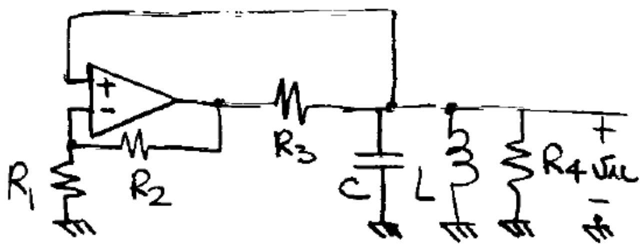
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
27 giugno 2012

1. Dato l'oscillatore rappresentato a lato, calcolare la frequenza di oscillazione e le determinare le condizioni sul valore di R2 perché l'oscillazione si inneschi, ***giustificando il procedimento.*** Considerare l'amplificatore operazionale ideale. L = 100 μH, C =33 μF, R1=1 KΩ, R3=R4=8.2 KΩ (5 punti)



2. Reazionare un amplificatore operazionale con A_V=100, R_{in}=6 MΩ, R_{out}=800 Ω in modo da ottenere una resistenza di ingresso maggiore di 100 MΩ e una resistenza di uscita maggiore di 50 KΩ. Supporre che il carico sia una resistenza di 1 KΩ (5 punti).

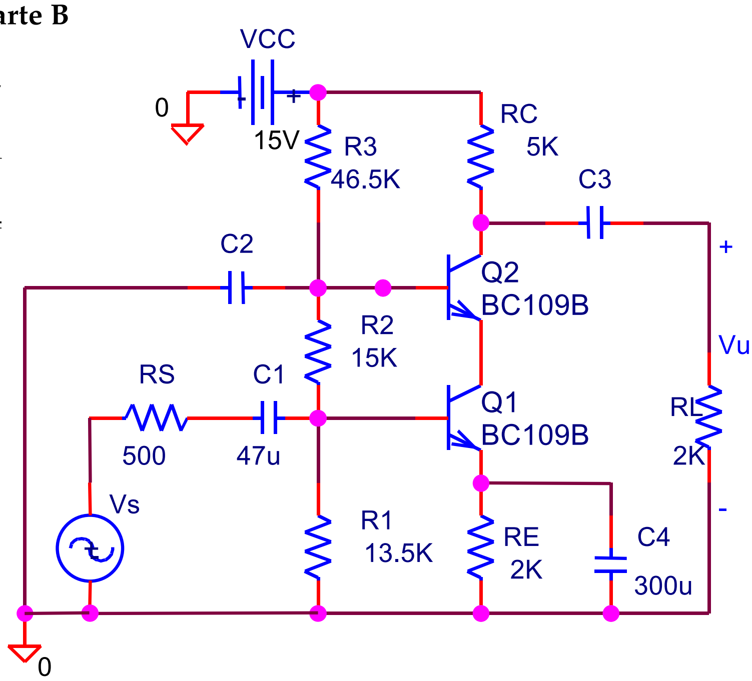
Parte B

Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori, (punti 6)
- l'amplificazione Vu/Vs a centrobanda, (4 punti)
- il limite superiore di banda (7 punti)

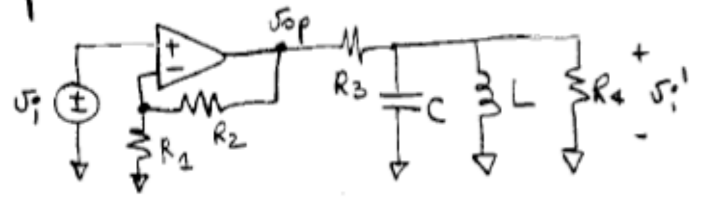
Ipotesi semplificative:

- i due transistori hanno h_{oe}=0.
- si consideri Q1 resistivo



Es. 1

1) Apriamo l'anello di reazione



$$\beta A_e = \frac{v_i'}{v_i}$$

$$v_{op} = v_i\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) \quad ; \quad v_i' = v_{op}\,\frac{R_4 /\!/ j\omega L /\!/ \frac{1}{j\omega C}}{R_3 + R_4 /\!/ j\omega L /\!/ \frac{1}{j\omega C}}$$

$$\beta A_e = \frac{v_i'}{v_i} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4 /\!/ \left[\frac{j\omega L}{1-\omega^2 LC}\right]}{R_3 + R_4 /\!/ \left(\frac{j\omega L}{1-\omega^2 LC}\right)} =$$

$$\beta A_e = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{\frac{j\omega L R_4}{R_4(1-\omega^2 LC)+j\omega L}}{R_3 + \frac{j\omega L R_4}{R_4(1-\omega^2 LC)+j\omega L}} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{j\omega L R_4}{R_3 R_4(1-\omega^2 LC)+j\omega L(R_3+R_4)}$$

dapprima imponiamo

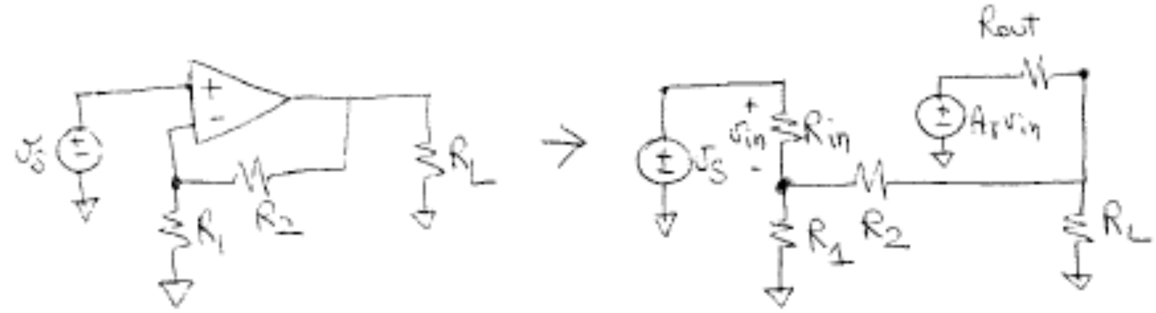
$$\angle \beta A_e = 0 \quad \rightarrow \quad 1-\omega^2 LC = 0 \quad \rightarrow \quad \underbrace{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}_{\text{frequenza alla quale la fase di } \beta A_e \text{ è nulla}}$$

$$\beta A_e(\omega_0) = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{2}$$

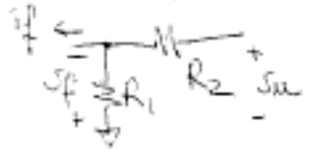
all'innesco deve essere $R_2 > R_1 \longrightarrow \boxed{R_2 > 1\,K\Omega}$

Es.2

Reazione con inserzione SERIE e prelievo PARALLELO



Rete del β



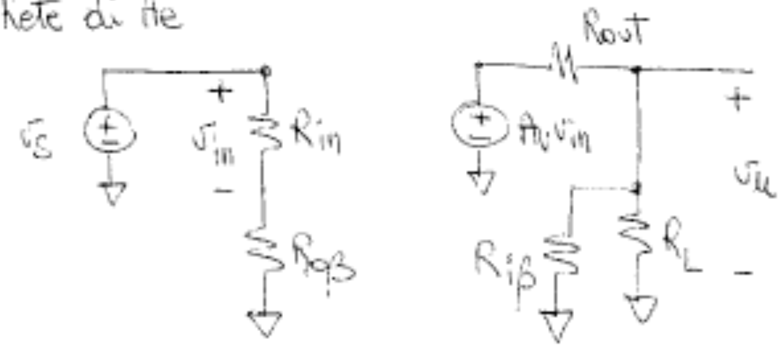
$$v_f = \beta v_u + R_{o\beta} i_f$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_{i\beta}} + \cancel{X} i_f$$

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

$$R_{i\beta} = \left.\frac{v_u}{i_u}\right|_{i_f=0} = R_1+R_2$$

Rete di A_e



$$v_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}} v_S \qquad v_u = A_v v_{in} \frac{R_L /\!/ R_{i\beta}}{R_{out} + R_L /\!/ R_{i\beta}}$$

$$A_e = \left.\frac{v_u}{v_S}\right|_{\beta=0} = A_v \frac{R_L /\!/ R_{i\beta}}{R_{out} + R_L /\!/ R_{i\beta}} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in}+R_{o\beta}}$$

$$R_{IF} = \left(R_{in} + R_{o\beta}\right)\left(1 - \beta A_e\right)$$

$$= \left[R_{in} + R_{o\beta}\right]\left[1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_V \frac{R_L /\!/ R_{i\beta}}{R_{out} + R_L /\!/ R_{i\beta}} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{o\beta}}\right] =$$

$$= \underset{50K}{\underbrace{R_{in}}} + R_{o\beta} + \frac{R_1}{R_1+R_2} \underset{2000}{\underbrace{A_V}} \frac{R_L /\!/ R_{i\beta}}{\underset{800}{\underbrace{R_{out}}} + \underset{200}{\underbrace{R_L /\!/ R_{i\beta}}}} \underset{50K}{\underbrace{R_{in}}}$$

poniamo $R_1 + R_2 = R_{i\beta} = 1000\ \Omega$

abbiamo

$$R_{IF} = R_{in} + \underset{R_1 /\!/ R_2}{\underbrace{R_{o\beta}}} + \frac{R_1}{1000} \times A_{2000} \times \frac{167}{967}\, 50000 =$$

$$R_{IF} = 50000 + R_1 /\!/ R_2 + R_1 \cdot 17270$$

possiamo sicuramente trascurare $R_1 /\!/ R_2$ nella somma (da verificare)

se poniamo $R_{IF} = 10\ M\Omega$ otteniamo $R_1 = 576\ \Omega$

quindi $R_2 = 424\ \Omega$

si può verificare che $\overset{244\Omega}{R_1 /\!/ R_2}$ è quindi trascurabile nella somma

$$R_{oF} = \frac{\left(R_{out} /\!/ R_{i\beta}\right)}{\left(1 - \beta A_e\Big|_{R_L \to \infty}\right)} = \frac{800 /\!/ 1000}{1 + \frac{R_1}{\underset{1000}{\underbrace{\cancel{R_1+R_2}}}} A_V \frac{\overset{1000}{R_{i\beta}}}{\underset{1800}{\underbrace{R_{i\beta} + R_{out}}}} \frac{\overset{50K}{R_{in}}}{R_{in} + R_{i\beta}}} = \frac{444}{637} = 0.7\ \Omega$$

$$A_e = 343{,}7$$

$$\beta = -0{,}576$$

$$1-\beta A_e = 200$$

$$A_{F0} = \frac{A_e}{1-\beta A_e} = 1{,}718$$

$$f_H = f_P(1-\beta A_e) = 150 \times 200 = 30\ KHz$$

$$A_F(\omega) = \frac{A_{F0}}{\left(1+j\frac{\omega}{2\pi f_H}\right)}$$

Es. 3.

Punto di Riposo ← ipotesi di partitore pesante

$$V_{B1} = \frac{R_1}{R_1+R_2+R_3} V_{CC} = \frac{13{,}5 \cdot 15}{13{,}5+15+46{,}5} = 2{,}7V$$

$$V_{B2} = \frac{R_1+R_2}{R_1+R_2+R_3} V_{CC} = \frac{28{,}5}{75} \cdot 15 = 5{,}7V$$

$$V_{E2} = V_{B1} - V_\gamma = 2V$$

$$I_{E2} = V_{E2}/R_{E2} = 1\ mA \simeq I_{C2} = I_{E1} \simeq I_{C1}$$

$$V_{E1} = V_{C2} = V_{B2} - V_\gamma = 5V \qquad V_{CE2} = 3V$$

$$V_{C1} = V_{CC} - R_C I_{C1} = 15 - 5 \cdot 1 = 10V \qquad V_{CE1} = 5V$$

Q_1: $V_{CE1} = 5V$ $\quad$ Q_2: $V_{CE2} = 3V$

$I_{C1} = 1mA$ $\quad$ $I_{C2} = 1mA$

$h_{FE} = 0{,}9 \cdot 290 = 260$ $\quad$ $h_{FE} = 260$

Verifica

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{FE}} = 3{,}85\,\mu A = I_{B2}$$

Verifica partitore pesante $\frac{V_{CC}}{R_1+R_2+R_3} = 200\,\mu A \gg I_{B1}$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 38.4 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

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

ricaviamo rb da hie @2mA = 4,8 KΩ

$$hie@2mA = rb'e@2mA + rbb' = \frac{V_T}{2mA} \cdot h_{fe} + rbb'$$

$$rbb' = 4800 - \frac{26}{2} \cdot 300 = \underline{900 \Omega}$$

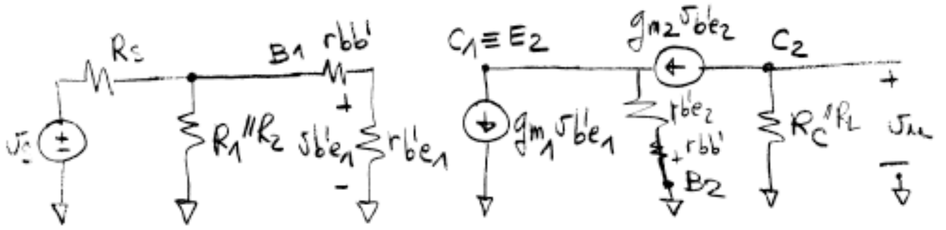
$$rb'e_2 = rb'e_1 = \frac{1}{g_{m1}} h_{fe} = \underline{7800 \Omega} \quad \rightarrow hie_1 = hie_2 = \underline{\underline{8700 \Omega}}$$

$f_T = 125 \text{ MHz}$

$$Cb'c_1 \,(V_{CB} = 4{,}3V) = 5pF \qquad f_T = \frac{g_{m1}}{2\pi(Cb'c_1 + Cb'e_1)} \rightarrow Cb'e = \underbrace{\frac{g_{m1}}{2\pi f_T}}_{49pF} - C_{bc1} = \underline{44pF}$$

$$Cb'c_2 \,(V_{CB} = 2{,}3V) = 5{,}8pF \qquad Cb'e_2 = \frac{g_{m1}}{2\pi f_T} - C_{bc1} = \underline{43{,}2} pF$$

Centrobanda, circuito per i piccoli segnali



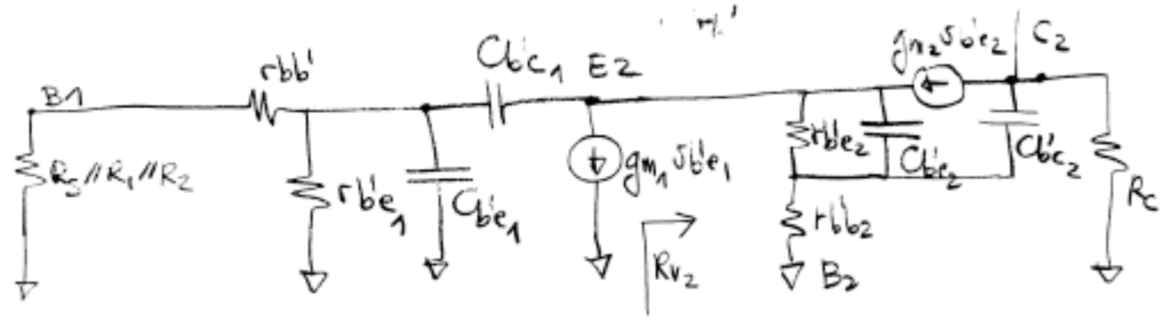
$$vb'e_1 = \frac{rb'e_1}{rb'e_1 + rbb' + R_1 /\!/ R_S /\!/ R_2} \cdot \frac{R_1/\!/R_2}{R_1/\!/R_2 + R_S} v_S \; ; \quad g_{m2} vb'e_2 + \frac{vb'e_2}{hie_2} = vb'e_1 g_{m1} \Rightarrow vb'e_2 = \frac{g_{m1} hie_2^{-1}}{g_{m2} hie_2} vb'e_1$$

$$v_u = -g_{m1} vb'e_2 (R_C /\!/ R_L) \rightarrow \frac{v_u}{v_S} = -g_{m1} R_C /\!/ R_L \frac{rb'e_1}{rb'e_1 + rbb' + R_1 /\!/ R_S /\!/ R_2} \frac{R_1/\!/R_2}{R_1/\!/R_2 + R_S} \left(1 - \frac{1}{g_{m2} hie_2}\right)$$

$$= -38{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}4 \cdot 10^{3} \cdot \frac{7800}{7800 + 900 + 500 /\!/ 13500 /\!/ 1500} \cdot \frac{7100}{7600} \cdot \frac{299}{300} =$$

$$= -54{,}86 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}93 = -43{,}56$$

limite superiore di banda

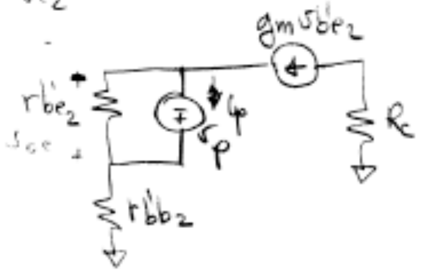


$$Rv_{b'e_1} = rb'e_1 \,//\, (rbb' + R_S // R_1 // R_2) = 7800 \,//\, (900 + 467) = 1163\,\Omega$$

$$Rv_{b'c_1} = Rvb'e_1 \left(1 + g_{m_1} Rv_2\right) + Rv_2 = 1163\,(1 + 1{,}11) + 28{,}9 = 2483\,\Omega$$

dove $Rv_2 = \dfrac{rb'e + rbb_2}{1 + h_{fe_2}} = \dfrac{8700}{301} = 28{,}9\,\Omega$

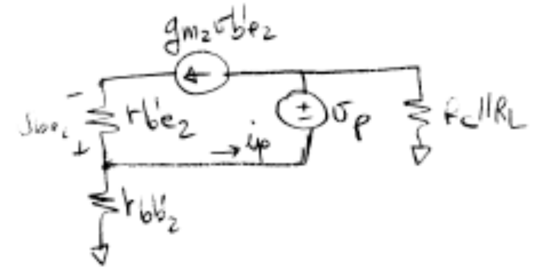
$Cb'e_2$



$$i_p = \frac{v_p}{rb'e_2} + g_m v_p = v_p \left(\frac{1 + g_{m_2} rb'e_2}{rb'e_2} \right)$$

$$Rv_{b'e_2} = \frac{v_p}{i_p} = \frac{rb'e_2}{h_{fe} + 1} = \frac{7800}{301} = \underline{26\,\Omega}$$

$Cb'c_2$



$$g_{m_2} v_{b'e_2} = -\frac{v_{b'e_2}}{rb'e_2} \rightarrow v_{b'e_2} = 0$$

$$i_p = \frac{v_p}{R_c + rbb'_2} \rightarrow Rv_{b'c_2} = R_c^{//R_L} + rbb'_2 \quad 2320$$

$$f_H = \frac{1/2\pi}{Rv_{b'e_1} Cb'e_1 + Rv_{bc_1} C_{bc_1} + Rv_{be_2} C_{be_2} + Rv_{bc_2} C_{bc_2}} = \frac{(1/2\pi)\,10^{12}}{1163 \cdot 44 + 2483 \cdot 5 + 26 \cdot 43{,}2 + 2320 \cdot 5{,}7}$$

$$= \underline{\underline{2{,}04\,\mathrm{MHz}}}$$