

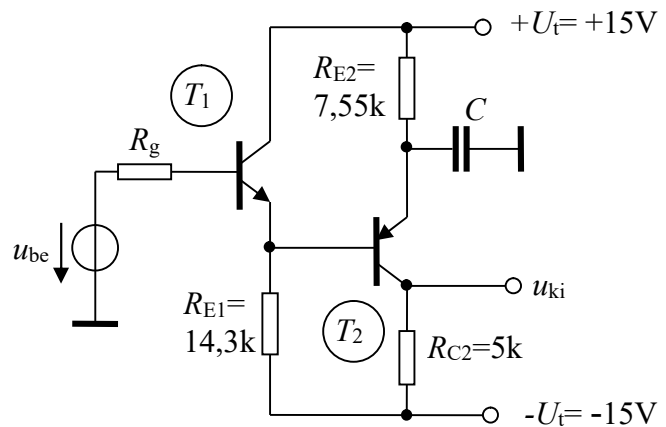
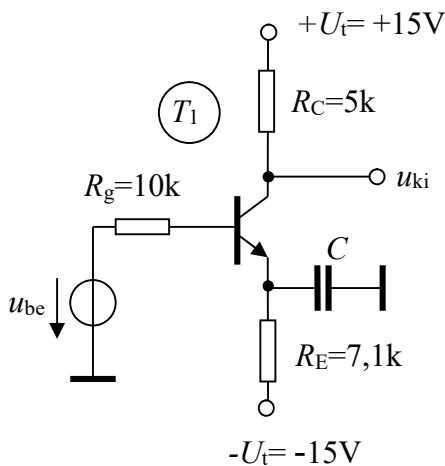
1.) Példa

Hasonlítsuk össze az alábbi két áramkört:

- munkapont,
- kisjelű paraméterek,

A tranzisztorok adatai: T_1 : npn, $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$, $B_1 = \beta_1 = 99$ ($A_1 = 0,99$)

T_2 : pnp, $U_{EB0} = 0,6 \text{ V}$, $B_2 = \beta_2 = \infty$



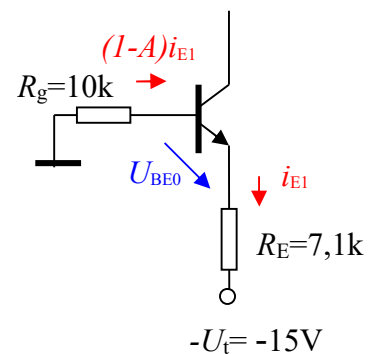
Az egytranzisztoros FE erősítő analízise:

Munkapont: **egyenáramú**, gerjesztetlen analízis.

$$U_t = R_g (1 - A_1) I_{E01} + U_{BE0} + R_E I_{E01}$$

$$I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_g (1 - A_1) + R_E} = \frac{15 - 0,6}{10 \cdot 0,01 + 7,1} = 2 \text{ mA}$$

$$\rightarrow r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = 13 \Omega$$

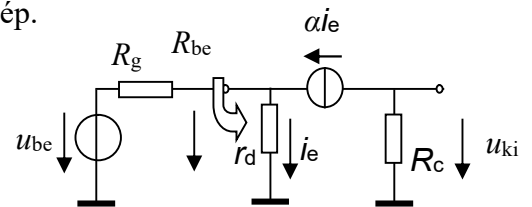


Az erősítő kisjelű paraméterei: **váltóáramú**, **lineáris** helyettesítő kép.

$$R_{be} = (1 + \beta) r_d = 1,3 \text{ k} \Omega$$

$$R_{ki} = \frac{u_{ki}}{i_{ki}} \Big|_{u_{be} = 0!} = R_C = 5 \text{ k} \Omega$$

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_{be}}{R_{be} + R_g} \left(-\alpha \frac{R_C}{r_d} \right) = -\frac{1,3}{11,3} \cdot 0,99 \cdot \frac{5}{0,013} = -0,115 \cdot 381 = -43,8$$



A két tranzisztoros, kétfokozatú (FC+FE) erősítő analízise:

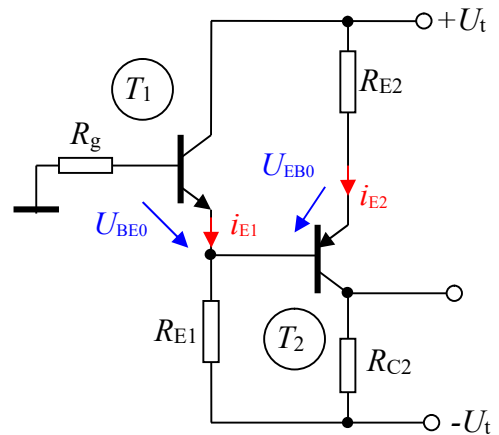
Munkapont analízis:

$I_{E01} = ?$

$$U_t = (1 - A_1)I_{E01}R_g + U_{BE0} + I_{E01}R_{E1}$$

$$I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_{E1} + R_g(1 - A_1)} = \frac{15 - 0.6}{14.3 + 0.1} = 1 \text{ mA}$$

$$\rightarrow r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = \frac{26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 26 \ \Omega$$



$I_{E02} = ?$

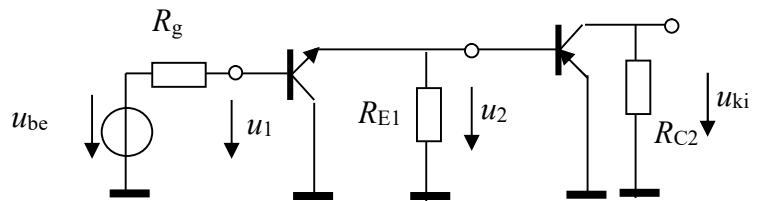
$$2U_t = R_{E2}I_{E02} + U_{EB0} + R_{E1}[I_{E01} + (1 - A_2)I_{E02}]$$

$$I_{E02} = \frac{2U_t - U_{EB0} - I_{E01}R_{E1}}{R_{E2} + (1 - A_2)R_{E1}} = \frac{2U_t - U_{EB0} - I_{E01}R_{E1}}{R_{E2}} = \frac{30 - 0.6 - 14.3}{7.55} = 2 \text{ mA}$$

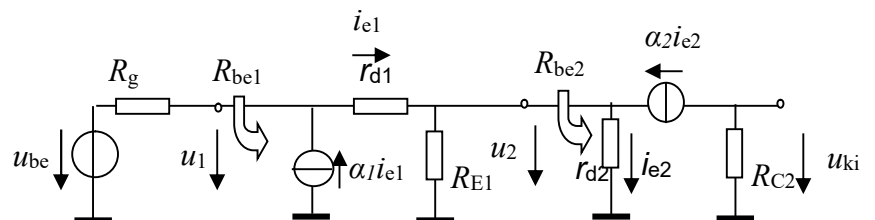
$$\rightarrow r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = \frac{26 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 13 \ \Omega$$

Kisjelű, váltóáramú analízis:

Váltóáramú helyettesítő kép:



Váltóáramú, lineáris
(kisjelű) helyettesítő kép:



$$R_{be1} = \frac{u_1}{i_{be1}} = \frac{r_{d1}i_{e1} + R_{E1}(i_{e1} - (1 - \alpha_2)i_{e2})}{(1 - \alpha_1)i_{e1}} \Big|_{\alpha_2 = 1} = \frac{1}{1 - \alpha_1}(r_{d1} + R_{E1}) = (1 + \beta)_1(r_{d1} + R_{E1}) = 1,4326 \text{ M}\Omega$$

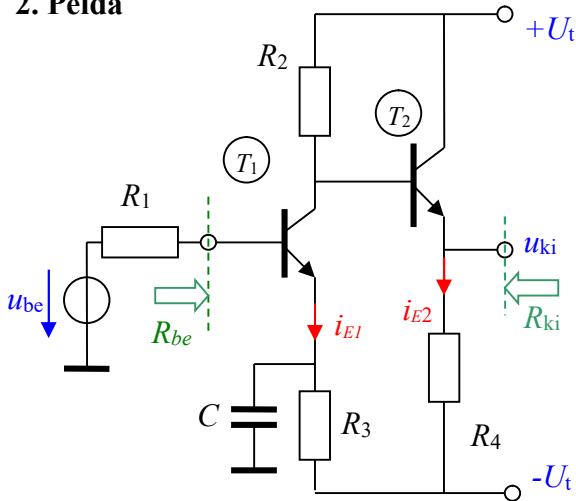
$$R_{be2} = \frac{u_2}{i_{be2}} = \frac{r_{d2}i_{e2}}{(1 - \alpha_2)i_{e2}} = \frac{1}{1 - \alpha_2}r_{d2} \Big|_{\alpha_2 = 1} = \infty, \quad R_{ki} = R_C$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_2}{u_1} \frac{u_{ki}}{u_2} = \frac{R_{be1}}{R_{be1} + R_g} \frac{R_{E1}}{R_{E1} + r_{d1}} \left(-\alpha_2 \frac{R_{C2}}{r_{d2}} \right) = \frac{1,4326}{1,4426} \cdot \frac{14,3}{14,326} \cdot \left(-\frac{5000}{13} \right) = -381,2$$

Összevetés:

- Munkapont: hasonló
- Bemeneti ellenállás:
 - emitterkövetőnél sokkal nagyobb, nem terheli a generátort, nincs bemeneti leosztás!
 - földelt emitteres bemenő ellenállás kisebb a generátor ellenállásnál, lényeges bemeneti leosztás.
- Feszültség erősítés: elég nagy, amit az egyfokozatú FE erősítő esetén a számottevő bemeneti leosztás eléggé leront.
- Megjegyzés a hőmérséklet stabilitásról, vizsgálatot most nem végeztük el: A kétfokozatú erősítő nagy erősítésű FE fokozatának nagyon jó a munkapont stabilitása, mert a két tranzisztor hőmérsékletfüggése kompenzálódik T2 esetén.

2. Példa



$$T_1: \text{npn} \quad \beta_1 = B_1 = 99,$$

$$T_2: \text{npn} \quad \beta_2 = B_2 \rightarrow \infty,$$

$$U_{BE0} = 0.6 \text{ V}$$

$$U_t = 15 \text{ V}, \quad R_1 = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 10 \text{ k}\Omega,$$

$$R_3 = 14.3 \text{ k}\Omega, \quad R_4 = 9.75 \text{ k}\Omega,$$

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

b.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$ $C \rightarrow \infty$

c.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$ $C = 0$

d.) $R_{be} = ?$ $C \rightarrow \infty$

e.) $R_{ki} = ?$

Részletező megoldás:

a.) Munkapont analízis: $I_{E01} = ?$, $I_{E02} = ?$

A munkapont meghatározásánál: $u_{be} = 0$. A T_1 emitter-körére felírható hurok egyenlet:

$$U_t = I_{B01} R_1 + U_{BE0} + I_{E01} R_3 = U_{BE0} + I_{E01} (R_3 + (1 - A_1) R_1) \quad A_1 = \frac{B_1}{1 + B_1} = 0.99$$

Ebből: $I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_3 + (1 - A_1) R_1} = \frac{15 - 0.6}{14.3 + 0.1} = 1 \text{ mA}$ $r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = 26 \Omega$

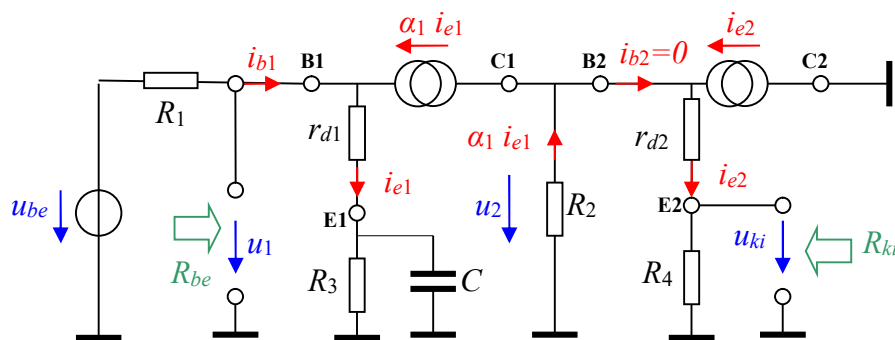
T_2 bázis-emitter átmenetére felírható hurok egyenlet:

$$2U_t = I_{C01} R_2 + U_{BE0} + I_{E02} R_4 = A_1 I_{E01} R_2 + U_{BE0} + I_{E02} R_4$$

Ebből: $I_{E02} = \frac{2U_t - A_1 I_{E01} R_2 - U_{BE0}}{R_4} = \frac{30 - 9.9 - 0.6}{9.75} = 2 \text{ mA}$ $r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = 13 \Omega$

b.) Kisjelű jellemzők: $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ $C \rightarrow \infty$

A tranzisztorok "T" ekvivalensét használva a helyettesítő kép:



(A mérőirányokat a szokás szerint, a konvencióknak megfelelően jelöltük be.)

Mivel $C \rightarrow \infty$, T_1 emittora váltóáramúlag most föld-potenciálán van, ezért a bemenő körre felírható hurok egyenlet:

$$u_{be} = i_{b1}R_1 + i_{e1}r_{d1} = (1 - \alpha_1)i_{e1}R_1 + i_{e1}r_{d1}$$

Amiből:

$$i_{e1} = \frac{u_{be}}{r_{d1} + (1 - \alpha_1)R_1}$$

Az első fokozat kimenetén a feszültség: $u_2 = -\alpha_1 i_{e1} R_2 = -\frac{\alpha_1 R_2}{r_{d1} + (1 - \alpha_1) R_1} u_{be}$ (*)

Az u_{ki} kimeneti feszültséget az u_2 leosztásával kapjuk meg:

$$u_{ki} = \frac{R_4}{R_4 + r_{d2}} u_2 = -\frac{R_4}{R_4 + r_{d2}} \frac{\alpha_1 R_2}{r_{d1} + (1 - \alpha_1) R_1} u_{be}$$

Ebből a keresett transzfer függvény:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-\alpha_1 R_2}{r_{d1} + (1 - \alpha_1) R_1} \frac{R_4}{R_4 + r_{d2}} = \frac{-9900}{26 + 100} \frac{9750}{9750 + 13} = -78.46$$

c.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ? \quad C = 0$

Ha $C=0$, akkor a viszonyok annyiban változnak az előző esethez képest, hogy az r_{d1} helyett most $(r_{d1} + R_3)$ ellenállás van a kapcsolásban. Az új értékkel megismételve az előző gondolatmenetet, ugyan azt kapjuk, mint mikor a végképletben végrehajtjuk a fenti cserét:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-\alpha_1 R_2}{r_{d1} + R_3 + (1 - \alpha_1) R_1} \frac{R_4}{R_4 + r_{d2}} = \frac{-9900}{14426} \frac{9750}{9750 + 13} = -0.685$$

d.) $R_{be} = ? \quad C \rightarrow \infty$

Mivel $C \rightarrow \infty$ ezért T_1 emittora váltóáramúlag most is föld-potenciálán van. A bemenő körre felírható egyenlet: $u_1 = r_{d1} i_{e1}$

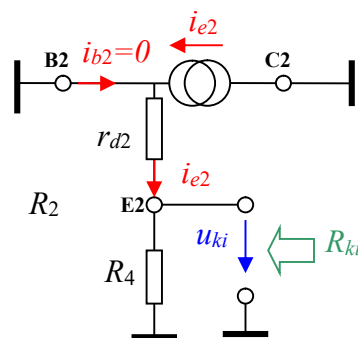
Az R_{be} bemenő ellenállás definíciója az helyettesítő kép jelöléseivel:

$$R_{be} = \frac{u_1}{i_{b1}} = \frac{u_1}{(1 - \alpha_1) i_{e1}} = (1 + \beta_1) \frac{u_1}{i_{e1}} = (1 + \beta_1) r_{d1} = 2600 \Omega$$

e.) $R_{ki} = ?$

A bemenetre az $u_{be}=0$ feltételt alkalmazva, a (*)-ból láthatóan $u_2 = 0$, vagy is a T_2 bázisa föld potenciálra kerül. A kimenet felől a bemeneti impedancia (ami most az R_{ki})

$$R_{ki} = R_4 \times r_{d2} = 9750 \times 13 \cong 13 \Omega$$



Gyors megoldás:

$$\text{a.) } I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_3 + R_1 / (1 + \beta_1)} = \frac{14,4}{14,3 + 10/100} = 1 \text{ mA}, \quad r_{d1} = 26 \Omega$$

$$I_{E02} = \frac{2U_t - A_1 I_{E01} R_2 - U_{BE0}}{R_4} = \frac{30 - 9,9 - 0,6}{9,75} = 2 \text{ mA} \quad r_{d1} = 13 \Omega$$

A kétfokozatú erősítő: FE és FC.

$$\text{b.) } \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{(1 + \beta_1) r_{d1}}{R_1 + (1 + \beta_1) r_{d1}} \left(-\alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1}} \right) \frac{R_4}{r_{d2} + R_4} =$$

$$\frac{2,6}{10 + 2,6} \left(-0,99 \frac{10}{0,026} \right) \frac{9,75}{0,013 + 9,75} = -78,46$$

$$\text{c.) } \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{(1 + \beta_1)(R_3 + r_{d1})}{R_1 + (1 + \beta_1)(R_3 + r_{d1})} \left(-\alpha_1 \frac{R_2}{R_3 + r_{d1}} \right) \frac{R_4}{r_{d2} + R_4} =$$

$$\frac{1432,6}{10 + 1432,6} \left(-0,99 \frac{10}{14,326} \right) \frac{9,75}{0,013 + 9,75} = -0,685$$

$$\text{d.) } R_{be} = (1 + \beta_1) r_{d1} = 100 \cdot 26 = 2,6 \text{ k}\Omega$$

$$\text{e.) } R_{ki} = r_{d2} \times R_4 = 13 \times 9750 = \frac{13 \cdot 9750}{9763} = 12,98 \approx 13 \Omega$$