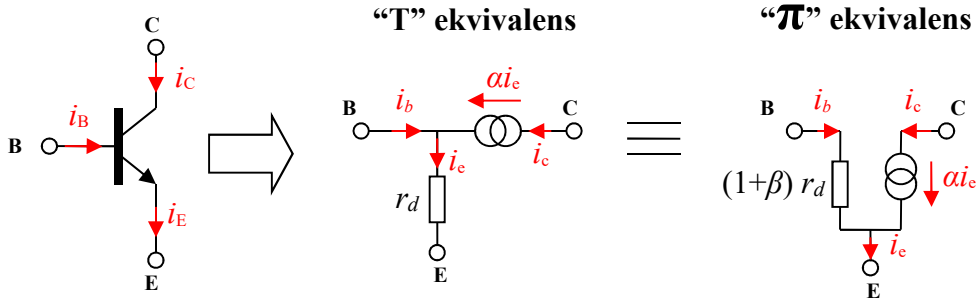


Kisjelű paraméterek (összefoglaló)

Rétegtranzisztorok kisjelű helyettesítő képe(i):



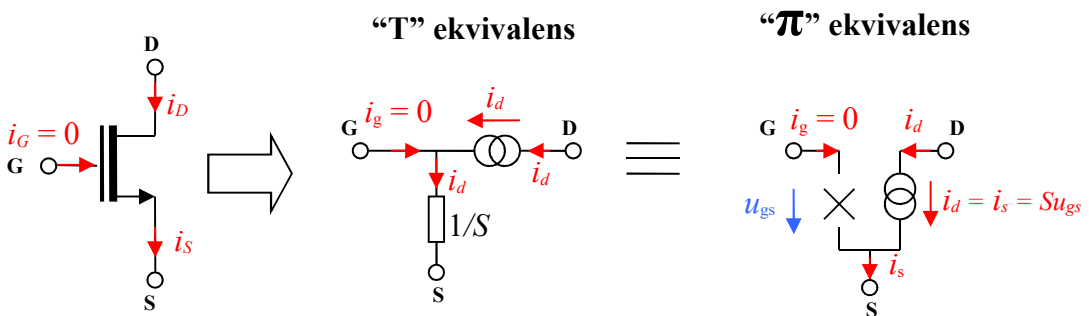
$$\frac{1}{r_d} = \left. \frac{d}{du_{BE}} i_E(u_{BE}) \right|_{u_{BE}=U_{BE0}} \cong \frac{d}{du_{BE}} I_{E00} \exp\left(\frac{u_{BE}}{U_T}\right) = \frac{I_{E0}}{U_T}$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}}$$

$$\begin{aligned} i_B(t) &= I_{B0} + i_b(t) & A &= \frac{I_{C0}}{I_{E0}} & \alpha &= \frac{i_c}{i_e} & \beta &= \frac{\alpha}{1-\alpha} \\ i_E(t) &= I_{E0} + i_e(t) & B &= \frac{I_{C0}}{I_{B0}} & \beta &= \frac{i_c}{i_b} & \alpha &= \frac{\beta}{1+\beta} \\ i_C(t) &= I_{C0} + i_c(t) \end{aligned}$$

$$I_{E0} = I_{C0} + I_{B0} \quad i_e = i_c + i_b \quad I_{B0} = (1-A)I_{E0} \quad i_b = (1-\alpha)i_e$$

MOS FET-ek kisjelű helyettesítő képe(i):



$$\begin{aligned} i_G(t) &= 0 \\ i_S(t) &= I_{S0} + i_s(t) \\ i_D(t) &= I_{D0} + i_d(t) \end{aligned} \quad \begin{aligned} S &= \left. \frac{d}{du_{GS}} i_D(u_{GS}) \right|_{u_{GS0}} = \frac{d}{du_{GS}} I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2 \Bigg|_{u_{GS0}} = \\ &= 2 \frac{I_{D00} (u_{GS0} - U_P)}{U_P^2} = 2 \frac{I_{D0}}{U_{GS0} - U_P} \end{aligned}$$

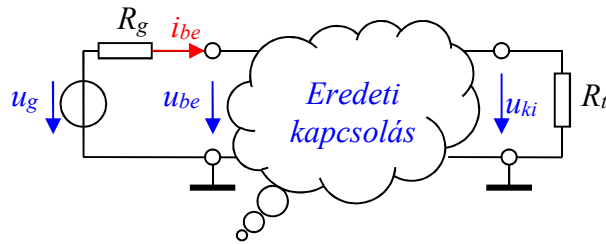
Mivel: $i_G(t) = 0$, ezért: $i_d(t) = i_s(t)$ és $I_{S0} = I_{D0}$

2.) A transzfer függvény meghatározásának lépései:

2.1.) A feladat:

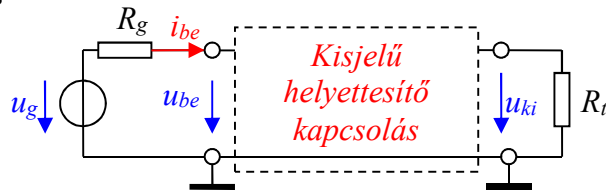
$$\text{Az } \frac{u_{ki}}{u_g} = ?$$

a transzfer függvény



2.2.) A kisjelű helyettesítő kapcsolás megrajzolása.

- Tranzisztorok: T vagy π
- A vezérlés hatására nem változó potenciálú csomópontok: föld potenciálon

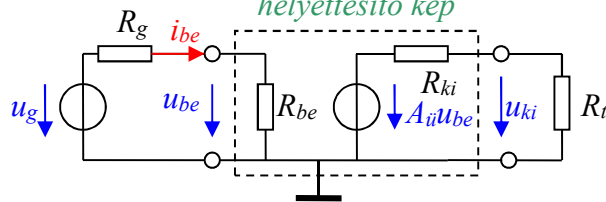


Három paraméteres helyettesítő kép

2.3.) A paraméterek:

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} \quad A_{ii} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big|_{R_t \rightarrow \infty}$$

$$R_{ki} = \frac{u_x}{i_x} \Big|_{u_g=0}$$

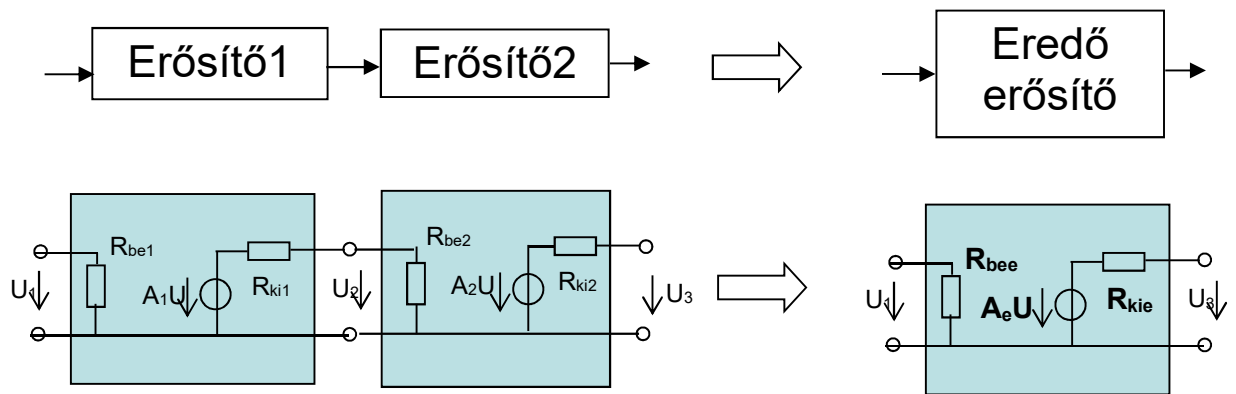


A kimenő ellenállás meghatározásához

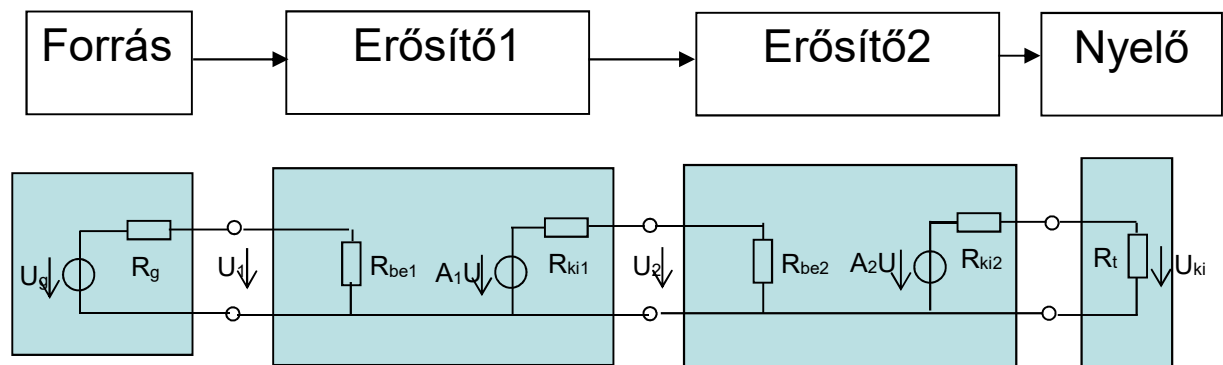
2.4.) A megoldás:

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{be}}{u_g} \frac{u_{ii}}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_{ii}} = L_{be} A_{ii} L_{ki} = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} A_{ii} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t}$$

Többfokozatú erősítők



Az eredő erősítő paraméterei: $R_{be} = R_{be1}$ $R_{kie} = R_{ki2}$ $A_e = A_1 \frac{R_{be2}}{R_{ki1} + R_{be2}} A_2$



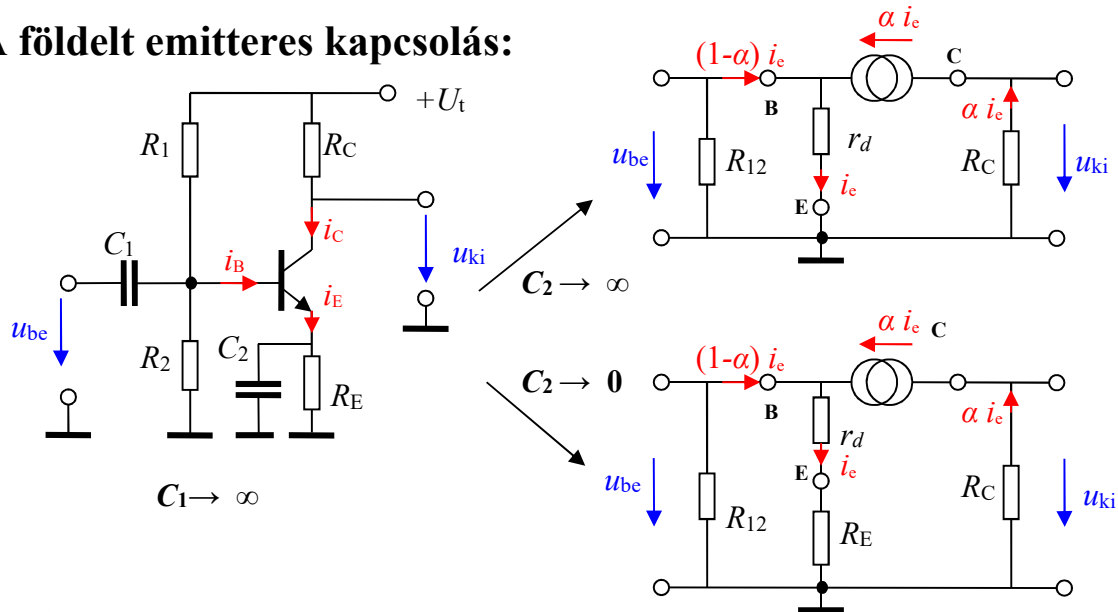
$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{U_1}{U_{be}} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{U_{ki}}{U_2}$$

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R_{be1}}{R_g + R_{be1}} \cdot A_1 \cdot \frac{R_{be2}}{R_{ki1} + R_{be2}} \cdot A_2 \cdot \frac{R_t}{R_{ki2} + R_t}$$

$$\boxed{\frac{U_{ki}}{U_{be}} = L_{be} \cdot A_1 \cdot L_{12} \cdot A_2 \cdot L_{ki}} \quad \boxed{= L_{be} \cdot A_e \cdot L_{ki}}$$

Alapkapcsolások (összefoglaló):

A földelt emitteres kapcsolás:



Ha $C_1 \rightarrow \infty$ és $C_2 \rightarrow \infty$

A bemenő ellenállás:

$$R_{be} = R_{12} \times (1 + \beta)r_d$$

ahol: $R_{12} = R_1 \times R_2$ mert: $u_{be} = i_e r_d$ és $\frac{u_{be}}{(1-\alpha)i_e} = \frac{r_d}{1-\alpha} = (1+\beta)r_d$

Az üresjárási feszültség erősítés:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-\alpha i_e R_C}{i_e r_d} = -\alpha \frac{R_C}{r_d}$$

A kimenő ellenállás:

$$R_{ki} = R_C$$

mert: ha $u_{be} = 0 \rightarrow i_e = 0 \rightarrow$ az áramgenerátor szakadás.

Ha $C_1 \rightarrow \infty$ és $C_2 \rightarrow 0$

A bemenő ellenállás:

$$R_{be} = R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E)$$

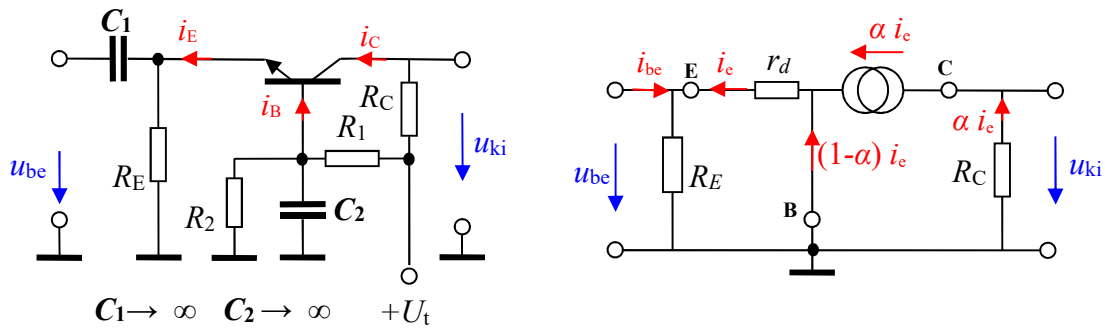
Mert: $u_{be} = i_e (r_d + R_E)$ és $\frac{u_{be}}{(1-\alpha)i_e} = \frac{r_d + R_E}{1-\alpha} = (1+\beta)(r_d + R_E)$ $\frac{1}{1-\alpha} = 1 + \beta$

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-\alpha i_e R_C}{i_e (r_d + R_E)} = -\alpha \frac{R_C}{r_d + R_E}$$

$$R_{ki} = R_C$$

Mert: ha $u_{be} = 0 \rightarrow i_e = 0 \rightarrow$ az áramgenerátor szakadás.

A földelt bázisú kapcsolás:



Ha $C_1 \rightarrow \infty$ és $C_2 \rightarrow \infty$

A bemenő és kimenő ellenállás:

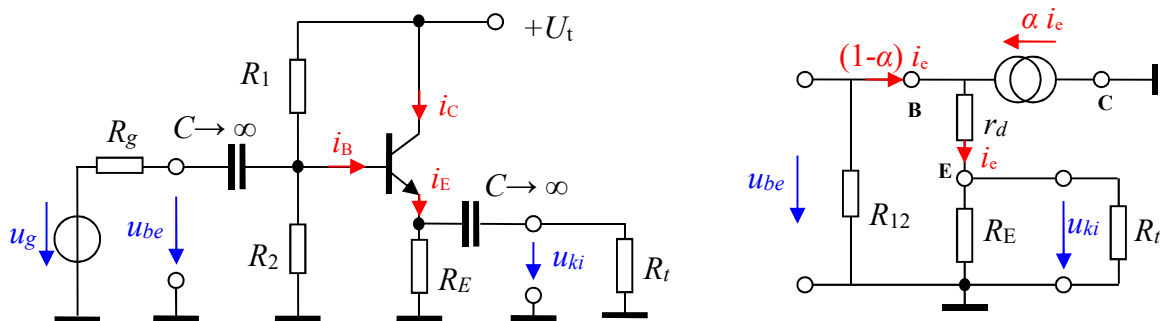
$$R_{be} = R_E \times r_d \quad R_{ki} = R_C$$

Az üresjárású feszültség erősítés:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-\alpha i_e R_C}{-i_e r_d} = \alpha \frac{R_C}{r_d}$$

A földelt kollektoros kapcsolás:

Ha a tranzisztor β -ja véges, akkor a földelt kollektoros fokozat nem visszahatás-mentes!!!
 Ez azt jelenti, hogy az R_{be} függ a kimenet lezárásától (R_t -től) és az R_{ki} függ a bemeneti kör lezárásától (R_g -től)



A bemenő ellenállás:

$$R_{be} = R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)$$

Mert: $u_{be} = i_e (r_d + R_E)$ és $\frac{u_{be}}{(1-\alpha)i_e} = \frac{r_d + R_E \times R_t}{1-\alpha} = (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)$

$$\frac{1}{1-\alpha} = 1 + \beta$$

Az üresjárású feszültség erősítés:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_E}{r_d + R_E} < 1$$

A kimenő ellenállás:

$$R_{ki} = \left. \frac{u_x}{i_x} \right|_{u_g=0} = [r_d + (1-\alpha)(R_{12} \times R_g)] \times R_E$$

Mert:

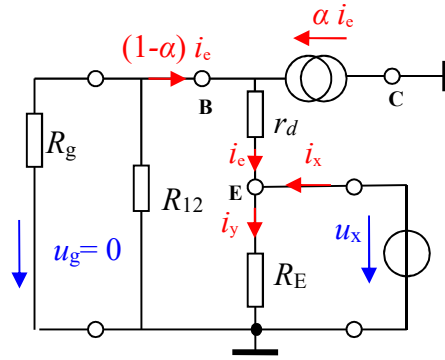
$$\text{Egyrészt: } u_x = -i_e [r_d + (1-\alpha)(R_{12} \times R_g)]$$

$$\text{Másképp: } u_x = i_y R_E$$

$$\text{Így: } \frac{1}{R_{ki}} = \frac{i_x}{u_x} = \frac{i_y - i_e}{u_x} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{(1-\alpha)(R_{12} \times R_g) + r_d}$$

Ha $\alpha = 1$ ($\beta \rightarrow \infty$)

$$R_{ki} = r_d \times R_E$$



FET-ek esetében

a paraméterek hasonlóak a rétegtranzisztorok eredményeihez azzal a megkötéssel, mintha $\alpha \rightarrow 1$, vagy $\beta \rightarrow \infty$ és $r_d \rightarrow \frac{1}{S}$ lenne.

Földelt SOURCE-u kapcsolás:

A bemenő ellenállás:

$$R_{be} = R_{12}$$

Az üresjárási feszültség

erősítés:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -SR_D$$

A kimenő ellenállás:

$$R_{ki} = R_D$$

Földelt DRAIN-ü kapcsolás:

A bemenő ellenállás:

$$R_{be} = R_{12}$$

Az üresjárási feszültség

erősítés:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_S}{R_S + 1/S} = \frac{SR_S}{1 + SR_S}$$

A kimenő ellenállás:

$$R_{ki} = R_S \times \frac{1}{S} = \frac{R_S}{1 + SR_S}$$

Földelt GATE-ü kapcsolás:

A bemenő ellenállás:

$$R_{be} = R_S \times \frac{1}{S} = \frac{R_S}{1 + SR_S}$$

Az üresjárási feszültség

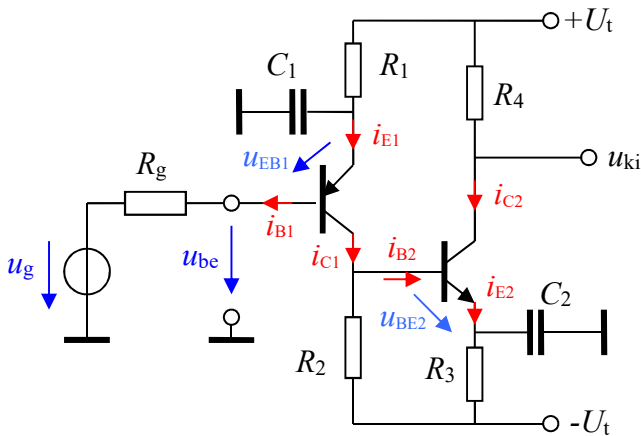
erősítés:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = SR_D$$

A kimenő ellenállás:

$$R_{be} = R_D$$

Példa



T₁: p-n-p tranzisztor, $\beta_1=B_1=99$,
 $U_{EB0} = 0,6 \text{ V}$

T₂: n-p-n tranzisztor, $\beta_2=B_2 \rightarrow \infty$,
 $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$,

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

b.) $I_{E02}=?$,

c.) $\frac{u_{ki}}{u_g}=?$, $C_1 \rightarrow \infty$, $C_2 \rightarrow \infty$,

d.) $\frac{u_{ki}}{u_g}=?$, $C_1 \rightarrow 0$, $C_2 \rightarrow \infty$,

$$U_t = 15 \text{ V}, \quad R_g = 1 \text{ k}\Omega, \quad R_1 = 14,39 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 5,66 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 5 \text{ k}\Omega, \quad R_4 = 15 \text{ k}\Omega$$

Megoldás:

a.) $I_{E01}=?$

Munkapont keresésénél a vezérlés: $u_g = 0$.

A T₁ emitter-körére felírható hurokegyenlet:

$$U_t = I_{E01} (R_1 + (1 - A_1) R_g) + U_{EB0}$$

Amiből:

$$I_{E01} = \frac{U_t - U_{EB0}}{R_1 + (1 - A_1) R_g} = \frac{15 - 0,6}{14,39 + 0,01} = 1 \text{ mA}$$

$$\alpha_1 = A_1 = \frac{B_1}{1 + B_1} = \frac{99}{100} = 0,99$$

$$I_{C01} = \frac{B_1}{1 + B_1} I_{E01} = 0,99 \text{ mA}$$

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

b.) $I_{E02}=?$

Általában a T₂ bázisárama: $I_{B02} = \frac{I_{E02}}{1 + B_2}$

Ezzel a T₂ emitter-körére felírható hurokegyenlet:

$$(I_{C01} - I_{B02}) R_2 = I_{C01} R_2 - I_{E02} (1 - A_2) R_2 = U_{BE0} + I_{E02} R_3$$

Amiből:

$$I_{E02} = \frac{I_{C01} R_2 - U_{BE0}}{R_3 + (1 - A_2) R_2}$$

Esetünkben: $B_2 \rightarrow \infty$, ezért $\rightarrow A_2 = 1$

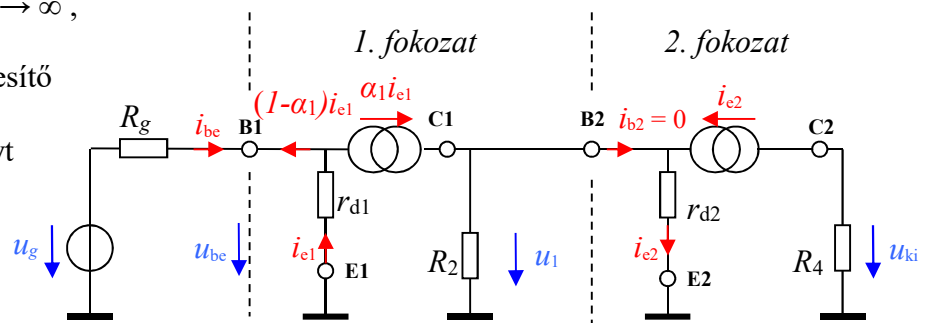
Ezért: $I_{E02} = \frac{I_{C01} R_2 - U_{BE0}}{R_3} = \frac{0,99 * 5,66 - 0,6}{5} = 1 \text{ mA}$ és $r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = \frac{26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 26 \Omega$

c.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, $C_1 \rightarrow \infty$, $C_2 \rightarrow \infty$,

Rajzoljuk le a kisjelű helyettesítő képet!

A keresett transzfer függvényt rész-transzfer függvényekre bontjuk:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_1} = A_{ü1} A_{ü2}$$



Az első (földelt emitteres) fokozat paraméterei:

$$R_{be1} = (1 + \beta)r_{d1} = 100 * 26 = 2.6 \text{ k}\Omega$$

$$A_{ü1} = \frac{u_1}{u_{be}} = -\alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1}} = -0.99 \frac{5.66}{0.026} = -215.5$$

$$R_{ki1} = R_2 = 5.66 \text{ k}\Omega$$

A második (földelt emitteres) fokozat paraméterei:

$$R_{be2} = \infty \quad \text{mert} \quad i_{b2} = 0$$

$$A_{ü2} = \frac{u_{ki}}{u_1} = -\alpha_2 \frac{R_4}{r_{d2}} = -\frac{R_4}{r_{d2}} = -\frac{15}{0.026} = -577$$

$$R_{ki2} = R_4 = 3.6 \text{ k}\Omega$$

Mivel mindkét fokozat terhelő ellenállása végtelen nagy, csak a bemeneti leosztást kell figyelembe venni:

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{be}}{u_g} \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{R_{be1}}{R_g + R_{be1}} A_{ü1} A_{ü2} = \frac{2.6}{3.6} 215.5 * 577 = 89\,810$$

d.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, $C_1 \rightarrow 0$, $C_2 \rightarrow \infty$

Az első fokozat paraméterei:

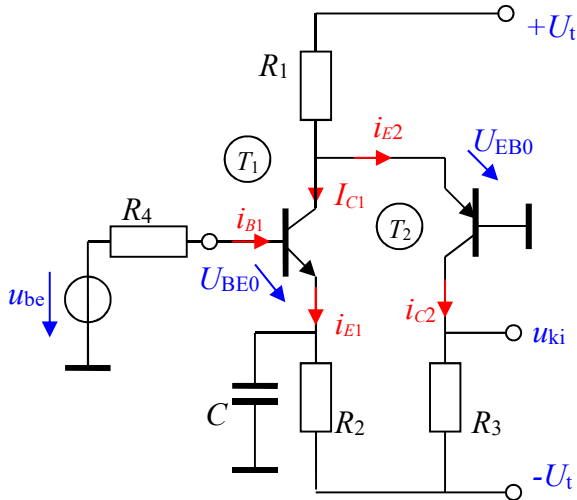
$$R_{be1} = (1 + \beta)(r_{d1} + R_1) = 100 * 14.416 = 1.4416 \text{ M}\Omega$$

$$A_{ü1} = \frac{u_1}{u_{be}} = -\alpha_1 \frac{R_2}{r_{d1} + R_1} = -0.99 \frac{5.66}{14.416} = -0.3846$$

A C_1 kondenzátor elhagyása a fokozat feszültség erősítését nagymértékben lecsökkentette, a bemenő ellenállást nagymértékben megnövelte.

A második fokozat nem változik, így:

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{be}}{u_g} \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{R_{be1}}{R_g + R_{be1}} A_{ü1} A_{ü2} = \frac{1.4416}{1.4426} 0.3845 * 577 = 221.9$$

Példa (KASZKÓD KAPCSOLÁS)

T_1 : n-p-n, T_2 : p-n-p

$\beta_1 = \beta_2 = \beta_1 = \beta_2 = 99$, $U_{BE0} = U_{EB0} = 0.6 \text{ V}$

$U_t = 12 \text{ V}$,

$R_1 = 5.73 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 11.3 \text{ k}\Omega$,

$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_g = 10 \text{ k}\Omega$

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

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

Megoldás:

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

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

$$U_t = I_{B01} R_g + U_{BE0} + I_{E01} R_2 = U_{BE0} + I_{E01} (R_2 + (1 - A_1) R_g)$$

$$A_1 = \frac{B_1}{1 + B_1} = 0.99$$

Ebből:

$$I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_2 + (1 - A_1) R_g} = \frac{12 - 0.6}{11.3 + 0.1} = 1 \text{ mA}$$

$$r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = 26 \Omega$$

T_2 emitter- bázis átmenetére felírható hurok egyenlet:

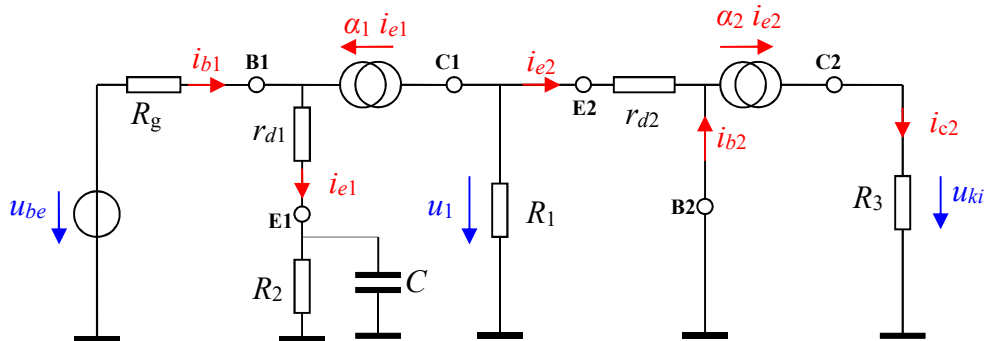
$$U_t = (I_{C01} + I_{E02}) R_1 + U_{EB0} = A_1 I_{E01} R_1 + U_{EB0} + I_{E02} R_1$$

$$\text{Ebből: } I_{E02} = \frac{U_t - A_1 I_{E01} R_1 - U_{EB0}}{R_1} = \frac{12 - 0.99 * 5.73 - 0.6}{5.73} = 1 \text{ mA}$$

$$r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = 26 \Omega$$

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

A kapcsolás kisjelű helyettesítő képe:



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

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

Amiből:

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

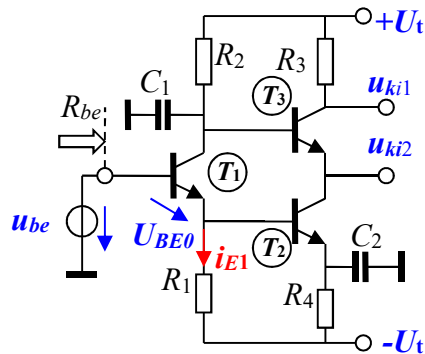
A T_1 kollektorában folyó i_{c1} áramból az áramosztó képletével számolhatjuk T_2 i_{e2} emitter, majd i_{c2} kollektor áramát:

$$i_{c2} = \alpha_2 i_{e2} = -\alpha_2 \frac{R_1}{R_1 + r_{d2}} i_{c1} = -\alpha_2 \frac{R_1}{R_1 + r_{d2}} \alpha_1 i_{e1}$$

Az előző egyenlet felhasználásával a transzfer függvény:

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_{c2} R_3}{u_{be}} = -\frac{\alpha_1 \alpha_2 R_1 R_3}{(r_{d1} + (1 - \alpha_1) R_g)(R_1 + r_{d2})} = -\frac{0.99^2 * 5730 * 10000}{(26 + 100)(5730 + 26)} = -77.43$$

További feladatok:



T₁: n-p-n tranzisztor, $\beta_1=B_1=99$, $U_{BE0}=0,6$ V,
 T₂, T₃: n-p-n tranzisztorok, $\beta_2=B_2=\beta_3=B_3 \rightarrow \infty$,
 $U_{BE0}=0,6$ V,

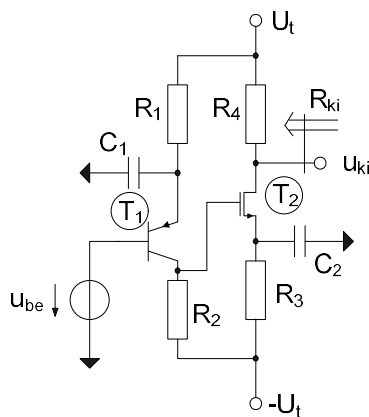
- a.) $I_{E01}=?$,
 b.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}}=?$, $r_{d1}=r_{d2}=r_{d3}=13 \Omega$,
 c.) $\frac{u_{ki2}}{u_{be}}=?$, $r_{d1}=r_{d2}=r_{d3}=13 \Omega$,
 d.) $R_{be}=?$, $r_{d1}=r_{d2}=r_{d3}=13 \Omega$,

$R_1 = 7,2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 5,2 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 6,9 \text{ k}\Omega$
 $C_1 \rightarrow \infty$, $C_2 \rightarrow \infty$, $U_t = 15$ V,

Eredmények:

- a.) $I_{E01} = 2 \text{ mA}$, b.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = -399,3$, c.) $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = -0,998$, d.) $R_{be} = 721,3 \text{ k}\Omega$

Határozza meg az alábbi kapcsolás munkaponti és kiszelű paramétereit!



$U_t = 15$ V, $R_1 = 7,2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 14 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$
 $C_1 \rightarrow \infty$, $C_2 \rightarrow \infty$

T₁: p-n-p tranzisztor, $\beta=B \rightarrow \infty$, $U_{EB0}=0,6$ V,
 T₂: n csatornás kiűrtéses MOS FET,

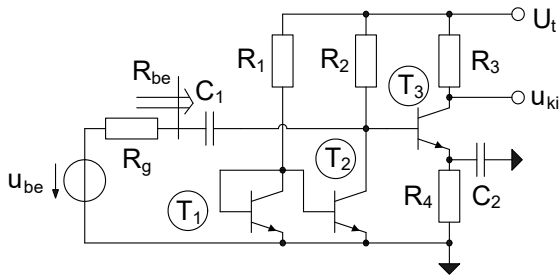
$i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2$, $U_P = -4$ V, $I_{D00} = 4$ mA,

- a.) $I_{E0}=?$, $r_d=?$
 b.) $U_{GS0}=?$, $I_{D0}=?$, $S=?$
 c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}=?$,
 d.) $R_{ki}=?$,

Eredmények:

- a.) $I_{E0} = 2 \text{ mA}$, $r_d=13 \Omega$, b.) $U_{GS0}=2$ V, $I_{D0}=9$ mA, $S=3$ mS
 c.) $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = 16615$, d.) $R_{ki} = 10 \text{ k}\Omega$

Határozza meg az alábbi kapcsolás munkaponti és kisjelű paramétereit!



$$U_i = 15 \text{ V}, \quad R_1 = 43,2 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 24 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 5 \text{ k}\Omega, \\ R_4 = 6,16 \text{ k}\Omega, \quad R_g = 2 \text{ k}\Omega, \quad C_1 = C_2 \rightarrow \infty,$$

T_1, T_2 : n-p-n tranzisztorok, $\beta_1 = B_1 = \beta_2 = B_2 \rightarrow \infty$,

T_3 : n-p-n tranzisztor, $\beta_3 = B_3 = 99$,

T_1, T_2, T_3 : $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$

- a.) $I_{E01} = ?$, $I_{E02} = ?$, $I_{E03} = ?$,
b.) $R_{be} = ?$

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

Eredmények:

a.) $I_{E01} = 0,33 \text{ mA}$, $I_{E02} = 0,33 \text{ mA}$, $I_{E03} = 1 \text{ mA}$ b.) $R_{be} = 2,36 \text{ k}\Omega$, c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -88,5$