1) Dallo schema risulta:

$$V_{GS} = V_{DD}\frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{SS}\frac{R_2}{R_1 + R_2} \approx 6.5\ V,$$

per cui, siccome $V_{GS} > V_{TH}$, il transistor è acceso; siccome:

$$V_{GS} - V_{TH} \approx 5.5\ V,$$

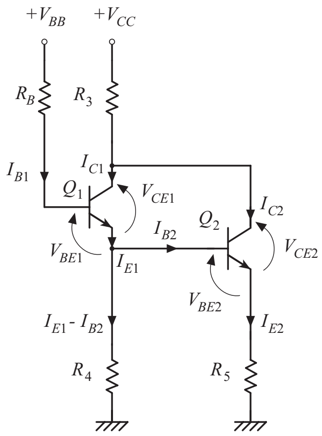
in corrispondenza del valore richiesto per V_{DS} vale la relazione $V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$, così il transistor deve essere in zona lineare. Ne segue che la corrente di drain I_D deve valere:

$$I_D = k_n\frac{W}{L}\left[2V_{DS}\left(V_{GS} - V_{TH}\right) - V_{DS}{}^2\right] \approx 1.8\ mA.$$

Quindi, per ottenere tale valore della corrente, la resistenza R_3 deve essere:

$$R_3 = \frac{V_{DD} + V_{SS} - V_{DS}}{I_D} \approx 6.1\ k\Omega.$$

2) Considerando i condensatori dei circuiti aperti ed applicando il teorema di Thevenin a sinistra della base del primo transistor, si ottiene lo schema di figura in cui:



$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \approx 8.7\ k\Omega,$$

$$V_{BB} = V_{CC}\frac{R_2}{R_1 + R_2} \approx 1.9\ V.$$

Applicando la *KVL* al circuito di ingresso di Q_1 si ha:

$$V_{BB} - V_{BE1} = R_B I_{B1} + R_4\left(I_{E1} - I_{B2}\right),$$

assumendo che Q_1 operi in zona lineare, la corrente I_{E1} può esprimersi come $\left(\beta_1 + 1\right)I_{B1}$, per cui, sostituendo e sviluppando, si ha:

$$V_{BB} - V_{BE1} = \left[R_B + R_4\left(\beta_1 + 1\right)\right]I_{B1} - R_4 I_{B2}. \qquad 1.$$

Applicando la *KVL* al circuito di ingresso di Q_2 si ha:

$$V_{BE2} = R_4 \left(I_{E1} - I_{B2} \right) - R_5 I_{E2}$$

assumendo che anche Q_2 operi in zona lineare, la corrente I_{E2} può esprimersi come $\left(\beta_2 + 1\right) I_{B2}$, per cui, sostituendo e sviluppando, si ha:

$$V_{BE2} = R_4 \left(\beta_1 + 1 \right) I_{B1} - \left[R_4 + R_5 \left(\beta_2 + 1 \right) \right] I_{B2} . \qquad 2.$$

Le equazioni 1. e 2. formano un sistema. Assumendo che sia V_{BE1} che V_{BE2} valgano 0.7 *V*, risolvendo tale sistema rispetto a I_{B1} si ha:

$$I_{B1} = \frac{\left(V_{BB} - V_{BE1} \right) \left[R_4 + R_5 \left(\beta_2 + 1 \right) \right] - V_{BE2} R_4}{R_B \left[R_4 + R_5 \left(\beta_2 + 1 \right) \right] + R_4 R_5 \left(\beta_1 + 1 \right) \left(\beta_2 + 1 \right)} \approx 10.0 \ \mu A,$$

sostituendo tale valore nella 1. si ottiene:

$$I_{B2} = \frac{\left[R_B + R_4 \left(\beta_1 + 1 \right) \right] I_{B1} - V_{BB} + V_{BE1}}{R_4} \approx 81.5 \ \mu A.$$

Dalle relazioni precedenti si ha:

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} \approx 997.8 \ \mu A,$$
$$I_{E1} = \left(\beta_1 + 1 \right) I_{B1} \approx 1.0 \ mA;$$

e, inoltre

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \approx 8.2 \ mA,$$
$$I_{E2} = \left(\beta_2 + 1 \right) I_{B2} \approx 8.2 \ mA.$$

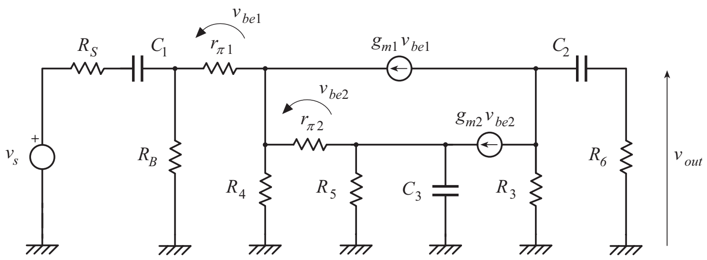
Applicando la *KVL* al circuito di uscita di Q_1 si ha:

$$V_{CE1} = V_{CC} - R_3 \left(I_{C1} + I_{C2} \right) - R_4 \left(I_{E1} - I_{B2} \right) \approx 9.3 \ V$$

e applicando la *KVL* al circuito di uscita di Q_2 si ha:

$$V_{CE2} = V_{CE1} + V_{BE2} \approx 10.0 \ V.$$

Siccome tali valori sono superiori alla tensione di soglia di 0.7 *V* concludiamo che le giunzioni base-emettitore di entrambi i transistor sono polarizzate inversamente e quindi i



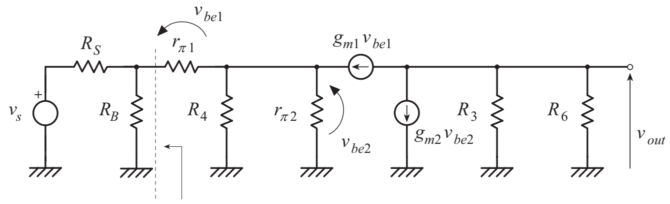
dispositivi operano in zona lineare. Il circuito equivalente dell'amplificatore per il piccolo segnale è mostrato in figura, dove:

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} \approx 38.4 \ \frac{mA}{V},$$

$$r_{\pi 1} = \frac{\beta_1}{g_{m1}} \approx 2.6 \ \Omega,$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} \approx 313.5 \ \frac{mA}{V},$$

$$r_{\pi 2} = \frac{\beta_2}{g_{m2}} \approx 319.0 \ \Omega.$$



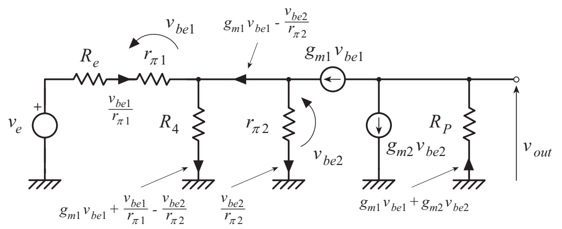
Per stabilire il guadagno v_{out}/v_S a centro banda, sostituiamo i condensatori con dei cortocircuiti, ottenendo il circuito mostrato in figura. Applicando il teorema di Thevenin a sinistra della linea tratteggiata, posto:

$$R_e = \frac{R_S R_B}{R_S + R_B} \approx 98.9 \ \Omega,$$

$$v_e = v_S \frac{R_B}{R_S + R_B}$$

e, inoltre

$$R_P = \frac{R_3 R_6}{R_3 + R_6} \approx 333.3 \ \Omega,$$



il circuito si modifica come indicato in figura. Applicando la *KVL* alla maglia costituita dalle resistenze R_4 e $r_{\pi 2}$, si ha:

$$v_{be2} = R_4 \left(g_{m1} v_{be1} + \frac{v_{be1}}{r_{\pi 1}} - \frac{v_{be2}}{r_{\pi 2}} \right),$$

da cui segue:

$$v_{be2} = v_{be1} \frac{R_4 \left(g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right)}{1 + \frac{R_4}{r_{\pi 2}}}.$$

La tensione v_{out} ai capi di R_P può esprimersi come:

$$v_{out} = -R_P \left(g_{m1} v_{be1} + g_{m2} v_{be2} \right) = -R_P \left[g_{m1} + g_{m2} \frac{R_4 \left(g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right)}{1 + \frac{R_4}{r_{\pi 2}}} \right] v_{be1} ,$$

da cui segue:

$$\frac{v_{out}}{v_{be1}} = -R_P \left[g_{m1} + g_{m2} \frac{R_4 \left(g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right)}{1 + \frac{R_4}{r_{\pi 2}}} \right] \approx -1.0 \times 10^3 .$$

Applicando la *KVL* alla maglia di ingresso, si ha:

$$v_e = R_e \frac{v_{be1}}{r_{\pi 1}} + v_{be1} + v_{be2} = v_{be1} \left[1 + \frac{R_e}{r_{\pi 1}} + \frac{R_4 \left(g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right)}{1 + \frac{R_4}{r_{\pi 2}}} \right],$$

da cui segue:

$$\frac{v_{be1}}{v_e} = \frac{1}{1 + \frac{R_e}{r_{\pi 1}} + \frac{R_4 \left(g_{m1} + \frac{1}{r_{\pi 1}} \right)}{1 + \frac{R_4}{r_{\pi 2}}}} \approx 0.1,$$

Infine risulta:

$$\frac{v_e}{v_S} = \frac{R_B}{R_S + R_B} \approx 1.0$$

Pertanto:

$$\frac{v_{out}}{v_S} = \frac{v_{out}}{v_{be1}} \frac{v_{be1}}{v_e} \frac{v_e}{v_S} \approx \text{-}94.6.$$