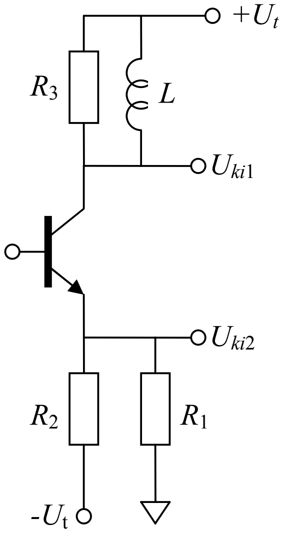
2. Példa.



$U_t = 15$ V $\quad U_m = 1$ V $\quad I_{E0} = 2$ mA $\quad A = 1$

$R_1 = 10$ kΩ $\quad R_2 = 10$ kΩ $\quad R_3 = 5$ kΩ

Kérdések:

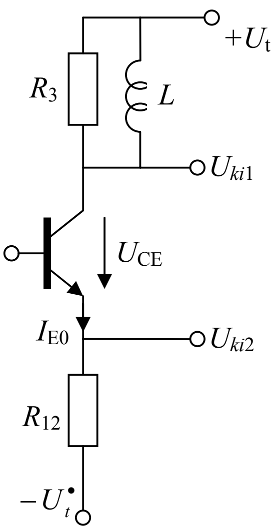
a.) $U^{+}_{ki1} = ?\quad L \to \infty$ (5p)

b.) $U^{+}_{ki2} = ?\quad L \to \infty$ (5p)

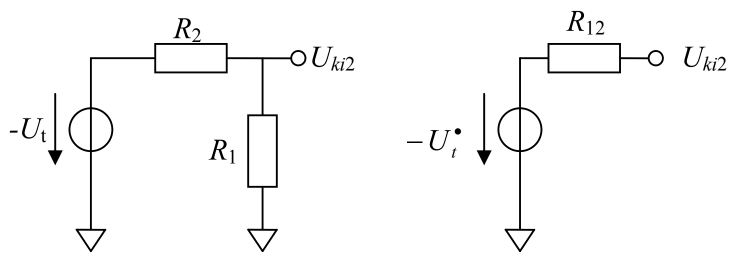
c.) $U^{-}_{ki1} = ?\quad L \to \infty$ (5p)

d.) $U^{-}_{ki2} = ?\quad L$ helyett $\to$ rövidzár (5p)

Megoldás:



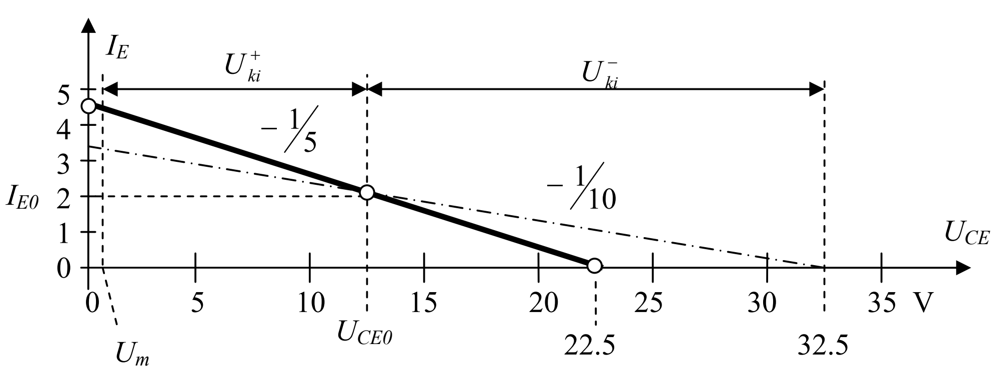
A negatív telep redukciója



$$-U_t^* = -U_t \frac{R_1}{R_{.1} + R_2} = -15\frac{10}{20} = -7.5V$$

$$R_{12} = R_1 \times R_2 = 10 \times 10 = 5k\Omega$$

$$U_t + U_t^* = U_{CE0} + I_{E0}R_{12} \quad \rightarrow \quad U_{CE0} = U_t + U_t^* - I_{E0}R_{12} = 15 + 7.5 - 2 * 5 = 12.5V$$



Az egyenáramú munkaegyenes metszéspontja ($U_{CE}=0$) : $\dfrac{U_t + U_t^*}{R_{12}} = \dfrac{22.5}{5} = 4.5mA$

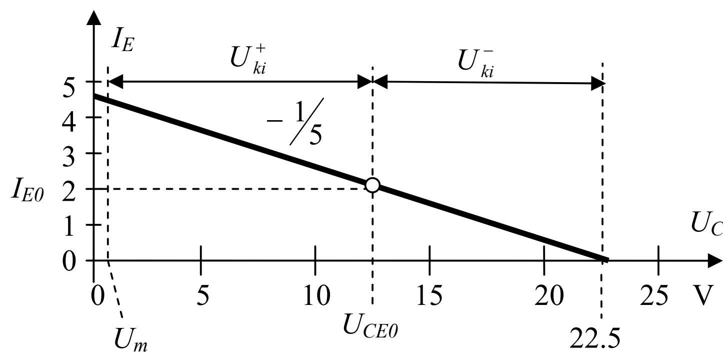
A kimenő feszültségeket a teljes változás leosztásával számítjuk ki:

a.) $$U_{ki1}^{+} = U_{ki}^{+}\frac{R_3}{R_{12}+R_3} = \left(U_{CE0}-U_m\right)\frac{R_3}{R_{12}+R_3} = 11.5\frac{5}{10} = 5.75V$$

b.) $$U_{ki2}^{+} = U_{ki}^{+}\frac{R_{12}}{R_{12}+R_3} = \left(U_{CE0}-U_m\right)\frac{R_{12}}{R_{12}+R_3} = 11.5\frac{5}{10} = 5.75V$$

c.) $$U_{ki1}^{-} = U_{ki}^{-}\frac{R_3}{R_{12}+R_3} = I_{E0}\left(R_{12}+R_3\right)\frac{R_3}{R_{12}+R_3} = I_{C0}R_3 = 2*5 = 10V$$

d.) A váltóáramú munkaegyenes most megegyezik az egyenáramú m.e.-el, ezért:

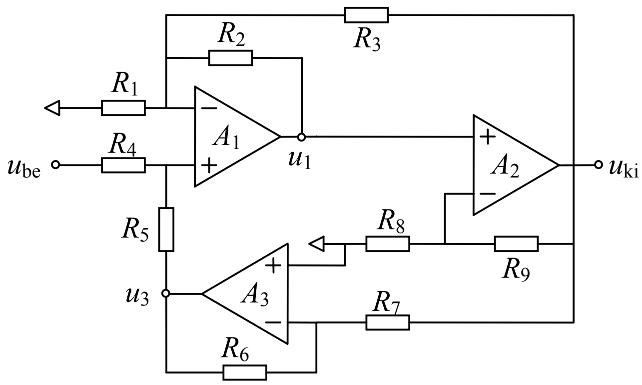


$$U_{ki2}^{-} = U_{ki}^{-} = I_{E0}R_{12} = 2*5 = 10V$$

3.Példa

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R$

A_1, A_2, A_3 : ideális



Feladatok:

a.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $R_3 \to \infty$ és $R_7 \to \infty$

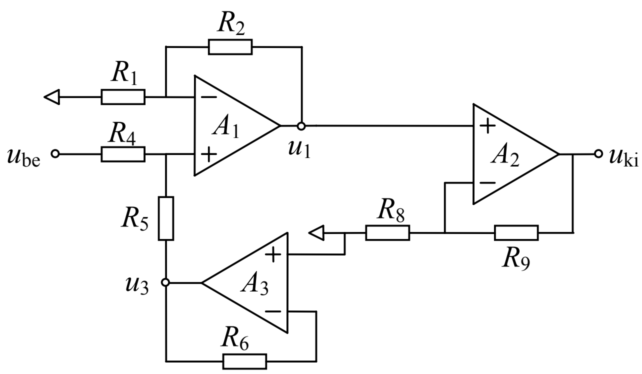
b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $R_7 \to \infty$

c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$

d.) $U_{kiH} = ?$ ha $R_3 \to \infty$ és $R_7 \to \infty$ és $U_{off3} = 1\ mV$

Megoldás:

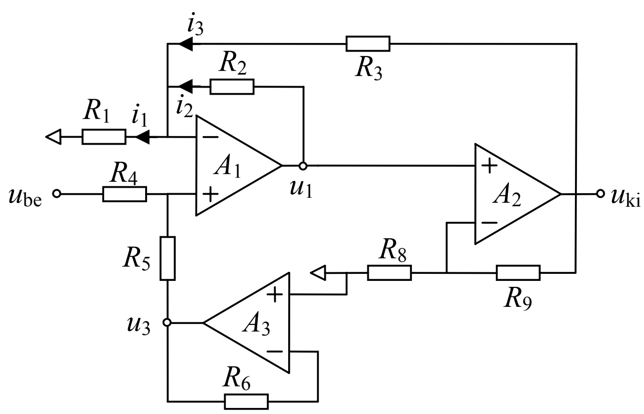
a.)



A_3 : nem kap vezérlést ezért $u_3 = 0$.

$$u_1 = u_{be} \frac{R_5}{R_4 + R_5}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = u_{be}\frac{1}{2} * 2 = u_{be} \qquad u_{ki} = u_1\left(1 + \frac{R_9}{R_8}\right) = u_1 2 = 2u_{be} \to \boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = 2}$$

b.)



A_3 : nem kap vezérlést ezért $u_3 = 0$.

A_1 : + bemenetén a feszültség $u_{be}\dfrac{R_5}{R_4 + R_5} = \dfrac{u_{be}}{2}$

A_1 : - bemenetén is ugyan ez a feszültség $\dfrac{u_{be}}{2}$

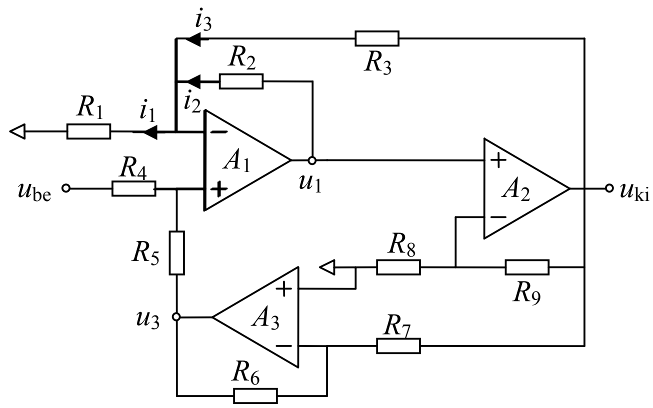
A kimenő feszültség: $u_{ki} = u_1\left(1+\frac{R_9}{R_8}\right) = 2u_1 \quad \rightarrow \quad u_1 = \frac{u_{ki}}{2}$

A csomóponti egyenlet: $i_1 = i_2 + i_3$ Ebbe behelyettesítve:

$$\frac{\frac{u_{be}}{2}-0}{R_1} = \frac{\frac{u_{ki}}{2}-\frac{u_{be}}{2}}{R_2} + \frac{u_{ki}-\frac{u_{be}}{2}}{R_3} \qquad \frac{u_{be}}{2} = \frac{u_{ki}}{2} - \frac{u_{be}}{2} + u_{ki} - \frac{u_{be}}{2} \qquad \frac{3}{2}u_{be} = \frac{3}{2}u_{ki} \qquad \boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1}$$

c.)

$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$



Az u_3 feszültség: $u_3 = -\frac{R_6}{R_7}u_{ki} = -u_{ki}$

A_1 : + bemenetén a feszültség $u_{be}\frac{R_5}{R_4+R_5} + u_3\frac{R_4}{R_4+R_5} = \frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$

A_1 : - bemenetén is ugyan ez a feszültség $\frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$

Az $u_1 = \frac{u_{ki}}{2}$ most is fenn áll.

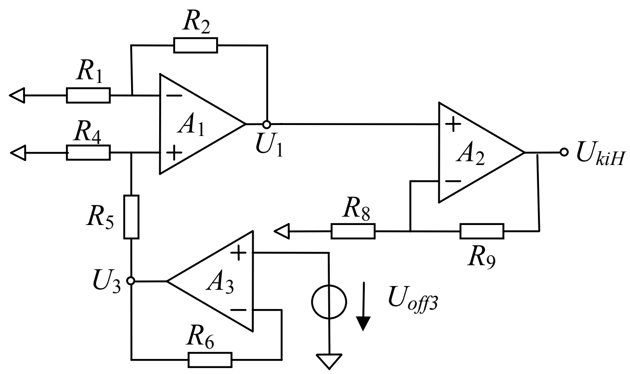
A csomóponti egyenlet: $i_1 = i_2 + i_3$ Ebbe behelyettesítve:

$$\frac{\left(\frac{u_{be}}{2}-\frac{u_{ki}}{2}\right)-0}{R_1} = \frac{\frac{u_{ki}}{2}-\left(\frac{u_{be}}{2}-\frac{u_{ki}}{2}\right)}{R_2} + \frac{u_{ki}-\left(\frac{u_{be}}{2}-\frac{u_{ki}}{2}\right)}{R_3}$$

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

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

d.) $U_{kiH} = ?$ ha $R_3 \to \infty$ és $R_7 \to \infty$ és $U_{off3} = 1\ mV$



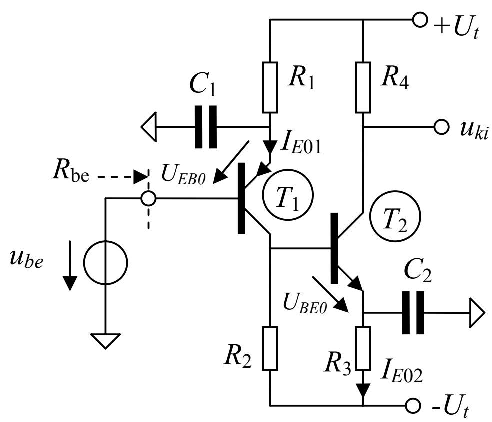
$U_3 = U_{off\,3}$ (R_6 –on nem folyik áram)

A_1 : + bemenetén a feszültség : $U_3 \dfrac{R_4}{R_4 + R_5} = U_{off\,3} \dfrac{R_4}{R_4 + R_5} = \dfrac{1}{2} U_{off\,3}$

$$U_1 = \frac{U_{off\,3}}{2}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = U_{off\,3}$$

$$\boxed{U_{kiH} = U_1\left(1 + \frac{R_9}{R_8}\right) = 2U_{off\,3} = 2mV}$$

4.) Példa



$\boldsymbol{T}_1$: pnp $\beta_1 = B_1 = 99$ $U_{EB0} = 0.6\ V$
$\boldsymbol{T}_2$: npn $\beta_2 = B_2 \to \infty$ $U_{BE0} = 0.6\ V$
$U_t = 12$ V;
$R_1 = 5.7\ k\Omega$; $R_2 = 5.7/0.99\ k\Omega$;
$R_3 = 2.7\ k\Omega$; $R_4 = 2.7\ k\Omega$;

Kérdések:

a.) $I_{E01} = ?$ $I_{E02} = ?$

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $C_1 \to \infty$ és $C_2 = 0$

c.) $R_{be} = ?$ ha $C_1 \to \infty$ és $C_2 = 0$

d.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $C_1 \to \infty$ és $C_2 \to \infty$

Megoldás:

a.) $\boldsymbol{T}_1$ bázisa egyenáram szempontjából föld potenciálon van.

$$U_t = I_{E01}R_1 + U_{EB0} \quad \to \quad I_{E01} = \frac{U_t - U_{EB0}}{R_1} = \frac{12-0.6}{5.7} = 2mA$$

Az $\boldsymbol{R}_2$ ellenálláson lévő feszültség:

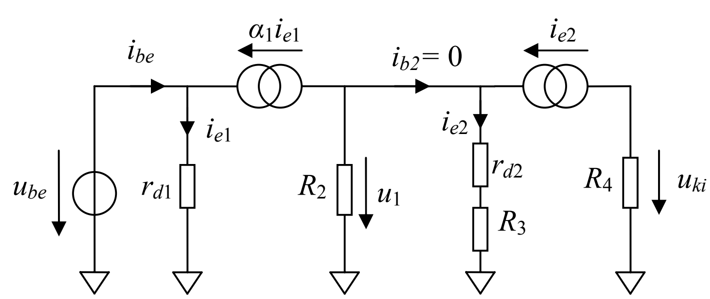
$$U_{R2} = I_{C01}R_2 = \alpha_1 I_{E01} R_2 = \frac{\beta_1}{1+\beta_1} I_{E01} R_2 = 0.99 * 2 * \frac{5.7}{0.99} = 11.4V$$

A $\boldsymbol{T}_2$ báziskörében a hurokegyenlet:

$$U_{R2} = U_{BE0} + I_{E02}R_3 \quad \to \quad I_{E02} = \frac{U_{R2} - U_{BE0}}{R_3} = \frac{11.4-0.6}{2.7} = 4mA$$

$$r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = \frac{26mV}{2mA} = 13\Omega \qquad r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = \frac{26mV}{4mA} = 6.5\Omega$$

b.) A kisjelű helyettesítő kép: ha $C_1 \to \infty$ és $C_2 = 0$



$$i_{e1} = \frac{u_{be}}{r_{d1}} \qquad u_1 = -\alpha_1 i_{e1} R_2 = -\alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1}} u_{be} \qquad i_{e2} = \frac{u_1}{r_{d2}+R_3}$$

$$u_{ki} = -i_{e2}R_4 = -u_1 \frac{R_4}{r_{d2}+R_3} = \alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1}} \frac{R_4}{r_{d2}+R_3} u_{be}$$

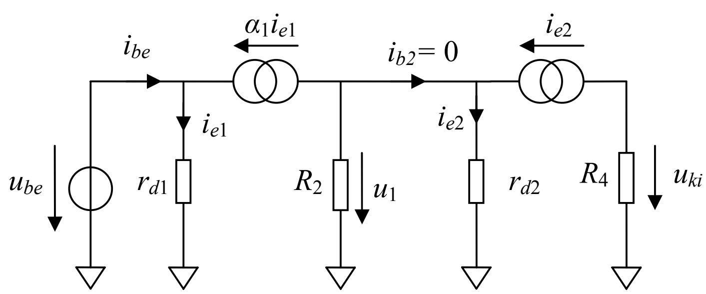
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1}} \frac{R_4}{r_{d2}+R_3} = 0.99 \frac{5.7}{0.99*0.013} \frac{2.7}{2.7065} = 437.4$$

c.) $R_{be} = ?$ ha $C_1 \to \infty$ és $C_2 = 0$

$$i_{e1} = \frac{u_{be}}{r_{d1}} \qquad i_{be} = (1-\alpha_1)i_{e1} = (1-\alpha_1)\frac{u_{be}}{r_{d1}}$$

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{r_d}{1-\alpha_1} = (1+\beta_1)r_{d1} = 100 * 13 = 1.3k\Omega$$

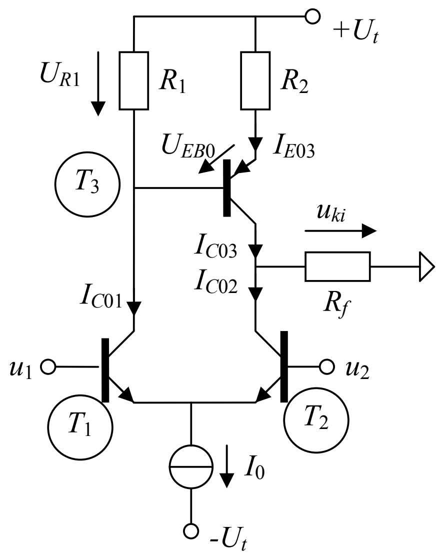
d.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $C_1 \to \infty$ és $C_2 \to \infty$



Az eredmény azonos a b.) pont beli eredménnyel az $R_3 = 0$ feltétellel.

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1}}\frac{R_4}{r_{d2}} = \frac{5700}{13}\frac{2700}{6.5} = 182130$$

5.) Példa



$T_1 \equiv T_2 \equiv T_3$

$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \to \infty$; $B_1 = B_2 = B_3 \to \infty$

$U_t = 15\ V$; $I_0 = 2\ mA$; $U_{EB0} = 0.6\ V$;

$R_1 = 8.3\ k\Omega$; $R_2 = 7\ k\Omega$; $R_f = 10\ k\Omega$;

Kérdések:

a.) $A_D = ?$ (Differenciális erősítés)
b.) $A_K = ?$ (Közös módusú erősítés)
c.) $U_{kioff} = ?$ (kimeneti offset feszültség, ha $u_1 = u_2$)
d.) $U_{off} = ?$ (bemeneti offset feszültség)

Megoldás:
A munkaponti áramok meghatározása (ha $u_1 = u_2$) :
Szimmetria okokból : $I_{E01} = I_{E02} = I_0/2 = 1mA$
Mivel $B_1 = B_2 = \to \infty$: $I_{C01} = I_{C02} = I_0/2 = 1mA$
Mivel $B_3 \to \infty$: $U_{R1} = I_{C01} R_1 = 1mA\ 8.3\ k\Omega = 8.3\ V$

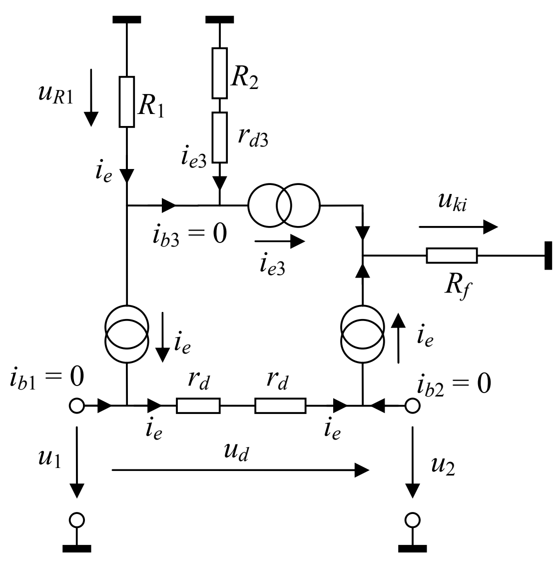
T_3 báziskörére felírható:

$$U_{R1} = I_{E03} R_2 + U_{EB0} \quad \to \quad I_{E03} = I_{C03} = \frac{U_{R1} - U_{EB0}}{R_2} = \frac{8.3 - 0.6}{7} = \frac{7.7}{7} = 1.1mA$$

A dinamikus ellenállások:

$$r_{d1} = r_{d2} = r_d = \frac{U_T}{I_{E01}} = \frac{26mV}{1mA} = 26\Omega \qquad r_{d3} = \frac{U_T}{I_{E03}} = \frac{26mV}{1.1mA} = 23.6\Omega$$

A kisjelű helyettesítő kép:



$$u_d = u_1 - u_2$$

$$i_e = \frac{u_d}{2r_d}$$

$$u_{R1} = i_e R_1 = \frac{R_1}{2r_d} u_d$$

$$i_{e3} = \frac{u_{R1}}{r_{d3} + R_2} = \frac{1}{r_{d3} + R_2} \frac{R_1}{2r_d} u_d$$

$$u_{ki} = (i_e + i_{e3}) R_f$$

$$u_{ki} = \frac{R_f}{2r_d} \left(1 + \frac{R_1}{r_{d3} + R_2} \right) u_d$$

a.) $A_D = ?$

$$A_D = \frac{u_{ki}}{u_d} = \frac{R_f}{2r_d}\left(1+\frac{R_1}{r_{d3}+R_2}\right) = \frac{10000}{52}\left(1+\frac{8.3}{7.0236}\right) \boxed{= 419.56}$$

b.) $A_K = ?$

$A_K = 0$, A végtelen belső ellenállású I_0 áramgenerátor miatt.

c.) $U_{kioff} = ?$ (ha $u_1 = u_2$)

$$U_{kioff} = \left(I_{C03} - I_{C02}\right)R_f = 0.1 * \boxed{10 = 1V}$$

d.) $U_{off} = ?$

Kétféle válasz is elfogadható:

1. A közelítő megoldás: $$U_{off} \approx -\frac{U_{kioff}}{A_D} = -\boxed{\frac{1V}{419.56} = -2.38mV}$$

2. A pontosabb megoldás:
A kérdést úgy fogalmazzuk át, hogy mekkora $U_d = U_{BE1} - U_{BE2} = U_{off}$ kell alkalmazni a bemeneteken, hogy a kimenet offset mentes (ideális diff. erősítő) legyen.
$U_{kioff} = R_f\left(I_{C03} - I_{C02}\right) = 0$

Tehát el kell érni az $I_{C03} = I_{C02}$ állapotot..

Legyen: $$I_{C01} = \frac{I_0}{2} - \Delta I = I_{S0}\exp\left(\frac{U_{BE1}}{U_T}\right)$$

$$I_{C02} = \frac{I_0}{2} + \Delta I = I_{S0}\exp\left(\frac{U_{BE2}}{U_T}\right)$$

Amiből: $$\frac{I_0 - 2\Delta I}{I_0 + 2\Delta I} = \exp\left(\frac{U_{BE1} - U_{BE2}}{U_T}\right) \qquad \rightarrow \qquad U_{off} = U_T \ln\frac{I_0 - 2\Delta I}{I_0 - 2\Delta I}$$

T_3 munkaponti egyenlete:

$$I_{C01}R_1 = I_{E03}R_2 + U_{EB0} = I_{C02}R_2 + U_{EB0}$$

$$\left(\frac{I_0}{2} - \Delta I\right)R_1 = \left(\frac{I_0}{2} + \Delta I\right)R_2 + U_{EB0}$$

Amiből:

$$2\Delta I = \frac{I_0\left(R_1 - R_2\right) - 2U_{EB03}}{R_1 + R_2} = \frac{2\left(8.3 - 7\right) - 1.2}{15.3} = 0.0915$$

Ezzel:

$$U_{off} = U_T \ln\frac{I_0 - 2\Delta I}{I_0 - 2\Delta I} = 26\ln\frac{2 - 0.0915}{2 + 0.0915} = 26\ln 0.9125 \boxed{= -2.38mV}$$