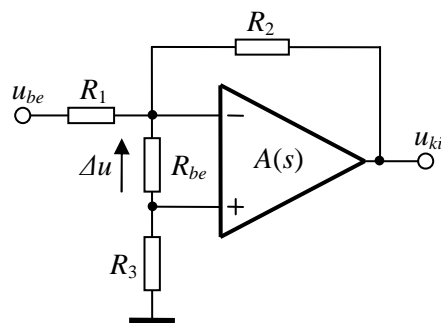


1. Ismertesse a véges erősítéssel és véges bemeneti ellenállással rendelkező műveleti erősítővel felépített fázisfordító alapkapsolás visszacsatolt erősítését, ha az erősítő átviteli függvényében két pólus van (kapcsolási rajz, a visszacsatolt erősítés általános alakja (másodfokú átviteli függvény), a ζ csillapítási tényező értéke, az Ω_0 törésponti frekvencia értéke)!

Megoldás:

Az R_{be} bemeneti ellenállást kiemelve a ME-ből:



$$A(s) = \frac{A_0}{\left(1 + \frac{s}{\omega_1}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_2}\right)}$$

$$\begin{aligned} \frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) &= A_{id} \frac{A(s)\beta}{1 + A(s)\beta} = A_{id} \frac{A_0\beta}{1 + A_0\beta} \frac{1}{1 + \frac{s/\omega_1 + s/\omega_2}{1 + A_0\beta} + \frac{s^2}{\omega_1\omega_2(1 + A_0\beta)}} = \\ &= A_{id} \frac{A_0\beta}{1 + A_0\beta} \frac{1}{1 + 2\zeta \frac{s}{\Omega_0} + \frac{s^2}{\Omega_0^2}} \end{aligned}$$

Ahol: $A_{id} = -\frac{R_2}{R_1}$ $\Omega_0 = \sqrt{\omega_1\omega_2(1 + A_0\beta)}$ $\zeta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\omega_1/\omega_2} + \sqrt{\omega_2/\omega_1}}{\sqrt{(1 + A_0\beta)}}$

Részleteiben:

$$\Delta u = -u_{be}L_2 - u_{ki}L_1 \quad \text{és} \quad u_{ki} = A\Delta u = -AL_2u_{be} - AL_1u_{ki}$$

Ahol:

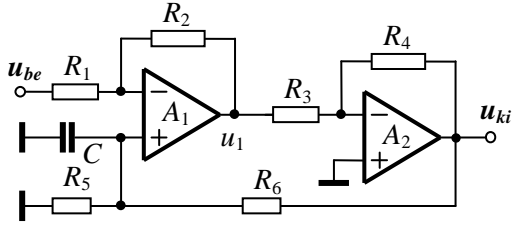
$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{R_1 \times (R_{be} + R_3)}{R_1 \times (R_{be} + R_3) + R_2} \frac{R_{be}}{R_{be} + R_3} = \frac{R_1 R_{be}}{(R_1 + R_2)(R_{be} + R_3) + R_1 R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{R_{be}}{R_{be} + R_1 \times R_2 + R_3} \\ L_2 &= \frac{R_2 \times (R_{be} + R_3)}{R_2 \times (R_{be} + R_3) + R_1} \frac{R_{be}}{R_{be} + R_3} = \frac{R_2 R_{be}}{(R_1 + R_2)(R_{be} + R_3) + R_1 R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_{be}}{R_{be} + R_1 \times R_2 + R_3} \end{aligned}$$

Ezekből:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = -\frac{A(s)L_2}{1 + A(s)L_1} = \left(-\frac{L_2}{L_1}\right) \frac{A(s)L_1}{1 + A(s)L_1} = A_{id} \frac{A(s)\beta}{1 + A(s)\beta}$$

Innen: $\beta = L_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{R_{be}}{R_{be} + R_3 + R_1 \times R_2}$ $A_{id} = -\frac{L_2}{L_1} = -\frac{R_2}{R_1}$

2. Számítsa ki az alábbi kapcsolás paramétereit!



$R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = R = 10 \text{ k}\Omega$

a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, A_1 és A_2 ideális, $R_4 = R$, $C = 0$,

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, A_1 és A_2 ideális, $R_4 \rightarrow \infty$, $C = 0$,

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, A_1 ideális, $R_4 \rightarrow \infty$, $C = 0$, $A_2(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_0}$, $A_0 = 10^5$, $\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$,

d.) $C = ?$, $\zeta = \frac{1}{2}$, A_1 ideális, $R_4 \rightarrow \infty$, $A_2(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_0}$, $\omega_0 < \frac{2}{CR}$

Megoldás:

a) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $R_4 = R$, A_1 és A_2 ideális, $C = 0$

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:

$A_{ida} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{1}{2}$

5 p.

b) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $R_4 \rightarrow \infty$, A_1 és A_2 ideális, $C = 0$

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

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:

$A_{idb} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1$

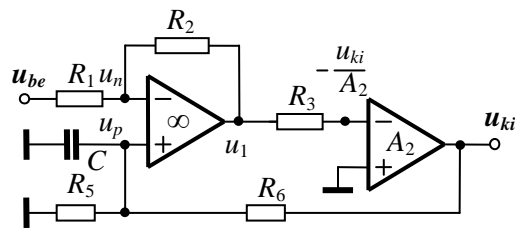
5 p.

c) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$ ha $R_4 \rightarrow \infty$, $C = 0$, A_1 ideális, A_2 erősítése $A_2(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_0}$, $\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$, $A_0 = 10^5$

Mivel: az R_3 -on folyó $i_3 = 0$, $\rightarrow u_1 = -\frac{u_{ki}}{A_2}$

Mivel: A_1 ideális, ezért: $u_n = u_p$.

$u_n = u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = u_{ki} \frac{R_5}{R_5 + R_6}$



$\frac{1}{2} u_{be} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{A_2} + 1 \right) u_{ki} = \frac{1}{2} \frac{1 + A_2}{A_2} u_{ki}$ $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = \frac{A_2(s)}{1 + A_2(s)} = \frac{A_0}{1 + A_0} \frac{1}{1 + s/\omega_p} \cong \frac{1}{1 + s/\omega_p}$

5 p.

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

d.) $C = ?$, $\zeta = \frac{1}{2}$, A_1 ideális, $R_4 \rightarrow \infty$, $A_2(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_0}$, $\omega_0 < \frac{2}{CR}$

A feladat hasonló az előző, c.) pontbeli feladathoz, az alábbi különbséggel:

$$R_5 \Rightarrow Z_5 = R_5 \times \frac{1}{sC} = \frac{R}{1 + sRC}$$

$$u_n = u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = u_{ki} \frac{Z_5}{Z_5 + R_6} = u_p$$

Ahol: $\frac{Z_5}{Z_5 + R_6} = \frac{1}{2 + sRC} = \frac{1}{2} \frac{1}{1 + sRC/2} = \frac{1}{2} \frac{1}{1 + s/\omega_1}$ $\omega_1 = \frac{2}{RC}$

Ezzel: $\frac{1}{2} u_{be} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{1 + s/\omega_1} \right) u_{ki} = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + s/\omega_0}{A_0} + \frac{1}{1 + s/\omega_1} \right) u_{ki} = \frac{1}{2} \frac{(1 + s/\omega_1)(1 + s/\omega_0) + A_0}{A_0(1 + s/\omega_1)} u_{ki}$

Ebből:

$$\frac{u_{ki}(s)}{u_{be}} = \frac{A_0}{1 + A_0} \frac{1 + s/\omega_1}{1 + 2\zeta \frac{s}{\Omega_0} + \frac{s^2}{\Omega_0^2}}$$

2.5 p.

Ahol: $\Omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_0 (1 + A_0)}$ $\zeta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\omega_1/\omega_0} + \sqrt{\omega_0/\omega_1}}{\sqrt{1 + A_0}}$

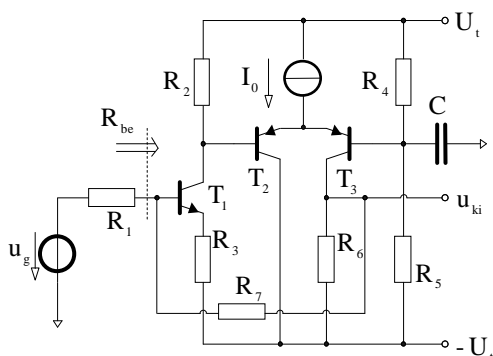
Bevezetve az: $x = \sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_0}}$ $\zeta = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\omega_1/\omega_0} + \sqrt{\omega_0/\omega_1}}{\sqrt{1 + A_0}} \cong \frac{1}{2} \frac{x + 1/x}{\sqrt{A_0}} = \frac{1}{2}$

$$x + \frac{1}{x} = \sqrt{A_0} = \sqrt{10^5} \cong x$$

Ebből: $\omega_1 = A_0 \omega_0 = 10^6 \text{ rad/sec}$ $\Rightarrow C = \frac{2}{R\omega_1} = \frac{2}{10^4 10^6} = 0.2 \text{ nF} = 200 \text{ pF}$

2.5 p.

3. Számítsa ki az alábbi kapcsolás kiszelű paramétereit!



- $U_t = 12 \text{ V}, R_1 = 500 \Omega, R_2 = 3 \text{ k}\Omega, R_3 = 5,7 \text{ k}\Omega, R_6 = 12 \text{ k}\Omega,$
 $R_4 = 60 \text{ k}\Omega, R_5 = 180 \text{ k}\Omega, I_0 = 2 \text{ mA},$
 $T_1: \text{n-p-n tranzisztor}, \beta_1 = B_1 \rightarrow \infty, U_{BE0} = 0,6 \text{ V}, C \rightarrow \infty,$
 $T_2, T_3: \text{p-n-p tranzisztor}, \beta_2 = B_2 = \beta_3 = B_3 \rightarrow \infty, U_{EB0} = 0,6 \text{ V},$
a.) A visszacsatolás típusa? **b.)** $I_{E01} = ?, I_{E02} = ?, I_{E03} = ?,$
 $R_7 \rightarrow \infty,$
c.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?, r_{d1} = 13 \Omega, r_{d2} = r_{d3} = 26 \Omega, R_7 \rightarrow \infty,$
d.) $R_{be} = ?, R_7 = 100 \text{ k}\Omega$

Megoldás:

a.) A visszacsatolás típusa?

A visszacsatolás:

Negatív, mert az első fokozat fázist fordít, a második(diff.er.) meg nem.

Párhuzamos, mert a bemenő jel és a visszacsatolt jel azonos elektródán.

Feszültség v.cs., mert ha $R_t = 0, u_{ki} = 0$ és ekkor a visszacsatoló jel is zérus.

5 p.

b.) $I_{E01} = ?, I_{E02} = ?, I_{E03} = ?, R_7 \rightarrow \infty,$

$$u_{be} = 0 \quad U_t = U_{BE0} + I_{E01} R_3 \Rightarrow I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_3} = \frac{11,4}{5,7} = 2 \text{ mA}$$

2.5 p.

$$U_{B02} = U_t - I_{C01} R_2 = 12 - 2 * 3 = 6 \text{ V} \quad U_{B03} = 2U_t \frac{R_5}{R_5 + R_4} - U_t = 24 \frac{180}{240} - 12 = 6 \text{ V}$$

Mivel $U_{B02} = U_{B03},$ ezért: $I_{E02} = I_{E03} = \frac{I_0}{2} = 1 \text{ mA}$

2.5 p.

c.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?, r_{d1} = 13 \Omega, r_{d2} = r_{d3} = 26 \Omega, R_7 \rightarrow \infty$

$R_{be} \rightarrow \infty$ (mert $\beta_1 \rightarrow \infty$) nincs bemeneti és a két fokozat közötti leosztás (mert $\beta_2 \rightarrow \infty$)

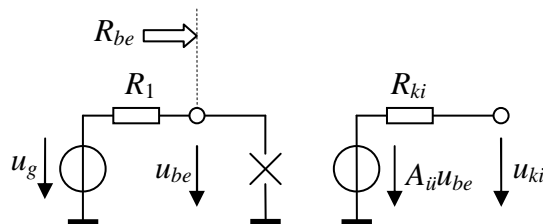
$$R_{ki} = R_6 = 12 \text{ k}\Omega$$

$$A_1 = \frac{u_2}{u_{be}} = \left(-\frac{R_2}{r_{d1} + R_3} \right) = -\frac{3}{5,713} = -0,525$$

$$A_2 = \frac{u_{ki}}{u_2} = \frac{R_6}{r_{d2} + r_{d3}} = \frac{12000}{52} = 230,8$$

$$A_{ii} = \frac{u_{ki}}{u_g} = A_1 A_2 = -121,1$$

5 p.

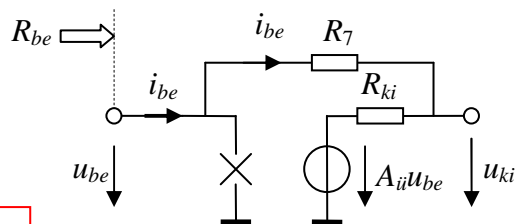


d.) $R_{be} = ?, R_7 = 100 \text{ k}\Omega$

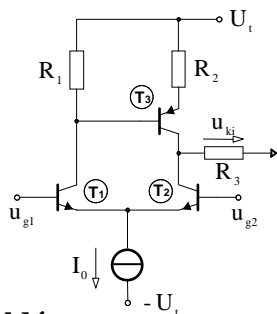
Csomóponti potenciálokkal:

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_{be}}{\frac{u_{be} - A_{ii} u_{be}}{R_7 + R_{ki}}} = \frac{R_7 + R_6}{1 - A_{ii}} = \frac{112}{122,1} = 0,917 \text{ k}\Omega$$

5 p.



4. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!



T_1, T_2 : azonos n-p-n tranzisztorok, T_3 : p-n-p tranzisztor, $\beta = B \rightarrow \infty$,
 $U_{BE01} = U_{BE02} = U_{EB03} = 0.6V$, $R_1 = 8,3 k\Omega$, $R_2 = 7 k\Omega$, $R_3 = 10 k\Omega$,
 $I_0 = 2 mA$, $U_t = 15 V$,

- a.) Mekkora a differenciális erősítés (A_D)?
- b.) Mekkora a közös módusú erősítés (A_K)?
- c.) Mekkora a kimeneti offset feszültség (U_{kioff})?
- d.) Mekkora a bemenetre redukált offset feszültség (U_{beoff})?

Megoldás:

a.) Mekkora a differenciális erősítés (A_D)? $A_D = \frac{u_{ki}}{u_d}$

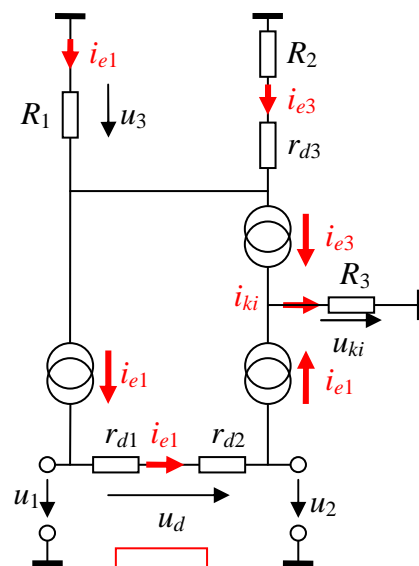
Ahol: $u_1 = \frac{u_d}{2}$, $u_2 = -\frac{u_d}{2} \Rightarrow u_1 - u_2 = u_d$

$i_{e1} = \frac{u_d}{r_{d1} + r_{d2}} = \frac{u_d}{2r_{d1}}$ $u_3 = R_1 i_{e1} = \frac{R_1}{2r_{d1}} u_d$

$i_{e3} = \frac{u_3}{r_{d3} + R_2} = \frac{R_1}{2r_{d1}} \frac{1}{r_{d3} + R_2} u_d$

$u_{ki} = (i_{e1} + i_{e3})R_3 = \left(\frac{R_3}{2r_{d1}} + \frac{R_1}{2r_{d1}} \frac{R_3}{r_{d3} + R_2} \right) u_d$

$A_D = \frac{u_{ki}}{u_d} = \frac{R_3}{2r_{d1}} \left(1 + \frac{R_1}{r_{d3} + R_2} \right) = \frac{10000}{52} \left(1 + \frac{8.3}{7.024} \right) = 419.6$



5 p.

A munkaponti áramok: $I_{E01} = I_{E02} = \frac{I_0}{2} = 1 mA \Rightarrow r_{d1} = r_{d2} = \frac{26mV}{1mA} = 26\Omega$

$I_{E03} = \frac{R_1 I_{E01} - U_{EB03}}{R_2} = \frac{8.3 - 0.6}{7} = 1.1 mA \Rightarrow r_{d3} = \frac{26mV}{1.1mA} = 24\Omega$

b.) Mekkora a közös módusú erősítés (A_K)? $A_K = \frac{u_{ki}}{u_k}$ ahol: $u_k = u_1 = u_2$

Ha $u_1 = u_2$, akkor $u_d = 0$ és ezért $i_{e1} = 0 \Rightarrow u_3 = 0 \Rightarrow i_{e3} = 0 \Rightarrow u_{ki} = 0$

Ezért: $A_K = \frac{u_{ki}}{u_k} = 0$

5 p.

c.) Mekkora a kimeneti offset feszültség (U_{kioff})?

$U_1 = U_2 = 0$ $U_{kioff} = (I_{E03} - I_{E02})R_3 = (1.1 - 1)10 = 1 V$

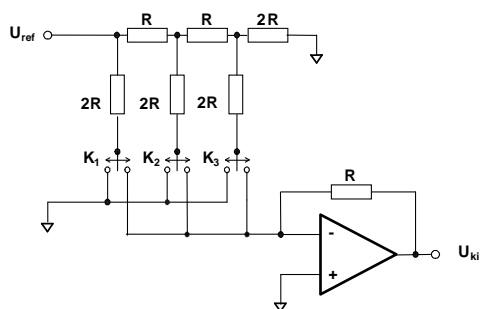
5 p.

d.) Mekkora a bemenetre redukált offset feszültség (U_{beoff})?

$U_{beoff} = \frac{U_{kioff}}{A_D} = \frac{1V}{419.6} = 2.38 mV$

5 p.

5. Határozza meg az alábbi áramkör paramétereit!



$U_{ref} = 10\text{ V}, \quad R = 1\text{ k}\Omega$

- a.) Milyen áramkör látható az ábrán?
- b.) $U_{ki} = ?$, K_1 és K_2 a földön, K_3 a műveleti erősítő negatív bemenetén, az erősítő ideális
- c.) $U_{ki} = ?$, K_3 a földön, K_1 és K_2 a műveleti erősítő negatív bemenetén, az erősítő ideális
- d.) $U_{ki} = ?$, K_2 és K_3 a földön, K_1 a műveleti erősítő negatív bemenetén, az erősítő offset feszültsége $U_{off} = 1\text{ mV}$

Megoldás:

a.) Milyen áramkör látható az ábrán?

Az ábrán egy 3-bites, unipoláris D-A átalakító áramköre látható.

A működés szempontjából fontos észrevenni:

- 1.) A $2R$ értékű ellenállások alsó végei a kapcsolók állásától függetlenül mindig föld-potenciálban vannak (valódi, vagy virtuális föld).
- 2.) A $2R$ - R létra bemeneti impedanciája (U_{ref} felől) minden fokozatban R értékű. Ennek következtében a $2R$ ellenállásokon folyó áram balról jobbra haladva minden fokozatban megfeleződik.

Így a K_1 kapcsolón: $I_1 = \frac{U_{ref}}{2R} = \frac{10}{2} = 5\text{ mA}$

a K_2 kapcsolón: $I_2 = 2.5\text{ mA}$ és

a K_3 kapcsolón: $I_3 = 1.25\text{ mA}$ áram folyik

b.) $U_{ki} = ?$, K_1 és K_2 a földön, K_3 a műveleti erősítő negatív bemenetén, az erősítő ideális

Jelöljük a kapcsolók ezen állását (ezt a bemeneti kombinációt) 001-el!

A műveleti erősítő negatív bemenete és a kimenet között lévő R ellenálláson átfolyó áram ennél a bemeneti kombinációnál I_3 és így:

$$U_{ki}(001) = -I_3 R = -1.25\text{ V}$$

5p

c.) $U_{ki} = ?$, K_3 a földön, K_1 és K_2 a műveleti negatív bemenetén, az erősítő ideális

Jelöljük a kapcsolók ezen állását (ezt a bemeneti kombinációt) 110-el!

$$U_{ki}(110) = -(I_1 + I_2)R = -7.5\text{ V}$$

5p

d.) $U_{ki} = ?$, K_2 és K_3 a földön, K_1 a műveleti erősítő negatív bemenetén, az erősítő offset feszültsége $U_{off} = 1\text{ mV}$

$$U_{ki}(100) = -I_1 R = -5\text{ V}$$

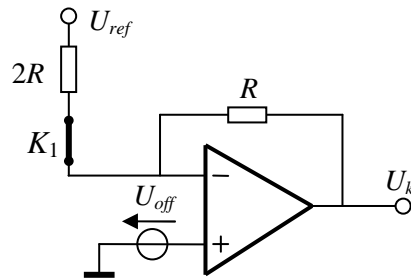
Ha $U_{off} = 0$ (ideális eset)

Ha az erősítő "ofsztos":

- 1.) A nem-ideális erősítőt **helyettesítjük** egy ideális erősítővel és egy U_{off} nagyságú feszültség generátorral.
 2.) A kapcsolás alapján a kimenő feszültséget szuperpozícióval számoljuk:

$$U_{ki}(100) = \left(-\frac{R}{2R}\right)U_{ref} \pm \left(1 + \frac{R}{2R}\right)U_{off}$$

$$U_{ki}(100) = -5 \text{ V} \mp 1.5 \text{ mV} = \begin{cases} -5001.5 \text{ mV} \\ -4998.5 \text{ mV} \end{cases}$$



5p

(U_{ref} igazi feszültség generátor, ezért az ellenállás-létra további elemei érdektelenek.)