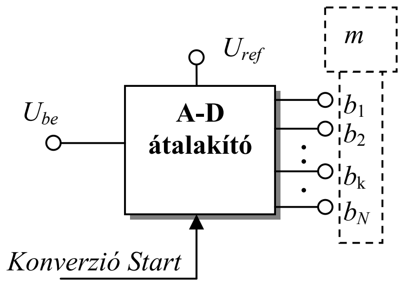
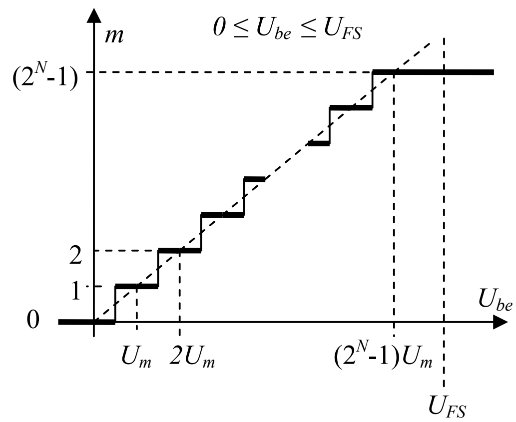
**1.** Ismertesse az A/D konverterek legfontosabb paramétereit (a kimeneti m szám értéke, az LSB-hez tartozó bemeneti feszültség értéke, az MSB-hez tartozó bemeneti feszültség értéke, a kvantálási hiba szórásnégyzete)!

**Megoldás:**




Kerekítéses típusú, unipoláris A-D
A digitális kimeneti kód egy *integer típusú* szám:

$$m = \mathrm{int}\left\{2^N \frac{U_{be}}{U_{FS}} + \frac{1}{2}\right\} = 2^{N-1} b_1 + 2^{N-2} b_2 + \ldots + 2^1 b_{N-1} + 2^0 b_N$$

$N$ : Az átalakító bitszáma

0 -$U_{FS}$ : Az átalakító kivezérlési tartománya (FS: **F**ull **S**cale)

$U_m$ : Az átalakító kvantálási lépcsőjének nagysága $\quad U_m = \dfrac{U_{FS}}{2^N}$

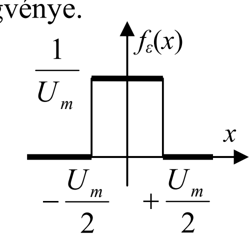
$b_k = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$ : Kimeneti bitek $\quad 1 \le k \le N$

$b_1$ : A legmagasabb helyértékű bit (MSB) $\quad U_{MSB} = \dfrac{U_{FS}}{2}$

$b_N$ : A legalacsonyabb helyértékű bit (LSB) $\quad U_{LSB} = U_m = \dfrac{U_{FS}}{2^N}$

$\varepsilon$ : Kvantálási hiba $\quad \varepsilon = U_{be} - mU_m \quad$ valószínűségi változónak tekinthető

Jól modellezhető egyenletes eloszlással. $f_\varepsilon(x)$ a kvantálási hiba sűrűség függvénye.




$$f_\varepsilon(x) = \begin{cases} 1/U_m & ha \quad |x| \le U_m/2 \\ 0 & ha \quad |x| > U_m/2 \end{cases}$$

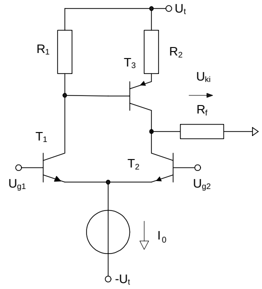
A kvantálási hiba várható értéke: $\quad M\{\varepsilon\} = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx = \int\limits_{-U_m/2}^{+U_m/2} x \frac{1}{U_m} dx = 0$

A kvantálási hiba négyzetes várható értéke ( a kvantálási zaj teljesítményével arányos ( R )):

$$R * P_{zaj} = M\{\varepsilon^2\} = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} x^2 f(x) dx = \frac{1}{U_m}\left[\frac{x^3}{3}\right]_{-\frac{U_m}{2}}^{+\frac{U_m}{2}} = \frac{U_m^2}{12}$$

Esetünkben a szórásnégyzet: $\sigma^2 = M\{(\varepsilon - M\{\varepsilon\})^2\} = M\{\varepsilon^2\}$

## 2. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!




$U_t = 15\,\mathrm{V}, \quad A = \alpha = 1, \quad I_0 = 2\,\mathrm{mA}$

$T_1 \equiv T_2\,(\mathrm{npn}) \equiv T_3\,(\mathrm{pnp}), U_{BE1} = U_{BE2} = U_{EB3} = 0{,}6\mathrm{V}, U_t = 15\mathrm{V},$

**a.)** $A_D = ?$,

**b.)** $A_K = ?$,

**c.)** $U_{kioff} = ?$, (kimeneti offset feszültség),

**d.)** $U_{beoff} = ?$, (bemeneti offset feszültség)

$R_1 = 7.5\,k\Omega, \quad R_2 = 6.3\,k\Omega, \quad R_t = 10\,k\Omega$

**Megoldás:**

**a.)** $A_D = ?$

Munkapontok $\rightarrow$ Dinamikus paraméterek $\rightarrow$ Kisjelű helyettesítő kép $\rightarrow$ $A_D$

$$I_{E01} = I_{E02} = \frac{I_0}{2} = 1\ mA \qquad \rightarrow \qquad r_{d1} = r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E01}} = 26\ \Omega$$

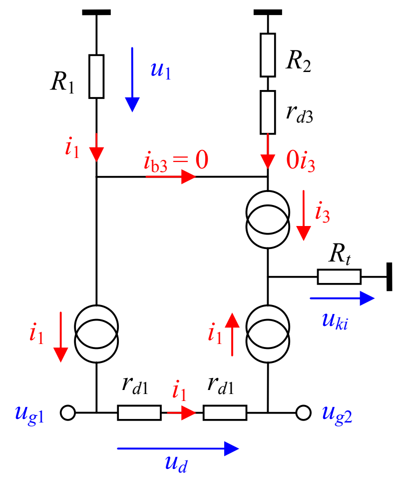
$$I_{E01}R_1 = I_{E03}R_2 + U_{EB3} \qquad \rightarrow \qquad I_{E03} = \frac{I_{E01}R_1 - U_{EB3}}{R_2} = \frac{1*7.5-0.6}{6.3} = 1.095 \cong 1.1\ mA$$

$$r_{d3} = \frac{U_T}{I_{E03}} = 23.64\ \Omega \qquad u_{ki} = (i_1 + i_3)R_t$$

$$i_1 = \frac{u_{g1} - u_{g2}}{r_{d1} + r_{d2}} = \frac{u_d}{2r_{d1}}$$

$$i_3 = \frac{u_1}{r_{d3} + R_2} = \frac{i_1 R_1}{r_{d3} + R_2} = \frac{R_1}{2r_{d1}} \frac{u_d}{r_{d3} + R_2}$$

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




$$A_D = \frac{u_{ki}}{u_d} = \frac{R_t}{2r_{d1}} \left( 1 + \frac{R_1}{r_{d3} + R_2} \right) = \frac{10^4}{52} \left( 1 + \frac{7500}{6323.64} \right) \boxed{= 420.4}$$

5p

**b.)** $A_K = ?$

Ha $\quad u_{g1} = u_{g2} = u_K \quad \rightarrow \quad i_1 = 0 \quad \rightarrow \quad u_{ki} = 0 \quad \rightarrow \quad \boxed{A_K = 0}$ 5p

**c.)** $U_{kioff} = ?$, (kimeneti offset feszültség)

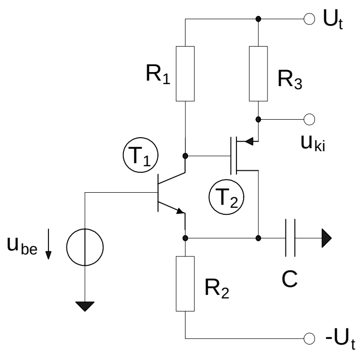
$u_{g1} = u_{g2} = 0$ esetén $\qquad U_{ki} = U_{kioff} = R_t(I_{C03} - I_{C02}) = R_t(I_{E03} - I_{E02}) = 10 * 0.1 \boxed{= 1\ V}$

**d.)** $U_{beoff} = ?$, (bemeneti offset feszültség) 5p

$$U_{beoff} = \frac{U_{kioff}}{A_D} = \frac{1000}{420.4} \boxed{= 2.38\ \ mV}$$

5p

## 3. Határozza meg a következő 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

**a.)** A visszacsatolás típusa ($C$=0)

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

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

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

$U_t = 12\text{ V}, \quad R_1 = 8\text{ k}\Omega, \quad R_2 = 6{,}7\text{ k}\Omega, \quad R_3 = 2\text{ k}\Omega$

**Megoldás:**

**a.)** A visszacsatolás típusa ($C$=0) Soros, negatív, áram-visszacsatolás 5p

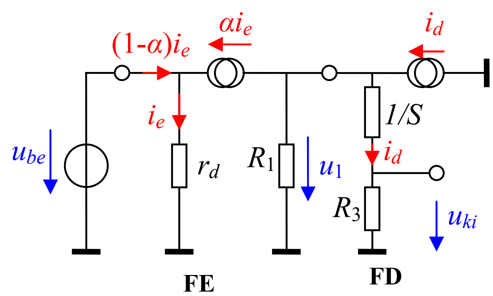
**b.)** $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C \to \infty$,

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{99}{100} = 0.99$$

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

$$= -\frac{0.99 * 8000}{26}\frac{2}{1+2}\boxed{= -203}$$

5p

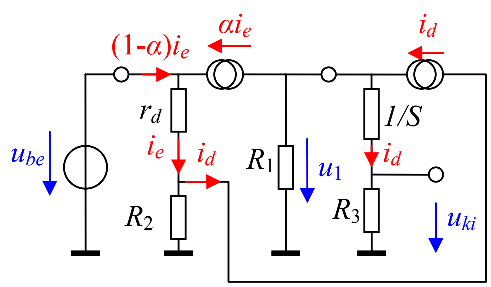



**c.)** $R_{be}$=?, ha $C \to \infty$,

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{r_d i_e}{(1-\alpha)i_e} = \frac{r_d}{1-\alpha} = (1+\beta)r_d = 100 * 26 = 2600\ \ \Omega \boxed{= 2.6\ k\Omega}$$

5p

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




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

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

$$i_e = -i_d \frac{1/S + R_3}{\alpha R_1}$$

3.) $u_{ki} = i_d R_3$

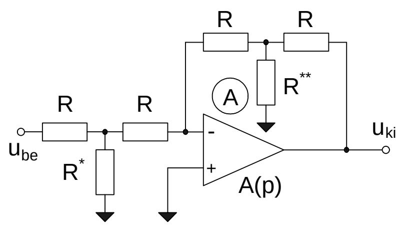
Ezekből: $$u_{be} = -i_d \frac{1/S + R_3}{\alpha R_1}(r_d + R_2) - i_d R_2 = -\frac{u_{ki}}{R_3}\left(\frac{1/S + R_3}{\alpha R_1}(r_d + R_2) + R_2\right)$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_1 R_3}{(1/S + R_3)(r_d + R_2) + \alpha R_1 R_2} = -\frac{A}{1 + A\beta} = -\frac{0.785}{1 + 0.785 * 3.35}\boxed{= -0.216}$$

Ahol: $$A = \frac{\alpha R_1}{r_d + R_2}\frac{R_3}{1/S + R_3} = \frac{0.99 * 8000}{6726}\frac{2}{1+2} = 0.785$$ 5p

$$\beta = \frac{R_2}{R_3} = \frac{6.7}{2} = 3.35$$

## 4. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!




**a.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ R^* = R^{**} \to \infty,$ A ideális,

**b.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ R^* = R,\quad R^{**} \to \infty,$ A ideális,

**c.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ R^* \to \infty,\quad R^{**} = R,$ A ideális,

**d.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}}(p) = ?,\quad \zeta = ?,\ R^* \to \infty,\quad R^{**} = R,\ A(p) = \dfrac{A_0}{(1+p/\omega_1)(1+p/\omega_2)},\ A_0 = 3{,}5 \cdot 10^5,$

$\omega_1 = 10$ rad/s, $\omega_2 = 10^6$ rad/s

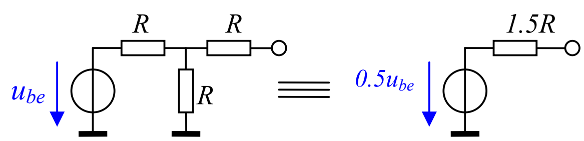
**Megoldás:**

**a.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ R^* = R^{**} \to \infty,$ A ideális

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{2R}{2R}\boxed{= -1}$$ 5p

**b.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ R^* = R,\quad R^{**} \to \infty,$ A ideális

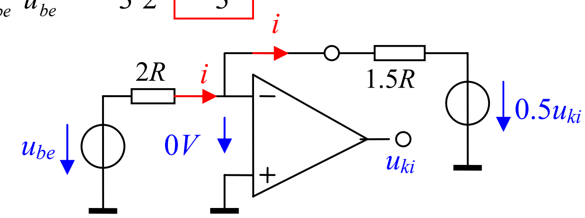
Thevenin helyettesítő kép: $u_{be}^*,\ R \times R + R$




$$\frac{u_{ki}}{u_{be}^*} = -\frac{2R}{1.5R} = -\frac{4}{3} \qquad \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki}}{u_{be}^*}\frac{u_{be}^*}{u_{be}} = -\frac{4}{3}\frac{1}{2}\boxed{= -\frac{2}{3}}$$ 5p

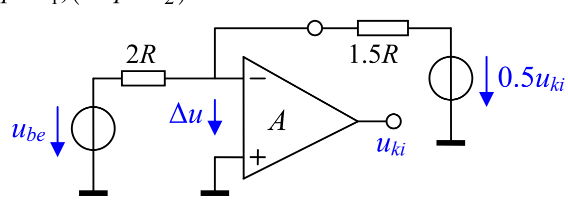
**c.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ R^* \to \infty,\quad R^{**} = R,$ A ideális

$$i = \frac{u_{be}}{2R} = -\frac{0.5u_{ki}}{1.5R} \qquad \frac{u_{ki}}{u_{be}}\boxed{= -\frac{3}{2}}$$ 5p




**d.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}}(p) = ?,\quad \zeta = ?,\ R^* \to \infty,\quad R^{**} = R,\ A(p) = \dfrac{A_0}{(1+p/\omega_1)(1+p/\omega_2)},\ A_0 = 3{,}5 \cdot 10^5,$

$$\Delta u = \alpha u_{be} + \beta u_{ki} = -\frac{u_{ki}}{A}$$




$$\alpha = \left.\frac{\Delta u}{u_{be}}\right|_{uki=0} = \frac{1.5R}{1.5R+2R} = \frac{1.5}{3.5} = \frac{3}{7}$$

$$\beta = \left.\frac{\Delta u}{u_{ki}}\right|_{ube=0} = \frac{\Delta u}{u_{ki}^*}\frac{u_{ki}^*}{u_{ki}} = \frac{2R}{1.5R+2R}\frac{1}{2} = \frac{1}{3.5} = \frac{2}{7}$$

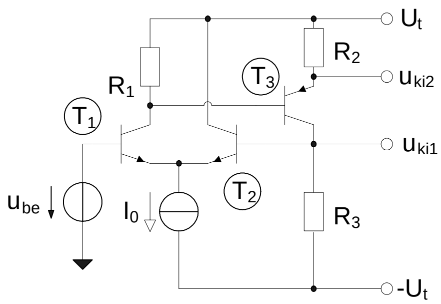
$$\alpha u_{be} = -u_{ki}\left(\frac{1}{A} + \beta\right) = -u_{ki}\frac{1+A\beta}{A} \qquad \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha}{\beta}\frac{A\beta}{1+A\beta} = A_{id}\frac{A\beta}{1+A\beta} \qquad A_{id} = -\frac{\alpha}{\beta} = -\frac{3}{2}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(p) = A_{id}\frac{A_0\beta}{A_0\beta + (1+p/\omega_1)(1+p/\omega_2)}\boxed{= A_{id}\frac{A_0\beta}{1+A_0\beta}\frac{1}{1+2\zeta\dfrac{p}{\Omega_0}+\dfrac{p^2}{\Omega_0^2}}}$$ 2.5p

$$\Omega_0 = \sqrt{(1+A_0\beta)\omega_1\omega_2} = \sqrt{(1+10^5)10^7} \cong 10^6\ rad/\text{sec}$$

$$\zeta = \frac{1}{2}\frac{\sqrt{\dfrac{\omega_1}{\omega_2}}+\sqrt{\dfrac{\omega_2}{\omega_1}}}{\sqrt{1+A_0\beta}} \cong \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\omega_2}{(1+A_0\beta)\omega_1}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{10^6}{10(1+10^5)}}\boxed{\cong \frac{1}{2}}$$ 2.5p

**5. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!**

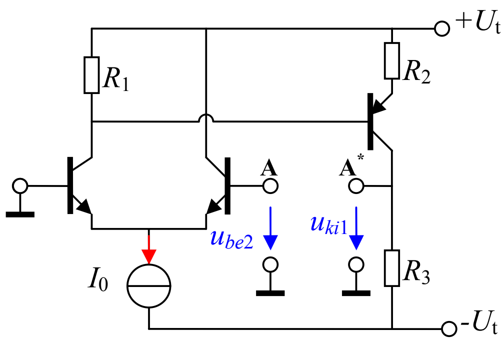


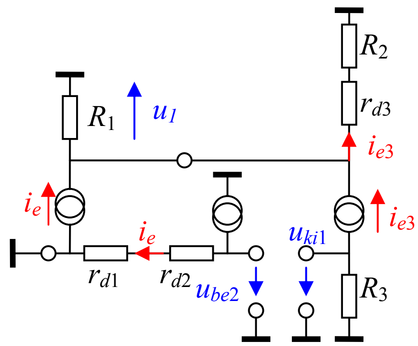

$U_t = 15\,\mathrm{V}$, $R_1 = 5{,}6\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 5\,\mathrm{k\Omega}$, $R_3 = 15\,\mathrm{k\Omega}$, $I_0 = 2\,\mathrm{mA}$,
$T_1 \equiv T_2$: n-p-n tranzisztorok, $\beta = B \to \infty$, $I_{E01} = I_{E02} = 1$ mA,
$T_3$: p-n-p tranzisztor, $\beta_3 = B_3 \to \infty$, $I_{E03} = 1$ mA

**a.)** A visszacsatolás típusa $U_{ki1}$ kimenet esetén?,
**b.)** A visszacsatolás típusa $U_{ki2}$ kimenet esetén?,
**c.)** $(\beta A)$=?,
**d.)** $\dfrac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$

**Megoldás:**

**a.)** A visszacsatolás típusa $U_{ki1}$ kimenet esetén: *soros, negatív, feszültség-visszacsatolás*. 5p
**b.)** A visszacsatolás típusa $U_{ki2}$ kimenet esetén: *soros, negatív, áram-visszacsatolás.* 5p
**c.)** $(\beta A)$=?
Felvágjuk a hurkot (úgy, hogy az impedancia viszonyok ne változzanak, $i_{b2} = 0$) és kiszámítjuk az $u_{be2} \to u_{ki1}$ átvitelt ( a hurokerősítés -1-szerese). $u_{be1} = 0$.




1.) $i_e = \dfrac{u_{be2}}{r_{d1} + r_{d2}} = \dfrac{u_{be2}}{2r_d}$ 2.) $u_1 = i_e R_1 = i_{e3}(r_{d3} + R_2) \;\to\; i_{e3} = i_e \dfrac{R_1}{r_{d3} + R_2}$

3.) $u_{ki1} = -i_{e3} R_3 = -\dfrac{R_1}{2r_d}\dfrac{R_3}{r_{d3} + R_2} u_{be2}$ 4.) $r_{d1} = r_{d2} = r_{d3} = r_d = 26\ \Omega$

Definíció szerint: $(A\beta) = -\dfrac{u_{ki1}}{u_{be2}} = \dfrac{R_1}{2r_d}\dfrac{R_3}{r_{d3} + R_2} = \dfrac{5600}{52}\dfrac{15000}{5026} \boxed{= 321.4}$ 5p

**d.)** $\dfrac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$

1.) $i_e = \dfrac{u_{be} - u_{ki1}}{2r_d}$ 2.) $u_1 = i_e R_1 = i_{e3}(r_{d3} + R_2)$

$$i_e = i_{e3}\frac{R_2 + r_{d3}}{R_1} = \frac{u_{ki1}}{R_3}\frac{R_2 + r_{d3}}{R_1} = \frac{u_{be} - u_{ki1}}{2r_d}$$

$$u_{ki1}\left(1 + \frac{1}{A}\right) = u_{be} \qquad A = \frac{R_1}{2r_d}\frac{R_3}{r_{d3} + R_2} \boxed{= 321.4}$$

$$\boxed{\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = \frac{A}{1 + A} \cong 1}$$ 5p