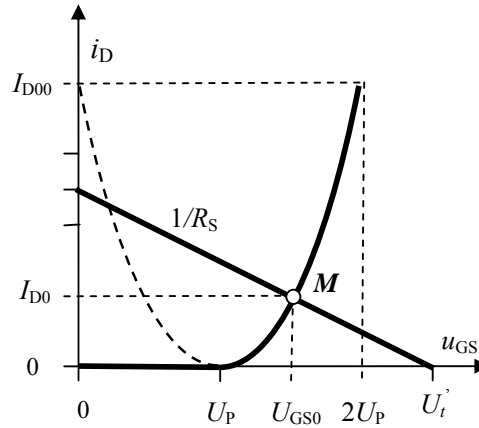
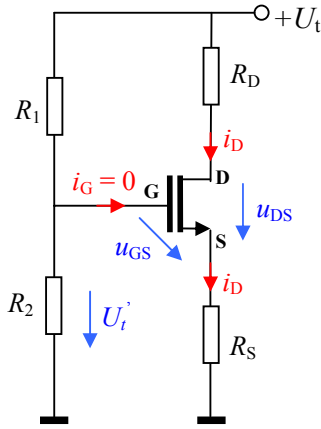


1. Ismertesse az n-csatornás nyitó típusú karakterisztikával rendelkező FET-ek munkapontbeállításával kapcsolatos alábbi fogalmakat (egy telepes munkapontbeállító áramkör gate osztóval kapcsolási rajz, a munkaponti  $I_{D0}$  számítása négyzetes karakterisztika esetén ( $U_P > 0$  és  $I_{D00}$  adott), az elzáródáshoz szükséges drain feszültség minimális értéke, az  $S_u$  feszültségstabilitási tényező értéke)!

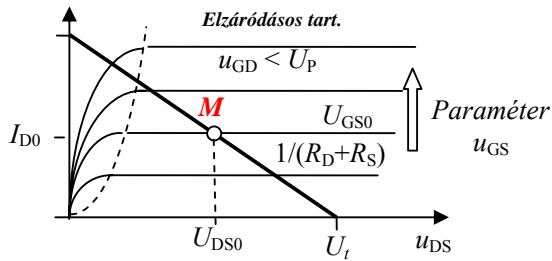


$$I_{D0} = \begin{cases} I_{D00} \left( \frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2 & \text{ha } U_{GS} > U_P \\ 0 & \text{ha } U_{GS} \leq U_P \end{cases}$$

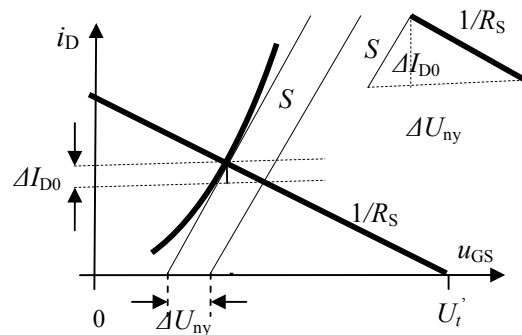
$$U_t' = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

A transzfer karakterisztika munkaegyenesének egyenlete:  $U_t' = u_{GS} + i_D R_S$

A kimeneti karakterisztika és a munkaegyenes:



Elzáródásos tartomány:  $u_{GD} < U_P$



$$\Delta U_{ny} = (1/S + R_S) \Delta I_{D0} \text{ a}$$

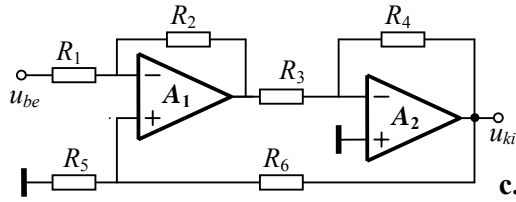
A transzfer karakterisztika meredeksége

munkapontban:  $S = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{U_{GS0}} = \frac{2I_{D0}}{U_{GS0} - U_P}$

A DRAIN áram érzékenysége a nyitó feszültség megváltozására:

$$S_u = \frac{\Delta I_{D0}}{\Delta U_{ny}} = \frac{1}{1/S + R_S}$$

2. Határozza meg az alábbi műveleti erősítős kapcsolás paramétereit!



$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$$

- a.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ,  $A_1$  és  $A_2$  ideális,  $R_4 = R$ ,  
 b.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ,  $A_1$  és  $A_2$  ideális,  $R_4 = \infty$ ,  
 c.)  $U_h = ?$ , ha  $U_{off1} = 1 \text{ mV}$  és  $U_{off2} = 0$ ,  $R_4 = R$ ,  $U_{be} = 0$ ,  
 d.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$ ,  $A_1$  ideális,  $R_4 = \infty$ , és  $A_2(s) = \frac{A_{20}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$

ahol  $A_{20} = 10^5$ , és  $\omega_0 = 10 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ ,  $\omega_p = ?$

Megoldás:

- a.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ,  $A_1$  és  $A_2$  ideális,  $R_3 = R$ ,

Az  $A_2$  erősítése ebben az esetben  $-1$ , így  $A_1$  kimenetén a feszültség:  $-u_{ki}$ .

Az  $A_1$  negatív bemenetén lévő feszültséget szuperpozícióval számolva és tekintetbe véve, hogy ennek meg kell egyeznie a pozitív bemeneten lévő feszültséggel, írhatjuk:

$$u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - u_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = u_{ki} \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad \rightarrow \quad u_{be} \frac{1}{2} - u_{ki} \frac{1}{2} = u_{ki} \frac{1}{2}$$

Ebből:

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

5p

- b.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ,  $A_1$  és  $A_2$  ideális,  $R_3 = \infty$ ,

Az  $A_2$  erősítése ebben az esetben  $-\infty$ , így  $A_1$  kimenetén a feszültség csak zérus lehet.

Az  $A_1$  negatív bemenetén lévő feszültséget számolva és tekintetbe véve, hogy ennek most is meg kell egyeznie a pozitív bemeneten lévő feszültséggel, írhatjuk:

$$u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = u_{ki} \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad \rightarrow \quad u_{be} \frac{1}{2} = u_{ki} \frac{1}{2}$$

Ebből:

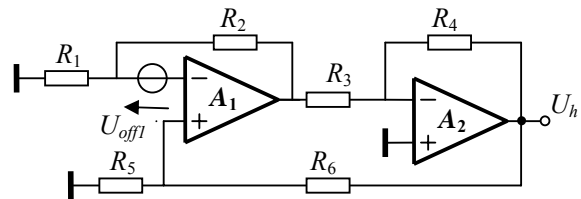
$$A_{id} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1$$

5p

- c.)  $U_h = ?$ , ha  $U_{off1} = 1 \text{ mV}$  és  $U_{off2} = 0$ ,  $R_3 = R$ ,  $U_{be} = 0$ ,

A nem ideális  $A_1$  erősítőt helyettesítjük egy ideális erősítővel és egy feszültség generátorral.

Hasonlóan az a.) feladathoz, az  $A_2$  erősítése ebben az esetben is  $-1$ , így  $A_1$  kimenetén a feszültség:  $-U_h$ .



$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$$

Az  $A_1$  negatív bemenetén lévő feszültséget szuperpozícióval számolva és tekintetbe véve, hogy ennek meg kell egyeznie a pozitív bemeneten lévő feszültséggel, írhatjuk:

$$U_{off1} - U_h \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_h \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad \rightarrow \quad U_{off1} - U_h \frac{1}{2} = U_h \frac{1}{2}$$

Ebből:

$$U_h = U_{off1} = 1 \text{ mV}$$

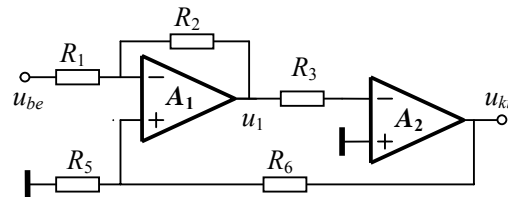
5p

d.)

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?, \quad A_1 \text{ ideális}, \quad R_4 = \infty, \quad \text{és} \quad A_2(s) = \frac{A_{20}}{1 + \frac{s}{\omega_0}} \quad \text{ahol} \quad A_{20} = 10^5, \quad \text{és} \quad \omega_0 = 10 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right], \quad \omega_p = ?$$

Az  $A_2$  erősítése most **nem végtelen**, így  $A_1$  kimenetén az  $u_1$  feszültség, a b.) esetől eltérően, most véges érték.

Az  $A_1$  negatív bemenetén lévő feszültséget számolva és tekintetbe véve, hogy ennek most is meg kell egyeznie a pozitív bemeneten lévő feszültséggel, írhatjuk:



$$R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = R$$

$$u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = u_{ki} \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad \rightarrow \quad u_{be} \frac{1}{2} + u_1 \frac{1}{2} = u_{ki} \frac{1}{2}$$

Valamint:  $u_{ki} = -A_2(s)u_1$  (mert  $R_3$ -on nem folyik áram)

Ezekből:  $u_{be} - \frac{u_{ki}}{A_2(s)} = u_{ki}$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = \frac{A_2(s)}{1 + A_2(s)} = \frac{A_0}{1 + s/\omega_0 + A_0} = A_{id} \frac{A_0}{1 + A_0} \frac{1}{1 + s/\omega_p}$$

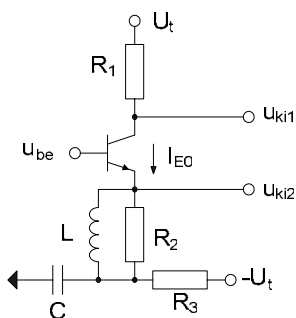
2.5p

Ahol:  $A_{id} = 1$  (Lásd a b.) feladatot)  $\frac{A_0}{1 + A_0} \cong 1$

$$\omega_p = (1 + A_0)\omega_0 \cong A_0\omega_0 = 10^5 * 10 = 1 \text{ Mrad / sec}$$

2.5p

3. Számítsa ki az alábbi kapcsolás kivezérelhetőségét



$$U_t = 15 \text{ V}; U_m = 1 \text{ V}; I_{C0} = 1 \text{ mA}; \alpha = A = 1$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega; R_2 = 5 \text{ k}\Omega; R_3 = 5 \text{ k}\Omega, L \rightarrow \infty$$

- a)  $U_{ki1}^+ = ?$ , ha  $C = 0$  (nincs  $C$ ), nyitóirányú vezérlés  
 b)  $U_{ki1}^- = ?$ , ha  $C = 0$  (nincs  $C$ ), záróirányú vezérlés  
 c)  $U_{ki2}^+ = ?$ , ha  $C \rightarrow \infty$ , nyitóirányú vezérlés  
 d)  $U_{ki2}^- = ?$ , ha  $C \rightarrow \infty$ , záróirányú vezérlés

Megoldás:

Az a.) és a b.) feladatban az egyenáramú összetevőre felírható *Kirchoff-egyenlet*:

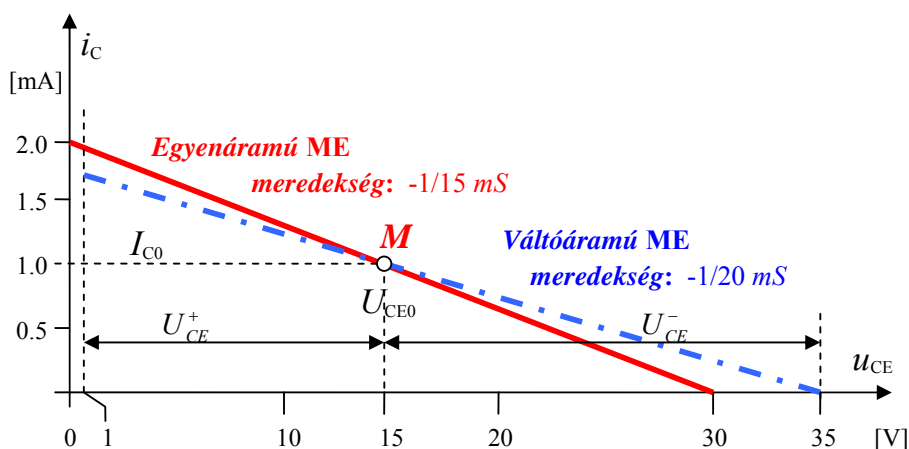
$$2U_t = I_{C0}(R_1 + R_3) + U_{CE0} \rightarrow 30 = I_{C0}15 + U_{CE0} \rightarrow U_{CE0} = 15 \text{ V}$$

Az egyenáramú munkaellenállás:

$$R_E = R_1 + R_3 = 15 \text{ k}\Omega$$

A váltóáramú munkaellenállás:

$$R_V = R_1 + R_2 + R_3 = 20 \text{ k}\Omega$$



Az ábra alapján:

$$U_{CE}^+ = U_{CE0} - U_m = 15 - 1 = 14 \text{ V}$$

$$U_{CE}^- = I_{C0}R_V = 1 * 20 = 20 \text{ V}$$

5p

A kimenő feszültség a teljes változás leosztásával számolandó:

a.) 
$$U_{ki1}^+ = U_{CE}^+ \frac{R_1}{R_V} = 14 \frac{10}{20} = 7 \text{ V}$$

b.) 
$$U_{ki1}^- = U_{CE}^- \frac{R_1}{R_V} = 20 \frac{10}{20} = 10 \text{ V}$$

5p

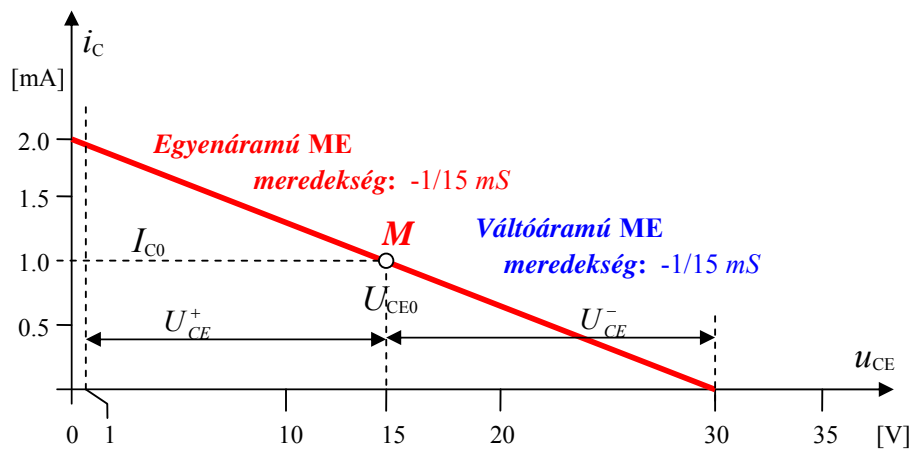
A c.) és a d.) feladatban az egyenáramú összetevőre felírható *Kirchoff-egyenlet* ugyan az mint az előbbi feladatban:

$$2U_t = I_{C0}(R_1 + R_3) + U_{CE0} \rightarrow 30 = I_{C0}15 + U_{CE0} \rightarrow U_{CE0} = 15 \text{ V}$$

Az egyenáramú munkaellenállás:  $R_E = R_1 + R_3 = 15 \text{ k}\Omega$

A váltóáramú munkaellenállás most:  $R_V = R_1 + R_2 = 15 \text{ k}\Omega$

A két meredekség megegyezik:



Az ábra alapján:  $U_{CE}^+ = U_{CE0} - U_m = 15 - 1 = 14 \text{ V}$

$$U_{CE}^- = I_{C0} R_V = 1 * 15 = 15 \text{ V}$$

5p

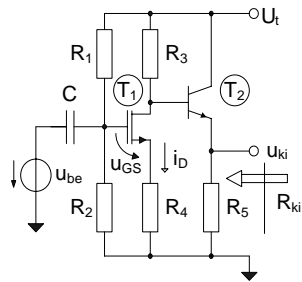
A kimenő feszültség a teljes változás leosztásával számolandó:

c.)  $U_{ki1}^+ = U_{CE}^+ \frac{R_2}{R_V} = 14 \frac{5}{15} = 4.67 \text{ V}$

d.)  $U_{ki1}^- = U_{CE}^- \frac{R_2}{R_V} = 15 \frac{5}{15} = 5 \text{ V}$

5p

4. Határozza meg az alábbi kapcsolás munkapontját és kiszelű paramétereit!



$T_1$  n-csatornás növekményes MOS FET,

$$i_D = I_{D00} \left( \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2$$

$U_P = 2 \text{ V}; I_{D00} = 4 \text{ mA};$

$T_2$  n-p-n tranzisztor,  $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}, B_2 = \beta_2 \rightarrow \infty$

$U_t = 12 \text{ V}; R_1 = 100 \text{ k}\Omega; R_2 = 100 \text{ k}\Omega;$

$R_3 = 3 \text{ k}\Omega; R_4 = 3 \text{ k}\Omega; R_5 = 5,1 \text{ k}\Omega$

a) A  $T_1$  és  $T_2$  tranzisztor alapkapcsolásának típusa?

b)  $I_{D0} = ?;$

c)  $I_{E0} = ?;$

d)  $A_u = ?$ , ha  $S = 2 \text{ mS}, r_d = 15,78 \Omega$ .

**Megoldás:**

a) A  $T_1$  és  $T_2$  tranzisztor alapkapcsolásának típusa?

$T_1$ : **Földelt-SOURCE**-u kapcsolás (vez.: **GATE**, kimenet: **DRAIN**)

$T_2$ : **Földelt-KOLLEKTOR**-os kapcsolás (vez.: **bázis**, kimenet: **emitter**)

5p

b)  $I_{D0} = ?;$

A **GATE** osztó *Thevenin* helyettesítő képének elmértékei:

$$U_t^* = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \frac{100}{200} = 6 \text{ V} \quad R_{12} = R_1 \times R_2 = 50 \text{ k}\Omega$$

A **GATE-SOURCE** körre felírható (egyenáramú) hurokegyenlet ( $i_G = 0$ ):

$$U_t^* = U_{GS0} + I_{D0} R_4 \rightarrow 6 = U_{GS0} + 3 I_{D0} \quad (V, mA, k\Omega)$$

$$\text{Másképpen: } I_{D0} = I_{D00} \left( \frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2 = \frac{4}{4} (U_{GS0} - 2)^2 = (U_{GS0} - 2)^2$$

$$\text{Amiből: } I_{D0} = \frac{6}{3} - \frac{1}{3} U_{GS0} = (U_{GS0} - 2)^2 = U_{GS0}^2 - 4 U_{GS0} + 4$$

$$U_{GS0}^2 - \frac{12-1}{3} U_{GS0} + 2 = 0$$

$$U_{GS0}^2 - 2 \frac{11}{6} + \left( \frac{11}{6} \right)^2 = \left( \frac{11}{6} \right)^2 - 2 = \frac{121-72}{36} = \frac{49}{36} \rightarrow \left( U_{GS0} - \frac{11}{6} \right)^2 = \left( \frac{7}{6} \right)^2$$

$$U_{GS0} = \frac{11 \pm 7}{6} = \begin{cases} 3V & a \text{ helyes} \\ 2/3V & a \text{ helytelen} \end{cases} \text{ gyök (mert: } U_{GS0} > U_P)$$

$$I_{D0} = \frac{6}{3} - \frac{1}{3} U_{GS0} = 2 - \frac{3}{3} = 1 \text{ mA}$$

5p

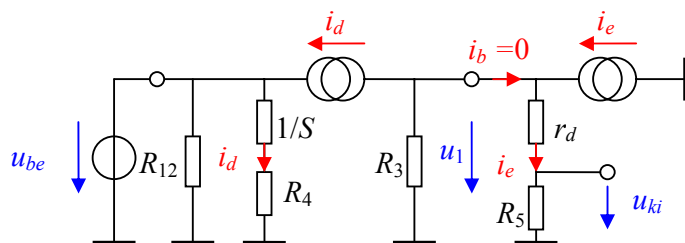
c)  $I_{E0} = ?$

Mivel  $i_B = 0$  írhatjuk:  $U_t = I_{D0}R_3 + U_{BE0} + I_{E0}R_5$

Ebből: 
$$I_{E0} = \frac{U_t - U_{BE0} - I_{D0}R_3}{R_5} = \frac{12 - 0.6 - 1 \cdot 3}{5.1} = \frac{8.4}{5.1} = 1.647 \text{ mA}$$

5p

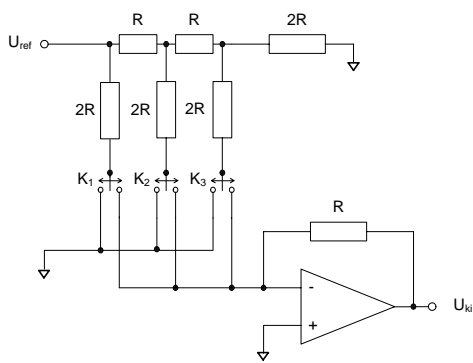
d)  $A_u = ?$ , ha  $S = 2 \text{ mS}$ ,  $r_d = 15,78 \Omega$   $C \rightarrow \infty$



$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{-R_3 i_d}{(1/S + R_4) i_d} \frac{R_5}{r_d + R_5} = -\frac{SR_3}{1 + SR_4} \frac{R_5}{r_d + R_5} = -\frac{2 \cdot 3}{1 + 2 \cdot 3} \frac{5100}{15,78 + 5100} = -0.855$$

5p

**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.)  $U_{ki} = ?$ ,  $K_1$  a földön,  $K_2$  és  $K_3$  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.

5p

A működés szempontjából fontos észrevenni:

- 1.) A  $2R$  értékű ellenállások alsó végei a kapcsolók állásától függetlenül mindig föld-potenciálón 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.)  $U_{ki} = ?$ ,  $K_1$  a földön,  $K_2$  és  $K_3$  a műveleti erősítő negatív bemenetén, az erősítő ideális

Jelöljük a kapcsolók ezen állását (ezt a bemeneti kombinációt) 011-el!

A műveleti erősítő negatív bemenete és a kimenet között lévő  $R$  ellenálláson átfolyó áram ennél a bemeneti kombinációnál  $I_2$  és  $I_3$  összege, és így:

$$U_{ki}(011) = -(I_2 + I_3)R = -3.75 \text{ V}$$

5p

c.)  $U_{ki} = ?$ ,  $K_3$  a földön,  $K_1$  és  $K_2$  a műveleti erősítő 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  $U_{off} = 1 \text{ mV}$

$$U_{ki}(100) = -I_1R = -5 \text{ V} \quad \text{Ha } U_{off} = 0 \text{ (ideális eset)}$$

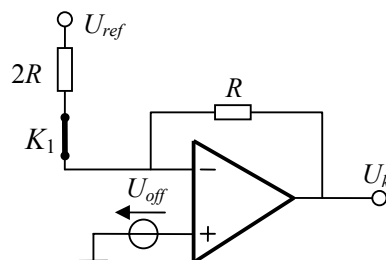


Ha az erősítő “ofsztes”:

- 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.)

A D-A konverter kódtáblázata: ( LSB = 1.25 V )

$D_{DEC}$	$D_{BIN}$	$U_{ki}$ [V]
0	000	-0.00
1	001	-1.25
2	010	-2.50
3	011	-3.75
4	100	-5.00
5	101	-6.25
6	110	-7.50
7	111	-8.75