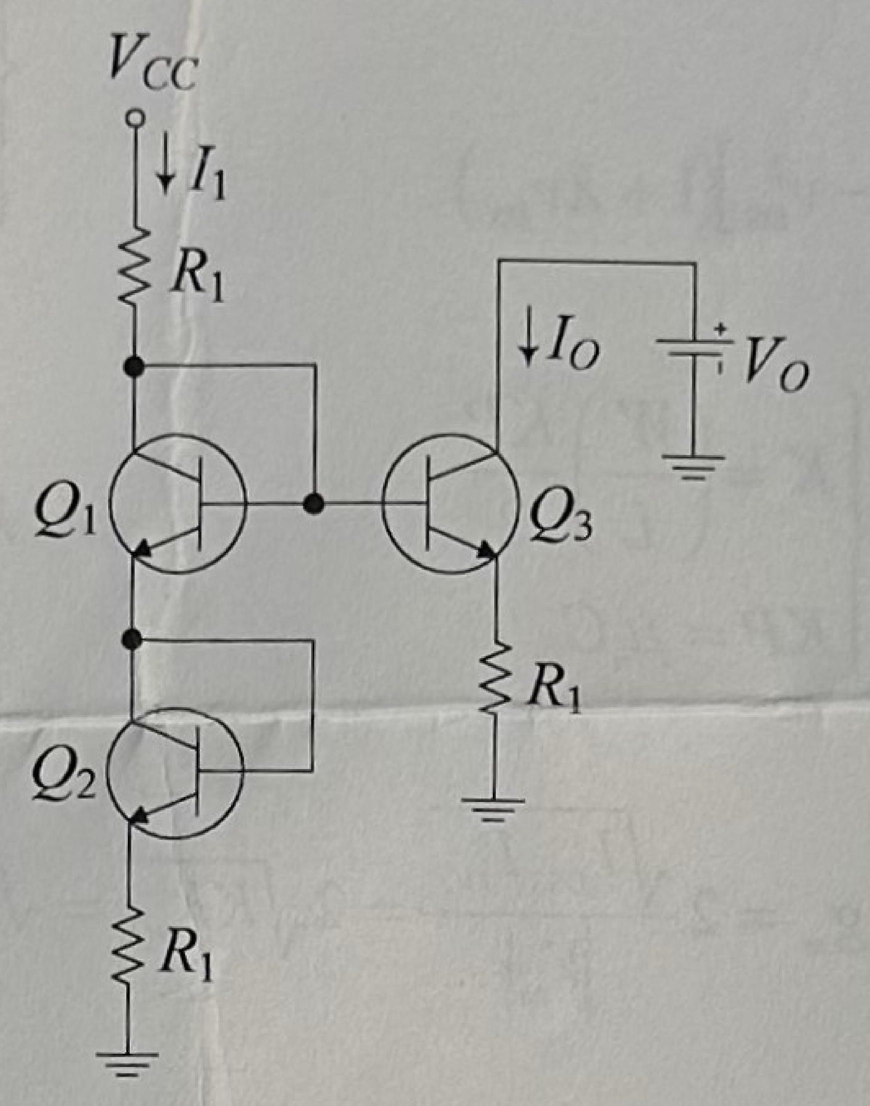
EE.ELE.210 Transistorit ja vahvistinpiirit
Tentti 12.12.2023 / Jouko Heikkinen
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Tätä paperia ei tarvitse palauttaa.
Muistathan antaa opintojaksopalautetta Norppa-järjestelmän kautta saadaksesi opintosuorituksen.

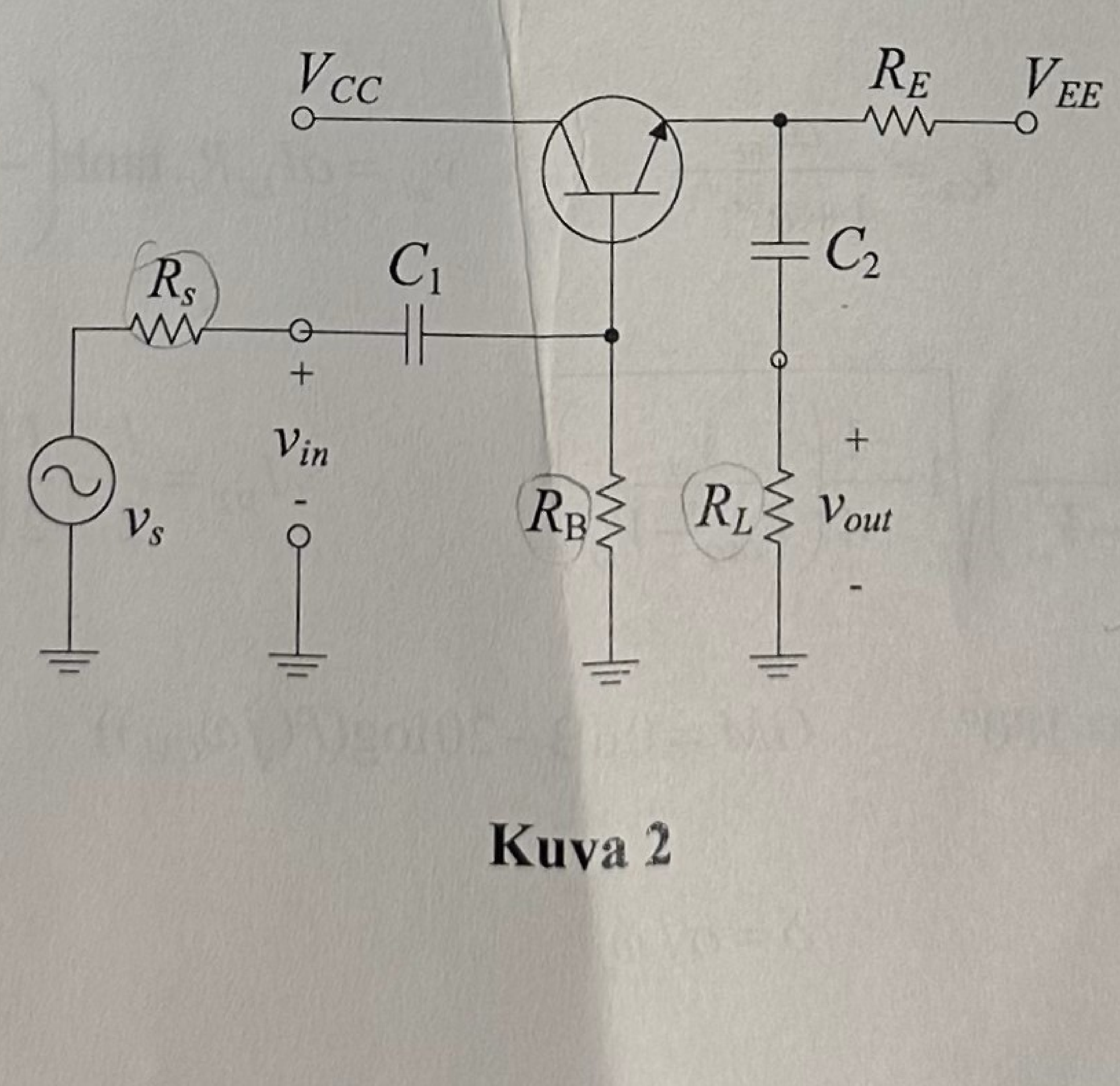
1. Piirrä lohkokaavio takaisinkytketystä vahvistimesta ja merkitse siihen oleelliset signaalit. Johda lohkokaavion avulla suljetun silmukan vahvistuksen lauseke ja tarkastele lausekkeen avulla suljetun silmukan vahvistuksen muutosherkkyyttä (herkkyyttä vahvistimen avoimen silmukan vahvistuksen muutoksille) kun kyseessä on
   a) positiivinen takaisinkytkentä
   b) negatiivinen takaisinkytkentä (6p)

2. 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 $\beta >> 1$. Minkä tyyppinen kytkentä on kyseessä? (6p)



Kuva 1

3. 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 piensignaalimalli, 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$PM = \angle T(j\omega_{PM}) + 180° \qquad GM = 0\,\mathrm{dB} - 20\log(T(j\omega_{GM})) \qquad s = -\sigma \pm j\omega$$

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