

ESERCIZIO : AMPLIFICATORE DOPPIO STADIO #1

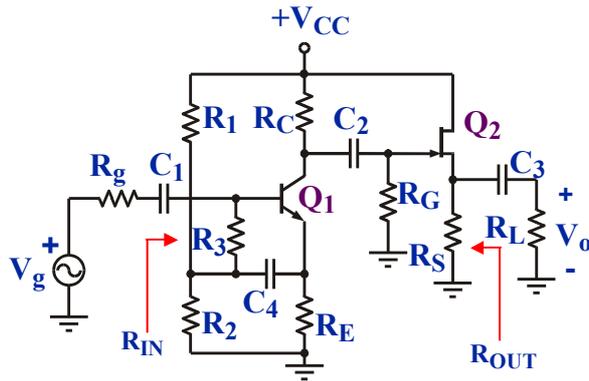


Figura 1

SOLUZIONE

Si tratta di un amplificatore a due stadi accoppiati in alternata attraverso il condensatore C_2 . Di conseguenza il punto di lavoro di ciascun transistor si determina in modo indipendente dal circuito relativo alle componenti continue, riportato in figura 2a. Si osservi come i condensatori siano stati sostituiti da dei circuiti aperti, dato che, in continua, la loro reattanza è infinita. In figura sono anche riportati i versi positivi delle correnti nei due transistori. Si osservi che, essendo nulla la corrente di gate del JFET Q_2 , la corrente di drain I_D coincide con la corrente di source I_S .

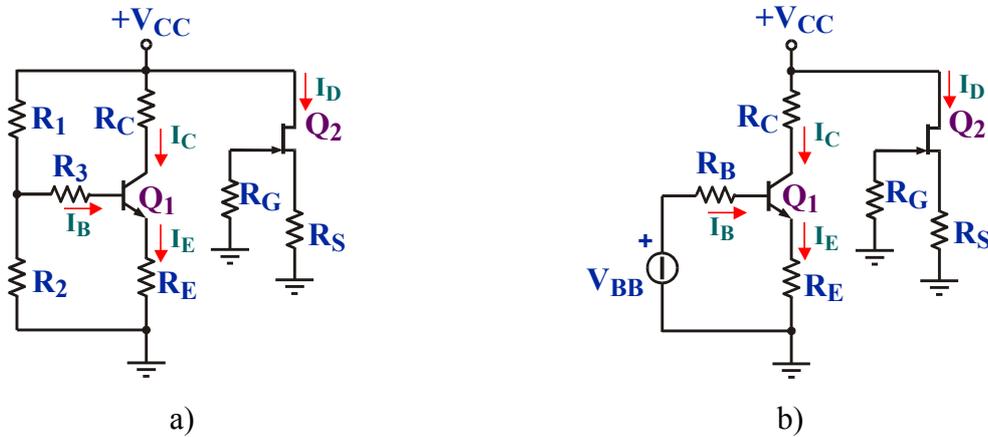


Figura 2

1) *Determinazione delle resistenze R_E e R_C noto il punto di lavoro di Q_1*

La rete di polarizzazione del transistor Q_1 prende il nome di rete di Bootstrap e la differenza rispetto alla classica configurazione a quattro resistenze risulterà evidente dall'analisi del circuito dinamico. Applicando Thevenin al partitore in ingresso a Q_1 si ottiene lo schema semplificato di figura 2b, in cui è

$$\begin{cases} V_{BB} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5.1V \\ R_B = R_3 + R_1 // R_2 = 31.26k\Omega \end{cases} \quad (1)$$

Dai dati del problema risulta immediato verificare che il transistor Q_1 si trova in zona attiva diretta (infatti la tensione base-collettore risulta negativa).

Dalla maglia d'ingresso di Q_1 ricaviamo la seguente espressione:

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E \quad (2)$$

Sapendo che $I_E = I_B + I_C$ e sostituendo nella (2) si ottiene un'unica equazione nell'incognita R_E :

$$R_E = \frac{V_{BB} - V_{BE} - R_B I_B}{I_E} = 1.92 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

Dalla maglia di uscita di Q_1 si determina la resistenza di collettore:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - R_E I_E}{I_C} = 7.06 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

1) Determinazione del punto di lavoro di Q_2

Assumendo il funzionamento di Q_2 in zona di saturazione, la relazione imposta dal dispositivo è la seguente:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \quad (5)$$

Dall'equazione della maglia d'ingresso otteniamo:

$$V_{GS} = -R_S I_D \quad (6)$$

Dal sistema delle due equazioni (5) e (6) si determinano le due incognite $V_{GS} = -2.26 \text{ V}$ e $I_D = 1.89 \text{ mA}$. Si osservi che tale sistema fornisce due coppie di soluzioni, una delle quali è da scartare perché relativa ad un valore di $V_{GS} < V_p$, in contrasto con l'ipotesi di funzionamento in zona di saturazione.

Dall'equazione della maglia di uscita ricaviamo il valore di V_{DS} :

$$V_{DS} = V_{CC} + V_{GS} = 21.74 \text{ V} \quad (7)$$

Osserviamo che la tensione tra gate e drain è minore della tensione di pinch off V_p , giustificando così l'ipotesi di funzionamento in saturazione.

3) Analisi ai piccoli segnali

Per determinare il guadagno a centro banda e le resistenze d'ingresso e di uscita, disegniamo il circuito dinamico equivalente, riportato in figura 3. Come noto, devono essere annullati tutti i generatori di grandezze continue (il generatore V_{CC} viene di conseguenza sostituito con un corto circuito) ed i condensatori vengono sostituiti da corto circuiti (si considera trascurabile la loro reattanza alle frequenze del segnale). Come si può osservare, le resistenze R_1 e R_2 si trovano dinamicamente in parallelo con R_E , mentre R_3 finisce in parallelo alla r_π del modello lineare del

transistore Q_1 . Si osservi che il modello lineare valido ai piccoli segnali di Q_1 non contiene la resistenza di uscita r_o , dato che è stata supposta infinita.

Confrontando le figure 3a e b si ha che:

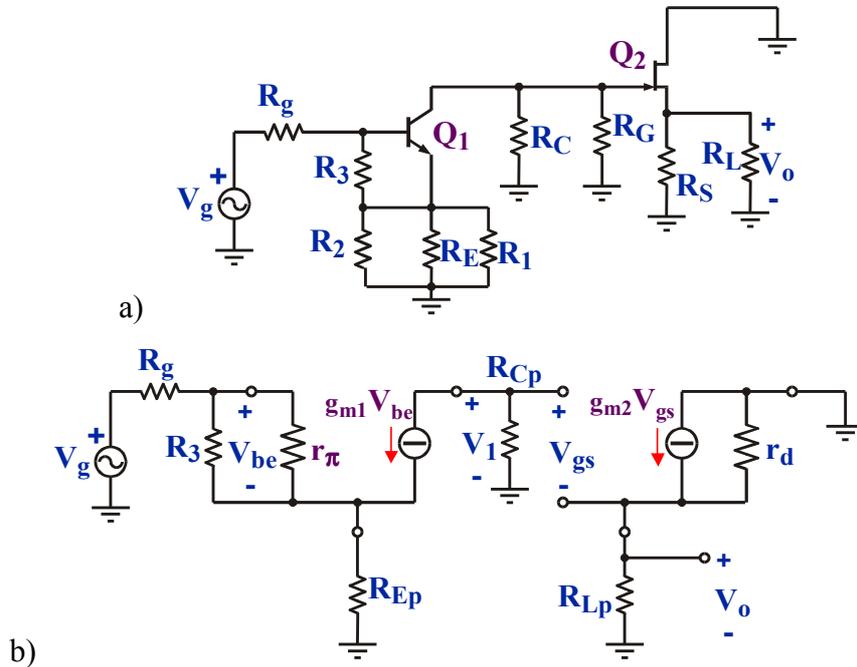


Figura 3

$$R_{Ep} = R_1 // R_2 // R_E = 1.76k\Omega$$

$$R_{Cp} = R_C // R_G = 6.596k\Omega$$

$$R_{Lp} = R_L // R_S = 1.17k\Omega$$

(8)

Lo schema può essere ulteriormente semplificato osservando che la resistenza r_d risulta in parallelo con R_{Lp} , così come R_3 è in parallelo con r_{π} .

I valori dei parametri dei modelli ai piccoli segnali dei transistori si determinano dalla conoscenza del punto di lavoro:

$$Q_1: \begin{cases} g_{m1} = \frac{I_C}{V_T} = 40I_C = 80mS \\ r_{\pi} = \frac{\beta_0}{g_{m1}} = 1.25k\Omega \end{cases} \quad (9)$$

Si osservi che nel calcolo di g_{m2} occorre considerare l'effetto di modulazione di lunghezza di canale dato che nel modello dinamico del JFET appare la resistenza r_d , che rappresenta tale effetto.

Calcoliamo il coefficiente di modulazione di lunghezza di canale λ dalla relazione:

$$r_d = \frac{1}{\lambda} + \frac{V_{DS}}{I_D} \Rightarrow \lambda = 14mV^{-1} \quad (10)$$

$$g_{m2} = \frac{2}{|V_p|} \sqrt{I_D I_{DSS} (1 + \lambda V_{DS})} = 2.47mS \quad (11)$$

Si tratta della cascata di un amplificatore a Emettore Comune con resistenza di emettitore (il segnale è applicato alla Base ed è prelevato al Collettore) e di un amplificatore a Drain Comune (il segnale è applicato al Gate ed è prelevato al Source).

La resistenza d'ingresso R_{IN} indicata in figura 1 risulta:

$$R_{IN} = r_{\pi} // R_3 + (1 + g_{m1}(r_{\pi} // R_3))R_{Ep} = 159.4k\Omega \quad (12)$$

Si osservi che la rete di Bootstrap fa sì che le resistenze R_1 e R_2 del partitore di polarizzazione di Q_1 non siano più dinamicamente poste tra Base e massa, per cui la resistenza d'ingresso vista dal generatore di segnale (quella appena calcolata), risulta coincidente con la resistenza d'ingresso intrinseca dello stadio E.C. con resistenza di emettitore, evitando così la riduzione della stessa. A questo si aggiunge l'aumento del guadagno dello stadio dovuto alla mancanza dell'effetto di partizione tra la resistenza della sorgente R_g e la resistenza $R_1//R_2$ che si avrebbe avuto nel caso di circuito di polarizzazione standard.

Il guadagno di tensione risulta:

$$A_V = \frac{V_o}{V_g} = \frac{V_o}{V_1} \frac{V_1}{V_g} = A_{v2} A_{v1} \quad (13)$$

$$A_{v2} = \frac{g_{m2}(R_{Lp} // r_d)}{1 + g_{m2}(R_{Lp} // r_d)} = 0.739 \quad (14)$$

$$A_{v1} = -\frac{g_{m1}R_{Cp}(r_{\pi} // R_3)}{R_g + R_{IN}} = -3.462 \quad (15)$$

Il guadagno di tensione totale risulta $A_v = -2.56$.

La resistenza di uscita indicata in figura risulta:

$$R_{OUT} = R_S // R_{out}^{DC} = R_S // r_d // \frac{1}{g_{m2}} = 300.4\Omega \quad (16)$$

dove con R_{out}^{DC} si è indicata la resistenza di uscita intrinseca dello stadio Drain Comune. La R_{OUT} risulta piuttosto bassa, come ci si poteva aspettare.