

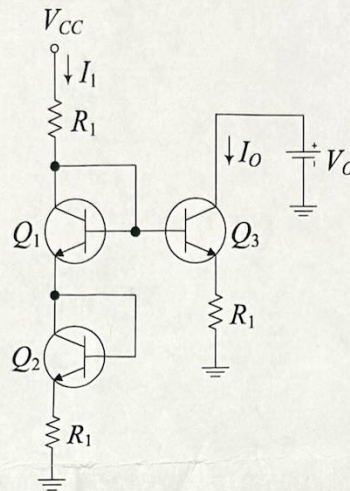
EE.ELE.210 Transistorit ja vahvistinpiirit

Tentti 09.12.2025 / Jouko Heikkinen

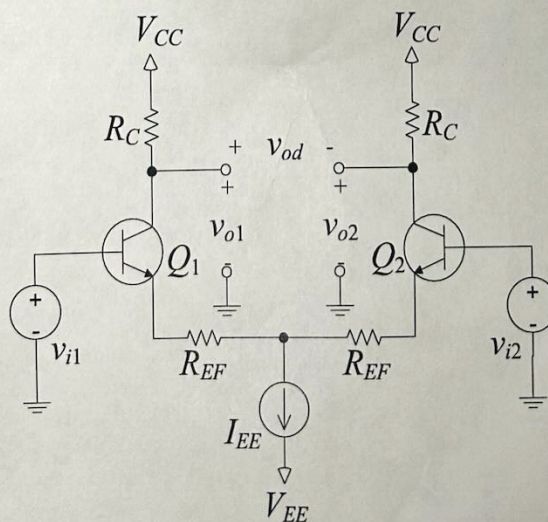
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Tätä paperia ei tarvitse palauttaa.

Muistathan antaa opintojaksopalautea Norppa-järjestelmän kautta saadaksesi opintosuorituksen.

1. Piirrä lohkokaavio takaisinkytketystä vahvistimesta (negatiivinen takaisinkytkentä) ja merkitse siihen oleelliset signaalit. Johda lohkokaaavion avulla suljetun silmukan vahvistuksen lauseke. Mihin muotoon johtamasi lauseke saadaan, kun silmukavahvistus on hyvin suuri? Mitä etua tästä saavutetaan? (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 $\beta \gg 1$. Minkä tyyppinen kytkentä on kyseessä? (6p)

**Kuva 1**

3. Piirrä kuvassa 2 esitetyn differentiaalivahvistimen piensignaalinmalli ja määritä sen avulla lausekkeet yhteismuotoiselle jännitevahvistukselle $A_{vcm} = v_{o1}/v_{icm}$ (oleta transistorit identtisiiksi) sekä eromuotoiselle jännitevahvistukselle $A_{vdb} = v_{od}/v_{id}$ (oleta, että $v_{i1} = -v_{i2}$). Kuinka suuri transistorien Q_1 ja Q_2 virtavahvistuksen tulee olla, jotta vahvistimen yhteismuotoisen signaalin vaimennussuhde olisi vähintään 100 dB kun transistorien kantavirta toimintapisteessä on $26 \mu\text{A}$ ja $R_{EF} = 3 \Omega$? Oletetaan lisäksi, että biasvirtalähteen I_{EE} ulostuloresistanssi on $6 \text{ M}\Omega$. Miten yhteismuotoisen signaalin vaimennussuhde muuttuu, jos biasvirtalähteen ulostuloresistanssi kasvaa kohti ääretöntä? (6p)

**Kuva 2**

$$Z_{in, Miller} = \frac{Z_f}{1 - A_v}$$

$$Z_{out, Miller} = \frac{A_v Z_f}{A_v - 1}$$

$$\alpha = \frac{i_c}{i_e}$$

$$e^{v_{be}(t)/V_T} \approx 1 + v_{be}(t)/V_T$$

$$\begin{cases} i_B > 0 \\ i_C = \beta i_B \\ v_{CE} > 0,2 \text{ V} \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_B > 0 \\ \beta i_B > i_C > 0 \\ v_{CE} = 0,2 \text{ V} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{BE} < 0,5 \text{ V} \\ v_{BC} < 0,5 \text{ V} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_2 \gg I_{BQ} \\ R_2 > 10 R_E \end{cases}$$

$$r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}}$$

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

$$i_E = I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1)$$

$$i_D = K v_{DS}^2$$

$$\begin{cases} v_{GS} < V_{to} \\ i_D = 0 \end{cases}$$

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

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

$$I_{DSS} = K V_{to}^2$$

$$\begin{cases} K = \left(\frac{W}{L}\right) \frac{KP}{2} \\ KP = \mu_n C_{ox} \end{cases}$$

$$\lambda \approx \frac{0,1}{L} \text{ V}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{1}{V_A}$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I}$$

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

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{Q\text{-piste}}$$

$$\frac{1}{r_d} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_{Q\text{-piste}}$$

$$g_m v_\pi = \beta i_B$$

$$GB = |A_v| f_H$$

$$R_2 \cong \frac{V_T}{I_{C2}} \ln \left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}} \right)$$

$$I_2 = \frac{A_2}{A_1} I_1$$

$$I_2 = \frac{W_2/L_2}{W_1/L_1} I_1$$

$$CMRR_s = \frac{A_{vds}}{A_{vcm}}$$

$$i_{C1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{-v_{id}/V_T}}$$

$$i_{C2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{v_{id}/V_T}}$$

$$v_{od} = \alpha I_{EE} R_C \tanh \left(-\frac{v_{id}}{2V_T} \right)$$

$$CMRR_b = \frac{A_{vdb}}{A_{vcm}}$$

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

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

$$PM = \angle T(j\omega_{PM}) + 180^\circ$$

$$GM = 0 \text{ dB} - 20 \log(T(j\omega_{GM}))$$

$$s = -\sigma \pm j\omega$$

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

$$\delta = \sigma / \omega_n$$