

1) In figura è mostrato circuito equivalente per il piccolo segnale; si tratta di un circuito  $CR$  di frequenza di taglio:

$$f = \frac{1}{2\pi R_e C}$$

dove:

$$R_e = \frac{R r_d}{R + r_d};$$

sostituendo tale relazione nella precedente e ricavando  $r_d$  si trova:

$$r_d = \frac{R}{2\pi R C f - 1} \approx 55 \Omega;$$

Per un diodo al silicio ( $\eta = 2$ ) tale resistenza si ha per una corrente attraverso il diodo pari a:

$$I_{D0} = \frac{\eta V_T}{r_d} \approx 943 \mu A.$$

Dall'equazione di Shockley segue che a tale corrente corrisponde una differenza di potenziale ai capi del diodo data da:

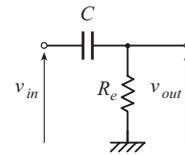
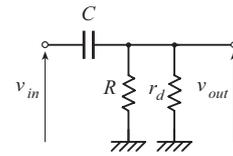
$$V_{D0} = \eta V_T \ln \left( \frac{I_{D0}}{I_S} + 1 \right) \approx 715 mV.$$

Imponendo che la retta di carico

$$I_D = -\frac{1}{R} V_D + \frac{V_0}{R}$$

passi per il punto di coordinate  $(V_{D0}, I_{D0})$  si trova:

$$V_0 = V_{D0} + I_{D0} R \approx 2.0 V.$$

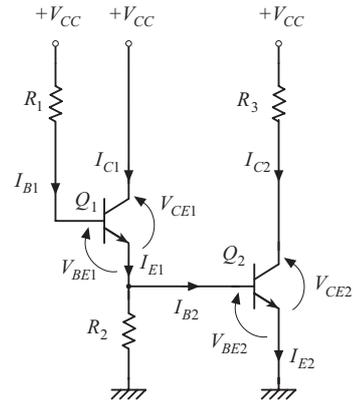


2) Considerando i condensatori dei circuiti aperti, si ottiene lo schema di figura. Applicando la *KVL* al circuito di ingresso del primo transistor si ha:

$$V_{CC} = R_1 I_{B1} + V_{BE1} + V_{BE2},$$

assumendo che sia  $V_{BE1}$  che  $V_{BE2}$  valgano  $0.7 V$ , si ha:

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - V_{BE2}}{R_1} \approx 23 \mu A.$$



Così le correnti di emettitore e di collettore di  $Q_1$  valgono rispettivamente:

$$I_{E1} = (1 + \beta_1) I_{B1} \approx 2.3 \text{ mA},$$

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} \approx 2.3 \text{ mA},$$

quindi, applicando la *KVL* al circuito di uscita di  $Q_1$  si ha:

$$V_{CE1} = V_{CC} - V_{BE2} \approx 14.3 \text{ V};$$

siccome  $V_{CE1} > 0.7 V$ ,  $Q_1$  opera effettivamente in zona lineare. La corrente di base di  $Q_2$  può esprimersi come:

$$I_{B2} = I_{E1} - \frac{V_{BE2}}{R_2} \approx 101.8 \mu A,$$

così la corrispondente corrente di collettore vale:

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \approx 10.2 \text{ mA},$$

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

$$V_{CE2} = V_{CC} - R_3 I_{C2} \approx 7.4 \text{ V},$$

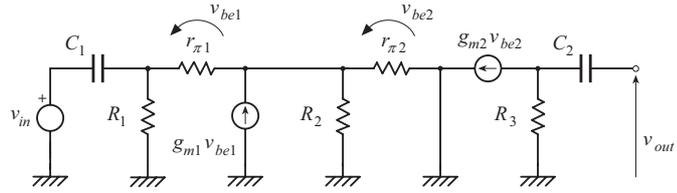
siccome  $V_{CE2} > 0.7 V$ , anche  $Q_2$  opera in zona lineare. In corrispondenza del punto di funzionamento identificato per i due transistor, i parametri del modello a  $\pi$  sono:

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} \approx 87.2 \frac{\text{mA}}{\text{V}},$$

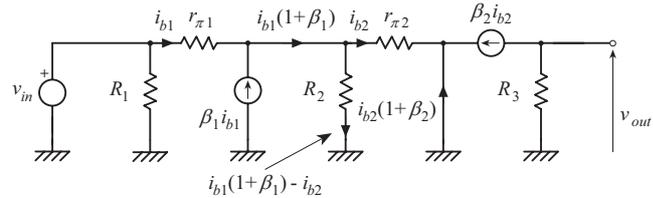
$$r_{\pi 1} = \frac{\beta_1}{g_{m1}} \approx 1.1 \text{ k}\Omega,$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} \approx 391.7 \frac{mA}{V},$$

$$r_{\pi2} = \frac{\beta_2}{g_{m2}} \approx 255.3 \Omega,$$



e il circuito equivalente dell'amplificatore per il piccolo segnale è indicato in figura. Per stabilire il guadagno  $v_{out}/v_{in}$  a centro banda sostituiamo i condensatori con dei cortocircuiti; inoltre, per comodità, sostituiamo il comando dei generatori controllati con la corrente di base. Con riferimento allo schema corrispondente, applicando la *KVL* alla maglia contenente le resistenze  $R_2$  e  $r_{\pi2}$ , si ha:



$$R_2 i_{b1} (1 + \beta_1) - R_2 i_{b2} = i_{b2} r_{\pi2},$$

da cui segue:

$$i_{b1} = \frac{R_2 + r_{\pi2}}{R_2 (1 + \beta_1)} i_{b2}. \quad 1.$$

Applicando la *KVL* alla maglia contenente le resistenze  $r_{\pi1}$  e  $R_2$  si ha:

$$v_{in} = i_{b1} r_{\pi1} + i_{b1} (1 + \beta_1) R_2 - i_{b2} R_2,$$

così sostituendo in tale espressione  $i_{b1}$  dalla relazione 1., segue:

$$v_{in} = \left\{ \frac{R_2 + r_{\pi2}}{R_2 (1 + \beta_1)} [r_{\pi1} + (1 + \beta_1) R_2] - R_2 \right\} i_{b2} =$$

$$= \frac{(R_2 + r_{\pi2}) [r_{\pi1} + (1 + \beta_1) R_2] - R_2^2 (1 + \beta_1)}{R_2 (1 + \beta_1)} i_{b2} = \quad 2.$$

$$= \left[ \frac{r_{\pi1}}{1 + \beta_1} \left( 1 + \frac{r_{\pi2}}{R_2} \right) + r_{\pi2} \right] i_{b2}.$$

D'altra parte, al circuito di uscita, risulta:

$$v_{out} = -\beta_2 i_{b2} R_3,$$

per cui:

$$i_{b2} = -\frac{v_{out}}{\beta_2 R_3}.$$

Infine, sostituendo tale espressione nella 2., si ha:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{\beta_2 R_3}{\frac{r_{\pi 1}}{1 + \beta_1} \left( 1 + \frac{r_{\pi 2}}{R_2} \right) + r_{\pi 2}} \approx -272.$$

Si osservi che tale rapporto è praticamente uguale al guadagno del solo secondo stadio  $g_{m2} R_3$  a meno di un fattore inferiore al 10%. Ciò in quanto il primo stadio ha un guadagno di tensione prossimo all'unità e la resistenza di carico di tale stadio,  $r_{\pi 2}$ , è molto maggiore della sua resistenza di uscita.