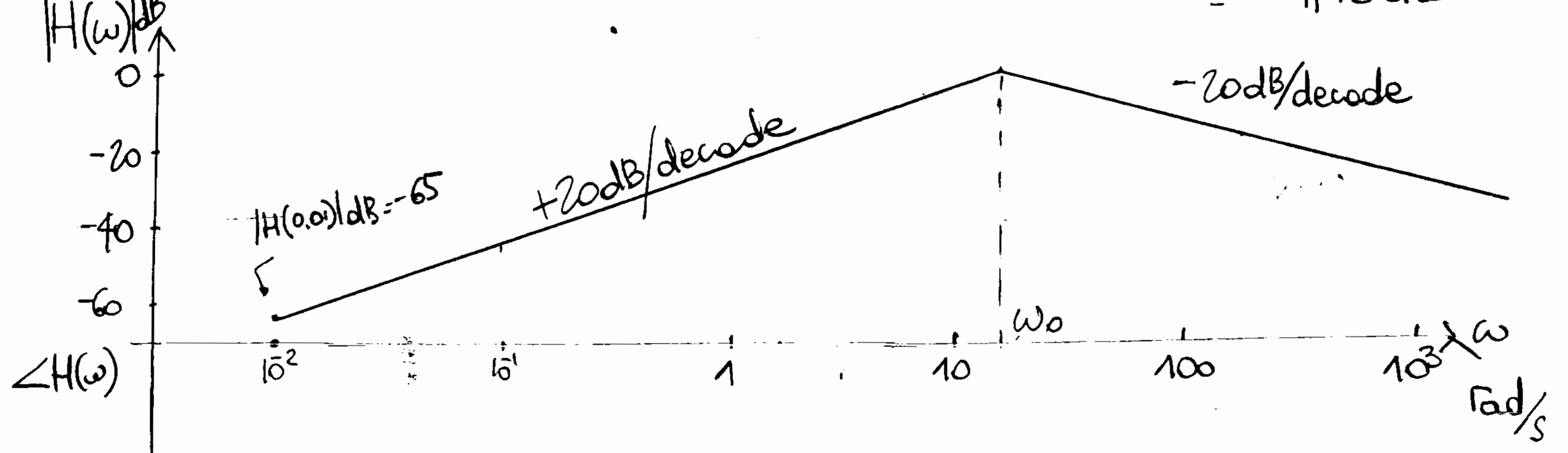
i poli sono complessi coniugati

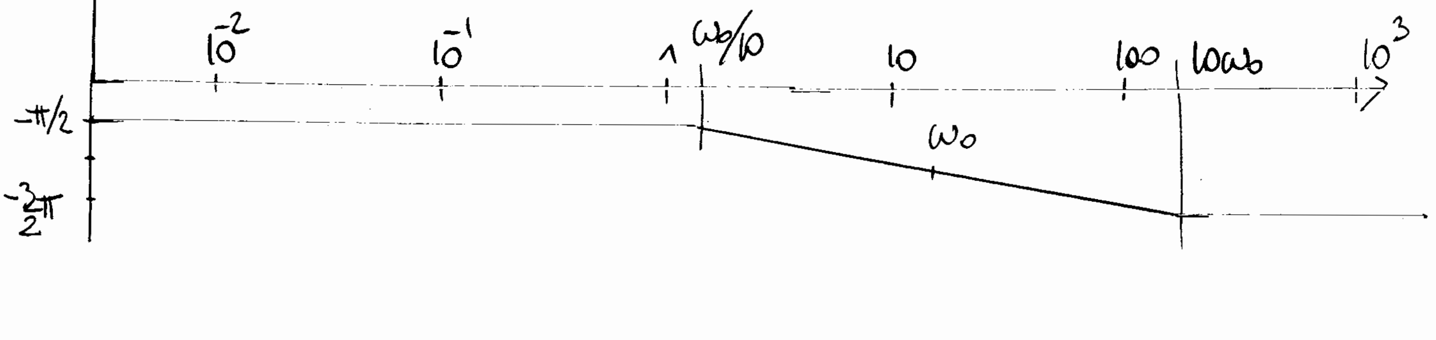
$$\frac{1}{\omega_0^2} = \frac{0,1}{20} = \frac{1}{200} \rightarrow \omega_0 = \sqrt{200} = \boxed{14.14 \text{ rad/s}}$$

$$\frac{1,9}{20} = \frac{1}{\omega_0 Q} \rightarrow Q = \frac{20}{1,9\,\omega_0} = \frac{20}{1,9 \cdot 14.14} = \boxed{0,744}$$

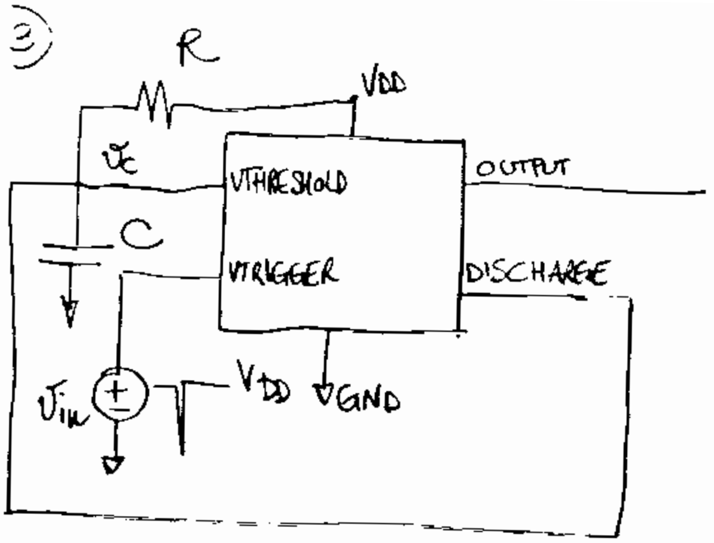
$$\left.\frac{V_u}{V_S}\right|_{s=j\omega_0} = \frac{-ARC\cancel{\omega_0}}{\left[2RC(A-1) - RC\right]\cancel{\omega_0}} = \frac{-A}{2(A-1)-1} = \frac{-11}{19} = -0,579$$

$$= -4,75 \text{ dB}$$





3)

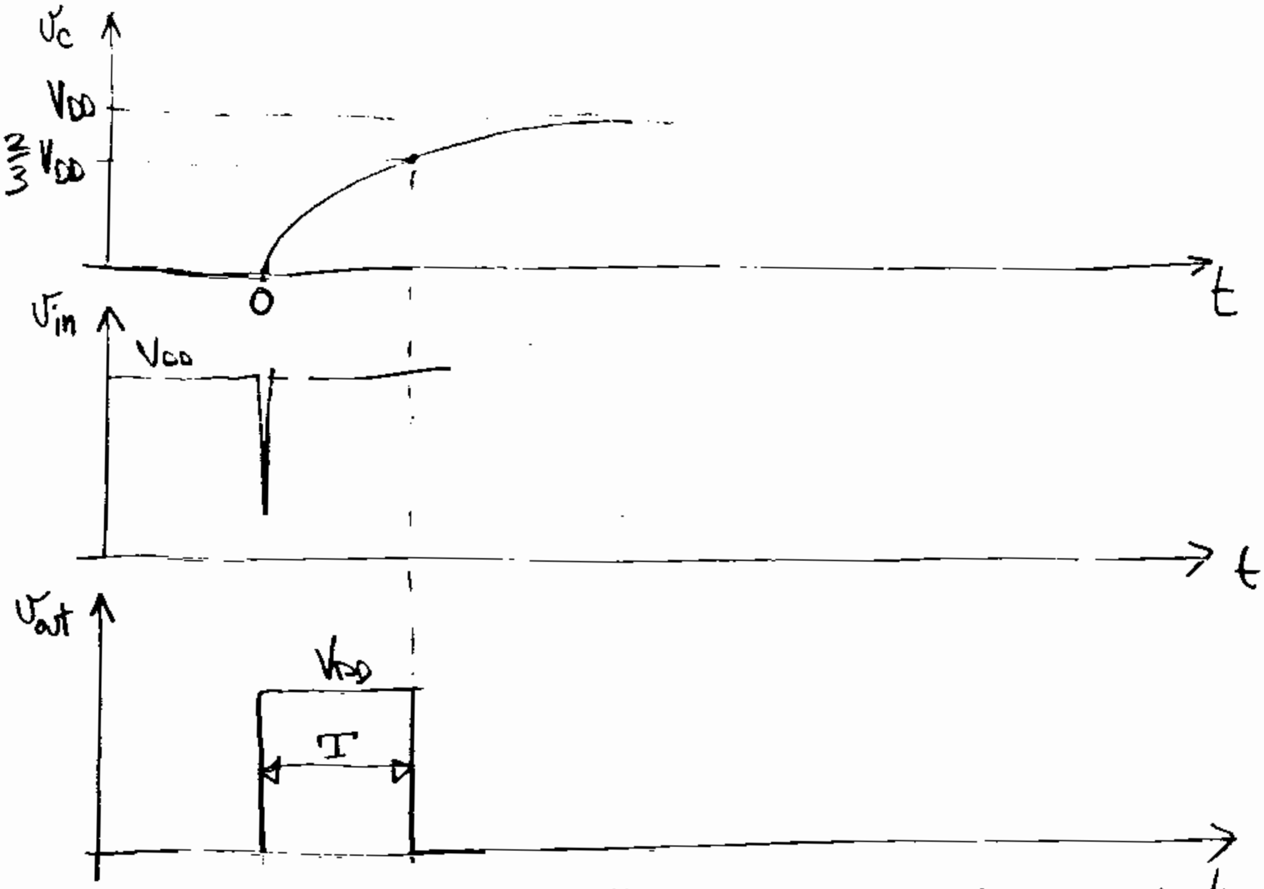


a riposo $V_{TRIGGER} = V_{DD}$

condizione iniziale $Q = 0$ $\quad \overline{Q} = 1 \rightarrow v_C = 0$

nel latch abbiamo $S = 0 \quad R = 0$

l'impulso negativo su v_{in} porta $V_{TRIGGER}$ a un valore di $\frac{V_{DD}}{3}$, in modo che $R = 1 \rightarrow \underline{\underline{Q = 1}}$ e quindi la capacità comincia a caricarsi con costante di tempo RC verso V_{DD}.



quando la tensione sulla capacità raggiunge $\frac{2}{3}V_{DD}$ la tensione d'uscita torna a zero e il sistema torna a riposo

$$v_C(t) = V_{CC}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$v_C(T) = \frac{2}{3}\cancel{V_{CC}} = \cancel{V_{CC}}\left(1 - e^{-\frac{T}{RC}}\right)$$

$$e^{-\frac{T}{RC}} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{T}{RC} = \ln 3 \rightarrow T = \ln 3\, RC$$

se vogliamo avere $T = 200\,ms$

possiamo scegliere $C = 1\,\mu F$

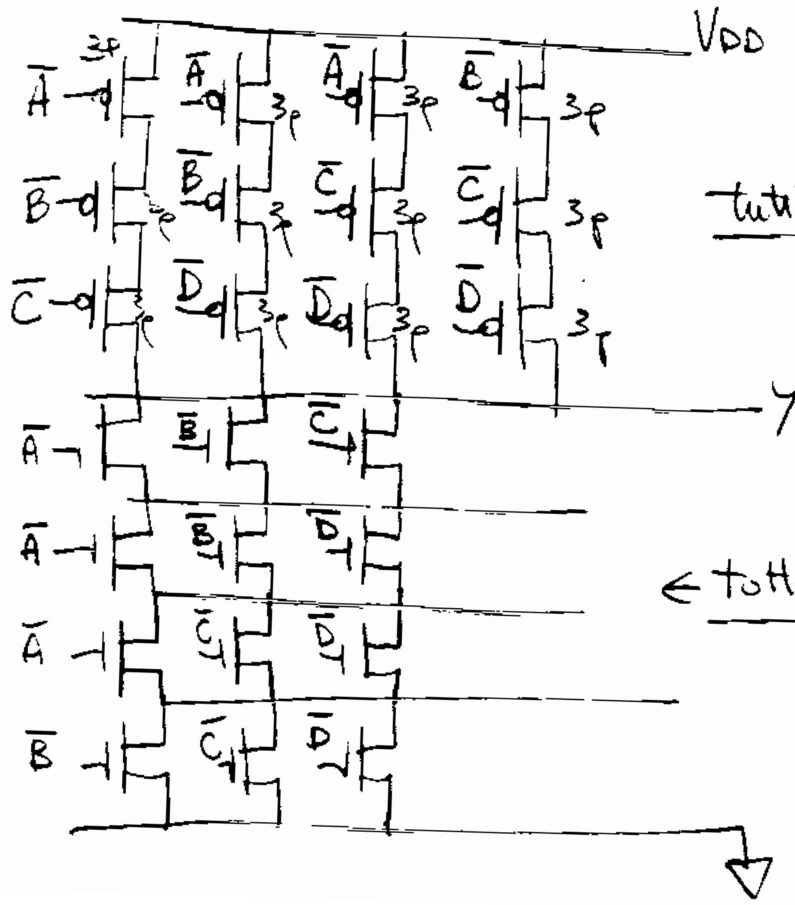
e quindi $R = \frac{T}{C \ln 3} = \frac{0.2}{10^{-6} \cdot 1.1} = \underline{181.8\,K\Omega}$

④

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	0
11	0	1	1	1
10	0	0	1	0

$$Y = ABC + ABD + ACD + BCD$$

$$\overline{Y} = \overline{A}\overline{C} + \overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B} + \overline{A}\overline{D} + \overline{B}\overline{D} + \overline{A}\overline{D}$$

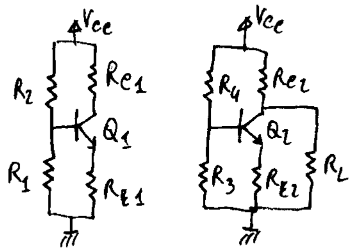


tutti 3p

← tutti 4n

PARTE B

PUNTO DI RIPOSO



IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{B1} = V_{ee}\frac{R_1}{R_1+R_2} = 3V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 2{,}3V$$

$$I_{e1} \cong \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = 4{,}6\,mA$$

$$V_{B2} = V_{ee}\frac{R_3}{R_3+R_4} = 6V$$

IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{E2} = V_{B2} - V_\gamma = 5{,}3V$$

$$I_{e2} \cong \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 3{,}53\,mA$$

$$V_{c1} = V_{ee} - R_{e1} I_{e1} = 8{,}1V \quad \Rightarrow \quad V_{eE1} = 5{,}8V$$

$$\frac{V_{e2}}{R_L} = \frac{V_{ee}-V_{e2}}{R_{e2}} - I_{e2} \quad \Rightarrow \quad V_{e2} = \frac{\frac{V_{ee}}{R_{e2}} - I_{e2}}{\frac{1}{R_L}+\frac{1}{R_{e2}}} \cong 11V \quad \Rightarrow \quad V_{eE2} = 5{,}7V$$

Q_1: $V_{eE1} = 5{,}8V$, $I_{e1} = 4{,}6\,mA$, $h_{FE} \cong 1{,}1\cdot 290 = 319$

Q_2: $V_{eE2} = 5{,}7V$, $I_{e2} = 3{,}53\,mA$, $h_{FE} \cong 1{,}1\cdot 290 = 319$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q_1

$$I_{B1} = \frac{I_{e1}}{h_{FE}} \cong 14{,}4\,\mu A \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{ee}}{R_1+R_2} = 2\,mA \gg I_{B1}$$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE PER Q_2

$$I_{B2} = \frac{I_{e2}}{h_{FE}} \cong 11{,}1\,mA \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{ee}}{R_3+R_4} = 6\,mA \gg I_{B2}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE

$$h_{fe1} = h_{fe2} = h_{fe} = 300$$

$$g_{m1} = \frac{I_{e1}}{V_T} \cong 177\,m\Omega^{-1} \qquad g_{m2} = \frac{I_{e2}}{V_T} \cong 136\,m\Omega^{-1}$$

$$h_{ie}@2mA = r_{b'e}@2mA + r_{bb'} = \frac{V_T}{2mA}\cdot h_{fe} + r_{bb'} \quad \Rightarrow \quad r_{bb'} = 900\,\Omega$$

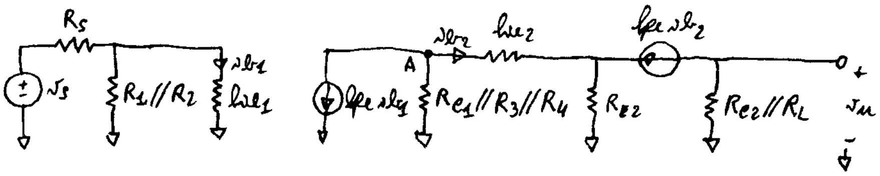
$$r_{b'e1} = \frac{h_{fe}}{g_{m1}} \cong 1{,}695\,K\Omega \qquad r_{b'e2} = \frac{h_{fe}}{g_{m2}} \cong 2{,}21\,K\Omega$$

$$f_{T1} \cong 175\,MHz \qquad f_{T2} \cong 170\,MHz$$

$$C_{b'c1}\big|_{(V_{cB1}=5{,}1V)} \cong 4{,}8\,pF \quad \Rightarrow \quad C_{b'e1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{b'c1} \cong 156\,pF$$

$$C_{b'c2}\big|_{(V_{cB2}=5V)} \cong 4{,}7\,pF \quad \Rightarrow \quad C_{b'e2} = \frac{g_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{b'c2} \cong 123\,pF$$

CALCOLO DEL GUADAGNO A CENTROBANDA



$$v_u = -(R_{c2}//R_L)\, h_{fe}\, i_{b2} \quad (1)$$

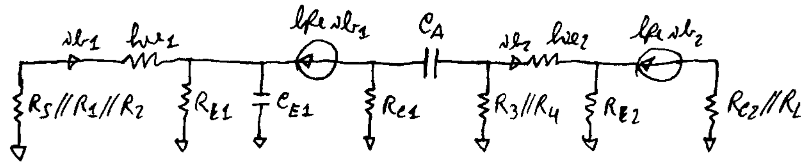
$$\begin{cases} \text{legge al nodo A:} \quad i_{b2} = -h_{fe} i_{b1} - \dfrac{v_A}{R_{c1}//R_3//R_4} \\ \text{equazione per } v_A: \quad v_A = \left[h_{ie2} + R_{E2}(h_{fe}+1)\right] i_{b2} \end{cases} \Rightarrow i_{b2} = -h_{fe} i_{b1} \frac{(R_{c1}//R_3//R_4)}{(R_{c1}//R_3//R_4) + h_{ie2} + R_{E2}(h_{fe}+1)} \quad (2)$$

$$i_{b1} = \frac{v_S}{R_S} \frac{R_S//R_1//R_2}{R_S//R_1//R_2 + h_{ie1}} \quad (3)$$

Combinando (1), (2) e (3), si ottiene:

$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_s} = (R_{c2}//R_L)\, h_{fe}^2 \cdot \frac{(R_{c1}//R_3//R_4)}{(R_{c1}//R_3//R_4) + h_{ie2} + R_{E2}(h_{fe}+1)} \cdot \frac{R_S//R_1//R_2}{R_S\left[R_S//R_1//R_2 + h_{ie1}\right]} \cong 11,31$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA

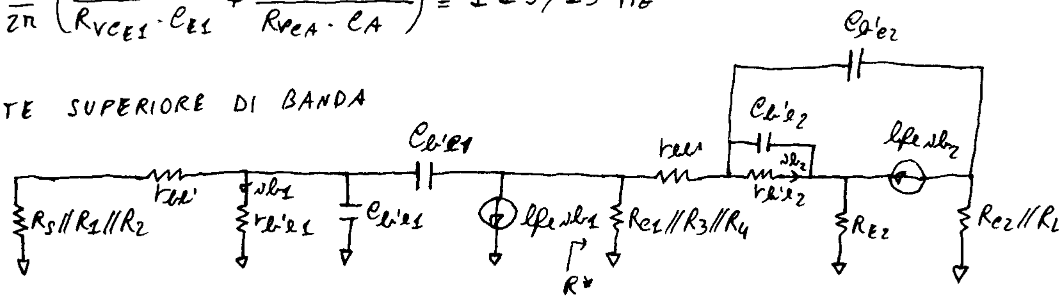


$$R_{ve_{E1}}\Big|_{C_A\,cc} = R_{E1} // \left[\frac{h_{ie1} + R_S//R_1//R_2}{h_{fe}+1}\right] \cong 13,87\,\Omega$$

$$R_{ve_A}\Big|_{C_{E1}\,cc} = R_{c1} + R_3//R_4//\left[h_{ie2} + R_{E2}(h_{fe}+1)\right] \cong 2,1\,K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{R_{vcE1}\cdot C_{E1}} + \frac{1}{R_{vcA}\cdot C_A}\right) \cong 115,13\ Hz$$

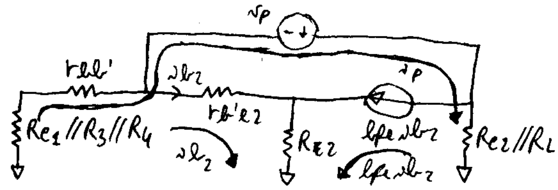
LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{vb'e1} = r_{b'e1} // \left[r_{bb'} + R_1//R_2//R_S\right] \cong 780\,\Omega$$

$$R_{vb'c1} = R_{vb'e1}(1 + g_{m1}R^*) + R^* \cong 60,6\,K\Omega \qquad \text{dove } R^* = R_{c1}//R_3//R_4//\left[h_{ie2} + R_{E2}(h_{fe}+1)\right] \cong 428,17\,\Omega$$

$$R_{vb'e2} = \left[\frac{r_{bb'} + R_{c1}//R_3//R_4 + R_{E2}}{1 + g_{m2}R_{E2}}\right] // r_{b'e2} \cong 13,76\,\Omega$$



Per il calcolo della resistenza vista da $C_{b'e2}$, usiamo le equazioni alle correnti di maglia:

$$\begin{cases} v_p = \left[(R_{E2}/\!/R_L) + r_{bb'} + (R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4)\right] i_p + (R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4 + r_{b'e2})\, i_{b2} - (R_{e2}/\!/R_L)\, h_{fe}\, i_{b2} \\ 0 = (R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4 + r_{bb'} + r_{b'e2} + R_{E2})\, i_{b2} + R_{E2}\, h_{fe}\, i_{b2} + (R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4 + r_{bb'})\, i_p \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{v\,b'e2} = \frac{v_p}{i_p} = r_{bb'} + R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4 + R_{e2}/\!/R_L + \frac{(r_{bb'} + R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4)\left[h_{fe}(R_{e2}/\!/R_L) - r_{bb'} - R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4\right]}{R_{e1}/\!/R_3/\!/R_4 + r_{bb'} + r_{b'e2} + R_{E2}(h_{fe}+1)}$$

$$\cong 4{,}49\ K\Omega$$

$$f_H = \frac{1/2\pi}{R_{vb'e1} C_{b'e1} + R_{vb'e1} C_{b'e1} + R_{vb'e2} C_{b'e2} + R_{vb'e2} C_{b'e2}} \cong 182\ KHz$$