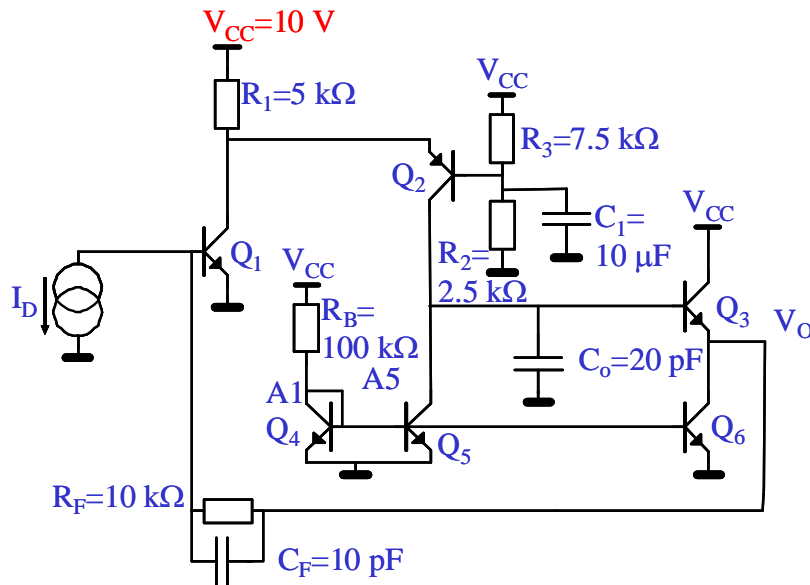


ELETRONICA APPLICATA

Soluzioni al tema d’esame del 4 Febbraio 2013

Es. 1:

Nella determinazione del punto di lavoro occorre trovare un nodo di cui si conosce il potenziale. Se la rete è ben progettata Q_1 dovrà operare nella regione lineare dove la sua V_B sarà di circa 0.7 V. Se assumiamo che la sua corrente di base sia trascurabile la ddp ai capi di R_F sarà anch’essa trascurabile e V_O sarà uguale a V_{BE1} di circa 0.7 V anch’essa.



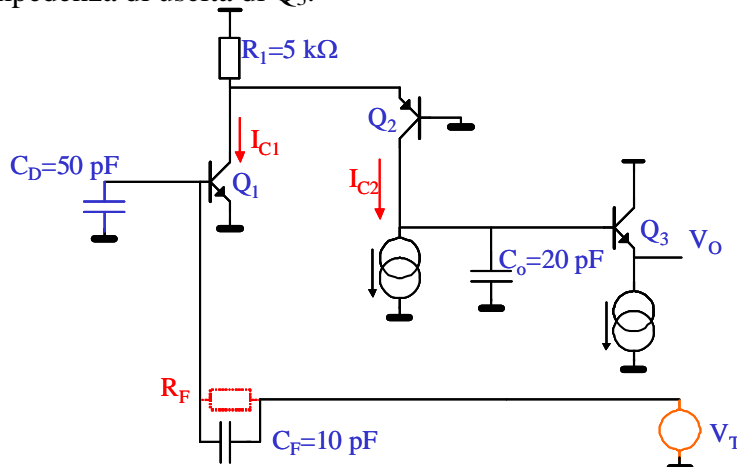
Quindi abbiamo che $V_{CE6}=0.7\text{ V}$ e $V_{CE3}=9.3\text{ V}$. V_{B3} sarà 1.4 V e $V_{CE5}=1.4\text{ V}$.

La corrente in Q_4 è $I_{C4}=9.3\text{ V}/100\text{ k}\Omega=93\text{ }\mu\text{A}$. La corrente in Q_5 è $I_{C5}=5I_{C4}=465\text{ }\mu\text{A}$. Vale che $I_{C2}=I_{C5}$ e $I_{C6}=I_{C4}=I_{C3}$ se l’impedenza connessa tra l’uscita e massa è molto elevata.

$V_{B2}=R_2/(R_2+R_3)10\text{ V}=2.5\text{ V}$, e quindi $V_{E2}=V_{B2}+0.7\text{ V}=3.2\text{ V}$. La corrente in R_1 è $I_{R1}=(V_{CC}-3.2\text{ V})/R_1=1.36\text{ mA}$.

In Q_1 scorrerà quindi: $I_{C1}=I_{R1}-I_{C2}=1.32\text{ mA}-0.465\text{ mA}=0.895\text{ mA}$. Ovviamente $V_{CE1}=3.2\text{ V}$ e $V_{CE2}=3.2\text{ V}-1.4\text{ V}=1.8\text{ V}$.

Per la valutazioni del guadagno di anello riferiamoci alla rete semplificata sotto, dove si osserva che l’anello è tagliato al nodo di uscita dove, essendo presente una impedenza elevata di carico e nella rete di reazione, si trascura l’impedenza di uscita di Q_3 .



La base di Q_1 è:

$$V_{B1} = \frac{C_F}{C_F + C_D} V_T$$

Quindi:

$$I_{C1} = \frac{C_F}{C_F + C_D} g_{m1} V_T$$

Andando avanti:

$$\begin{aligned} I_{C2} &= -\frac{C_F}{C_F + C_D} g_{m1} \frac{R_1}{1/g_{m2} + R_1} V_T \\ &= -\frac{C_F}{C_F + C_D} g_{m1} \frac{g_{m2} R_1}{1 + g_{m2} R_1} V_T \end{aligned}$$

Ed infine:

$$V_O \approx V_{B3} = -\frac{C_F}{C_F + C_D} g_{m1} \frac{g_{m2} R_1}{1 + g_{m2} R_1} \frac{1}{sC_o} V_T$$

E quindi:

$$T = -\frac{C_F}{C_F + C_D} g_{m1} \frac{g_{m2} R_1}{1 + g_{m2} R_1} \frac{1}{sC_o}$$

La frequenza a guadagno unitario è:

$$\begin{aligned} \omega_T &= \frac{C_F}{C_F + C_D} g_{m1} \frac{g_{m2} R_1}{1 + g_{m2} R_1} \frac{1}{C_o} \\ &= \frac{10}{50 + 10} \frac{I_{C1}}{V_T} \frac{\frac{I_{C2}}{V_T} R_1}{1 + \frac{I_{C2}}{V_T} R_1} \frac{1}{C_o} \\ &= \frac{10}{50 + 10} \frac{0.895}{26} \frac{\frac{0.465}{26} 5000}{1 + \frac{0.465}{26} 5000} \frac{1}{20 \text{pF}} \\ &= 283.68 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Es. 2:

Trascurando l'impedenza di collettore di Q_1 e considerando che l'impedenza di emettitore di Q_1 è $1/g_{m1}$:

$$I_{C1} = \frac{V_i}{1/g_{m1} + R_1} = \frac{g_{m1}}{1 + g_{m1} R_1} V_i$$

Analogamente avremo che:

$$I_{C2} = \frac{V_i}{1/g_{m2} + R_2} = \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_2} V_i.$$

Alternativamente. Se assumiamo che $g_{m1} = \infty$ abbiamo che $I_{C1} = 1/R_1 V_i$. del resto il guadagno di anello sappiamo essere dato da $T = -g_{m1} R_P = -g_{m1} (h_{ie} || R_1)$. Quindi:

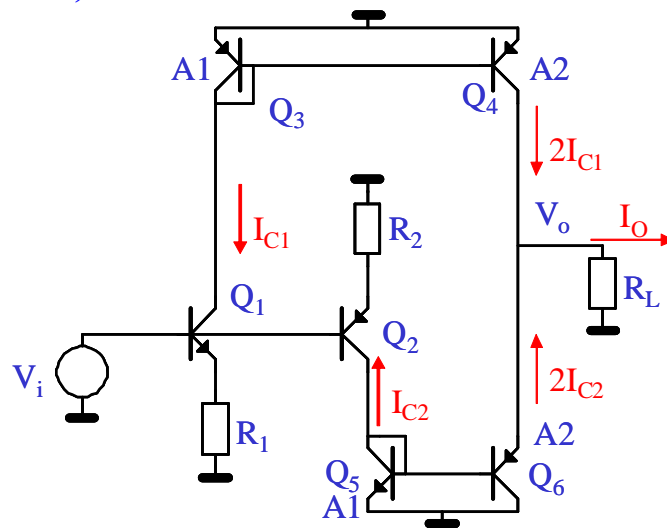
$$\begin{aligned}
 I_{C1} &= \frac{1}{R_1} \frac{-T}{1-T} = \frac{1}{R_1} \frac{g_{m1} \frac{h_{ie} R_1}{h_{ie} + R_1}}{1 + g_{m1} \frac{h_{ie} R_1}{h_{ie} + R_1}} \\
 &= \frac{g_{m1} h_{ie}}{h_{ie} + R_1 + g_{m1} h_{ie} R_1} \\
 &= \frac{g_{m1} h_{ie}}{h_{ie} + (1 + g_{m1} h_{ie}) R_1} \\
 &\approx \frac{g_{m1}}{1 + g_{m1} R_1}
 \end{aligned}$$

Le correnti ai collettori di Q_4 e Q_6 sono il doppio di I_{C1} ed I_{C2} per via del rapporto delle aree. Quindi:

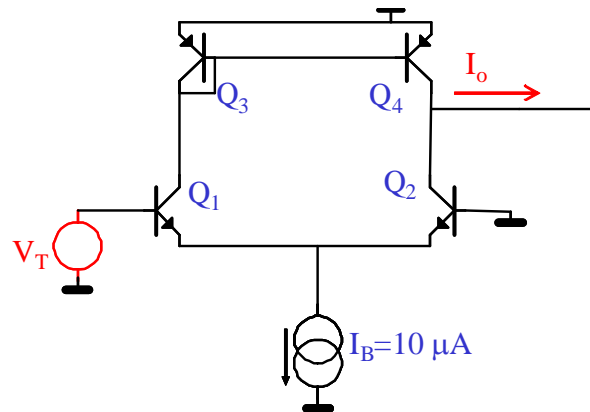
$$I_O = 2I_{C1} + 2I_{C2}$$

Ovvero:

$$\begin{aligned}
 I_O &= \frac{2g_{m1}}{1 + g_{m1} R_1} V_i + \frac{2g_{m2}}{1 + g_{m2} R_2} V_i \\
 &= \left(\frac{g_{m1}}{1 + g_{m1} R_1} V_i + \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_2} V_i \right) 2V_i
 \end{aligned}$$



Es. 3: Per valutare il contributo del rumore serie di Q_1 , quindi anche della funzione di trasferimento per riportare il rumore in ingresso facciamo riferimento alla rete sotto:



Vale che:

$$I_O = g_{m1} V_T$$

Perciò:

$$\overline{I_{O1}^2} = g_{m1}^2 \overline{e_1^2}$$

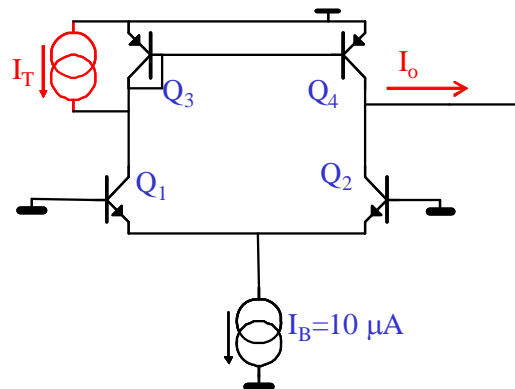
Per simmetria avremo che:

$$\overline{I_{O2}^2} = g_{m2}^2 \overline{e_2^2}$$

Ed anche:

$$\overline{I_{O12}^2} = 2g_{m1}^2 \overline{e_1^2}$$

Per il rumore di Q_3 riferiamoci alla figure sotto, dove si preferisce a considerare al generatore di uscita, di più semplice interpretazione.



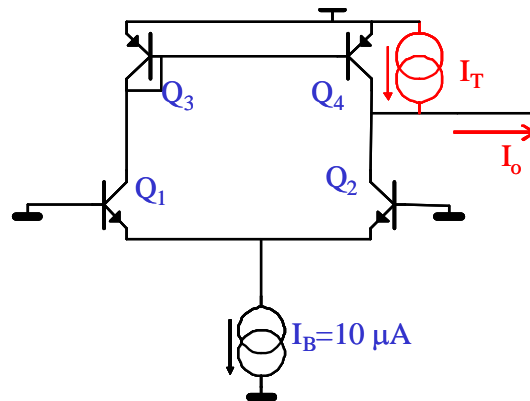
La corrente I_T viene letta da Q_3 e specchiata in Q_4 , per cui:

$$I_{O3} = I_T,$$

ovvero:

$$\overline{I_{O3}^2} = \overline{i_3^2}$$

Infine per il rumore di Q_4 il modello è qui sotto:



La corrente I_T in questo caso la troviamo direttamente in uscita:

$$\overline{I_{O4}^2} = \overline{i_4^2}$$

Di conseguenza:

$$\overline{I_{O34}^2} = 2\overline{i_3^2}$$

In definitiva:

$$\overline{I_{OTot}^2} = 2g_{m1}^2 \overline{e_1^2} + 2\overline{i_3^2}$$

E quindi il rumore serie di ingresso:

$$\begin{aligned} \overline{e_i^2} &= \frac{2g_{m1}^2 \overline{e_1^2} + 2\overline{i_3^2}}{g_{m1}^2} \\ &= 2\overline{e_1^2} + \frac{2\overline{i_3^2}}{g_{m1}^2} \\ &= 2 \left(\frac{4K_B T}{2g_{m1}} + \frac{2qI_B/2}{g_{m1}^2} \right) \\ &= 2 \left(\frac{4K_B T}{2} \frac{2V_T}{I_B} + \frac{2qI_B}{2} \frac{4V_T^2}{I_B^2} \right) \\ &= 2 \left(4K_B T \frac{V_T}{I_B} + q \frac{4V_T^2}{I_B} \right) \\ &= 2 \left(4K_B T \frac{26\text{ m}}{10\mu} + q \frac{4(26\text{ m})^2}{10\mu} \right) \\ &= 2 \left(4K_B T \frac{26\text{ m}}{10\mu} + q \frac{4(26\text{ m})^2}{10\mu} \right) \\ &= 1.73 \times 10^{-16} \text{ V}^2/\text{Hz} \end{aligned}$$