Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
30 gennaio 2007
Parte A

1. Ricavare la funzione di trasferimento di un integratore di Miller tenendo conto della dipendenza dalla frequenza dell'amplificazione dell'operazionale. Rappresentarne il diagramma di Bode. [Scegliere C=10 nF, R=4.7 kΩ, e per l'operazionale Av=10000, f_H=1000 Hz]
2. Si supponga di avere a disposizione un amplificatore con resistenza di ingresso 10 KΩ, resistenza di uscita 2 KΩ, amplificazione di tensione Av = 1000, limite superiore di banda 100 Hz. Si reazioni in modo da ottenere un amplificatore di corrente con resistenza di uscita di almeno 200 KΩ e resistenza di ingresso inferiore a 1 KΩ. Si calcolino le nuove resistenza di ingresso e di uscita, l'amplificazione di corrente e il nuovo limite sup. di banda.
3. Disegnare e dimensionare lo schema del circuito elettronico che abbia due poli complessi coniugati sp1,sp2 = -1000 ± j 5000 rad/s, e due zeri nell'origine.
4. Disegnare il circuito con logica CMOS di una porta a quattro ingressi e una uscita tale che l'uscita sia 1 se almeno tre ingressi sono a 1 e sia 0 altrimenti. Determinare i rapporti W/L dei transistori, sapendo che n=2 e p=5.

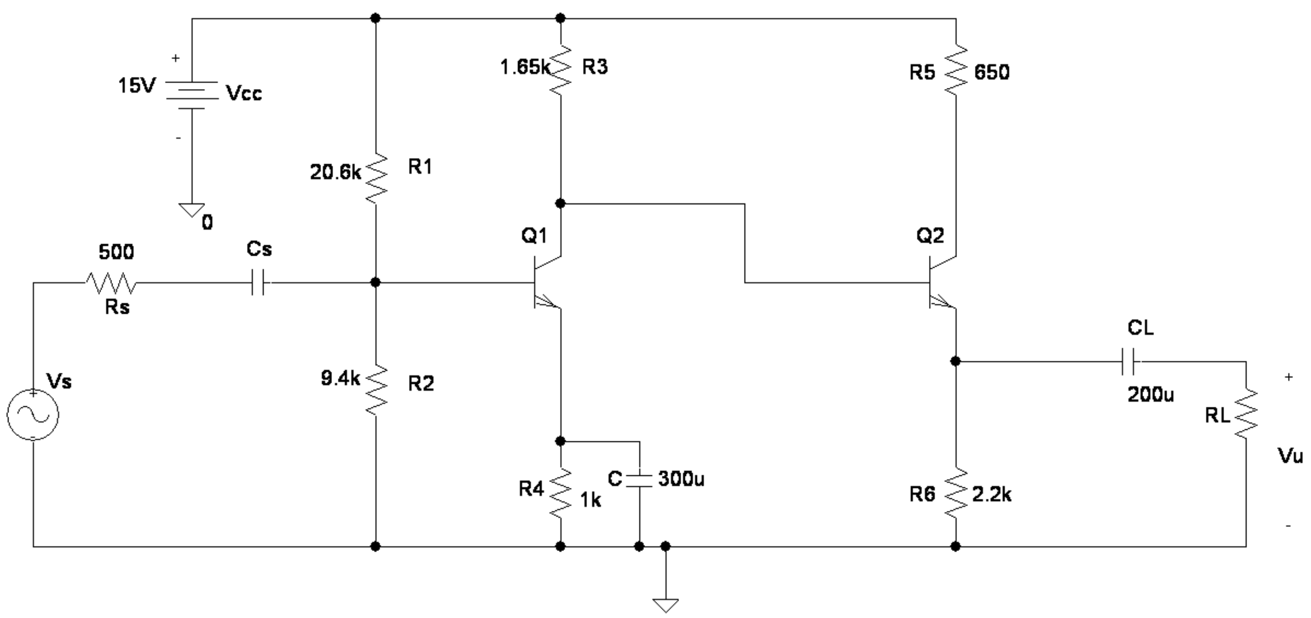
Punteggio totale Parte A: 14

Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, in cui i transistori 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

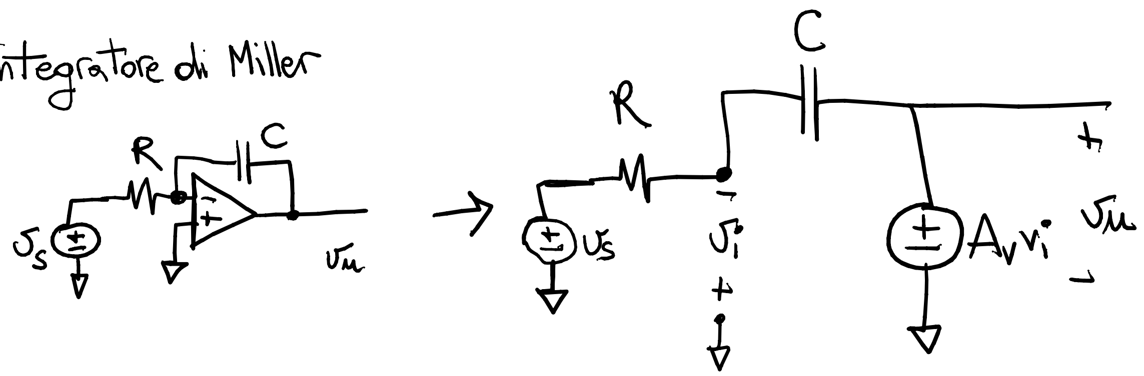
Ipotesi semplificative:
- i due transistori hanno h_{oe}=0.
- Q2 è completamente resistivo
- Cs ha valore praticamente infinito (è un corto circuito a frequenza diversa da zero).

Punteggio totale Parte B: 14.



Parte A

1) Integratore di Miller



$$A_v = \frac{A_{v0}}{1 - s/s_p}$$

$$\begin{cases} \dfrac{v_s + v_i}{R} + (A_v + 1) v_i C s = 0 \\ v_u = A_v v_i \end{cases} \qquad \begin{cases} v_s + v_i + RCs\left(1 + \dfrac{A_{v0}}{1 - s/s_p}\right) v_i = 0 \\ v_u = \dfrac{A_{v0}}{1 - s/s_p} v_i \end{cases}$$

$$v_i \left[1 + RCs + \frac{RCs\,A_{v0}}{1 - s/s_p}\right] + v_s = 0 \Rightarrow v_i = \frac{v_s\,(1 - s/s_p)}{(1 + RCs)(1 - s/s_p) + RCs\,A_{v0}}$$

$$v_u = \frac{A_{v0}\, v_s}{-\frac{RC}{s_p} s^2 + \left(RC - \frac{1}{s_p} + RC\,A_{v0}\right) s + 1}$$

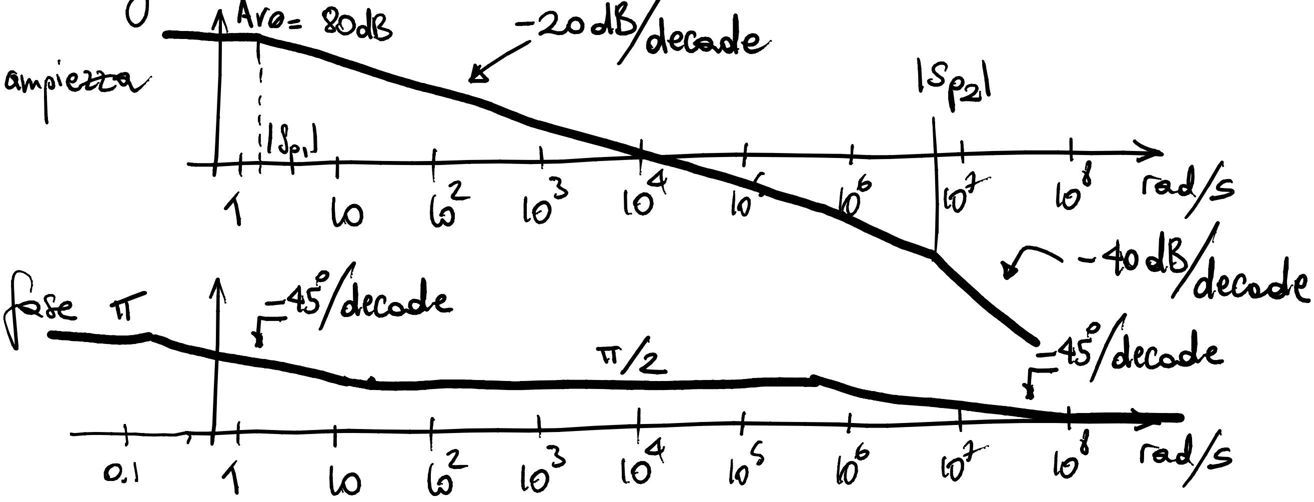
la funzione di trasferimento ha 2 poli.
Se ipotizziamo che i 2 poli siano molto diversi, per esempio $|s_{p2}| \gg |s_{p1}|$
allora il coefficiente di primo grado del denominatore è circa $-\frac{1}{s_{p1}}$
e il coefficiente di 2° grado del den è $\frac{1}{s_{p1} s_{p2}}$:

$$s_{p1} \approx \frac{-1}{RC(1 + A_{v0}) - 1/s_p} = \frac{-1}{4700 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4 - 1/2\pi \cdot 1000} = -2.12 \text{ rad/s}$$

$$s_{p2} = \frac{RC(1 + A_v) - 1/s_p}{-RC/s_p} = \frac{0.47 \cdot 1000 \cdot 2\pi}{4700 \cdot 10^{-8}} = -62.8 \text{ Mrad/s}$$

si può verificare che $|s_{p2}| \gg |s_{p1}|$

diagramma di Bode

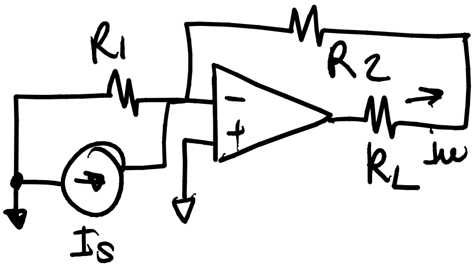


2) $R_{in} = 10k\Omega$ $R_{out} = 2k\Omega$ $A_{vo} = 1000$ $f_p = 100\,Hz$

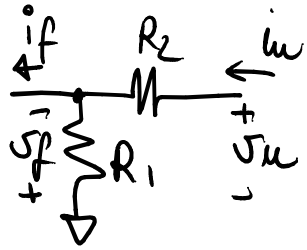
vogliamo $R_{IF} < 1k\Omega$

$R_{OF} > 200\,k\Omega$

è necessaria una reazione con prelievo di corrente e inserzione di corrente



• rete per il β



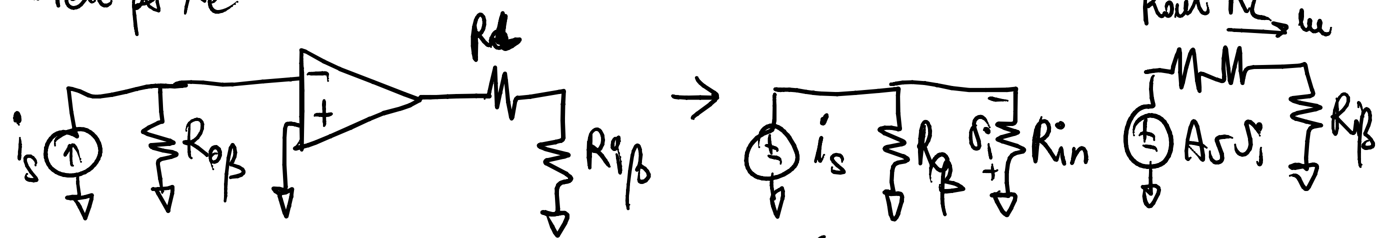
$$i_f = \beta i_u + v_f / R_{o\beta}$$

$$v_u = R_{i\beta} i_u + \cancel{k v_f}$$

$$\rightarrow \beta = \left.\frac{i_f}{i_u}\right|_{v_f=0} = 1 \qquad R_{o\beta} = \left.\frac{v_f}{i_f}\right|_{i_u=0} = R_1$$

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

• rete per Ae



$$A_e = \left.\frac{i_u}{i_s}\right|_{\beta=0} = (R_{in} /\!/ R_{o\beta}) \frac{A_v}{R_{out} + R_L + R_{i\beta}} = (R_{in} /\!/ R_1) \frac{A_v}{R_{out} + R_L + R_2}$$

$$R_{IF} = \frac{R_{o\beta} // \overset{10k\Omega}{R_{in}}}{1-\beta A_e} < 1\,k\Omega$$

$$R_{OF} = (\underset{\uparrow\;2k\Omega}{R_{out}} + R_{i\beta})\left(1-\beta A_e\big|_{R_L=0}\right) > 200\,k\Omega$$

è sufficiente avere $\left|\beta A_e\big|_{R_L=0}\right| \geq 100 \rightarrow \dfrac{(10000 // R_1)\,1000}{2000 + R_2} \geq 100$

$(10000 // R_1) \geq \dfrac{2000 + R_2}{10}$ basta prendere $R_1 = 1000\,\Omega$ $R_2 = 1000\,\Omega$

abbiamo $R_{IF} = \dfrac{1000 // 10000}{1 + \dfrac{(10000//1000)1000}{2000+1000+R_L}} = \dfrac{909}{1+\dfrac{909000}{3000+R_L}} < 909$ per qualunque valore di R_L

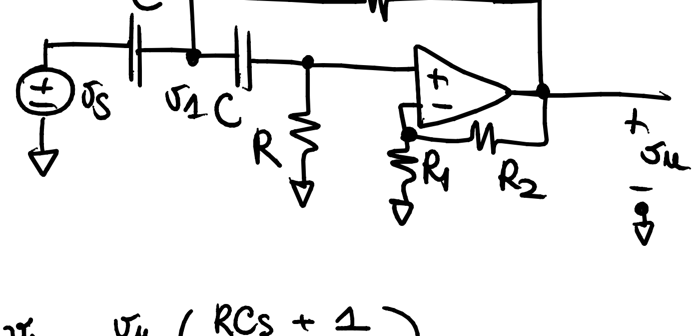
$$R_{OF} = \cancel{3000}\cdot\frac{(10000//1000)\,1000}{\cancel{3000}} = \underline{909\,k\Omega}$$

$$A_{F0} = \frac{A_e}{1-\beta A_e} = \frac{A_e}{1-A_e} = \frac{-\frac{909000}{300+R_L}}{1+\frac{909000}{300+R_L}} = \frac{-909000}{909300+R_L}$$

(dipende dal valore di R_L)

$$f_H = f_p(1-\beta A_e) = 1000\left(1+\frac{909000}{300+R_L}\right) \quad (Hz)$$

③ Il filtro è un passa alto biquadratico, che ad esempio si può realizzare con una cella di Sallen-Key



$$v_1\left(2Cs + \frac{1}{R}\right) - v_S Cs - \frac{v_u}{A_V} Cs - \frac{v_u}{R} = 0$$

$$\frac{v_u}{A_V} = \frac{RCs}{RCs+1}\, v_1$$

$$A_V = 1 + R_2/R_1$$

$$v_1 = \frac{v_u}{A_V}\left(\frac{RCs+1}{RCs}\right)$$

$$\frac{v_u}{A_V}\left(\frac{RCs+1}{RCs}\right)(2RCs+1) - v_S RCs - \frac{v_u}{A_V} RCs - v_u = 0$$

$$v_u\left(2R^2C^2s^2 + 3RCs + 1\right) - v_S A_V R^2C^2s^2 - v_u R^2C^2s^2 - A_V RCs = 0$$

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

$$\omega_p = \sqrt{1000^2 + 5000^2} = \sqrt{1+25} \cdot 1000 = 5100 \text{ rad/s} = \frac{1}{RC}$$

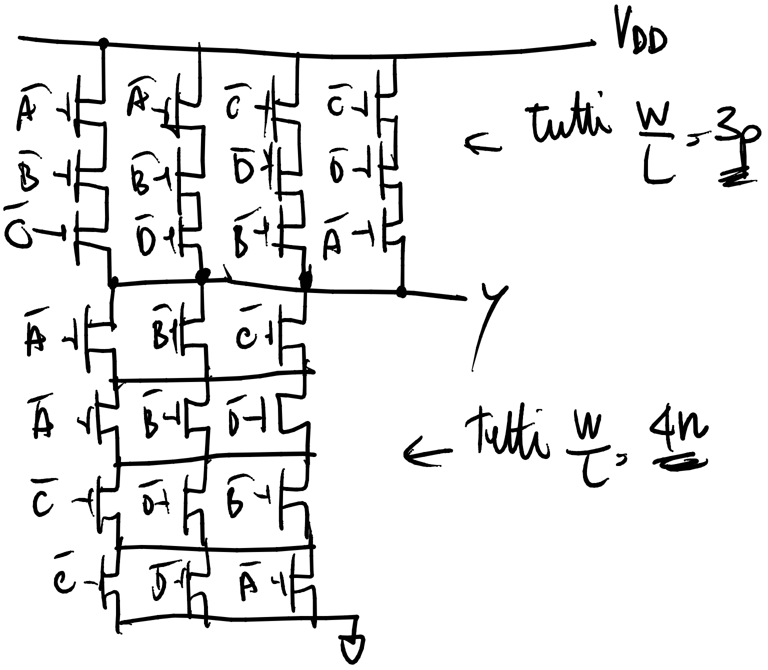
$$3 - A_v = \frac{1}{Q} = 2\cos\xi = 2 \cdot \frac{1000}{5100} = 0.39 \rightarrow A_v = 2.61$$

$C = 10\text{nF}$ $\quad R = \frac{1}{10^{-8} \cdot 5100} = 19.6\,\text{K}\Omega$ $\quad R_1 = 10000\,\Omega$ $\quad R_2 = 16100\,\Omega$

④ Mappa di Karnaugh:

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

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



PARTE B

PUNTO DI RIPOSO

IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$V_{B1} = V_{cc}\frac{R_2}{R_1+R_2} = 4,7V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_\gamma = 4V$$

$$I_{c1} \cong I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_4} = 4mA$$

$$V_{B2} = V_{c1} = V_{cc} - R_3 I_{c1} = 8,4V \quad \Rightarrow V_{CE1} = 4,4V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_\gamma = 7,7V$$

$$I_{c2} \cong I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_6} = 3,5mA$$

$$V_{c2} = V_{cc} - R_5 I_{c2} \cong 12,7V \quad \Rightarrow V_{CE2} \cong 5V$$

Q_1: $V_{CE1} = 4,4V$, $I_{c1} = 4mA$, $h_{FE} = 1,1 \cdot 290 = 319$

Q_2: $V_{CE2} = 5V$, $I_{c2} = 3,5mA$, $h_{FE} = 1,1 \cdot 290 = 319$

VERIFICA IPOTESI DI PARTITORE PESANTE

$$I_{B1} = \frac{I_{c1}}{h_{FE}} \cong 12,5\mu A$$

$$\frac{V_{cc}}{R_1+R_2} = 500\mu A \gg I_{B1}$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE (ALLE VARIAZIONI)

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

$$g_{m1} = \frac{I_{c1}}{V_T} = \frac{4\cdot 10^{-3}}{26\cdot 10^{-3}} \cong 153,8\, m\Omega^{-1}$$

$$g_{m2} = \frac{I_{c2}}{V_T} = \frac{3,5\cdot 10^{-3}}{26\cdot 10^{-3}} \cong 134,6\, m\Omega^{-1}$$

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

$$\Rightarrow r_{bb'} = 4,8K\Omega - 3,9K\Omega = 900\Omega$$

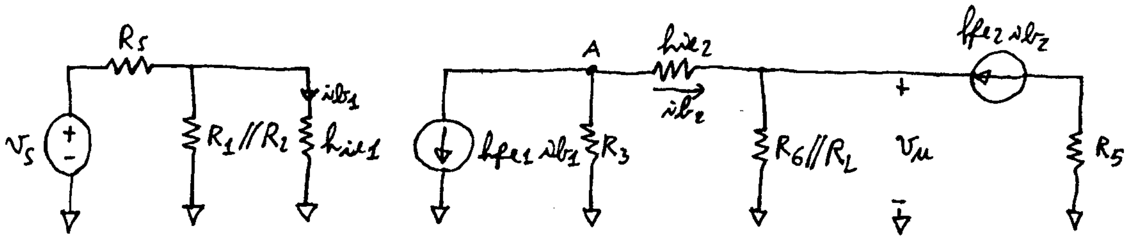
$$r_{b'e1} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} \cong 1,95K\Omega \qquad r_{b'e2} = \frac{h_{fe2}}{g_{m2}} \cong 2,23K\Omega$$

$$f_{T1} \cong f_{T2} \cong 170MHz$$

$$C_{b'c1\,(V_{CB}=3,7V)} \cong 5pF \Rightarrow C_{b'e1} = \frac{g_{m1}}{2\pi f_T} - C_{b'c1} \cong 1,39\cdot 10^{-10}F = 139pF$$

$$h_{ie1} = r_{b'e1} + r_{bb'} = 2,85K\Omega \qquad h_{ie2} = r_{b'e2} + r_{bb'} = 3,130K\Omega$$

CENTROBANDA, CIRCUITO PER PICCOLI SEGNALI



$$v_u = (R_6//R_L)(h_{fe2}+1)\, i_{b2} \quad (1)$$

legge al nodo A

$$h_{fe1} i_{b1} + i_{b2} + \frac{v_u + h_{ie2} i_{b2}}{R_3} = 0 \implies i_{b2} = -\frac{v_u + h_{fe1} R_3 i_{b1}}{R_3 + h_{ie2}} \quad (2)$$

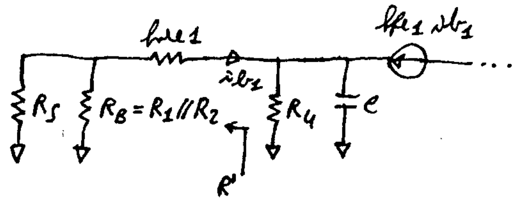
Sostituendo la (2) nella (1):

$$v_u = -\frac{R_3 (R_6//R_L)}{R_3 + h_{ie2} + R_6//R_L}(h_{fe2}+1) h_{fe1} i_{b1} \quad (3)$$

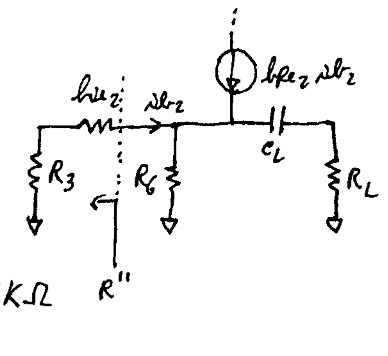
$$i_{b1} = \frac{v_S}{R_S + R_1//R_2//h_{ie1}} \cdot \frac{R_1//R_2}{h_{ie1} + R_1//R_2} \implies$$

$$\implies A_{CB} = \frac{v_u}{v_S} = -\underbrace{\frac{R_1//R_2}{h_{ie1}+R_1//R_2}}_{0,6937} \cdot \underbrace{\frac{R_3(h_{fe2}+1)}{R_S+R_1//R_2//h_{ie1}}}_{0,6661} \cdot \underbrace{\frac{R_6//R_L}{R_3+h_{ie2}+R_6//R_L(h_{fe2}+1)}}_{0,032} \; h_{fe1} \cong -134,5$$

LIMITE INFERIORE DI BANDA



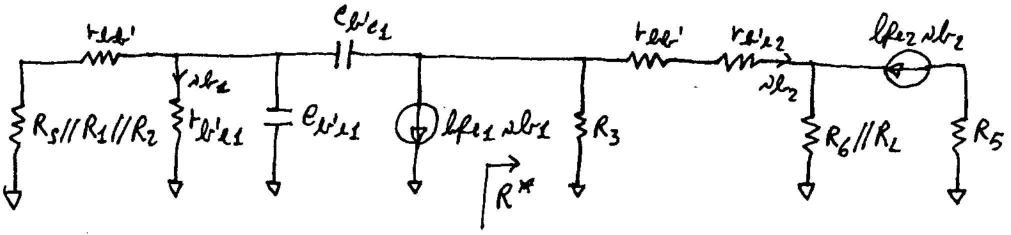
$$R_{vC}\Big|_{C_L\, cc} = R_4//R' = R_4//\left[\frac{h_{ie1} + R_S//R_1//R_2}{h_{fe1}+1}\right] \cong 10,89\,\Omega$$



$$R_{vC_L}\Big|_{C\, cc} = R_L + R_6//R'' = R_L + R_6//\left[\frac{h_{ie2}+R_3}{h_{fe2}+1}\right] \cong 1,016\,K\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{R_{vC}\cdot C} + \frac{1}{R_{vC_L}\cdot C_L}\right) \cong 49,5\,Hz$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA



$$R_{v_{b'e1}} = r_{b'e1} // \left[r_{bb'} + R_S // R_1 // R_2 \right] \cong 802,61\,\Omega$$

$$R_{v_{b'c1}} = R_{v_{b'e1}} \left(1 + g_{m1} R^* \right) + R^* \cong 204,9\ k\Omega$$

dove $R^* = R_3 // \left[h_{ie2} + (h_{fe2}+1) R_6 // R_L \right] \cong 1,64\,k\Omega$

$$f_H = \frac{1/2\pi}{R_{v_{b'e1}} C_{b'e1} + R_{v_{b'c1}} C_{b'c1}} \cong 880\ KHz$$