Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
10 gennaio 2008
Parte A

1. Si consideri un amplificatore di tensione con Av = 5000, Rin = 2 MΩ, Rout = 10 Ω. Si reazioni in modo da ottenere un'impedenza di ingresso uguale a 10 KΩ e una resistenza di uscita minore di 1Ω. Una volta scelta e dimensionata la rete di reazione, si calcolino le resistenze di ingresso e uscita così ottenute, e il valore dell'amplificazione.
2. Disegnare lo schema di un generatore d'onda rettangolare con periodo 1 KHz, .durata della semionda positiva 0.6 ms, livello alto +5 V, livello basso -5 V. Dimensionare i componenti e giustificare il procedimento.
3. Disegnare lo schema e dimensionare i componenti di un filtro biquadratico con due zeri nell'origine e due poli di valore -1000 ± j4000 rad/s. Giustificare il procedimento.
4. Disegnare e quotare la porta complessa CMOS che realizzi un multiplexer 2:1.

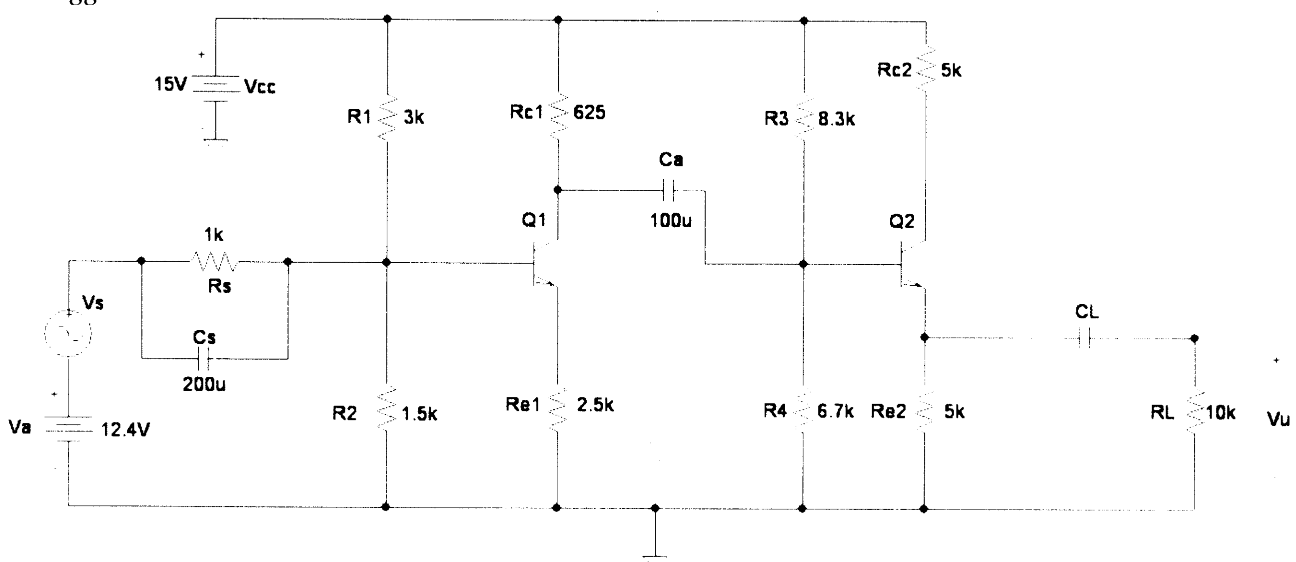
Punteggio totale Parte A: 14.

Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, 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

NOTE: Q1 e Q2 sono P2N2222 resistivi con hoe=0, hre=0. Q2 e' resistivo. Il condensatore C_L ha valore praticamente infinito

Punteggio totale Parte B: 14.

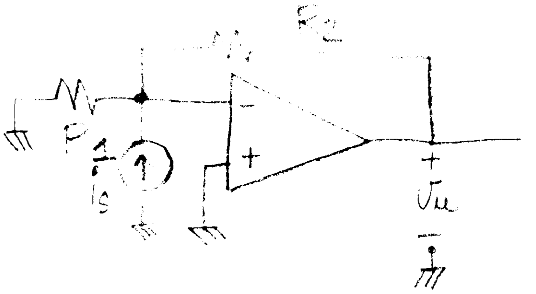


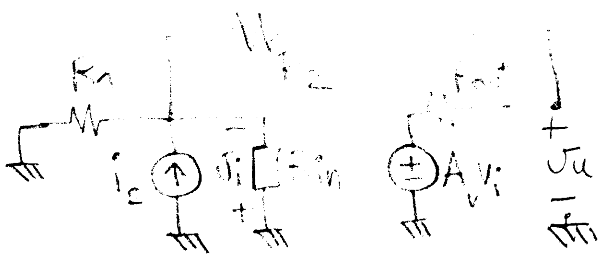
1. $A_V = 5000$

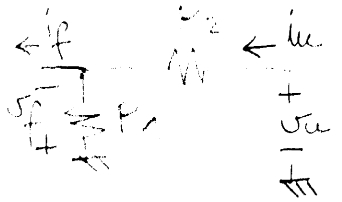
$R_{in} = 2\,M\Omega \qquad R_{IF} = 10\,K\Omega \qquad R_{IF} < R_{in}$

$R_{out} = 10\,\Omega \qquad R_{OF} < 1\,\Omega \qquad R_{OF} < R_{out}$

Abbiamo bisogno di una reazione con inserzione di corrente e prelievo di tensione



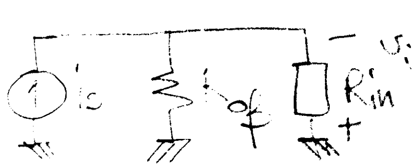


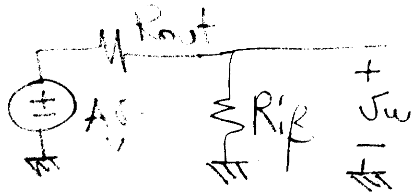


$$i_f = \beta v_u + \frac{v_f}{R_{of}}$$

$$i_u = \frac{v_u}{R'_{if}} + k v_f$$

$$\beta = \left.\frac{i_f}{v_u}\right|_{v_f=0} = \frac{1}{R_2}; \quad R_{of} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{v_u=0} = R_1 // R_2; \quad R'_{if} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{v_f=0} = R_2$$





$$A_e = \frac{v_u}{i_s} = -(R_{of} // R_{in})\, A_V \frac{R'_{if}}{R'_{if} + R_{out}} = (R_1 // R_2 // R_{in})\, A_V \frac{R_2}{R_2 + R_{out}}$$

$$R_{IF} = \frac{R_{in} // R_{of}}{(1 - \beta A_e)} = \frac{\overset{2M\Omega}{R_{in}} // \overset{R_1 // R_2}{R_{of}}}{1 + \frac{1}{R_2} \frac{R_2}{R_2 + R_{out}} \cdot A_V \cdot R_1 // R_2 // R_{in}} =$$

$$R_{IF} = \frac{R_1 // R_2 // \overset{2M\Omega}{R_{in}}}{1 + \frac{A_V\, R_1 // R_2 // R_{in}}{R_2 + R_{out}}} = \underline{\underline{10\,K\Omega}}$$

$2M\Omega$

(2)

Se poniamo che $\dfrac{A_V \; R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{R_2 + R_{out}} \gg 1$ possiamo scrivere

$$R_{IF} \simeq \frac{R_2 + \overset{10\,\Omega}{R_{out}}}{\underset{5000}{A_V}} = 10\,\mathrm{k}\Omega \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{R_2 = 50\,\mathrm{M}\Omega}}$$

$$R_{OF} = \frac{R_{i\beta} /\!/ R_{out}}{1 - \beta A_e} = \frac{R_{i\beta} /\!/ R_{out}}{1 + \dfrac{A_V \; R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{R_2 + R_{out}}} \simeq \frac{R_2 R_{out}}{R_2 + R_{out}} \cdot \frac{R_2 + R_{out}}{A_V \; R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}} =$$

$$R_{OF} = \frac{\overset{10\,\Omega}{R_{out}}}{\underset{5000}{A_V}} \; \frac{\overset{= 50\,\mathrm{M}\Omega}{R_2}}{R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}} < 1\,\Omega \quad \rightarrow \quad R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in} > 100\,\mathrm{k}\Omega$$

poniamo ad esempio $\underline{\underline{R_1 = 200\,\mathrm{k}\Omega}}$

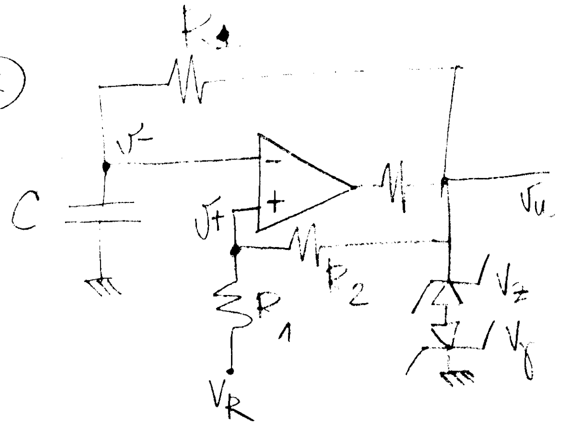
in questo modo abbiamo

$$\frac{A_V \; R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{R_2 + R_{out}} = \frac{5000}{50 \cdot 10^6\,\Omega} \; 180\,\mathrm{k}\Omega = 18 \gg 1$$

verificiamo $\quad R_{IF} = \dfrac{R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{1 + \dfrac{A_V \; R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{R_2 + R_{out}}} =$

$$R_{OF} = \frac{R_2 /\!/ R_{out}}{1 + \dfrac{A_V \; R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_{in}}{R_2 + R_{out}}} =$$

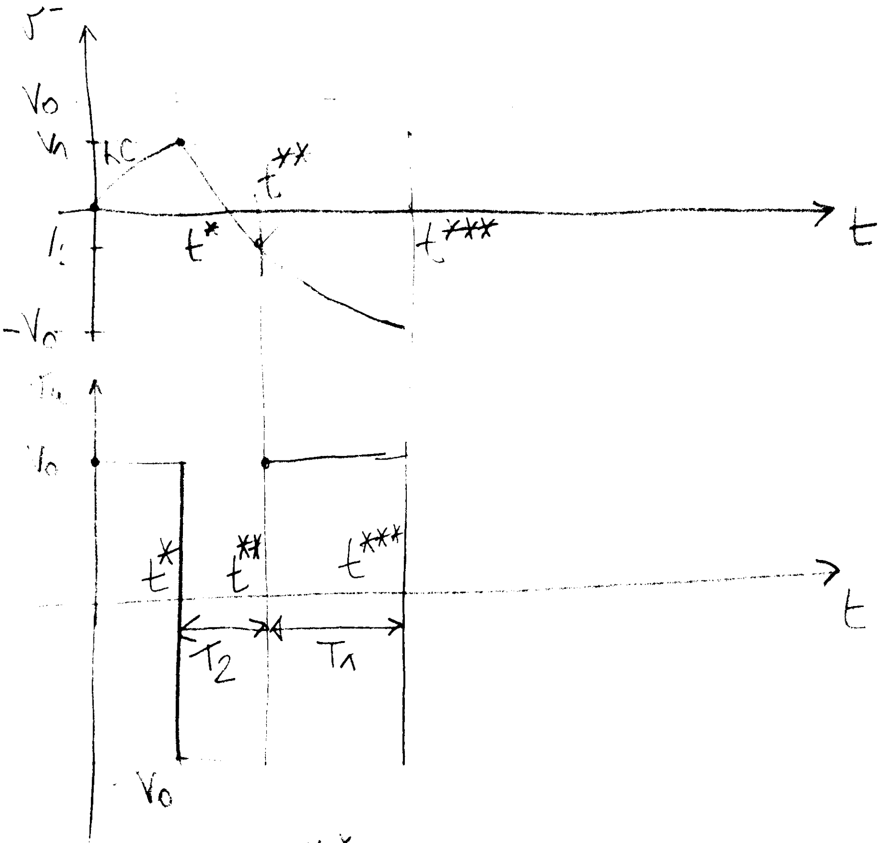
2)



$$v_+ = \frac{v_u R_1}{R_1 + R_2} + v_R \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$f = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$v_+ = f \cdot v_u + v_R (1 - f)$$



poniamo $v^- = 0$ per $t = 0$ e

$v_u(0) = +V_0 = V_Z + V_\gamma$

quando $v_u = +V_0$

abbiamo $v^+ = \beta V_0 + (1-\beta) V_R = V_1$

quando $v_u = -V_0$

$v^+ = -\beta V_0 + (1-\beta) V_R = V_2$

per $t^* < t < t^{**}$ $\quad v^-(t) = -V_0 + (V_1 + V_0)\, e^{-\frac{t - t^{**}}{RC}}$

$$V_2 = v^-(t^{**}) = -V_0 + (V_1 + V_0)\, e^{-T_2/RC}$$

$$\frac{V_2 + V_0}{V_1 + V_0} = e^{-T_2/RC} \rightarrow T_2 = RC \ln\left(\frac{V_0 + V_1}{V_0 + V_2}\right)$$

per $t^{**} < t < t^{***}$ $\quad v^-(t) = V_0 + (V_2 - V_0)\, e^{-\left[\frac{t - t^{**}}{RC}\right]}$

$$V_1 = v^-(t^{***}) = V_0 + (V_2 - V_0)\, e^{-T_1/RC}$$

$$\frac{V_1 - V_0}{V_2 - V_0} = e^{-T_1/RC} \rightarrow T_1 = RC \ln\left(\frac{V_0 - V_2}{V_0 - V_1}\right)$$

poniamo $RC = 1\,ms \rightarrow C = 1\mu F \quad R\ 1 K\Omega$

vogliamo $T_2 = 0.4\,ms \rightarrow \ln\left(\frac{V_0 + V_1}{V_0 + V_2}\right) = 0.4 \rightarrow \frac{V_0 + V_1}{V_0 + V_2} = e^{0.4} = 1.49$

$T_1 = 0.6\,ms \rightarrow \ln\left(\frac{V_0 - V_2}{V_0 - V_1}\right) = 0.6 \rightarrow \frac{V_0 - V_2}{V_0 - V_1} = e^{0.6} = 1.82$

$V_0 + V_1 = 1.49\,(V_0 + V_2) \rightarrow 0.49\,V_0 - V_1 + 1.49\,V_2 = 0$ (A)

$(V_0 - V_2) = 1.82\,(V_0 - V_1) \rightarrow 0.82\,V_0 - 1.82\,V_1 + V_2 = 0$ (B)

se facciamo (A) $\cdot$ 1,82 − (B) $\rightarrow$

$$(0.49 \cdot 1{,}82 - 0.82)V_0 + (1.49 \cdot 1{,}82 - 1)\,V_2 = 0$$

$$0.718\,V_0 + 1.7118\,V_2 = 0 \rightarrow V_2 = \frac{-0.718}{1.7118} V_0 = -0.419\,V_0$$

se facciamo (A) − 1.49 (B) $\rightarrow$

$$(0.49 - 1.49 \cdot 0.82)V_0 - V_1(1 - 1.82 \cdot 1.49) = 0$$

$$0.7318\,V_0 - 1.7118\,V_1 = 0 \rightarrow V_1 = +0.427\,V_0$$

$$V_1 = \beta V_0 + (1-\beta)V_R = 0.427\,V_0$$

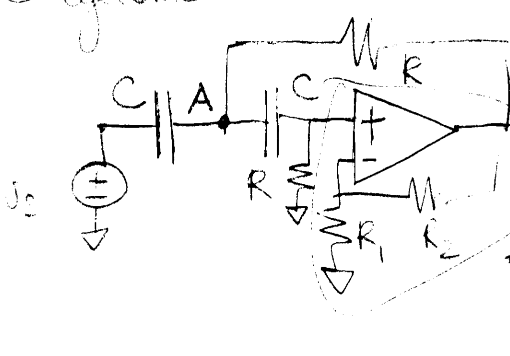
$$V_2 = -\beta V_0 + (1-\beta)V_R = -0.419\,V_0$$

$$V_1 + V_2 = 2(1-\beta)V_R = 0.008\,V_0$$

$$V_1 - V_2 = 2\beta V_0 = 0.846\,V_0 \rightarrow \underline{\beta = 0.423} \rightarrow \begin{array}{l} R_1 + R_2 = 10\,k\Omega \\ R_1 = 4.23\,k\Omega \\ R_2 = 5.77\,k\Omega \end{array}$$

$$V_R = \frac{0.008 \cdot 5}{2(1-0.423)} = \underline{34.7\,mV}$$

(3) Scegliamo una cella di Sallen-Key passa alto



$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

$$\begin{cases} v_A\left[2Cs + \frac{1}{R}\right] - v_s Cs - \frac{v_u}{A} Cs - \frac{v_u}{R} = 0 \\ \frac{v_u}{A} = \frac{RCs}{RCs+1} v_A \end{cases}$$

$$v_u \frac{(RCs+1)}{RCsA}(2RCs+1) - v_s RCs - v_u \frac{RCs}{A} - v_u = 0$$

$$v_u[2R^2C^2s^2 + 3RCs + 1] - v_s A R^2C^2s^2 - RCs\,v_u - ARCs\,v_u = 0$$

$$\frac{v_u}{v_i} = \frac{A R^2C^2s^2}{R^2C^2s^2+(3-A_v)RCs+1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} = \sqrt{1000^2+4000^2} = 4123 \text{ rad/s}$$ → scegliamo $C = 1\mu F$

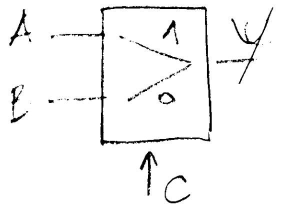
$$R = \frac{1}{C \cdot \omega_0} = 242{,}5\,\Omega$$

$$3-A = 2\cos\xi = 2\frac{1000}{\omega_0} = 2\frac{1000}{4123} = 0{,}485$$

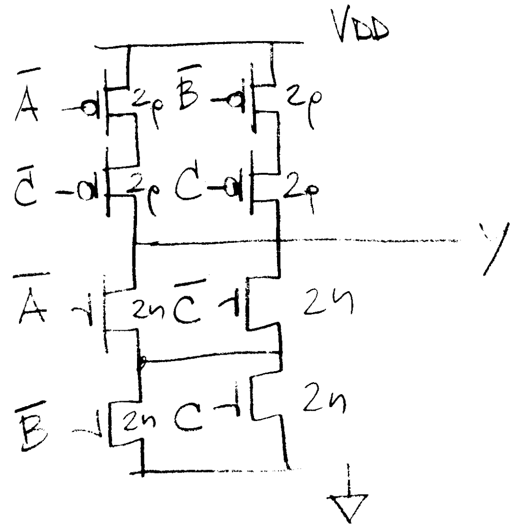
$$A = 2{,}515 \Rightarrow 1+\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow$$ scegliamo $R_1 = 10\,k\Omega$

$\underline{R_2 = 15{,}15\,k\Omega}$

4)



$$y = AC + B\overline{C}$$



PARTE B

IPOTESI PARTITORE PESANTE

PUNTO DI RIPOSO:

$$V_{B1} = V_{ee}\frac{R_2 /\!/ R_S}{R_1 + R_2 /\!/ R_S} + V_A \frac{R_1 /\!/ R_2}{R_S + R_1 /\!/ R_2} \cong 8{,}7V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 8V$$

$$I_{C1} \cong I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} = 3{,}2mA$$

$$V_{C1} = V_{CC} - R_{C1} I_{C1} = 13V \Rightarrow V_{CE1} = 5V$$

IPOTESI PART. PESANTE

$$V_{B2} = V_{ee}\frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6{,}7V \Rightarrow V_{E2} = V_{B2} - V_\gamma = 6V$$

$$I_{C2} \cong I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} = 1{,}2mA$$

$$V_{C2} = V_{ee} - R_{C2} I_{C2} = 9V \Rightarrow V_{CE2} = 3V$$

Q_1: $V_{CE1} = 5V$, $I_{C1} = 3{,}2mA$, $h_{FE1} \cong 170$

Q_2: $V_{CE2} = 3V$, $I_{C2} = 1{,}2mA$, $h_{FE2} \cong 150$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE:

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE1}} \cong 18{,}8\mu A \ll I_{R1}, I_{R2} \Rightarrow Ok$$

dove
$$\begin{cases} I_{R1} = \dfrac{V_{ee} - V_{B1}}{R_1} = 2{,}1mA \\ I_{R2} = \dfrac{V_{B1}}{R_2} = 5{,}8mA \end{cases}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE2}} \cong 8\mu A \ll \frac{V_{ee}}{R_3 + R_4} = 1mA \Rightarrow Ok$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE (ALLE VARIAZIONI):

$$h_{fe1} = h_{fe2} = 175$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} \cong 123{,}1 m\Omega^{-1}$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} \cong 46{,}2 m\Omega^{-1}$$

$$h_{ie}@1mA = r_{b'e}@1mA + r_{bb'} = \frac{V_T}{1mA}\cdot h_{fe} + r_{bb'} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_{bb'} = 5k\Omega - 4{,}55k\Omega = 450\Omega$$

$$r_{b'e1} = \frac{h_{fe}}{g_{m1}} \cong 1{,}42K\Omega \Rightarrow h_{ie1} = 1{,}87K\Omega$$

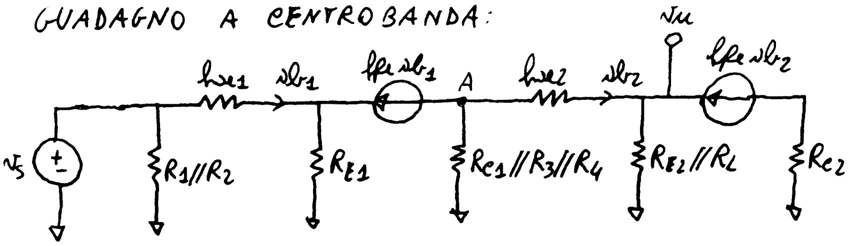
$$r_{b'e2} = \frac{h_{fe}}{g_{m2}} \cong 3{,}79K\Omega \Rightarrow h_{ie2} = 4{,}24K\Omega$$

$f_{T1} \cong 180 MHz$ $\quad$ $f_{T2} \cong 100MHz$

$$V_{CB1} = 4{,}3V \Rightarrow C_{b'c1} \cong 5pF \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{b'e1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{b'c1} \cong 104pF$$

GUADAGNO A CENTROBANDA:



$$v_u = (R_{E2} // R_L)(h_{fe}+1)\, i_{b2} \quad (1)$$

legge al nodo A :
$$\begin{cases} h_{fe}\, i_{b1} + i_{b2} = -\dfrac{v_A}{R_{C1}//R_3//R_4} \\ \text{dove } v_A = v_u + h_{ie2}\, i_{b2} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad i_{b2} = \frac{-v_u - h_{fe}\,(R_{C1}//R_3//R_4)}{R_{C1}//R_3//R_4 + h_{ie2}} \quad (2)$$

sostituendo la (2) nella (1), si ottiene una relazione fra v_u e i_{b1}:

$$v_u = -h_{fe}\,\frac{(R_{E2}//R_L)(h_{fe}+1)(R_{C1}//R_3//R_4)}{(R_{E2}//R_L)(h_{fe}+1)+h_{ie2}+(R_{C1}//R_3//R_4)}\, i_{b1}$$

$$\text{dove } i_{b1} = \frac{v_S}{[h_{ie1}+R_{E1}(h_{fe}+1)]}$$

$$A_{CB} = \frac{v_u}{v_S} = \frac{-h_{fe}}{[h_{ie1}+R_{E1}(h_{fe}+1)]}\cdot\frac{(R_{E2}//R_L)(h_{fe}+1)(R_{C1}//R_3//R_4)}{(R_{E2}//R_L)(h_{fe}+1)+h_{ie2}+(R_{C1}//R_3//R_4)} \cong 0{,}21$$

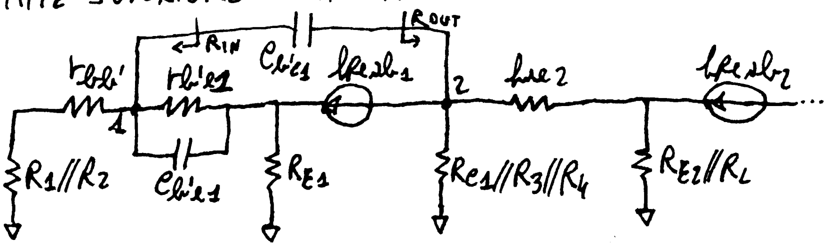
LIMITE INFERIORE DI BANDA:

$$R_{vC_A}\Big|_{C_S\, cc} = R_{C1} + R_3 // R_4 // [h_{ie2}+(R_{E2}//R_L)(h_{fe}+1)] \cong 4{,}3\,K\Omega$$

$$R_{vC_S}\Big|_{C_A\, cc} = R_S // R_1 // R_2 // [h_{ie1}+R_{E1}(h_{fe}+1)] \cong R_S//R_1//R_2 = 500\,\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{R_{vC_A}\cdot C_A}+\frac{1}{R_{vC_S}\cdot C_S}\right) \cong 1{,}96\,Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:



$$R_{V_{b'e1}}\Big|_{C_{b'c1}\text{ aperto}} = r_{b'e1} // \left[R_1//R_2 + r_{bb'} + \frac{R_{E1}}{1+g_{m1}R_{E1}}\right] \cong 720\,\Omega$$

$$R_{V_{b'c1}}\Big|_{C_{b'e1}\text{ aperto}} = R_{IN}(1+|A_V|) + R_{OUT} \cong 2{,}29\ K\Omega$$

dove

$$\begin{cases} R_{OUT} = R_{C1}//R_3//R_4//\left[h_{ie2} + (R_{E2}//R_L)(h_{fe}+1)\right] \cong 534{,}4\ \Omega \\ R_{IN} = \left[r_{bb'} + R_1//R_2\right] // \left[r_{b'e1} + R_{E1}(h_{fe}+1)\right] \cong 1{,}45 K\Omega \\ A_V = \dfrac{V_2}{V_1} = \dfrac{-h_{fe}R_{OUT}}{r_{b'e1} + R_{E1}(h_{fe}+1)} \cong -0{,}212 \end{cases}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\left(C_{b'e1}R_{V_{b'e1}} + C_{b'c1}\cdot R_{V_{b'c1}}\right)} \cong 1{,}85\ MHz$$