

ESERCIZIO 2 (Settimana 8)

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

$$V_{CC} = 12 \text{ V}, I_P = 20 \text{ } \mu\text{A}, V_{i_dc} = 0 \text{ V}, R_{E1} = 0.5 \text{ k}\Omega, R_{E2} = 1 \text{ k}\Omega, R_L = 2 \text{ k}\Omega;$$

Q₁: BJT pnp,

$$I_{CQ} = -2 \text{ mA}, V_{CEQ} = -5 \text{ V}, V_{BE} = -0.65 \text{ V}, \beta_0 = \beta_F = 250;$$

si richiede di:

- 1) trovare il valore delle resistenze R_1 , R_2 , R_C .

Supponendo la capacità C_2 equivalente ad un circuito aperto, si richiede ancora di:

- 2) calcolare il guadagno di tensione $A_v = V_o/V_i$ a centro banda;
- 3) determinare il valore della resistenze di ingresso R_{in} e di uscita R_{out} indicate;
- 4) ripetere i punti 3) e 4) considerando invece C_2 equivalente ad un corto circuito.

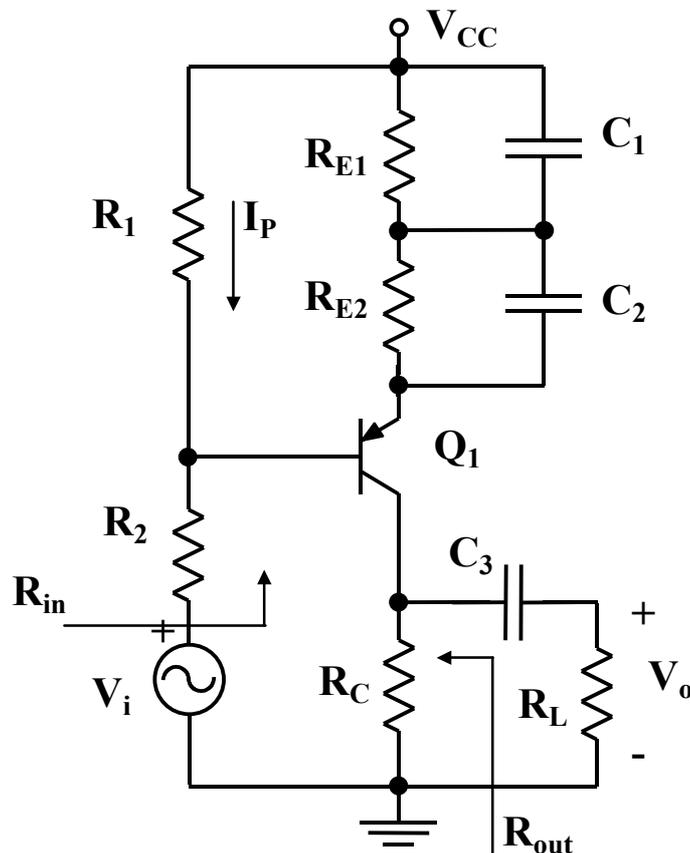


Fig. 1 – Amplificatore a singolo stadio a BJT

Soluzione

1)

Il calcolo delle resistenze incognite può essere svolto più agevolmente ridisegnando il circuito equivalente valido per lo studio della polarizzazione. È importante ricordare che, ai fini dello studio della polarizzazione, i condensatori di blocco e by-pass vanno considerati dei circuiti aperti.

Inoltre, la componente continua del generatore V_i (definita nel testo V_{i_dc}) è da considerarsi nulla, in base ai dati forniti. Si ottiene così il circuito rappresentato in Fig. 2.

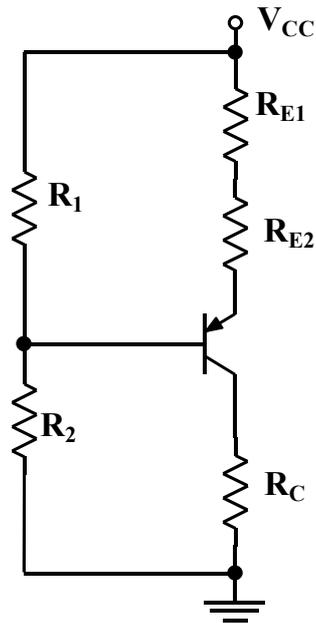


Fig. 2 – Circuito equivalente per la polarizzazione

Troviamo allora

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{ECQ} - (R_{E1} + R_{E2}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) \cdot I_{CQ}}{-I_{CQ}} = 1994 \, \Omega \cong 2 \, \text{k}\Omega, \quad (1)$$

avendo sfruttato il fatto che, nell'ipotesi di funzionamento del transistor in zona attiva, che è coerente con il dato fornito per la tensione V_{CEQ} ,

$$I_{EQ} = -\left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) \cdot I_{CQ} = 2.008 \, \text{mA} \cong 2 \, \text{mA}. \quad (2)$$

Valutando la maglia di ingresso poi, si trova:

$$R_1 \cdot I_P + V_{BE} - (R_{E1} + R_{E2}) \cdot I_{EQ} = 0, \quad (3)$$

da cui è immediato ricavare il valore di R_1 , ossia

$$R_1 = \frac{V_{EB} + (R_{E1} + R_{E2}) \cdot I_{EQ}}{I_P} = 183.1 \, \text{k}\Omega. \quad (4)$$

Possiamo infine determinare R_2 , che risulta

$$R_2 = \frac{V_{CC} - R_1 \cdot I_P}{I_P - I_{BQ}} = \frac{V_{CC} - R_1 \cdot I_P}{I_P - \frac{I_{CQ}}{\beta_F}} = 297.8 \, \text{k}\Omega. \quad (5)$$

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 generalmente considerate equivalenti a corto circuiti. Nel nostro caso questo non vale per C_2 , che va invece considerata equivalente ad un circuito aperto, ma solo perché ciò è esplicitamente indicato nel testo dell'esercizio. 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.

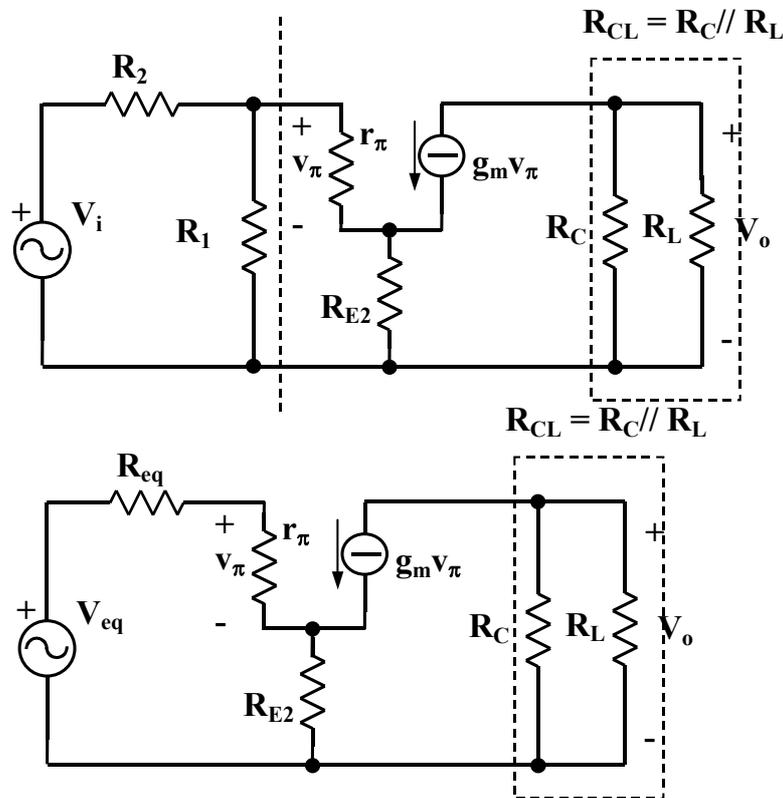


Fig. 3 – Circuito equivalente per i piccoli segnali e sua semplificazione secondo Thevenin

Otteniamo allora

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \cong 40 \cdot I_{CQ} = 80 \text{ mS}, \quad (6)$$

$$r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m} = 3125 \text{ } \Omega. \quad (7)$$

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

$$R_{eq} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 113.4 \text{ k}\Omega, \quad (8)$$

$$V_{eq} = V_i \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \quad (9)$$

da cui, definendo $R_{CL} = R_C // R_L = 1 \text{ k}\Omega$, si trova

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_{eq}} \cdot \frac{V_{eq}}{V_i} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\beta_0 \cdot R_{CL}}{(1 + \beta_0) \cdot R_{E2} + r_\pi + R_{eq}} = -0.259. \quad (10)$$

Come si può osservare, si tratta di un valore negativo, coerentemente con la configurazione in esame, che, presentando l'uscita sul terminale di collettore, è appunto invertente.

3)

La resistenza di ingresso, come indicato in Fig. 1, va calcolata includendo la resistenza del generatore di segnale. Si trova allora,

$$R_{in} = R_2 + R_1 // R_{iCER} = R_2 + R_1 // [r_\pi + (1 + \beta_0) \cdot R_{E2}] = 404.2 \text{ k}\Omega, \quad (11)$$

essendo R_{iCER} la resistenza di ingresso intrinseca dello stadio CER.

Infine la resistenza di uscita, calcolata escludendo la resistenza di carico, risulta semplicemente pari a R_C .

4)

I valori di A_v , R_{in} e R_{out} possono essere ricalcolati dalle formule ottenute ai punti precedenti semplicemente ponendo $R_{E2} = 0$. Si ottiene:

$$A'_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_{eq}} \cdot \frac{V_{eq}}{V_i} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\beta_0 \cdot R_{CL}}{r_\pi + R_{eq}} = -0.817, \quad (12)$$

$$R'_{in} = R_2 + R_1 // R_{iCE} = R_2 + R_1 // r_\pi = 300.9 \text{ k}\Omega, \quad (13)$$

$$R'_{out} = R_C = 2 \text{ k}\Omega. \quad (14)$$

E' interessante osservare che l'eliminazione della resistenza R_{E2} comporta un aumento del guadagno di tensione (in modulo) e una diminuzione della resistenza di ingresso. Senza pretendere di spiegare nel dettaglio questo fenomeno, si può comunque dire che esso è dovuto al fatto che, con la rimozione di R_{E2} , vengono meno gli effetti della retroazione originariamente presente nel circuito. La retroazione viene spesso introdotta negli amplificatori elettronici per rendere più stabili e prevedibili le prestazioni del circuito. Essa comporta, generalmente, effetti benefici non solo sulla stabilità del punto di riposo, ma anche sulle prestazioni dinamiche dell'amplificatore. In questo caso, ad esempio, la presenza della retroazione garantiva una resistenza di ingresso più elevata, caratteristica sicuramente positiva per un amplificatore di tensione. Tali vantaggi vengono però sempre pagati con una diminuzione del guadagno a centro banda.