



## ELT-21050 Transistorivahvistimet

Tentti 17.12.2015 / Jouko Heikkinen

Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Tätä paperia ei tarvitse palauttaa. Muistathan antaa palautetta Kaiku-järjestelmän kautta saadaksesi opintosuorituksen.

1. Selvitä **lyhyesti** seuraavat käsitteet ja niiden **merkitys** elektroniikassa. (6p)
- |                                        |                           |
|----------------------------------------|---------------------------|
| a) Emitterikytketty differentiaalipari | d) Miller-kapasitanssi    |
| b) Virtatakaisinkytkentä               | e) Cascode-kytkentä       |
| c) Lähdeseuraja                        | f) Dynaaminen resistanssi |

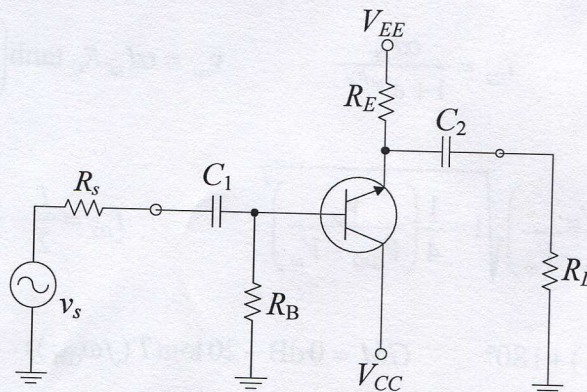
2. Mitä etuja ja haittoja on positiivisella ja negatiivisella takaisinkytkennällä? Miten negatiivisesti takaisinkytketyn vahvistimen silmukkavahvistus tulee mitoitaa, jotta suljetun silmukan vahvistus saataisiin pysymään lähes vakiona? Miten takaisinkytkennällä voidaan vaikuttaa vahvistimen kohinaominaisuuksiin? Perustelee vastauksesi lohkokaaavioesityksen avulla. (6p)

3. Virtapeili. (6p)
- a) Selosta virtapeilin rakenne ja toimintaperiaate. Mihin ja miksi sitä käytetään?
- b) Suunnittele bipolaaritransistorien ( $\beta \gg 1$ ) sekä  $+12\text{ V}$  ja  $-12\text{ V}$  käyttöjännitelähteden avulla samaa referenssivirtaa hyödyntävät  $1\text{ mA}$  virtalähde ja  $5\text{ mA}$  virtanielu. Kaikki transistorit oletetaan identtisiksi (pinta-alojen suhde saa vaihdella välillä  $1 - 5$ ) ja niiden  $|V_{BE}| = 0,6\text{ V}$ .

4. Vahvistimen silmukkavahvistus on  $T(s) = \frac{(1+s/10^2)}{(1+s/10^3)(1+s/10^5)^2(1+s/10^8)} \times T_0$  (6p)

- a) Piirrä asymptoottinen Bode-diagrammi ja määritä vaihe- ja vahvistusvarat, kun  $T_0 = 10^6$ . Onko vahvistin stabiili?
- b) Selosta kaksi menetelmää, joilla epästabiili vahvistin voidaan saada stabiiliksi. Käytä kumpaa tahansa menetelmää niin että a-kohdan vahvistimen vaihevaraksi saadaan  $+45^\circ$ .

5. Nimeä kuvassa 1 näkyvä kytkentä. Määritä vastuksen  $R_E$  arvo siten, että  $I_{BQ} = 60\text{ }\mu\text{A}$  kun  $V_{CC} = +15\text{ V}$ ,  $V_{EE} = -15\text{ V}$ ,  $R_B = 15\text{ k}\Omega$ ,  $R_s = 1\text{ k}\Omega$  ja  $R_L = 1000\text{ }\Omega$ . Piirrä keskitajuusalueen piensignaalin malli, johda jännitevahvistuksen  $A_v$  ja ulostuloimpedanssin  $Z_{out}$  lausekkeet sekä laske niiden arvo. Transistorin  $V_{BEQ} = 0,6\text{ V}$  ja  $\beta = 150$ . (6p)



Kuva 1



# ELT-21050 Transistorivahvistimet

Tentti 17.12.2015 / Jouko Heikkinen

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

Muistathan antaa palautetta Kaiku-järjestelmän kautta saadaksesi opintasuorituksen.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega_n = \sqrt{\sigma^2 + \omega^2} \quad \delta = \sigma / \omega_n \quad \eta = \frac{P_o}{P_s} \cdot 100\%$$