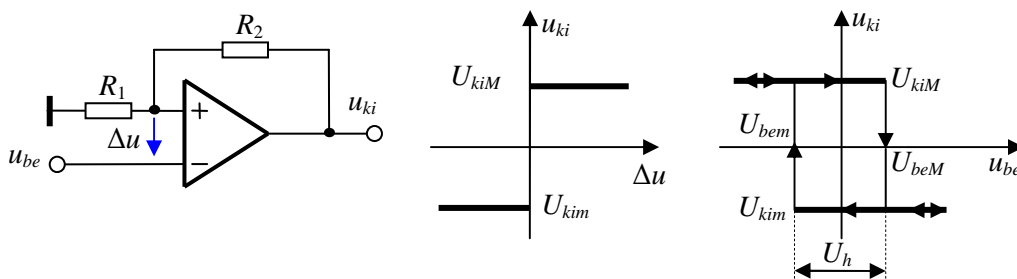


1. Ismertesse a fázisfordító hiszterézises (pozitív visszacsatolású) komparátor jellemzőit (kapcsolási rajz, $U_{be} - U_{ki}$ karakterisztika, a billenési küszöbértékek, az U_H értéke)!!

Megoldás:

Pozitív visszacsatolás \rightarrow Lavinaszerű átbillenés

A kimenet két állapotú lehet:
$$u_{ki} = \begin{cases} U_{kiM} & \text{ha } \Delta u \geq 0 \\ U_{kim} & \text{ha } \Delta u \leq 0 \end{cases}$$



A komparátor bemeneti feszültsége:
$$\Delta u = u_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - u_{be}$$

(A kimenet nem csak a bemenettől, hanem a kimenet korábbi állapotától is függ.)
Az átbillenés feltétele:

1.) Ha korábban $u_{ki} = U_{kiM}$ az átbillenés feltétele:

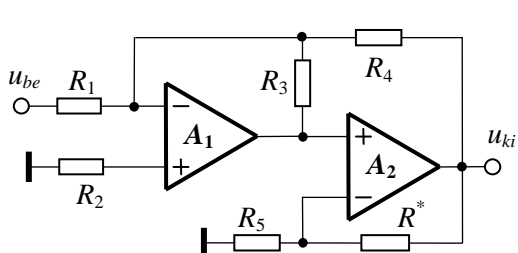
$$\Delta u = u_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - u_{be} \leq 0 \rightarrow u_{be} \geq U_{kiM} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_{bem} \geq 0 \rightarrow u_{ki} = U_{kim}$$

2.) Ha korábban $u_{ki} = U_{kim}$ az átbillenés feltétele:

$$\Delta u = u_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - u_{be} \geq 0 \rightarrow u_{be} \leq U_{kim} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_{bem} \leq 0 \rightarrow u_{ki} = U_{kiM}$$

A hiszterézis feszültség:
$$U_h = U_{bem} - U_{bem} = (U_{kiM} - U_{kim}) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

2. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit! ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$)



a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* = R$, A_1 és A_2 ideális

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* \rightarrow \infty$, A_1 és A_2 ideális

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, $R^* \rightarrow \infty$, A_1 ideális

$A_2(s) = \frac{A_0}{(1 + s/\omega_1)(1 + s/\omega_2)}$, $A_0 = 10^5$, $\omega_1 = 1 \text{ rad/s}$, $\omega_2 = 10^5 \text{ rad/s}$ d.) $\zeta = ?$ $R^* \rightarrow \infty$,

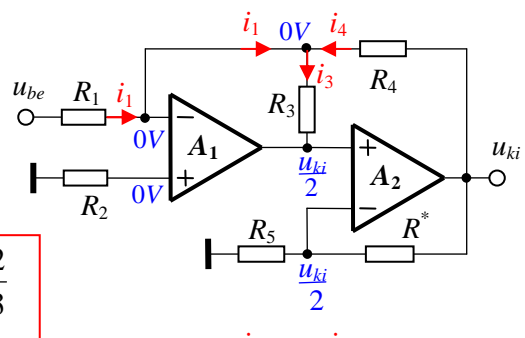
Megoldás:

a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* = R$, A_1 és A_2 ideális

Az $i_1 + i_4 = i_3$ csomóponti egyenletet a csomópontok potenciáljával felírva:

$$\frac{u_{be} - 0}{R_1} + \frac{u_{ki} - 0}{R_4} = \frac{0 - u_{ki}/2}{R_3} \quad u_{be} = -\frac{3}{2} u_{ki}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{2}{3}$$

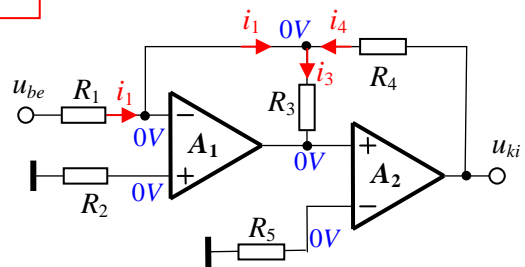


b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* \rightarrow \infty$, A_1 és A_2 ideális

A csomópontok potenciáljaiból következően: $i_3 = 0$

$$\frac{u_{be} - 0}{R_1} + \frac{u_{ki} - 0}{R_4} = 0$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_{id} = -\frac{R_4}{R_1} = -1$$



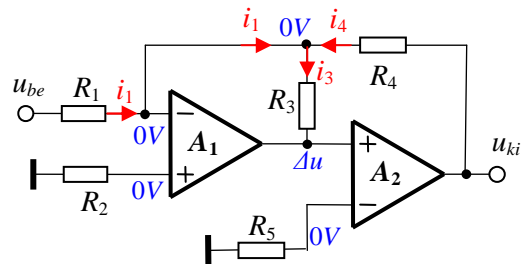
c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, $R^* \rightarrow \infty$, A_1 ideális

$$i_1 + i_4 = i_3 \rightarrow \frac{u_{be} - 0}{R_1} + \frac{u_{ki} - 0}{R_4} = \frac{0 - \Delta u}{R_3} \leftarrow \Delta u = \frac{u_{ki}}{A_2}$$

$$\frac{u_{be}}{R_1} = -\frac{u_{ki}}{R_4} - \frac{u_{ki}}{A_2 R_3} = -u_{ki} \frac{R_4 + A_2 R_3}{A_2 R_3 R_4}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = -\frac{A_2 R_3 R_4}{R_1 (R_4 + A_2 R_3)} = -\frac{R_4}{R_1} \frac{A_2 R_3 / R_4}{1 + A_2 R_3 / R_4} = A_{id} \frac{A_2(s) \beta}{1 + A_2(s) \beta}$$

ahol: $\beta = \frac{R_3}{R_4} = 1$



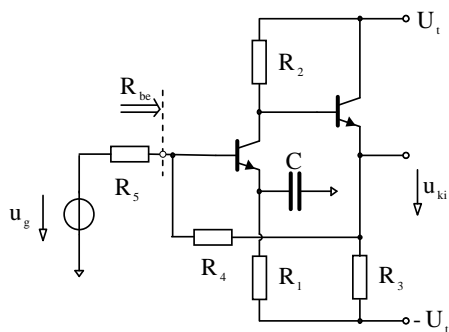
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = A_{id} \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} \frac{1}{1 + 2\zeta(s/\Omega_0) + (s/\Omega_0)^2}$$

$$\Omega_0 = \sqrt{(1 + \beta A_0) \omega_1 \omega_2} \cong \sqrt{10^5 10^5} = 10^5 \text{ rad/sec}$$

d.) $\zeta = ?$ $R^* \rightarrow \infty$,

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\omega_2/\omega_1} + \sqrt{\omega_1/\omega_2}}{\sqrt{1 + \beta A_0}} \cong \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_2}{\beta A_0 \omega_1}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{10^5}{10^5}} = \frac{1}{2}$$

3. Számítsa ki az alábbi kapcsolás kisjelű paramétereit!



$U_t = 15 \text{ V}$, $R_1 = 14,4 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 14,4 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3,75 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 100 \text{ k}\Omega$,
 T_1, T_2 : n-p-n tranzisztor, $\beta=B \rightarrow \infty$, $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$,
 $I_{E01} = 1 \text{ mA}$, $I_{E02} = 4 \text{ mA}$, $C \rightarrow \infty$,

- a.) A visszacsatolás típusa, b.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, ha $R_5=0$,
 c.) $R_{be} = ?$, d.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, ha $R_5=200\Omega$

Megoldás:

a.) A visszacsatolás típusa?

- **Negatív**, (mert az első okozat fázist fordít, a második pedig nem)
- **párhuzamos**, (mert a generátor jele és a v.cs. jel ugyanarra az elektródára jut)
- **feszültség visszacsatolás** (mert ha $R_t = 0$ akkor $u_{ki} = 0$ és ekkor megszűnik a v.cs.)

5p

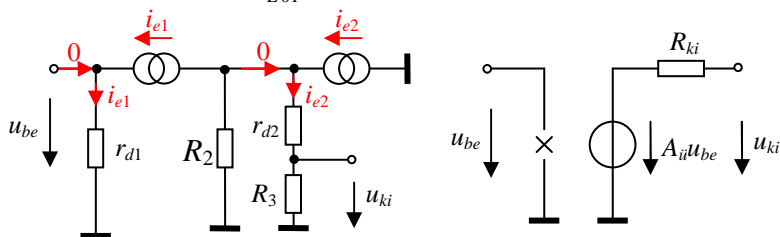
b.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, ha $R_5=0$ Az R_4 nélküli erősítő paramétereit: $r_{d1} = \frac{26\text{mV}}{I_{E01}} = 26 \Omega$ $r_{d2} = 26/4 = 6.5 \Omega$

$$A_{ii} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{r_{d1}} \frac{R_3}{r_{d2} + R_3} \cong -\frac{R_2}{r_{d1}}$$

$$A_{ii} \cong -\frac{R_2}{r_{d1}} = -\frac{14400}{26} = -553.8$$

$$R_{be} = \infty$$

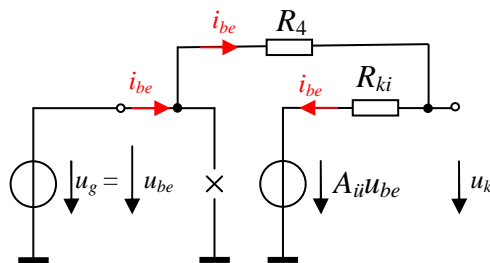
$$R_{ki} = R_3 \times r_{d2} \cong r_{d2} = 6.5 \Omega$$



Kiegészítve a kapcsolást R_4 -gyel :

$$i_{be} = \frac{u_{be} - A_{ii}u_{be}}{R_4 + R_{ki}} = u_{be} \frac{1 - A_{ii}}{R_4 + R_{ki}} \quad (*)$$

$$u_{ki} = A_{ii}u_{be} + R_{ki}i_{be} = u_{be} \left(A_{ii} + \frac{(1 - A_{ii})R_{ki}}{R_4 + R_{ki}} \right)$$



Ebből:

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_0 = A_{ii} + (1 - A_{ii}) \frac{R_{ki}}{R_4 + R_{ki}} = -553.8 + 554.8 \frac{6.5}{100006.5} = -553.76$$

5p

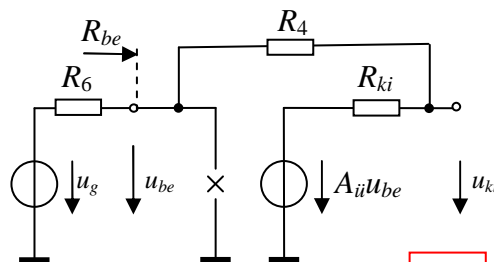
c.) $R_{be} = ?$, A (*)-ból:

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{R_4 + R_{ki}}{1 - A_{ii}} = \frac{100006.5}{554.8} = 180 \Omega$$

5p

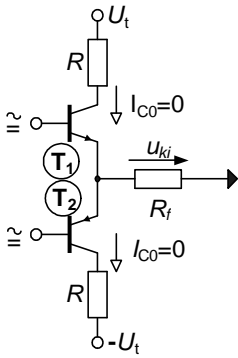
d.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, ha $R_5=200\Omega$

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{be}}{u_g} \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_{be}}{R_5 + R_{be}} A_0 = -\frac{180}{380} 553.8 = -262.3$$



5p

4. Határozza meg az alábbi „B” osztályú teljesítményfokozat paramétereit!



$$U_t = 12 \text{ V}, R_f = 5,5 \Omega, U_m = 1 \text{ V},$$

a.) $P_{D \max(1tr)} = ?$, $R = 0$, szinuszos kimeneti jel

b.) $\eta_{T \max} = ?$, $R = 0$, szinuszos kimeneti jel

c.) $P_{f \max} = ?$, $R = 0,5 \Omega$ szinuszos kimeneti jel

d.) $\eta_{T \max} = ?$, $R = 0$, négyszög alakú kimeneti jel

Megoldás:

a.) $P_{D \max(1tr)} = ?$, $R = 0$, szinuszos kimeneti jel

A két tranzisztoron a diszipált teljesítmény mint a kollektoráram amplitúdójának függvénye:

$$P_{D2tr}(I_c) = P_T(I_c) - P_f(I_c) = \frac{2}{\pi} U_t I_c - \frac{1}{2} I_c^2 R_f = -\frac{R_f}{2} I_c \left[I_c - \frac{4U_t}{\pi R_f} \right]$$

Ennek szélső értéke van az: $I_c = I_{cM} = \frac{2 U_t}{\pi R_f} = \frac{2 \cdot 12}{\pi \cdot 5,5} = 1,39 \text{ A}$

Ennél az értéknél:

$$P_{D1tr} = \frac{R_f}{4} I_{cM} \left[\frac{4U_t}{\pi R_f} - I_{cM} \right] = \frac{R_f}{4} \frac{2 U_t}{\pi R_f} \left(\frac{2 U_t}{\pi R_f} \right) = \frac{1}{\pi^2} \frac{U_t^2}{R_f} = \frac{12^2}{5,5 * \pi^2} = 2,65 \text{ W} \quad \boxed{5p}$$

b.) $\eta_{T \max} = ?$, $R = 0$, szinuszos kimeneti jel

$$I_{C \max} = I_{f \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{12 - 1}{5,5} = 2 \text{ A}$$

$$P_{f \max} = \frac{1}{2} I_{f \max}^2 R_f = 0,5 * 4 * 5,5 = 11 \text{ W}$$

$$P_{T \max}(I_{c \max}) = \frac{2}{\pi} U_t I_{c \max} = \frac{2}{\pi} 12 * 2 = 15,28 \text{ W}$$

$$\eta_{T \max} = \frac{P_{f \max}}{P_T} = \frac{11}{15,28} = 0,72 \quad \boxed{5p}$$

c.) $P_{f \max} = ?$, $R = 0,5 \Omega$ szinuszos kimeneti jel

$$I_{C \max} = I_{f \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f + R} = \frac{12 - 1}{6} = 1,83 \text{ A}$$

$$P_{f \max} = \frac{1}{2} I_{f \max}^2 R_f = 0,5 * 1,83^2 * 5,5 = 9,24 \text{ W} \quad \boxed{5p}$$

d.) $\eta_{T \max} = ?$, $R = 0$, négyszög alakú kimeneti jel

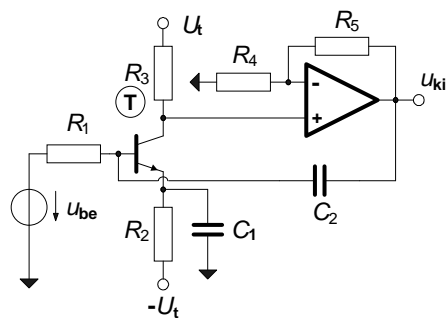
$$I_{C \max} = I_{f \max} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{12 - 1}{5,5} = 2 \text{ A}$$

$$P_{f \max} = I_{f \max}^2 R_f = 4 * 5,5 = 22 \text{ W}$$

$$P_{T \max}(I_{c \max}) = 2U_t \frac{I_{c \max}}{2} = 12 * 2 = 24 \text{ W}$$

$$\eta_{T \max} = \frac{P_{f \max}}{P_T} = \frac{22}{24} = 0,917 \quad \boxed{5p}$$

5. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!



$U_t = 15 \text{ V}, R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 7,1 \text{ k}\Omega, R_3 = 6,5 \text{ k}\Omega,$

$R_4 = 10 \text{ k}\Omega, R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ A műveleti erősítő ideális.

T: n-p-n tranzisztor, $\beta=B=99, U_{BE0} = 0,6 \text{ V},$

a.) $I_{E0} = ?,$

b.) Mekkora a kapcsolás kimenetén mérhető munkaponti feszültség (U_{ki0}), ha $I_{E0} = 2 \text{ mA}?$

c.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?,$ ha $R_1 = 200 \Omega,$ (ha a munkapont változatlan)

d.) Mekkora a kapcsolás felső 3dB-es határfrekv.-ája (ω)?, ha $C_2 = 47 \text{ pF}.$ (a tranzisztor kapacitásai elhanyagolhatók)

Megoldás:

a.) $I_{E0} = ?$

A munkapont meghatározásánál: $u_{be} = 0.$

A T emitter-körére felírható hurok egyenlet:

$$U_t = I_{B0} R_1 + U_{BE0} + I_{E0} R_2 = U_{BE0} + I_{E0} (R_2 + (1 - A) R_1)$$

$$A = \frac{B}{1 + B} = 0.99$$

Ebből:
$$I_{E0} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_2 + (1 - A) R_1} = \frac{15 - 0.6}{7.1 + 0.1} = 2 \text{ mA}$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = 13 \Omega$$

5p

b.) $U_{ki0} = ?,$ a kimeneti egyenfeszültség

A kollektor munkaponti (egyén) feszültsége (a ME ideális, $R_{be} \rightarrow \infty$):

$$U_{C0} = U_t - I_{C0} R_3 = U_t - A I_{E0} R_3 = 15 - 0.99 * 2 * 6.5 = 2.13 \text{ V}$$

$$U_{ki0} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) U_{C0} = 2 * 2.13 = 4.26 \text{ V}$$

5p

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,$ ha $C_1 \rightarrow \infty, C_2 = 0$

A bemeneti leosztás és a tranzisztoros fokozat erősítése:

$$A_{10} = \frac{u_c}{u_{be}} = \frac{(1 + \beta) r_d}{R_1 + (1 + \beta) r_d} \left(-\frac{\alpha R_3}{r_d}\right) = -\frac{\alpha R_3}{(1 - \alpha) R_1 + r_d} = -\frac{0.99 * 6.5}{0.01 * 10 + 0.013} = -56.95$$

Ahol $R_{be} = (1 + \beta) r_d = \frac{r_d}{1 - \alpha}$

A műveleti erősítő erősítése:

$$A_{20} = \frac{u_{ki}}{u_c} = 1 + \frac{R_5}{R_4} = 1 + \frac{10}{10} = 2$$

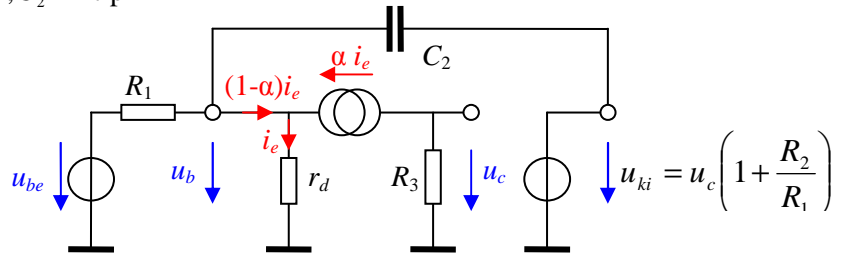
Ezzel:

$$A_0 = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_{10} A_{20} = -113.9$$

5p

d.) $\omega_f = ?$, felső határfrekvencia, ha $C_1 \rightarrow \infty, C_2 = 47 \text{ pF}$

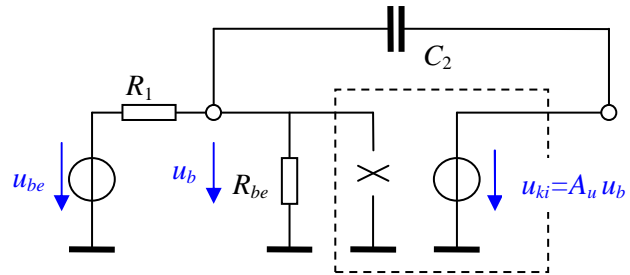
A kisjelű helyettesítő kép:



Ezzel ekvivalens hálózat:

Ahol:

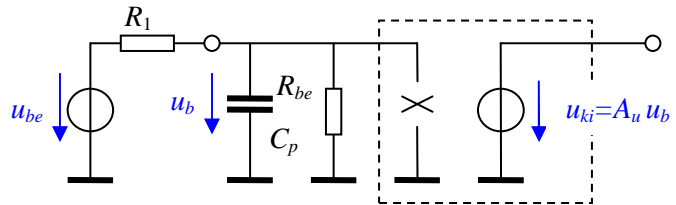
$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_b} = -\frac{\alpha R_3}{r_d} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = -\frac{0.99 * 6.5}{0.013} 2 = -990$$



$$R_{be} = (1 + \beta)r_d = 100 * 0.013 = 1.3 \text{ k}\Omega$$

A Miller-hatást figyelembe véve:

$$C_p = (1 - A_u)C_2 = (1 + 990) * 47 \text{ pF} = 46.58 \text{ nF}$$



A párhuzamos kapacitás hatása az átvitelre::

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = A_0 \frac{1}{1 + s/\omega_f}$$

2,5p

Ahol: $A_0 = -113.9$ (lásd a c.) pontot)

$$\omega_f = \frac{1}{C_p(R_1 \times R_{be})} = \frac{1}{46.58 * 10^{-9} * (10 * 1.3) * 10^3} = \frac{10^6}{53.59} = 18.66 \text{ krad/sec} \Rightarrow 2.97 \text{ kHz}$$

2,5p