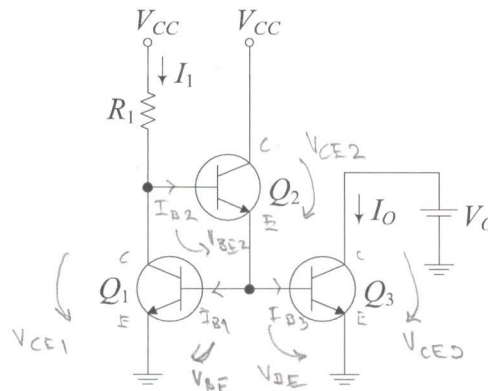
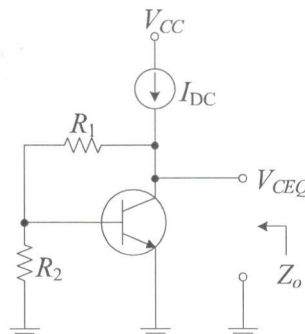


1. Piirrä lohkokaavio takaisinkytketystä vahvistimesta (negatiivinen takaisinkytkentä) ja merkitse siihen oleelliset signaalit. (6p)
  - a) Johda lohkokaavion avulla suljetun silmukan vahvistuksen lauseke. Mihin muotoon johtamasi lauseke saadaan, kun silmukkavahvistus on hyvin suuri? Mitä etua tästä saavutetaan?
  - b) Millä tavalla suuri silmukkavahvistus vaikuttaa vahvistimen muihin ominaisuuksiin?
  
2. Tarkastellaan kuvassa 1 näkyvää kytkentää. (6p)
  - a) Onko kyseessä virtalähde vai virtanielu? Johda virran  $I_O$  lauseke parametrien  $V_{BE}$ ,  $\beta$ ,  $R_1$  ja  $V_{CC}$  avulla lausuttuna. Oleta että kaikki transistorit ( $V_A = \infty$ ) toimivat lineaarisella alueella ja että kaikilla on sama  $\beta$  ja  $V_{BEQ}$ .
  - b) Mitoita vastus  $R_1$  siten, että  $I_O = 12 \text{ mA}$ , kun  $\beta = 200$ ,  $V_{BEQ} = 0,6 \text{ V}$  ja  $V_{CC} = 18 \text{ V}$ . Kuinka monta prosenttia virta  $I_O$  muuttuu, jos transistorien virtavahvistus putoaa 50 % edellä mainitusta nimellisarvostaan?
  - c) Toista b) -kohdan tehtävä (annettuja arvoja ja edellä laskemaasi arvoa käyttäen) tapauksessa jossa virta  $I_O$  toteutetaan perusmuotoisella virtapeilikytkennällä. Vertaile tuloksia. Minkä johtopäätöksen voit tämän vertailun perusteella tehdä?



Kuva 1

3. Laske kuvan 2 kytkennässä jännitteen  $V_{CEQ}$  arvo, kun  $V_{CC} = +15 \text{ V}$ ,  $I_{DC} = 5 \text{ mA}$ ,  $R_1 = 6,3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 700 \Omega$ ,  $\beta = 100$  ja  $V_{BEQ} = 0,7 \text{ V}$ . Piirrä kytkennän piensignaalinmalli, määritä ulostuloimpedanssin  $Z_o$  lauseke parametrien  $\beta$ ,  $r_{\pi}$ ,  $R_1$  ja  $R_2$  avulla ilmaistuna ja laske lausekkeen arvo. (6p)



Kuva 2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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