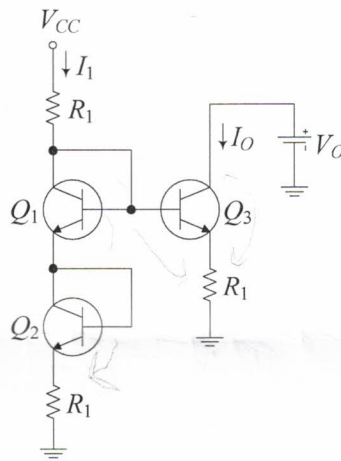


Tentti 12.12.2023 / Jouko Heikkinen

Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Tätä paperia ei tarvitse palauttaa.

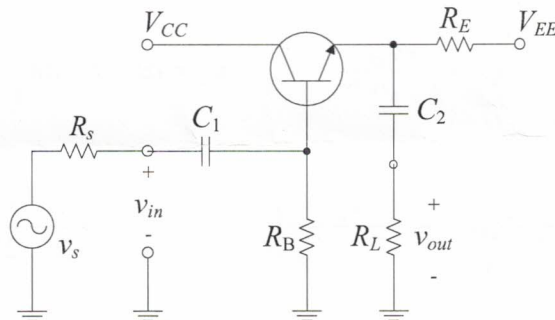
Muistathan antaa opintojaksopalautetta Norppa-järjestelmän kautta saadaksesi opintosuorituksen.

- Piirrä lohkokaavio takaisinkytketystä vahvistimesta ja merkitse siihen oleelliset signaalit. Johda lohkokaavion avulla suljetun silmukan vahvistuksen lauseke ja tarkastele lausekkeen avulla suljetun silmukan vahvistuksen muutosherkkyttä (herkkyttä vahvistimen avoimen silmukan vahvistuksen muutoksille) kun kyseessä on
 - positiivinen takaisinkytkentä
 - negatiivinen takaisinkytkentä
 (6p)
- Osoita, että kuvan 1 kytkennässä virta $I_O = 3 \text{ mA}$ on riippumaton jännitteestä V_{BE} (johda virran I_O lauseke). Mitoita vastus R_1 kun $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ja $V_O = 10 \text{ V}$. Transistorit ovat identtisiä (kaikilla sama V_{BE}) ja niiden $\beta \gg 1$. Minkä tyyppinen kytkentä on kyseessä? (6p)



Kuva 1

- Nimeä kuvassa 2 näkyvä kytkentä. Määritä vastuksen R_E arvo siten, että $I_{BQ} = 100 \mu\text{A}$ kun $V_{CC} = +12 \text{ V}$, $V_{EE} = -12 \text{ V}$, $R_B = 12 \text{ k}\Omega$, $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ ja $R_L = 1000 \Omega$. Piirrä keskitaajuusalueen piensignaalin malli, johda jännitevahvistuksen A_v ja ulostuloimpedanssin Z_{out} lausekkeet sekä laske niiden arvo. Transistorin $V_{BEQ} = 0,7 \text{ V}$ ja $\beta = 100$. (6p)



Kuva 2

$$Z_{in,Miller} = \frac{Z_f}{1 - A_v} \quad Z_{out,Miller} = \frac{A_v Z_f}{A_v - 1} \quad \alpha = \frac{i_C}{i_E} \quad e^{v_{be}(t)/V_T} \approx 1 + v_{be}(t)/V_T$$

$$\begin{cases} i_B > 0 \\ i_C = \beta i_B \\ v_{CE} > 0,2V \end{cases} \quad \begin{cases} i_B > 0 \\ \beta i_B > i_C > 0 \\ v_{CE} = 0,2V \end{cases} \quad \begin{cases} v_{BE} < 0,5V \\ v_{BC} < 0,5V \end{cases} \quad \begin{cases} I_2 \gg I_{BQ} \\ R_2 > 10R_E \end{cases}$$

$$r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} \quad V_T = \frac{kT}{q} \quad i_E = I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) \quad i_D = K v_{DS}^2 \quad \begin{cases} v_{GS} < V_{to} \\ i_D = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{GS} \geq V_{to} \\ v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} \geq V_{to} \\ i_D = K [2(v_{GS} - V_{to})v_{DS} - v_{DS}^2] (1 + \lambda v_{DS}) \end{cases} \quad \begin{cases} v_{GS} \geq V_{to} \\ v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} \leq V_{to} \\ i_D = K (v_{GS} - V_{to})^2 (1 + \lambda v_{DS}) \end{cases}$$

$$I_{DSS} = K V_{to}^2 \quad \begin{cases} K = \left(\frac{W}{L}\right) \frac{KP}{2} \\ KP = \mu_n C_{ox} \end{cases} \quad \lambda \cong \frac{0,1}{L} V^{-1} \quad \lambda = \frac{1}{V_A}$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I} \quad g_m = 2 \frac{\sqrt{I_{DSS} I_{DQ}}}{|V_{to}|} = 2 \sqrt{KI_{DQ}} = \sqrt{2KP} \sqrt{W/L} \sqrt{I_{DQ}} = \sqrt{2\mu_n C_{ox}} \sqrt{W/L} \sqrt{I_{DQ}}$$

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{Q-piste} \quad \frac{1}{r_d} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_{Q-piste} \quad g_m v_\pi = \beta i_B \quad GB = |A_v| f_H$$

$$R_2 \cong \frac{V_T}{I_{C2}} \ln \left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}} \right) \quad I_2 = \frac{A_2}{A_1} I_1 \quad I_2 = \frac{W_2/L_2}{W_1/L_1} I_1 \quad CMRR_s = \frac{A_{vds}}{A_{vcm}}$$

$$i_{C1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{-v_{id}/V_T}} \quad i_{C2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{v_{id}/V_T}} \quad v_{od} = \alpha I_{EE} R_C \tanh \left(-\frac{v_{id}}{2V_T} \right) \quad CMRR_b = \frac{A_{vdb}}{A_{vcm}}$$

$$I_{D1} = \frac{I}{2} + \frac{I}{2} \left(\frac{v_{id}}{V_{GSQ} - V_{to}} \right) \sqrt{1 - \frac{1}{4} \left(\frac{v_{id}}{V_{GSQ} - V_{to}} \right)^2} \quad I_{D2} = \frac{I}{2} - \frac{I}{2} \left(\frac{v_{id}}{V_{GSQ} - V_{to}} \right) \sqrt{1 - \frac{1}{4} \left(\frac{v_{id}}{V_{GSQ} - V_{to}} \right)^2}$$

$$PM = \angle T(j\omega_{PM}) + 180^\circ \quad GM = 0dB - 20 \log(T(j\omega_{GM})) \quad s = -\sigma \pm j\omega$$

$$\omega_n = \sqrt{\sigma^2 + \omega^2} \quad \delta = \sigma / \omega_n$$