

Traccia della soluzione dell'esame del 16-7-2019

1) La corrente d'uscita del doppio bipolo si può scrivere come $i_u = y_f v_{OP} + y_o v^- = y_f v_{OP} = v_i/R$, da cui $A_v = v_{OP}/v_i = 1/(y_f R)$.

2) La resistenza d'ingresso, come nel caso del comune amplificatore invertente con opamp con resistenza di retroazione, è uguale a $R_i = R$.

3) Si ottiene

$$Y(s) = \begin{bmatrix} g_{BE} + g_m + sC & -sC \\ -g_m - sC & sC \end{bmatrix} \quad (1)$$

4) Se l'opamp è in alto guadagno, la corrente di collettore del BJT risulta essere

$$I_{Co} = \frac{0 - V_{io}}{R} = 1 \text{ mA} . \quad (2)$$

Il BJT è certamente in regione normale, poiché $V_{CB0} = 0$, quindi $V_{OP0} = V_{EB0} = V_T \ln(I_{Co}/I_S) = 0.691 \text{ V}$, per cui resta verificata l'ipotesi di alto guadagno. Si verifica inoltre che non ci sono altri punti di riposo.

5) Si ha $g_{BE} = I_{Co}/(\beta_o V_T) = 400 \text{ mS}$ e $g_m = \beta_o g_{BE} = 40 \text{ S}$. Utilizzando l'espressione del punto (1), il guadagno di tensione risulta essere di tipo passa basso, invertente e ad un solo polo:

$$A_v = \frac{1}{y_f(s) R} = \frac{-1}{(g_m + sC) R} . \quad (3)$$

Il guadagno statico è negativo e molto minore di 1 in modulo. Poiché il polo è negativo, la stabilità è assicurata.

6) Con l'opamp in alto guadagno, la corrente di collettore del BJT risulta ora nulla. Utilizzando le espressioni complete del modello di Ebers e Moll e tenuto conto che $V_{CB0} = 0$, si ottiene $V_{EB0} = 0$ (cioè il BJT è completamente spento) e quindi $V_{OP0} = 0$.

7) Si analizza innanzitutto il punto di riposo, che risulta unico con $V_o^+ = 0$, $V_{uo} = 0$. L'amplificatore non invertente ha guadagno ai piccoli segnali $A = 1 + R_2/R_1$. Il doppio bipolo lineare reattivo ha f.d.t.

$$H(s) = v^+/v_u = \frac{R_3}{R + R_3 + 1/sC} = \frac{sCR_3}{sC(R + R_3) + 1} . \quad (4)$$

L'equazione caratteristica è $A H(s) = 1$, che risolta utilizzando i valori dati, fornisce una soluzione positiva. Quindi il circuito è instabile con innesco esponenziale e l'oscillatore è di tipo di rilassamento. Si noti che il parallelo RC tra il nodo di uscita e massa non gioca nessun ruolo, dal momento che si assume l'opamp ideale. Si tratta quindi di un oscillatore ottenuto con un bipolo di tipo S chiuso su una capacità.

8) Il bipolo dovrà risultare, come detto, di tipo S. L'analisi procede nel solito modo. Si può scrivere

$$I = \frac{V_u + V}{R_3 + R} ; \quad V^+ = R_3 I ; \quad V^- = V_u \frac{R_1}{R_1 + R_2} . \quad (5)$$

Con l'opamp in saturazione positiva, si ha $V_u = V_{uM}$, per cui l'equazione del ramo superiore a pendenza positiva è

$$I = \frac{V_{uM} + V}{R_3 + R} \text{ per } V^+ > V^-, \quad (6)$$

dalla seconda delle quali, utilizzando le (5), si ricava $V > -V^*$, con $V^* = 1.25 \text{ V}$. Il resto della caratteristica, che risulta antisimmetrica rispetto all'origine, si ottiene in modo simile.

9) Metà periodo, corrispondente al rilassamento della tensione V lungo il tratto a pendenza positiva superiore tra V^* e $-V^*$, si ottiene integrando l'equazione $I = -C \frac{dV}{dt}$, da cui

$$\frac{T}{2} = -C(R_3 + R) \int_{V^*}^{-V^*} \frac{dV}{V_{uM} + V} \simeq 15 \mu\text{s}. \quad (7)$$

Il periodo è quindi $T \simeq 30 \mu\text{s}$.