SOLUZIONI ESAME FONDAMENTI ELETTRONICA B del 2/07/08

1) Si supponga il bjt in zona attiva diretta per cui vale la relazione di proporzionalità fra I_B e I_C, mentre la tensione V_{BE} è pari a V_γ=0.7V.

Siccome $I_C = \beta_F I_B$ => $I_{B0}=\frac{I_{C0}}{\beta_F}=33.3\ \text{A}$; la differenza di potenziale ai capi di R_1 è esattamente V_{BE} per cui agevolmente si calcola la I_{R1} come $I_{R1}=\frac{V_{BE}}{R_1}=\frac{V_\gamma}{R_1}=70\ A$.

Applicando il 1°Principio di Kirkhoff al nodo di base si ottiene che $I_{R2}=I_{R1}+I_{B0}=103.3\ \text{A}$.

$$V_{CE0}=V_{BE}+I_{R2}\cdot R_2=0.907\,V$$

Per cui $R_L=\frac{V_{CC}-V_{CE0}}{I_{R2}+I_{C0}}=459\,\Omega$

2) Si ricava il seguente circuito equivalente a piccoli segnali:

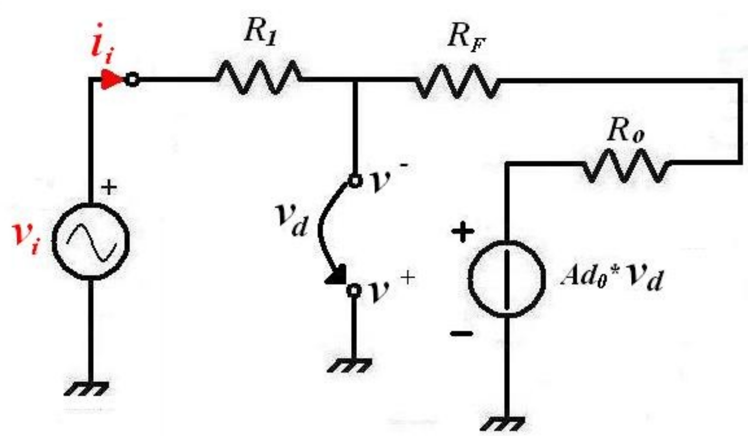

Fig.1.

Studiando il circuito mostrato in figura 1 si possono scrivere le seguenti equazioni:

1) $i_i=\frac{-v_d-A_{d0}v_d}{R_F+R_0}$

2) $-v_d=v_i-R_1\cdot i_i$

combinando le equazioni si arriva a $R_{in}=\frac{v_i}{i_i}=R_1+\frac{R_F+R_0}{A_{d0}+1}=15\,\Omega$

3) Siccome è dato un certo guadagno di tensione, per arrivare a calcolare la corrente necessaria occorre passare per il circuito a piccoli segnali:

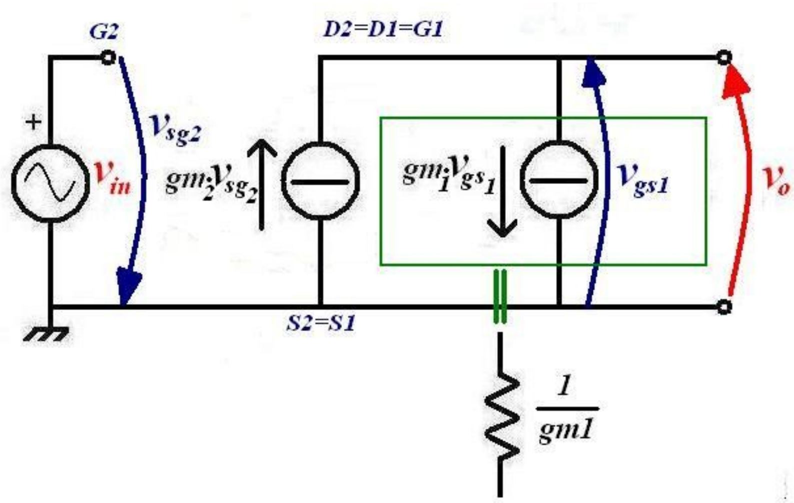

Fig.2.

$$v_o = \frac{g_{m2}}{g_{m1}} \cdot v_{sg2} = -\frac{g_{m2}}{g_{m1}} v_{in} \Rightarrow |Av| = \frac{g_{m2}}{g_{m1}} = 8 \text{ ma } \quad g_{m2} = \sqrt{2 \mathrm{I}_{D2} K'_p \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_2} \text{ mentre}$$

$$I_{D2} = \frac{K'_p}{2} \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_2 \cdot (V_{SG} + V_{tp})^2 = \frac{K'_p}{2} \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_2 \cdot (V_{DD} - V_{IN0} + V_{tp})^2 = 250\ A = I_{D1} + I_B \text{ quindi si}$$

può scrivere che $\left(\frac{g_{m2}}{g_{m1}}\right)^2 = 64 \Rightarrow \dfrac{2 \mathrm{I}_{D2} K'_p \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_2}{2 (I_{D2} - I_B) K'_n \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_1} = 64$ da cui $I_B = \frac{2.2}{3.2} \cdot I_{D2} = 172\ A$

4) La coppia M_1-M_2 rappresenta uno specchio di corrente quindi è facile ricavare che:

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{M2} = 20 * \left(\frac{W}{L}\right)_{M1} \Rightarrow I_{D2} = I_{C0} = 20\, I_{D1} = 20\, I_B = 200\ A$$

dalla quale si possono calcolare i seguenti parametri differenziali:

$$r_{ce} = \frac{|V_A|}{I_{C0}} = 150\, K\,\Omega \qquad gm = \frac{I_{C0}}{V_T} = 7.69\, mS \qquad r_{be} = \frac{\beta_F}{gm} = 6.5 \mathrm{K}\,\Omega$$

per calcolare il modulo del guadagno di tensione si necessita del circuito a piccoli segnali che si mostra nella figura sottostante:

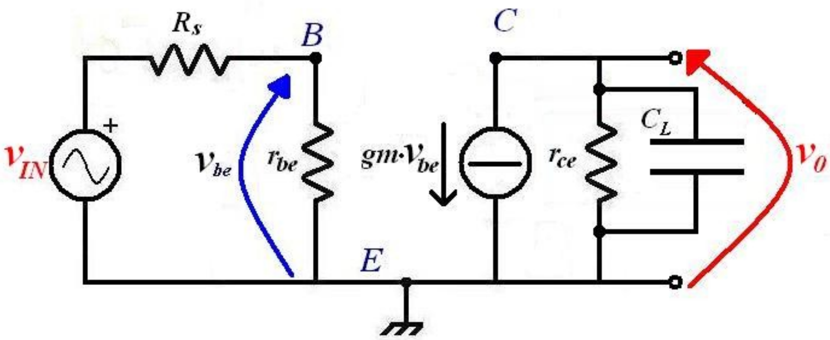

Fig.3.

Da cui si ricava che:

$$1)\ v_o=-gm\cdot v_{be}\cdot\left(r_{ce}//\frac{1}{sC_L}\right)=-gm\cdot v_{be}\cdot\frac{r_{ce}}{1+sC_Lr_{ce}}$$

combinando semplicemente le equazioni si

$$2)\ v_{be}=v_{in}\cdot\frac{r_{be}}{r_{be}+R_S}$$

arriva a

$$A_v(s)=\frac{v_o}{v_{in}}=-gm\cdot\frac{r_{ce}}{1+sC_Lr_{ce}}\cdot\frac{r_{be}}{r_{be}+R_S}$$ il cui modulo è a f=100kHz:

$$|Av(j2\Pi f)|=\frac{gm\cdot r_{be}\cdot r_{ce}}{r_{be}+R_S}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(2\pi fC_Lr_{ce}\right)^2}}=17.7$$

5) Si applica la sovrapposizione degli effetti. Siano V_{O1} e V_{O2} le tensioni di uscita degli operazionali che a loro volta sono applicate all'operazionale A3. Questo è un normale amplificatore in configurazione invertente per cui:

$V_o=-4\cdot\left(V_{o1}+V_{o2}\right)$ dove $V_{o1}=-\frac{2R}{R}\cdot V_1=-2V_1$ e $V_{o2}=\left(1+\frac{R}{R}\right)\cdot V_2=2V_2$ quindi

$$V_o=8\cdot\left(V_1-V_2\right)=8\left(V_{M1}-V_{M2}\right)\cos 2\pi ft$$

Per cui il valore massimo della tensione d'uscita è $V_{o_{MAX}}=8\left(V_{M1}-V_{M2}\right)=8\cdot150\cdot10^{-3}=1.2V$

6) La presenza dell'induttanza cortocircuita in DC il nodo di collettore con quello di base per cui vale che $V_{CE0}=V_{BE0}=V_\gamma=0.7V$ da cui si ricava agilmente la corrente di collettore

$$I_{C0}=\frac{V_{CC}-V_{BEO}}{R_L}=3.58mA\Rightarrow gm=0.138S$$

Si ricava ora il circuito a piccoli segnali:

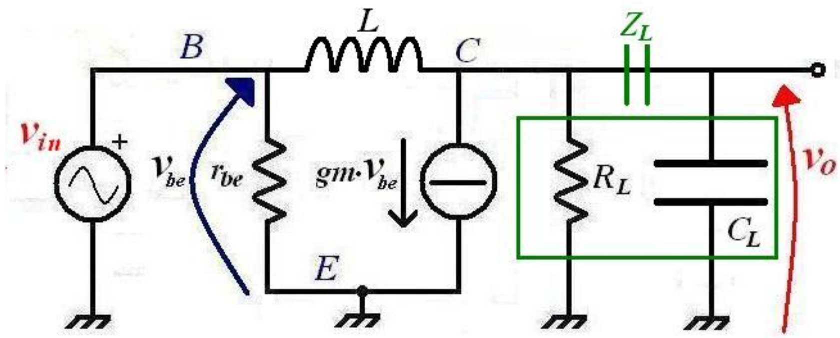

Fig.4.

Dal circuito a piccoli segnali si può ricavare che:

1) $v_{be}=v_{in}$

2) $Z_C=\left(R_L // \dfrac{1}{sC_L}\right)=\dfrac{R_L}{1+sC_L R_L}$ risolvendo il sistema si arriva a :

3) $v_O=-Z_C \cdot \left(gm \cdot v_{in}+\dfrac{v_O-v_{in}}{sL}\right)$

$$A_v(s)=\frac{v_o}{v_{in}}=-\frac{R_L \cdot (gm \cdot sL-1)}{R_L+sL \cdot (1+sC_L R_L)} \quad \text{per cui} \quad z=\frac{1}{gm \cdot L}=24 \cdot 10^6$$

7) Supponiamo entrambi i transistor in zona attiva diretta, per cui ai capi di R_3 c'è la tensione $V\gamma$, si ricava quindi la I_{R3}. $I_{R3}=\dfrac{V_{BE}}{R_3}=\dfrac{V_\gamma}{R_3}=12.7\ \text{A}$

La corrente che scorre in R_C è data da: $I_{RC}=\dfrac{V_{CC}-V_0}{R_C}=2.5\,mA$ mentre la corrente in R_L è

$I_{RL}=\dfrac{V_0}{R_L}=1.82\,mA$ così si ricava anche la I_{C2}:

$$I_{C2}=I_{RC}-I_{RL}=682\ A \Rightarrow I_{B2}=\frac{I_{C2}}{\beta_F}=9.1\ \text{A},\ I_{E2}=691\ A$$

$$I_{C1}=I_{E2}=691\ A \Rightarrow I_{B1}=\frac{I_{C1}}{\beta_F}=9.2\ \text{A}$$

$$I_{R2}=I_{R3}+I_{B1}=21.9\ \text{A}$$

La tensione di base del transistor 2 è data da: $V_{B2}=V_{BE1}+R_2 I_{R2}=1.577\,V$

$$R_1=\frac{V_{CC}-V_{B2}}{I_{R1}}=\frac{V_{CC}-V_{B2}}{I_{R2}+I_{B2}}=110\,K\Omega$$

8) In generale per un sistema in retroazione si ha:

$$f.d.t. = \frac{V_0}{V_i} = \frac{H_d}{(1+H_d H_r)}$$

La funzione di trasferimento V_O/V_i relativa al sistema in questione risulta:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{A_0}{A_0 K + \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}\right) * \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}\right)} \Rightarrow \left|\frac{V_0}{V_i}\right| = \frac{A_0}{\sqrt{\left(A_0 K + 1 - \frac{\omega^2}{\omega_{p1}\cdot\omega_{p2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega_{p1}} + \frac{1}{\omega_{p2}}\right)^2 \cdot \omega^2}}$$

Alle pulsazioni di interesse, alcuni termini possono essere trascurati:

$$@\quad \omega_1 \quad \text{---->} \quad \frac{\omega_1^2}{(\omega_{p1}\omega_{p2})} = 10^{-7} \ll 1 \quad \text{e} \quad \frac{\omega_1}{\omega_{p2}} = 10^{-6} \ll 1$$

$$@\quad \omega_2 \quad \text{---->} \quad \frac{\omega_2^2}{(\omega_{p1}\omega_{p2})} = 10^{-3} \ll 1 \quad \text{e} \quad \frac{\omega_2}{\omega_{p2}} = 10^{-4} \ll 1$$

L'espressione del modulo del guadagno può essere approssimata con la seguente:

$$\left|\frac{V_0}{V_i}\right| \approx \frac{A_0}{\sqrt{(A_0 K + 1)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_{p1}}\right)^2}}$$

e quindi la condizione sulle ampiezze si traduce nella seguente:

$$\frac{A_0}{\sqrt{(A_0 K + 1)^2 + \left(\frac{\omega_2}{\omega_{p1}}\right)^2}} > 0.9 \frac{A_0}{\sqrt{(A_0 K + 1)^2 + \left(\frac{\omega_1}{\omega_{p1}}\right)^2}}$$

$$(A_0 K + 1)^2 + \left(\frac{\omega_1}{\omega_{p1}}\right)^2 > 0.81 \cdot \left((A_0 K + 1)^2 + \left(\frac{\omega_2}{\omega_{p1}}\right)^2\right) \Rightarrow$$

$$(A_0 K + 1)^2 \cdot 0.19 > 0.81 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_{p1}}\right)^2 - \left(\frac{\omega_1}{\omega_{p1}}\right)^2 \Rightarrow A_0 K + 1 > 20.6 \Rightarrow K > 0.196$$