

# Traccia di soluzione del compito del 12 dicembre 2006

1. Determinare il valore di  $R_1$  affinché si abbia  $I_{C4} = 1 \text{ mA}$ .  
I transistori T4 e T5 sono connessi a specchio quindi

$$I_{R1} = \frac{\beta_F + 2}{\beta_F} I_{C4} = 1.02 \text{ mA} \quad V_{be4} = V_{be5} = V_T \log \left( \frac{I_{C4}}{I_S} + 1 \right) = 0.633 \text{ V} \quad (1)$$

Quindi si ottiene

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{be5}}{I_{R1}} = 4218 \Omega \quad (2)$$

2. Considerando  $V_u = 3 \text{ V}$ , determinare il valore di  $V_{in}$ .  
Per l'uscita vale la relazione  $R_3 I_{E3} + V_{be3} = V_u$  quindi

$$I_{C3} = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} \frac{V_u - V_{be3}}{R_3} \quad V_{be3} = V_T \log \left( \frac{I_{C3}}{I_S} + 1 \right) \quad (3)$$

Iterando le due equazioni si ottiene  $V_{be3} = 0.654 \text{ V}$  e  $I_{C3} = 2.322 \text{ mA}$ . Inoltre, poichè il condensatore è un circuito aperto nel punto di riposo, si ha  $I_{E3} = I_{E2} \rightarrow I_{B2} = I_{C3}/\beta_F = 23.22 \mu\text{A}$ . La corrente  $I_{C1}$  sarà quindi  $I_{C1} = I_{C4} + I_{B2} = 1.02322 \text{ mA}$ . Si ottiene  $V_{in} = V_{CC} - V_{eb1} = 4.366 \text{ V}$  con  $V_{eb1} = V_T \log \left( \frac{I_{C1}}{I_S} + 1 \right) = 0.634 \text{ V}$ .

3. Calcolare i valori di  $V_{ec1}$ ,  $V_{ce2}$ ,  $V_{ce3}$ ,  $V_{ce4}$  e  $V_{ce5}$ .  
T3 è connesso a diodo quindi  $V_{ce3} = V_{be3} = 0.654 \text{ V}$ . Inoltre  $V_{ce2} = V_{CC} - R_2 I_{C2} - V_u = 0.839 \text{ V}$  e  $V_{ce4} = V_u + V_{be2} = 3.654 \text{ V}$ . T5 è connesso a diodo quindi  $V_{ce5} = V_{be5} = 0.633 \text{ V}$ . Infine  $V_{ec1} = V_{CC} - V_{ce4} = 1.346 \text{ V}$ .

4. Calcolare l'espressione del guadagno di tensione  $A_v = v_u/v_i$ .  
Ai piccoli segnali T1 è connesso a emettitore comune e vede come carico sul collettore lo specchio di corrente, che corrisponde a un circuito aperto, e l'impedenza di ingresso di T2. T2 è invece connesso a collettore comune, con resistenza  $R_2$  sul collettore, e vede come carico il parallelo tra  $C$  e la serie di  $R_3$  e T3 connesso a diodo. Inoltre, utilizzando il modello a due parametri la resistenza  $R_2$  non influisce sulle funzioni di rete di T2. Il guadagno è quindi il prodotto del guadagno dell'emettitore comune per il guadagno del collettore comune. Si ha quindi

$$A_v = A_{vT1} * A_{vT2} = -\frac{(\beta_0) Z_{c1}}{r_{be1}} * \frac{(\beta_0 + 1) Z_{c2}}{r_{be2} + (\beta_0 + 1) Z_{c2}} \quad (4)$$

con

$$Z_{c2} = \left( R_3 + \frac{r_{be3}}{\beta_0 + 1} \right) // \frac{1}{sC} \quad Z_{c1} = Z_{in2} = Z_{inCC} = r_{be2} + (\beta_0 + 1) Z_{c2} \quad (5)$$

Quindi

$$A_v = -\frac{\beta_0(\beta_0 + 1)}{r_{be1}} \frac{R_3 + r_{be3}/(\beta_0 + 1)}{1 + sC[R_3 + r_{be3}/(\beta_0 + 1)]} \quad (6)$$

Inoltre

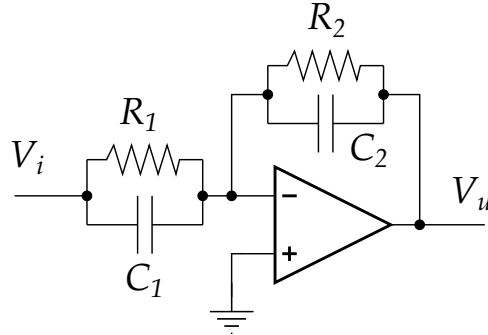
$$r_{be1} = \frac{\beta_0 V_T}{I_{c1}} = 2.443 k\Omega, \quad r_{be3} = \frac{\beta_0 V_T}{I_{c3}} = 1.076 k\Omega \quad (7)$$

quindi

$$A_v(0) = -\frac{\beta_0(\beta_0 + 1)}{r_{be1}} (R_3 + r_{be3}/(\beta_0 + 1)) = -4178 \quad (8)$$

Si ha anche un polo per  $\omega = 1/[C(R_3 + r_{be3}/(\beta_0 + 1))] = 98.95 \text{ krad/s}$ .

5. Utilizzando solo resistenze e condensatori, determinare le impedenze  $Z_1$  e  $Z_2$  in modo tale che il guadagno  $A_v(s) = v_u/v_i$  abbia le seguenti caratteristiche:  $A_v(0) = -10$ ,  $A_v(s)$  abbia uno zero a  $\omega_z = 60 \text{ Mrad/s}$  e  $A_v(s)$  abbia un polo a  $\omega_p = 6 \text{ krad/s}$  e che l'impedenza di ingresso  $Z_{in}(s) = v_{in}/i_{in}$  sia  $1k\Omega$  a pulsazione nulla. Per realizzare una funzione di trasferimento con un polo e uno zero utilizzando solo resistenze e condensatori il circuito deve essere



In questo caso  $Z_1 = R_1/(1 + sC_1R_1)$  e  $Z_2 = R_2/(1 + sC_2R_2)$  quindi

$$A_v(s) = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1 + sC_1R_1}{1 + sC_2R_2} \quad Z_{in}(s) = Z_1 = \frac{R_1}{1 + sC_1R_1} \quad (9)$$

Quindi  $Z_{in}(0) = R_1 = 1 k\Omega$  e  $A_v(0) = -R_2/R_1 = -10 \rightarrow R_2 = 10R_1 = 10 k\Omega$ . La pulsazione del polo è  $\omega_p = 1/C_2R_2 = 6 \text{ krad/s}$  quindi  $C_2 = 1/R_2\omega_p = 16.66 \text{ nF}$ . La pulsazione dello zero è  $\omega_z = 1/C_1R_1 = 60 \text{ Mrad/s}$  quindi  $C_1 = 1/R_1\omega_z = 16.66 \text{ pF}$ .

6. Calcolare l'andamento di  $V_u(t)$  a regime considerando in ingresso il segnale  $V_i(t) = V_{iM} \cos(\omega_0 t + \pi/2)$  con  $V_{iM} = 0.5 \text{ V}$  e  $\omega_0 = 600 \text{ krad/s}$ . Il sistema è lineare quindi  $V_u(t) = |H(\omega_0)|V_{iM} \cos(\omega_0 t + \pi/2 + \angle(H(\omega_0)))$ . Poichè  $\omega_0$  corrisponde a una pulsazione due decadi dopo il polo,  $|H(\omega_0)|$  sarà ridotto di un fattore 100 (-40dB) rispetto al guadagno a frequenza nulla, quindi  $|H(\omega_0)| = 0.1$  e, poichè il guadagno è invertente, la fase di  $H(\omega_0)$  sarà  $-3\pi/2$ . Quindi:

$$V_u(t) = 0.05 V \cos(\omega_0 t - \pi) \quad (10)$$