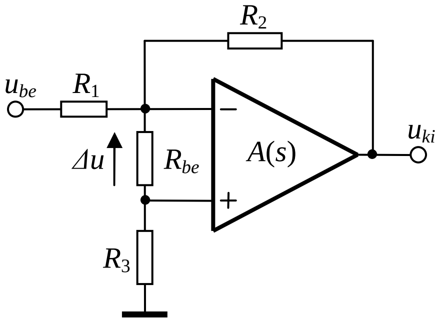
1. Ismertesse a véges erősítéssel és véges bemeneti ellenállással rendelkező műveleti erősítővel felépített **fázisfordító** alapkapcsolás visszacsatolt erősítését, ha az erősítő átviteli függvényében **egyetlen pólus** van (kapcsolási rajz (a.), az ideális erősítés értéke (c.), a visszacsatolt erősítés értéke (b.), a visszacsatolt erősítés Bode-diagramja (d.))!

Megoldás

a.)

$$A(s)=\frac{A_0}{1+\frac{s}{\omega_0}}$$



5 p.

b.)

$$\Delta u=-u_{be}L_2-u_{ki}L_1$$

Ahol:
$$L_1=\frac{R_1\times(R_{be}+R_3)}{R_1\times(R_{be}+R_3)+R_2}\,\frac{R_{be}}{R_{be}+R_3}=\frac{R_1R_{be}}{(R_1+R_2)(R_{be}+R_3)+R_1R_2}$$

$$L_2=\frac{R_2\times(R_{be}+R_3)}{R_2\times(R_{be}+R_3)+R_1}\,\frac{R_{be}}{R_{be}+R_3}=\frac{R_2R_{be}}{(R_1+R_2)(R_{be}+R_3)+R_1R_2}$$

$$u_{ki}=A\Delta u=-AL_2u_{be}-AL_1u_{ki}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)=-\frac{A(s)L_2}{1+A(s)L_1}=-\frac{L_2}{L_1}\,\frac{A(s)\beta}{1+A(s)\beta}=A_{id}\,\frac{\frac{A_0\beta}{1+s/\omega_0}}{1+\frac{A_0\beta}{1+s/\omega_0}}=A_{id}\,\frac{A_0\beta}{1+A_0\beta}\,\frac{1}{1+s/\omega_p}$$

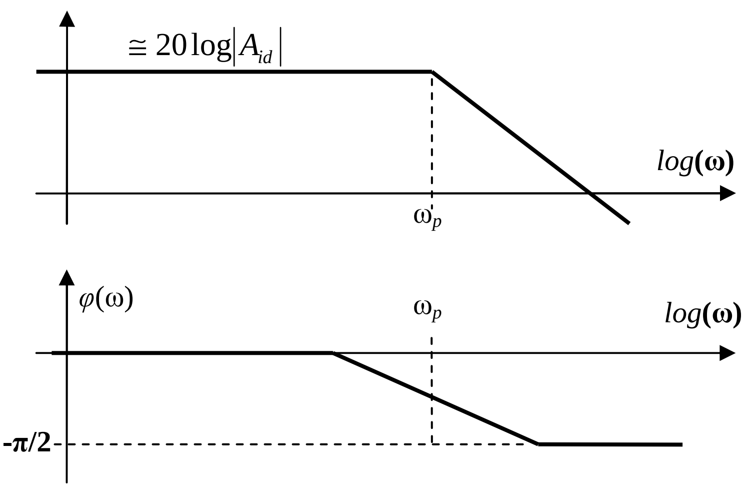
5 p.

Ahol: $\beta=L_1=\frac{R_1}{R_1+R_2}\,\frac{R_{be}}{R_{be}+R_3+R_1\times R_2}$ $\qquad \omega_p=(1+A_0\beta)\omega_0$

c.) $A_{id}=-\frac{L_2}{L_1}=-\frac{R_2}{R_1}$ $\qquad$ **Általában:** $\frac{A_0\beta}{1+A_0\beta}\cong 1$

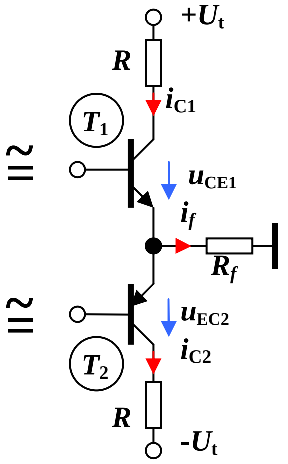
5 p.

d.)



5 p.

2.) Feladat



Határozza meg az alábbi teljesítményfokozat paramétereit („A" osztályú üzemmód, szinuszos kimeneti jel)!

$U_t = 15\,\mathrm{V}, \quad U_m = 1\,\mathrm{V}, \quad A = 1, \quad I_{C0} = 0, \quad R_f = 14\,\Omega$

$I_{C01} = I_{C02} = I_{E01} = I_{E02}$

a.) $I_{C0opt} = ?$ Ha $R = 0$

b.) $P_{f\,\max} = ?, \quad R = 0,$ és $I_{C0} = 0.5\,A$

c.) $P_{T\,\max} = ?, \quad R = 0,$ és $I_{C0} = 0.5\,A$

d.) $I_{C0opt} = ?$ Ha $R = 1\Omega$

Megoldás:

a.) ***A*** osztályban a munkapontok (I_{C0}) és a vezérlés ($\Delta i(t)$) olyan, hogy igaz:

$$i_{C1}(t) = I_{C0} + \Delta i(t) \qquad i_{C2}(t) = I_{C0} - \Delta i(t) \qquad \text{ahol: } \Delta i(t) = I_c \cos(\omega t)$$

A fogyasztón az áram: $i_f(t) = i_{C1}(t) - i_{C2}(t) = 2\Delta i(t)$

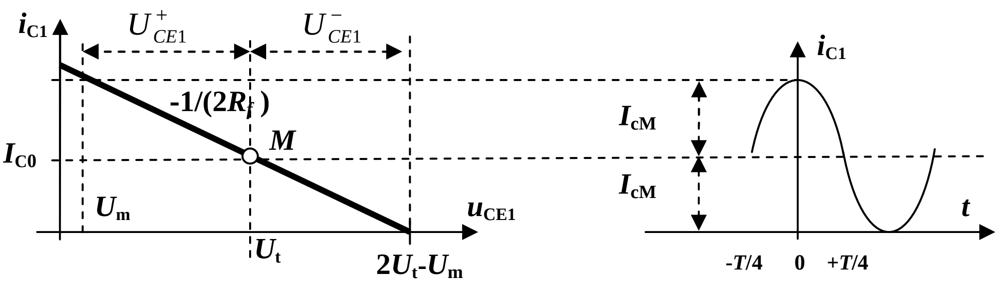
A felírható hurokegyenletek (a munkaegyenesek egyenletei):

$$U_t = u_{CE1} + i_f R_f = u_{CE1} + 2R_f \Delta i(t) = u_{CE1} + 2R_f\left[i_{C1}(t) - I_{C0}\right]$$
$$U_t = u_{EC2} - i_f R_f = u_{EC2} - 2R_f \Delta i(t) = u_{EC2} + 2R_f\left[i_{C2}(t) - I_{C0}\right]$$

Ha *a kivezérelhetőség szimmetrikus* (lásd az ábrát) akkor *optimális* a munkapont. Ennek feltétele:

$$U_{CE1}^{+} = U_{CE1}^{-} \quad \rightarrow \quad U_t - U_m = 2R_f I_{C0} \quad \rightarrow \quad \boxed{I_{C0opt} = \frac{U_t - U_m}{2R_f} = I_{cM} = \frac{14}{28} = 0.5\ A}$$

5 p.



A fogyasztón folyó maximális áram amplitúdó: $I_{f\,\max} = 2I_{cM} = 2I_{C0} = 1\,\mathrm{A}$

b.)

A fogyasztón fellépő maximális átlag teljesítmény: $\boxed{P_{f\,\max} = \frac{1}{2}\left(I_{f\,\max}\right)^2 R_f = \frac{1}{2} 1 \cdot 14 = 7\ \mathrm{W}}$

5 p.

c.)

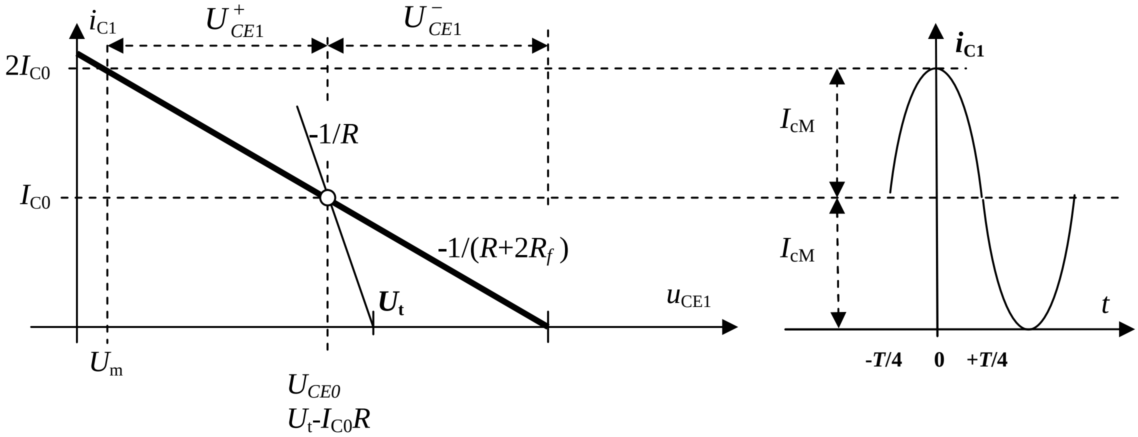
A 2 telepből felvett teljesítmény: $\boxed{P_{T\,\max} = 2U_t I_{C0opt} = 2 \cdot 15 \cdot 0{,}5 = 15\ \mathrm{W}}$

5 p.

d.) I_{C0opt} =? Ha $R = 1\Omega$

Vezérlés nélkül ($\Delta i = 0$) a munkapont: $u_{CE1} = U_{CE0}$, $i_{C1} = I_{C0}$

Ezzel: $U_t = I_{C0}R + U_{CE0} \quad \rightarrow \quad U_{CE0} = U_t - I_{C0}R$



Az optimális munkaponti áram:

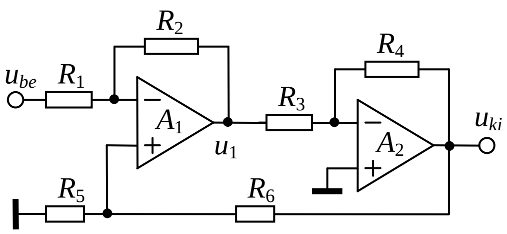
$$U^{+}_{CE1} = U^{-}_{CE1} \quad \rightarrow \quad U_{CE0} - U_m = I_{C0}(R + 2R_f) = U_t - I_{C0}R - U_m$$

Amiből:

$$\boxed{I_{C0opt} = \frac{U_t - U_m}{2(R + R_f)} = \frac{14}{30}\ A = 0.4667\ A}$$

5 p.

3.) Feladat **Számolja ki az alábbi műveleti erősítős kapcsolás paramétereit!**



$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R = 10k\Omega$

a) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 = R$, A_1 és A_2 ideális

b) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 \to \infty$, A_1 és A_2 ideális

c) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)$ = ? ha $R_4 \to \infty$,

$\boldsymbol{A_1}$ ideális, $\boldsymbol{A_2}$ erősítése $A_2(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, ω_0 = 10 rad/s, $A_0 = 10^5$

d) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)$ = ? ha $R_4 = R$, $\boldsymbol{A_2}$ ideális, $\boldsymbol{A_1}$ erősítése $A_1(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, ω_0 = 10 rad/s, $A_0 = 10^5$

Megoldás:

a) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 = R$, A_1 és A_2 ideális

Szuperpozíciót használva: $u_1 = u_{be}\left(-\frac{R_2}{R_1}\right) + u_{ki}\frac{R_5}{R_5+R_6}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = -u_{be} + u_{ki}$

$u_{ki} = u_1\left(-\frac{R_4}{R_3}\right) = -u_1 = -(-u_{be} + u_{ki})$ Amiből: $\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{1}{2}}$ **5 p.**

b) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 \to \infty$, A_1 és A_2 ideális

Mivel: az R_3-on folyó $i_3 = 0$, $\to$ $u_1 = 0$

Az A_1 bemenetein lévő feszültségek egyformák (mert különbségük zérus).

$u_{be}\frac{R_2}{R_1+R_2} = u_{ki}\frac{R_5}{R_5+R_6}$ Amiből: $\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1}$ **5 p.**

c) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(p)$ = ? ha $R_4 \to \infty$, $\boldsymbol{A_1}$ ideális, $\boldsymbol{A_2}$ erősítése $A_2(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, ω_0 = 10 rad/s, $A_0 = 10^5$

Az a.) ponthoz hasonlóan: $u_1 = -u_{be} + u_{ki}$

Másrészt: A_2 invertáló bemenetén u_1 feszültség van, mert $i_3 = 0$.

Ezzel: $u_{ki} = -A_2(s)u_1 = -A_2(s)(-u_{be} + u_{ki})$

Amiből: $\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)} = \frac{A_2(s)}{1+A_2(s)} = \frac{A_0}{1+s/\omega_0 + A_0} = \frac{A_0}{1+A_0}\frac{1}{1+s/\omega_p} \cong \boxed{\frac{1}{1+s/\omega_p}}$ **5 p.**

Ahol: $A_{id} = 1$ $\omega_p = (1+A_0)\omega_0 = 10^6\ rad/\sec$

d) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 = R$, $\boldsymbol{A_2}$ ideális, $\boldsymbol{A_1}$ erősítése $A_1(s) = \dfrac{A_0}{1+s/\omega_0}$, $\omega_0 = 10$ rad/s, $A_0 = 10^5$

Az A_1 pozitív és negatív bemenetei közötti feszültség szuperpozícióval:

$$u_{ki}\frac{R_5}{R_5+R_6} - u_{be}\frac{R_2}{R_1+R_2} - u_1\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{1}{2}\left[u_{ki} - u_{be} - u_1\right]$$

Valamint: $u_1 = A_1(s)\frac{1}{2}\left[u_{ki} - u_{be} - u_1\right]$ és $u_{ki} = -\frac{R_4}{R_3}u_1 = -u_1$

Amiből: $-u_{ki} = A_1(s)\frac{1}{2}\left[2u_{ki} - u_{be}\right] \rightarrow \frac{1}{2}A_1(s)u_{be} = (1 + A_1(s))u_{ki}$

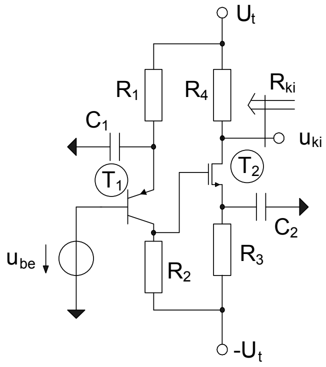
Ezzel:

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)} = \frac{A_1(s)}{2(1+A_1(s))} = \frac{1}{2}\frac{\frac{A_0}{1+s/\omega_0}}{1+\frac{A_0}{1+s/\omega_0}} = A_{id}\frac{A_0}{1+A_0}\frac{1}{1+\frac{s}{\omega_p}} \cong \boxed{A_{id}\frac{1}{1+\frac{s}{\omega_p}}}$$

5 p.

Ahol: $\boxed{A_{id} = \frac{1}{2}}$ és $\boxed{\omega_p = (1+A_0)\omega_0 = 10^6\ rad/\sec}$

4.) Példa **Számítsa ki az alábbi kapcsolás munkaponti adatait és kisjelű paramétereit!**



T_1: p-n-p tranzisztor, $\beta = B \to \infty$, U_{EB0}=0,6 V,
T_2: n-csatornás kiürítéses MOS FET, $U_t = 15$ V,
R_1=7,2kΩ, R_2=6kΩ, R_3=14kΩ, R_4=10kΩ,

$$i_D = I_{DSS}\left(\frac{u_{GS}-U_P}{U_P}\right)^2, \quad U_P = -4 \text{ V}, \quad I_{DSS} = 4 \text{ mA},$$

a.) I_{E0}=?,
b.) I_{D0} =?,
c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha r_d = 13 Ω, ha S = 1 mS, $C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$
d.) R_{ki} = ? , ha r_d = 13 Ω, S = 1 mS, $C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

Megoldás:
a.) I_{E0}=?,
T_1 emitter-körére felírható egyenáramú hurok egyenlet:

$$U_t = I_{E0}R_1 + U_{EB0} \quad \text{amiből:} \quad \boxed{I_{E0} = I_{C0} = \frac{U_t - U_{EB0}}{R_1} = \frac{15-0.6}{7.2} = 2 \;\; mA} \qquad \boxed{\textbf{5 p.}}$$

b.) I_{D0} =?,
T_2 **GATE-SOURCE** körére felírható egyenáramú hurok egyenlet:

$$I_{C09}R_2 = U_{GS0} + I_{D0}R_3 \quad \to \quad 12 = U_{GS0} + 14 I_{D0}$$

Másrészt:

$$I_{D0} = I_{DSS}\left(\frac{U_{GS0}-U_P}{U_P}\right)^2 \quad \to \quad I_{D0} = \frac{4}{(-4)^2}(U_{GS0}+4)^2$$

A kétismeretlenes, másodfokú egyenlet megoldása:

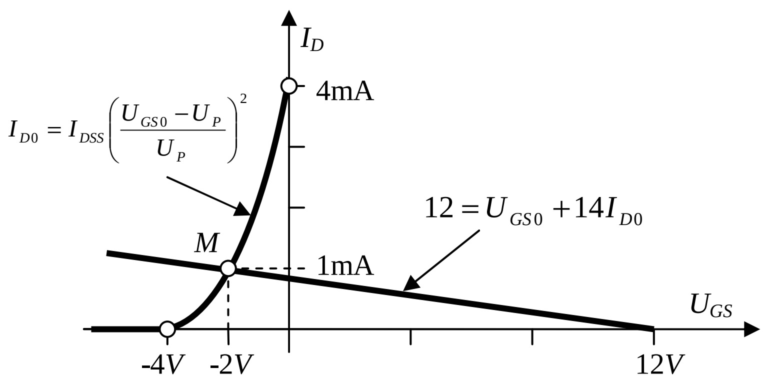
$$1.\;\; I_{D0}^2 - 2.3061 I_{D0} + 1.3061 = 0 \quad \to \quad \boxed{I_{D0} = \frac{2.3061-0.3061}{2} = 1 \;\; mA} \qquad \boxed{\textbf{5 p.}}$$

vagy

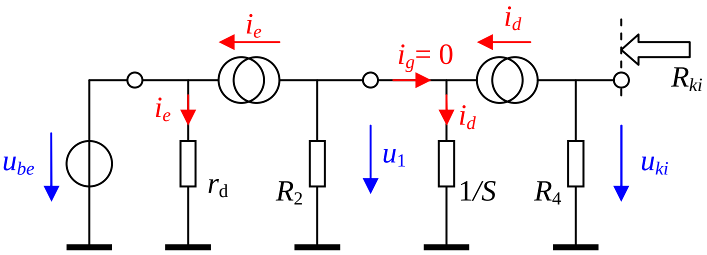
$$2.\;\; U_{GS0}^2 + 8.2857 U_{GS0} + 12.5714 = 0 \;\to\; U_{GS0} = \frac{-8.2857+4.2857}{2} = -2 \; V$$

$$I_{D0} = \frac{12 - U_{GS0}}{14} = \frac{14}{14} = 1 \;\; mA$$

Grafikusan a megoldás:



c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $r_d = 13\ \Omega$, ha $S = 1$ mS, $C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$



$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}}\frac{u_{ki}}{u_1} = \left(-\frac{R_2}{r_d}\right)\left(-\frac{R_4}{1/S}\right) = \frac{R_2}{r_d}SR_4 = \frac{6}{0.013}10 = 4615}$$

5 p.

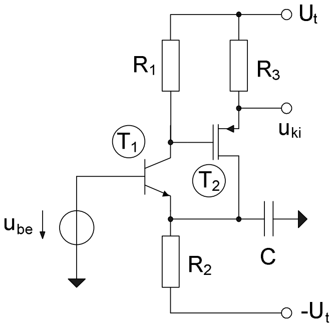
d.) $R_{ki} = ?$, ha $r_d = 13\ \Omega$, $S = 1$ mS, $C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

$$\boxed{R_{ki} = R_4 = 10\ \text{k}\Omega}$$

5 p.

5.) Példa

Határozza meg az alábbi kapcsolás kisjelű paramétereit!



T_1: n-p-n tranzisztor, $\beta = B = 99$, $r_d = 26\ \Omega$,

T_2: p-csatornás növekményes MOS FET, $S = 1$ mS

$U_t = 15$ V, $R_1 = 8$ kΩ, $R_2 = 7{,}2$ kΩ, $R_3 = 6$ kΩ

a.) A visszacsatolás típusa ($C = 0$, nincsen C)

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C \to \infty$,

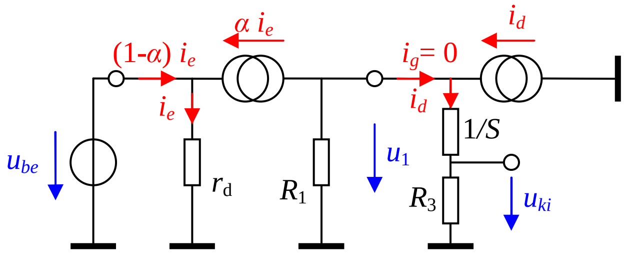
c.) $R_{be} = ?$, ha $C \to \infty$,

d.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C = 0$, nincsen C

Megoldás:

a.) A visszacsatolás típusa ($C = 0$, nincsen C): *Soros áramvisszacsatolás* **5 p.**

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C \to \infty$,



$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}}} = \left(-\frac{\alpha R_1}{r_d}\right)\frac{R_3}{1/S + R_3} =$$

$$= -\frac{0.99 * 8}{0.026}\frac{6}{1+6} = \boxed{-261.1}$$

5 p.

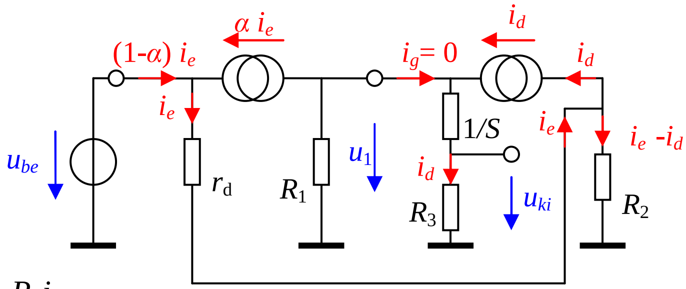
c.) $R_{be} = ?$, ha $C \to \infty$,

$$\boxed{R_{be}} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{r_d i_e}{(1-\alpha)i_e} = \frac{r_d}{1-\alpha} = (1+\beta)r_d = 100 * 0.026 = \boxed{2.6\ k\Omega}$$

5 p.

d.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C = 0$, nincsen C

A felírható egyenletek:



1.) $i_d = \dfrac{u_{ki}}{R_3}$

2.) $u_1 = -\alpha R_1 i_e = (1/S + R_3)i_d$

3.) $u_{be} = r_d i_e + (i_e - i_d)R_2 = (r_d + R_2)i_e - R_2 i_d$

A 2.)-ből: $i_e = -\dfrac{1+SR_3}{\alpha R_1 S} i_d = -\dfrac{1+SR_3}{\alpha R_1 SR_3} u_{ki}$

Behelyettesítve ezt és az 1.)-et a 3.)-ba:

$$\frac{u_{be}}{u_{ki}} = -\frac{r_d + R_2}{\alpha R_1}\frac{1+SR_3}{SR_3} - \frac{R_2}{R_3} = -\frac{(r_d + R_2)(1+SR_3) + R_2\alpha R_1 S}{\alpha R_1 SR_3}$$

Amiből:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_1 SR_3}{(r_d + R_2)(1+SR_3) + (R_2/R_3)\alpha R_1 SR_3} = -\frac{A}{1+\beta A}$$

Ahol:

$$A = \frac{\alpha R_1}{r_d + R_2}\frac{SR_3}{1+SR_3} = \frac{0.99*8}{7.226}\frac{6}{7} = 1.096*0.8571 = 0.9395$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_2} = \frac{7.2}{6} = 1.2$$

Végül:

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}}} = -\frac{A}{1+\beta A} = -\frac{0.9395}{1+1.2*0.9395} = -\frac{0.9395}{1.8456} = \boxed{-0.4416}$$

5 p.