

Traccia della soluzione dell'esame del 25-6-2019

1) Il guadagno può essere scomposto nel prodotto dei seguenti fattori:

$$A_v(s) = \frac{v_u}{v_i} = \frac{v_u}{v_{B2}} \frac{v_{B2}}{v_{OP}} \frac{v_{OP}}{v_{C1}} \frac{v_{C1}}{v_i}, \quad (1)$$

dove B2 indica la base di Q2, C1 il collettore di Q1, OP l'uscita dell'opamp. Si ha

$$\frac{v_u}{v_{B2}} = \text{guadagno c. c. Q2} = \frac{(\beta_o + 1) R_C}{r_{BE2} + (\beta_o + 1) R_C}, \quad (2)$$

$$\frac{v_{B2}}{v_{OP}} = \text{guadagno partitore } R_3 \text{ con } R_{iCC} = \frac{r_{BE2} + (\beta_o + 1) R_C}{r_{BE2} + (\beta_o + 1) R_C + R_3}, \quad (3)$$

$$\frac{v_{OP}}{v_{C1}} = \text{guadagno ampl. inv. con opamp} = \frac{-R_2}{R_1(1 + sCR_2)}, \quad (4)$$

$$\frac{v_{C1}}{v_i} = \text{guadagno e. c. g. Q1} = \frac{-\beta_o R_1}{(1 + sCR_1)} \frac{1}{r_{BE1} + (\beta_o + 1) R_E}, \quad (5)$$

Nella (5) si è considerata come impedenza di carico il parallelo di R_1 e C_1 , dove R_1 è la resistenza d'ingresso dell'amplificatore invertente con opamp.

2) Stadio d'ingresso ad e.c.g.:

$$R_i = r_{BE1} + (\beta_o + 1) R_E \quad (6)$$

3) Stadio d'uscita a c.c.:

$$R_u = \frac{r_{BE2} + R_3}{\beta_o + 1} \quad (7)$$

4) Dalle (4) e (5) si ottengono le espressioni dei poli, da cui $R_1 = R_2 = 1/(\omega_o C) = 10 \text{ k}\Omega$.

5) Dalla (7) si ottiene $r_{BE2} = 5.1 \text{ k}\Omega$ e, tenuto conto che $r_{BE2} = \beta_o V_T / I_{C2o}$ e $I_{C2o} = I_2 \beta_o / (\beta_o + 1)$, si ricava infine $I_2 = 0.495 \text{ mA}$.

6) Dalla (6)

$$R_i = r_{BE1} + (\beta_o + 1) R_E = \frac{\beta_o V_T}{I_{C1o}} + (\beta_o + 1) R_E = (\beta_o + 1) \left[\frac{V_T}{V_{io} - V_\gamma + V_{EE}} + 1 \right] R_E \quad (8)$$

da cui $R_E = 914 \Omega$. Si ricava anche $I_{C1o} = \frac{V_{io} - V_\gamma + V_{EE}}{R_E} \frac{\beta_o}{\beta_o + 1} = 0.325 \text{ mA}$.

7) Procedendo a ritroso partendo dal nodo d'uscita, si ottiene $V_{OPo} = V_{uo} + V_\gamma + R_3 I_{B3o} = 0.725 \text{ V}$. L'opamp è quindi in alto guadagno ed inoltre $V_{C1o} = -V_{OPo}$, dato che in condizioni statiche l'amplificatore invertente ha guadagno unitario. Quindi Q1 opera in regione normale e

$$I_1 = I_{C1o} - \frac{0 - V_{C1o}}{R_1} = 0.252 \text{ mA} . \quad (9)$$

8) L'oscillatore è formato da due blocchi: il primo non lineare e non reattivo (amplificatore di corrente), il secondo lineare e reattivo (rete RC). Risulterà quasi-sinusoidale la corrente d'ingresso I_C dell'amplificatore.

9) Dall'analisi del circuito si ottiene con pochi passaggi la f.d.t della rete lineare

$$H(s) \equiv \frac{I_C}{I_u} = \frac{sRC}{s^2R^2C^2 + s3RC + 1} \quad , \quad (10)$$

dove $I_u = f(I_C)$. La pulsazione d'oscillazione ω_o è quella alla quale risulta reale $H(j\omega_o)$. Si ottiene $\omega_o = 1/(RC)$ e $H(j\omega_o) = 1/3$.

10) La condizione d'innescio è $k H(j\omega_o) > 1$, ossia $k > 3$, dove $k \equiv f'(0)$ è il guadagno ai piccoli segnali dell'amplificatore di corrente calcolato nel punto di riposo $I_{Co} = 0$.