

ESERCIZIO 3 (Settimana 8)

Dato l'amplificatore di figura, avente i seguenti parametri (a 25°C):

$$V_{CC} = 30 \text{ V}, R_1 = 270 \text{ k}\Omega, R_2 = 82 \text{ k}\Omega, R_C = 2.7 \text{ k}\Omega, R_E = 0.6 \text{ k}\Omega, R_g = 5 \text{ k}\Omega;$$

Q₁: BJT npn,

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}, \beta_F = 50, r_\pi = 0.8 \text{ k}\Omega, r_o = \infty;$$

si richiede di:

- 1) determinare il punto di riposo del transistor (I_{CQ}, V_{CEQ}) e la potenza da esso dissipata.

Supponendo le capacità equivalenti a corto circuiti, si richiede ancora di:

- 2) calcolare il guadagno di tensione $A_v = V_o/V_g$ a centro banda;
- 3) calcolare (trascurando il contributo dovuto a I_{C0}) la variazione relativa $\Delta I_C/I_{CQ}$ dovuta ad un innalzamento di temperatura di 50°C, sapendo che $\Delta V_{BE}/\Delta T = -2.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ e che il valore di β_F a 75°C è 120.

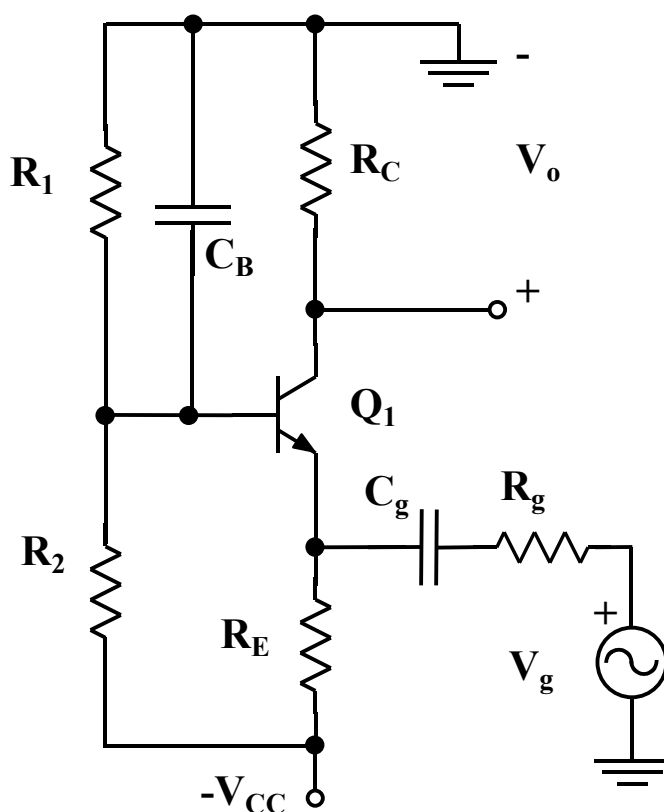


Fig. 1 – Amplificatore a singolo stadio a BJT

Soluzione

1)

La determinazione del punto di riposo può essere svolta più agevolmente ridisegnando il circuito equivalente valido per lo studio della polarizzazione e semplificandolo secondo Thevenin nella

maglia di ingresso. E' importante ricordare che, ai fini dello studio della polarizzazione, i condensatori di blocco e by-pass vanno considerati dei circuiti aperti. Si ottengono così i circuiti rappresentati in Fig. 2.

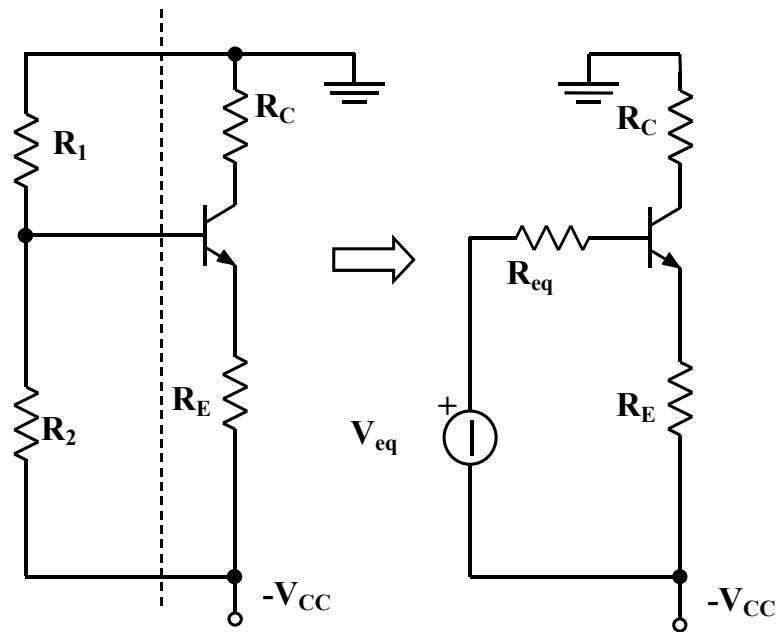


Fig. 2 – Circuito equivalente per la polarizzazione

Calcoliamo innanzitutto le espressioni dei parametri del circuito equivalente di Thevenin. Troviamo

$$R_{eq} = R_1 // R_2 = 63 \text{ k}\Omega, \quad (1)$$

$$V_{eq} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6.99 \text{ V}, \quad (2)$$

dove vale pena osservare che la tensione V_{eq} è stata calcolata riferendola a $-V_{CC}$, ed è quindi stata collocata in modo coerente nello schema equivalente.

Ipotizzando che il transistor lavori in zona attiva e considerando la maglia di ingresso possiamo quindi scrivere:

$$V_{eq} = R_{eq} \cdot I_{BQ} + V_{BE} + R_E \cdot I_{EQ} = R_{eq} \cdot I_{BQ} + V_{BE} + R_E \cdot (1 + \beta_F) \cdot I_{BQ}, \quad (3)$$

dove si è fatto uso dell'ipotesi di zona attiva nello scrivere l'espressione di I_{EQ} in funzione di I_{BQ} . Dalla (3) si ricava subito

$$I_{BQ} = \frac{V_{eq} - V_{BE}}{R_{eq} + R_E \cdot (1 + \beta_F)} = 67.22 \text{ }\mu\text{A}, \quad (4)$$

$$I_{CQ} = \beta_F \cdot I_{BQ} = 3.36 \text{ mA}. \quad (5)$$

Dall'equazione della maglia di uscita ricaviamo poi la tensione a riposo V_{CEQ} , ossia

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \left[R_C + R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F} \right) \right] \cdot I_{CQ} = 18.9 \text{ V}, \quad (6)$$

che, essendo ben maggiore delle tipiche tensioni di saturazione di un transistor bipolare, e.g. 0.2 V, è sicuramente coerente con l'ipotesi inizialmente fatta di transistor in zona attiva.

Possiamo concludere l'analisi della polarizzazione calcolando la potenza dissipata dal transistor a riposo. Tale potenza vale

$$P_Q = V_{BE} \cdot I_{BQ} + V_{CEQ} \cdot I_{CQ} = 63.6 \text{ mW}. \quad (7)$$

2)

Il calcolo del guadagno di tensione richiede innanzitutto il disegno dello schema equivalente del circuito, valido per i piccoli segnali. Il circuito risultante è mostrato in Fig. 3. E' importante ricordare che, ai fini dell'analisi ai piccoli segnali, le capacità di disaccoppiamento e di by-pass vanno considerate equivalenti a corto circuiti. Per ricavare lo schema equivalente è inoltre necessario "spegnere" i generatori di tensione e, eventualmente, di corrente continua presenti nel circuito, cortocircuitando i primi e sostituendo i secondi con dei circuiti aperti. Una volta ottenuto lo schema, è necessario ricavare i suoi parametri, a partire dalle grandezze determinate nello studio della polarizzazione.

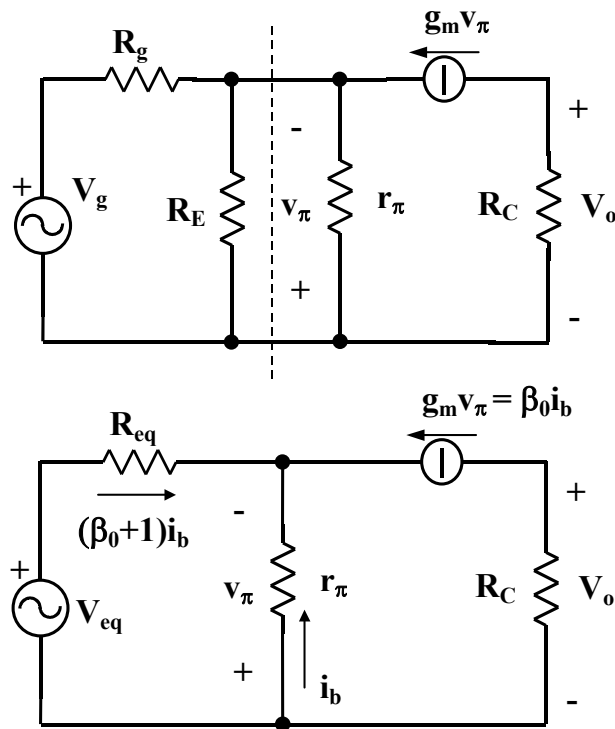


Fig. 3 – Circuito equivalente per i piccoli segnali e sua semplificazione secondo Thevenin

Otteniamo allora

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \cong 40 \cdot I_{CQ} = 134.4 \text{ mS}, \quad (8)$$

$$\beta_0 = g_m \cdot r_\pi = 108. \quad (9)$$

Come si può osservare dallo schema ai piccoli segnali, l'amplificatore da studiare è del tipo a base comune. Il calcolo del guadagno può essere svolto schematizzando con Thevenin il circuito di ingresso ottenendo:

$$R_{eq} = R_g // R_E = \frac{R_g \cdot R_E}{R_g + R_E} = 535.7 \, \Omega, \quad (10)$$

$$V_{eq} = V_g \cdot \frac{R_E}{R_g + R_E}. \quad (11)$$

da cui si trova, utilizzando la corrente di base per calcolo della tensione di uscita,

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_{eq}} \cdot \frac{V_{eq}}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + R_g} \cdot \frac{\beta_0 \cdot R_C}{(1 + \beta_0) \cdot R_{eq} + r_\pi} = 0.53. \quad (12)$$

Come si può osservare, si tratta di un valore positivo, coerentemente con la configurazione in esame, che come noto, non è invertente.

3)

Per rispondere alla domanda, conviene ricalcolare la corrente di collettore, tenendo conto dei nuovi valori assunti da V_{BE} e da β_F a causa della variazione di temperatura. Determiniamo allora

$$V'_{BE} = V_{BE}(75^\circ\text{C}) = V_{BE}(25^\circ\text{C}) + \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \cdot (75^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 0.59 \, \text{V}, \quad (13)$$

da cui risulta, usando la (4) e la (5),

$$I'_{CQ} = \frac{V_{eq} - V'_{BE}}{\frac{R_{eq}}{\beta'_F} + R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta'_F}\right)} = 5.66 \, \text{mA}. \quad (14)$$

Di conseguenza troviamo

$$\frac{\Delta I_C}{I_{CQ}} = \frac{I'_{CQ} - I_{CQ}}{I_{CQ}} = 0.686 = 68.6\% \quad (15)$$

che, come si vede, è una variazione abbastanza modesta se confrontata con l'aumento di β_F , che è pari al 140%. Questo effetto di "stabilizzazione" del punto di riposo rispetto a variazioni della temperatura è una diretta conseguenza della presenza della resistenza di emettitore R_E , come è facile verificare, per esempio rifacendo il calcolo con $R_E = 0$. Conseguentemente, gli schemi di polarizzazione, che non prevedano R_E , sono potenzialmente esposti al rischio di derive termiche molto pesanti, tali di solito da compromettere il corretto funzionamento dell'amplificatore.