

ESERCIZIO 1 (Settimana 6)

Dato il circuito di figura, determinare il valore minimo di R_C tale che il transistor BJT sia polarizzato nella regione attiva e la potenza dissipata dal solo transistor sia inferiore a 20 mW.

Dati: $V_{CC}=12\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 50\text{ k}\Omega$, $R_E = 1\text{ k}\Omega$

Q_1 : $V_{BE} = 0.7\text{ V}$, $\beta_F = 80$, $V_{CEsat} = 0.2\text{ V}$.

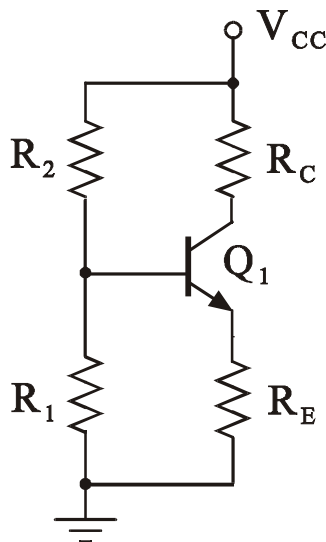


Fig. 1 – Polarizzazione a 4 resistenze di un transistor bipolare (npn).

Soluzione

La potenza dissipata sul transistor bipolare dipende sia dal circuito di polarizzazione di base sia, in misura solitamente dominante, dal circuito di collettore. Determiniamo quindi la corrente di base e quella di collettore per il transistor Q_1 , nell'ipotesi che esso sia polarizzato nella regione attiva delle sue caratteristiche di uscita. E' conveniente schematizzare il circuito di polarizzazione di base con il suo equivalente di Thevenin. Il circuito equivalente è dato in Fig. 2.

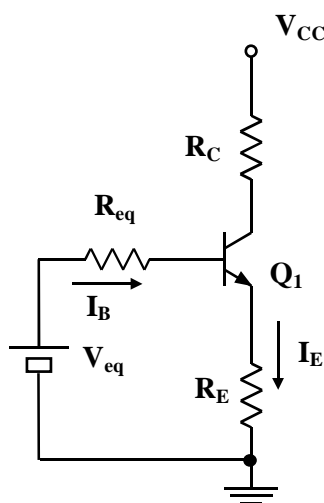


Fig. 2 – Circuito equivalente secondo Thevenin del circuito di polarizzazione di base.

Si può quindi scrivere:

$$V_{eq} = R_{eq} \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E \cdot (\beta_F + 1) , \quad (1)$$

dove

$$R_{eq} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 25 \text{ k}\Omega, \quad (2)$$

$$V_{eq} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6 \text{ V}, \quad (3)$$

e dove si è fatto uso della relazione

$$I_E = I_B \cdot (\beta_F + 1), \quad (4)$$

che è valida nell'ipotesi di funzionamento nella regione attiva. Si ricava allora dalla (1)

$$I_B = \frac{V_{eq} - V_{BE}}{R_{eq} + R_E \cdot (\beta_F + 1)} = 50 \text{ }\mu\text{A}, \quad (5)$$

da cui consegue che

$$I_C = I_B \cdot \beta_F = 4 \text{ mA}. \quad (6)$$

E' possibile ora determinare la potenza dissipata sul transistor bipolare come funzione di R_C . Si ottiene subito

$$P_Q = V_{CE} \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B = \left[V_{CC} - R_C \cdot I_C - R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F} \right) \cdot I_C \right] \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B < P_{MAX} = 20 \text{ mW}, \quad (7)$$

da cui risulta

$$R_C \geq \frac{V_{CC} - R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F} \right) \cdot I_C - \frac{P_{MAX} - V_{BE} \cdot I_B}{I_C}}{I_C} = 740 \text{ }\Omega. \quad (8)$$

Scegliendo quindi R_C pari a $R_C^* = 740 \text{ }\Omega$ si ottiene una potenza dissipata a riposo di 20 mW. Infatti, la tensione V_{CE} ai capi del transistor risulta in questo caso la massima possibile e pari a

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C^* \cdot I_C - R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F} \right) \cdot I_C = 4.99 \text{ V}, \quad (9)$$

da cui consegue

$$P_Q = V_{CE} \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B = P_{MAX} = 20 \text{ mW}, \quad (10)$$

come doveva essere. E' importante osservare che per valori di resistenza di collettore maggiori di R_C^* la tensione V_{CE} si riduce e con essa anche la potenza dissipata, ma il transistor può uscire dalla regione attiva di funzionamento. Benché la risposta al quesito sia stata correttamente determinata e R_C^* rappresenti il valore cercato, è sicuramente interessante trovare anche il valore massimo di R_C che soddisfa le condizioni poste. Ciò può essere fatto imponendo che la tensione V_{CE} divenga pari al minimo valore accettabile per ipotizzare un funzionamento in zona attiva V_{CEsat} . Dalla (9) risulta allora

$$R_C^{MAX} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat} - R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) \cdot I_C}{I_C} = 1.94 \text{ k}\Omega, \quad (11)$$

giustamente maggiore di R_C^* .

E' interessante osservare, infine, che il circuito di polarizzazione proposto consente una buona stabilizzazione del punto di riposo del transistor Q_1 . A titolo di esempio, si può ricalcolare il punto di lavoro corrispondente alla soluzione trovata attraverso le equazioni (5), (6) e (9) nel caso si verifichi una variazione del parametro β_F fino al valore $\beta'_F = 120$. Si trova:

$$I'_B = \frac{V_{eq} - V_{BE}}{R_{eq} + R_E \cdot (\beta'_F + 1)} = 36.3 \text{ }\mu\text{A}, \quad (12)$$

$$I_C = I_B \cdot \beta_F = 4.4 \text{ mA}, \quad (13)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C^* \cdot I_C - R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) \cdot I_C = 4.7 \text{ V}, \quad (14)$$

dove è possibile riscontrare uno spostamento del punto di riposo in tensione e corrente dell'ordine del 10% a fronte di una variazione del 50% del parametro β_F . Ricordiamo che questo effetto si ottiene grazie alla presenza della resistenza di emettitore e facendo in modo che la corrente che percorre a riposo la resistenza R_2 sia significativamente maggiore di quella assorbita dalla base del transistor.