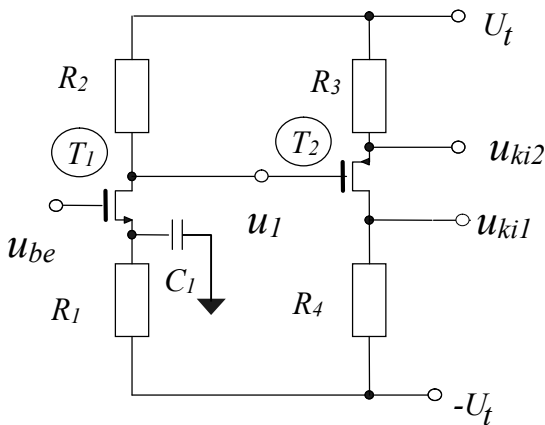


1. Példa



T_1 : n csatornás MOS FET, $I_{D01} = 1 \text{ mA}$, $S_1 = 1 \text{ mS}$

T_2 : p csatornás MOS FET, $I_{D02} = 1 \text{ mA}$, $S_1 = 1 \text{ mS}$

$U_t = 12 \text{ V}$, $R_1 = R_3 = 6 \text{ k}\Omega$,

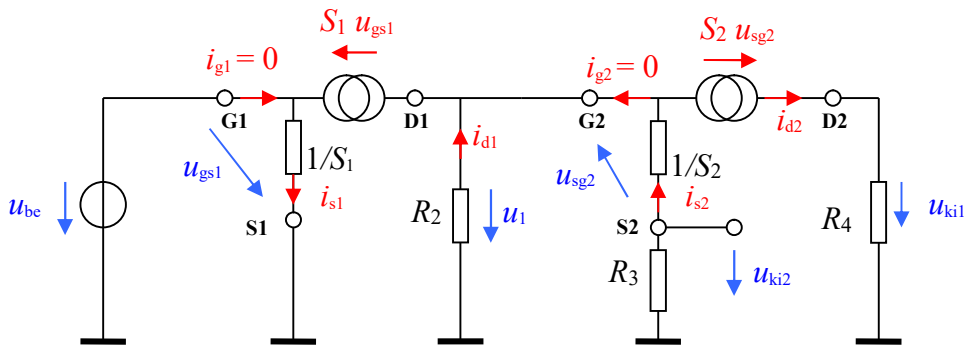
$R_2 = R_4 = 12 \text{ k}\Omega$, $C_1 = \infty$

Kérdések: kisjelű erősítő paraméterek,

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ? \quad \frac{u_{ki2}}{u_{be}} = ? \quad R_{ki1} = ? \quad R_{ki2} = ?$$

Részletező megoldás:

Mindhárom kérdésre a kapcsolás kisjelű (váltóáramú) helyettesítő képe alapján fogunk válaszolni. Rajzoljuk le először a tranzisztorok kisjelű „T” ekvivalenseit! Az „n” ill. a „p” csatornás FET-eknek megfelelően jelöljük be a tranzisztorok (kisjelű) áramait! Ezek után egészítsük ki a kapcsolást az ellenállásokkal és a vezérléssel! Az eredeti kapcsolás azon csomópontjai, melyek potenciáljai nem változhatnak, váltóáramúlag föld-potenciálra kerülnek (a tápfeszültség csomópontok, T_1 SOURCE-elektrodája a C kapacitás miatt).



a) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$, $C = \infty$,

Fokozatonként fogjuk az erősítést kiszámítani. Az első fokozatra felírható összefüggések:

$$u_{gs1} = u_{be} \quad u_1 = -R_2 i_{d1} = -R_2 S_1 u_{gs1} = (-R_2 S_1) u_{be}$$

A második fokozat:

$$u_{sg2} = -u_1 \frac{1/S_2}{1/S_2 + R_3} \quad u_{ki1} = R_4 i_{d2} = R_4 S_2 u_{sg2} = \left(-\frac{R_4 S_2}{1 + R_3 S_2} \right) u_1$$

Az eredő erősítés:

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = A_1 = (-R_2 S_1) \left(-\frac{R_4 S_2}{1 + R_3 S_2} \right) = (-12) \left(-\frac{12}{1 + 6} \right) = 20.57$$

$$b) \frac{u_{ki2}}{u_{be}} = ?, C = \infty,$$

Az első fokozat erősítése ugyan az mint az előbb: $u_1 = (-R_2 S_1) u_{be}$

A második fokozat „erősítése” most egy feszültségosztás eredménye:

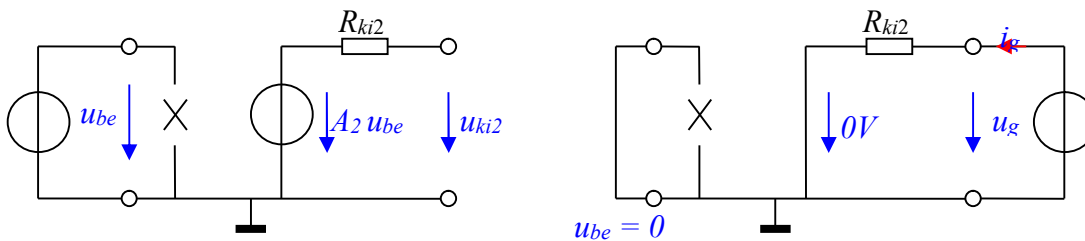
$$u_{ki2} = \frac{R_3}{R_3 + 1/S_2} u_1 = \left(\frac{R_3 S_2}{1 + R_3 S_2} \right) u_1$$

Az eredő erősítés:

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = A_2 = (-R_2 S_1) \left(\frac{R_3 S_2}{1 + R_3 S_2} \right) = -12 * \frac{6}{7} = -10.28$$

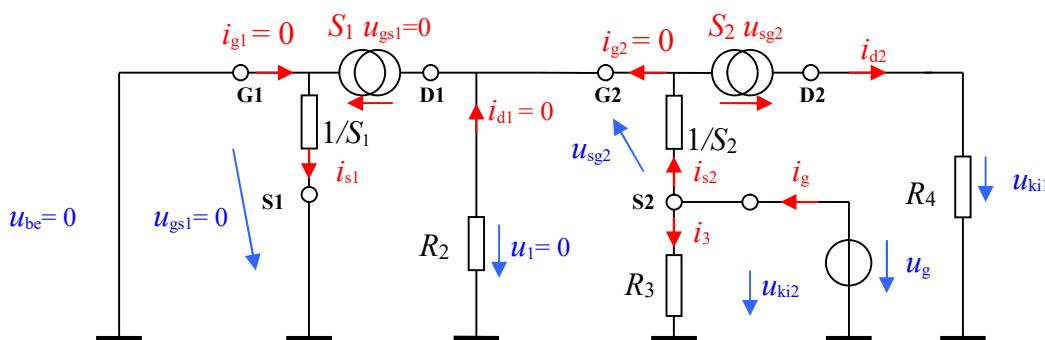
$$c) R_{ki2} = ?,$$

Tegyük a fenti erősítőt egy fekete dobozba! Rajzoljuk le a fekete dobozban lévő jelforrás *Thevenin* helyettesítő képét!



A feszültségforrás belső ellenállása a kimeneti impedancia. Amíg a kimeneti kapocspár nincs terhelve (üresjárás), addig a kimeneti ellenállásnak nincs szerepe. Ha terheljük a kimenetet az üresjárás kimenő feszültség (amit eddig számítottunk) a terhelés és a kimenő ellenállás arányában leosztást szenved. Általában ennek számításához van szükségünk R_{ki} értékére.

A *Thevenin* helyettesítő kép alapján a kimenő ellenállás meghatározása triviális: a bemeneti feszültséget lekapcsoljuk ($u_{be} = 0$), majd a kimenetre egy u_g feszültségforrást kapcsolunk és kiszámítjuk az ezen forrás hatására létrejövő i_g áramot. Az u_g/i_g hányados a kimenő impedanciát szolgáltatja (lásd az ábrát). A mi áramkörünkre is ezt a receptet alkalmazzuk:



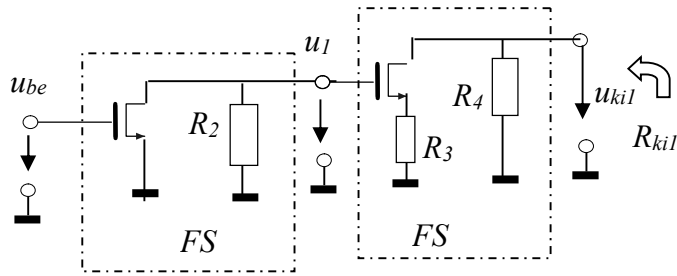
Mivel a G2 elektróda most föld-potenciálón van az R_3 és az $1/S_2$ ellenállások párhuzamosan kapcsolódnak. Ezért a 2-es számú kimenetről (az ábrán most bemenet) az impedancia:

$$R_{ki2} = \frac{u_g}{i_g} = \frac{1}{\frac{i_3}{u_g} + \frac{i_{s2}}{u_g}} = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + S_2} = R_3 \times \left(\frac{1}{S_2} \right) = 6 \times 1 = \frac{6}{7} = 0.857 \text{ k}\Omega$$

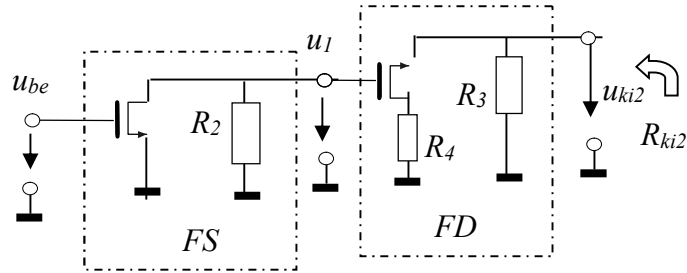
Másik módszer: gyors megoldás:

A váltóáramú helyettesítő kép felrajzolása és a feladat dekomponálása (kétfokozatú erősítő):

$$\begin{aligned} \frac{u_{ki1}}{u_{be}} &= \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki1}}{u_1} = \\ &= A_1 A_{21} = A_{e1} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \frac{u_{ki2}}{u_{be}} &= \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki2}}{u_1} = \\ &= A_1 A_{22} = A_{e2} \end{aligned}$$



$$1. \text{ fokozat (FS): } \frac{u_1}{u_{be}} = A_1 = -\frac{R_2}{1/S_1} = -S_1 R_2 = -12$$

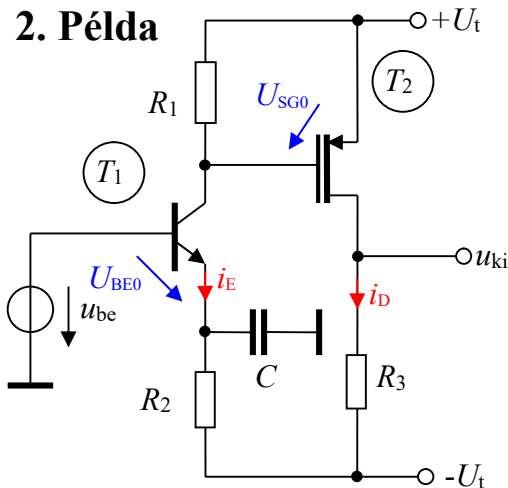
$$2. \text{ fokozat (FS) } \frac{u_{ki1}}{u_1} = A_{21} = -\frac{R_4}{1/S_2 + R_3} = -\frac{S_2 R_4}{1 + S_2 R_3} = -\frac{12}{7} \quad R_{ki1} = R_4 = 12 \text{ k}\Omega$$

$$\text{(FD) } \frac{u_{ki2}}{u_1} = A_{22} = \frac{R_3}{1/S_2 + R_3} = \frac{S_2 R_3}{1 + S_2 R_3} = +\frac{6}{7} \quad R_{ki2} = R_3 \times \frac{1}{S_2} = \frac{6}{7} \text{ k}\Omega$$

$$\text{Eredő: } \frac{u_{ki1}}{u_{be}} = A_1 A_{21} = (-12) \left(-\frac{12}{7} \right) = 20,57$$

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = A_1 A_{22} = (-12) \left(\frac{6}{7} \right) = -10,29$$

2. Példa



T_1 : n-p-n tranzisztor, $\beta=B \rightarrow \infty$, $U_{BE0}=0,6$ V,
 T_2 : p csatornás növekményes MOS FET,

$$i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{SG} - U_P}{U_P} \right)^2, \quad U_P = 8 \text{ V}, \quad I_{D00} = 4 \text{ mA},$$

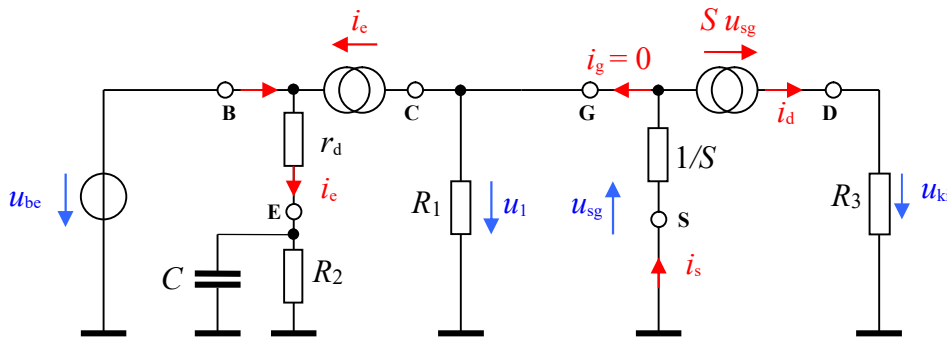
$U_t = 15$ V, $R_2 = 7,2$ k Ω , $R_1 = 6$ k Ω , $R_3 = 15$ k Ω ,

a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $r_d = 13$ Ω , $S = 0,5$ mS, $C \rightarrow \infty$,

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $r_d = 13$ Ω , $S = 0,5$ mS, $C = 0$,

Megoldás:

Mindkét kérdésre a választ a kisjelű helyettesítő kép alapján fogjuk megadni. Rajzoljuk le a tranzisztorok „T” helyettesítő képét! Rajzoljuk be az ellenállásokat és kondenzátorokat! Azok a csomópontok, melyek potenciáljai nem változhatnak (telepek) váltóáramú szempontból föld-potenciálra kötendők!



a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $r_d = 13$ Ω , $S = 0,5$ mS, $C \rightarrow \infty$,

A $C \rightarrow \infty$ előírás azt jelenti, hogy a szinuszos gerjesztés frekvenciájához tartozó periódusidőről feltételezzük, hogy az olyan kicsi, hogy ez alatt az idő alatt a nagy kapacitású kondenzátoron a töltés (és így a feszültség) nem tud észrevehetően megváltozni. Ez a fentebb mondottak szerint azt jelenti, hogy az a.) feladatban a T_1 emittére föld-potenciál van. A kondenzátor mintegy rövidre zárja R_2 -t. A felírható egyenletek:

$$u_{be} = i_e r_d \quad u_1 = -i_e R_1 = -\frac{R_1}{r_d} u_{be} \quad u_{ki} = R_3 i_d = R_3 S u_{sg} = -R_3 S u_1$$

Amiből:
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(-\frac{R_1}{r_d} \right) (-S R_3) = \frac{6000}{13} * 0,5 * 15 = 3461$$

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $r_d = 13$ Ω , $S = 0,5$ mS, $C = 0$, (C nincs, R_2 van) $\rightarrow u_{be} = i_e (r_d + R_2)$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(-\frac{R_1}{r_d + R_2} \right) (-S R_3) = \frac{6000}{7213} * 0,5 * 15 = 6,24$$

Gyors megoldás:**Ha $C = \infty$**

$$\mathbf{2. fokozat: FS} \quad \frac{u_{ki}}{u_1} = -SR_3 \quad R_{be2} = \infty \quad R_{ki2} = R_3$$

$$\mathbf{1. fokozat: FE:} \quad \frac{u_1}{u_{be}} = -\alpha \frac{R_1}{r_d} \quad R_{be1} = (1+\beta)r_d \quad R_{ki2} = R_2$$

$$\mathbf{Eredő:} \quad \frac{u_1}{u_{be}} = \alpha \frac{R_1}{r_d} SR_3 = \frac{6000}{13} \cdot 0.5 \cdot 15 = 3461,5$$

$$R_{be} = R_{be1} = (1+\beta)r_d$$

$$R_{ki} = R_{ki2} = R_3$$

Ha $C = 0$

$$\mathbf{2. fokozat: FS} \quad \frac{u_{ki}}{u_1} = -SR_3 \quad R_{be2} = \infty \quad R_{ki2} = R_3$$

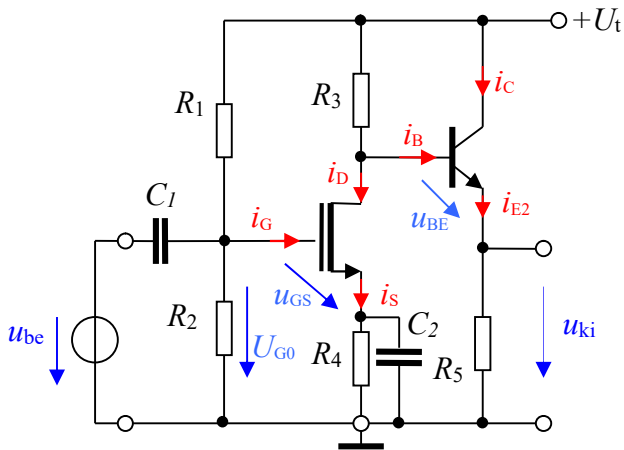
$$\mathbf{1. fokozat: FE:} \quad \frac{u_1}{u_{be}} = -\alpha \frac{R_1}{r_d + R_2} \quad R_{be1} = (1+\beta)(r_d + R_2) \quad R_{ki2} = R_2$$

$$\mathbf{Eredő:} \quad \frac{u_1}{u_{be}} = \alpha \frac{R_1}{r_d + R_2} SR = \frac{6000}{7213} \cdot 0.5 \cdot 15 = 6,24$$

$$R_{be} = R_{be1} = (1+\beta)(r_d + R_2)$$

$$R_{ki} = R_{ki2} = R_3$$

3. Példa



T₁: n csatornás növekményes MOS FET

$$U_P = 2 \text{ V} \quad I_{D00} = 1 \text{ mA}$$

T₂: n-p-n tranzisztor, $\beta_2 = B_2 = 99$,

$$U_{BE0} = 0,6 \text{ V},$$

a.) $I_{D0} = ?$,

b.) $I_{E0} = ?$,

$$U_t = 12 \text{ V}$$

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 100 \text{ k}\Omega,$$

$$R_3 = 2 \text{ k}\Omega, \quad R_4 = 2 \text{ k}\Omega, \quad R_5 = 9.38 \text{ k}\Omega,$$

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

Megoldás:

a.) $I_{D0} = ?$

A FET GATE elektródáján nem folyik egyenáram ($I_{G0} = 0$), tehát az $R_1 - R_2$ feszültség osztó terheletlen. Ezért a GATE potenciálja:

$$U_{G0} = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6 \text{ V}$$

A G-S körre felírható hurokegyenlet:

$$U_{G0} = u_{GS} + i_S R_4$$

A FET DRAIN árama:

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

Mivel $i_D = i_S$, ez egy két-ismeretlenes egyenletrendszer, melynek megoldása a munkaponti áram és feszültség: $i_D = i_S = I_{D0}$, $u_{GS} = U_{GS0}$

Az első egyenletet a másodikba helyettesítve:

$$I_{D0} = I_{D00} \left(\frac{U_{G0} - U_P - I_{D0} R_4}{U_P} \right)^2 = \left(\frac{4 - 2I_{D0}}{2} \right)^2 = 4 - 4I_{D0} + I_{D0}^2$$

$$I_{D0}^2 - 5I_{D0} + 4 = 0 \quad \rightarrow \quad I_{D0} = \frac{5 - \sqrt{25 - 16}}{2} = 1 \text{ mA}$$

$$S = 2 \frac{I_{D0}}{U_{GS0} - U_P} = 2 \frac{I_{D0}}{U_{G0} - I_{D0} R_4 - U_P} = \frac{2}{6 - 2 - 2} = 1 \text{ mS}$$

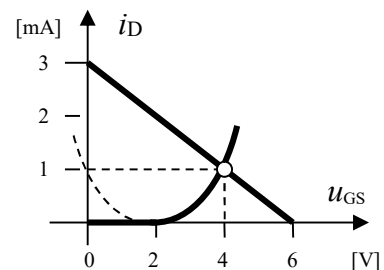
b.) $I_{E0} = ?$

Az n-p-n tranzisztor munkaponti bázis-árama: $I_{B0} = (1 - A) I_{E0}$

A felírható hurok egyenlet: $U_t = (I_{D0} + (1 - A) I_{E0}) R_3 + U_{BE0} + I_{E0} R_5$

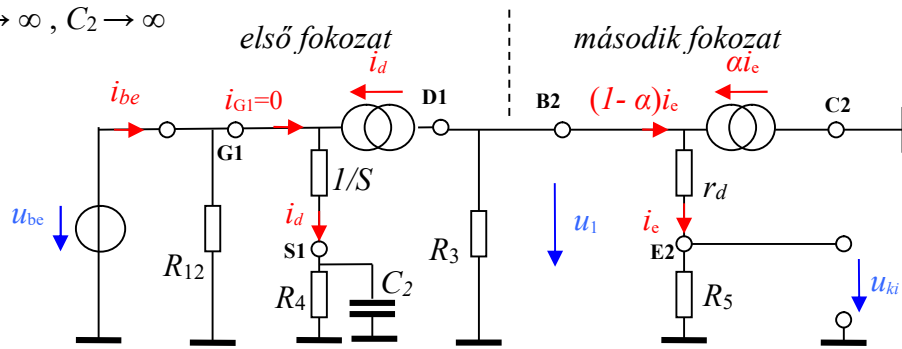
Ebből az emitter-áram:

$$I_{E0} = \frac{U_t - I_{D0} R_3 - U_{BE0}}{R_5 + (1 - A) R_3} = \frac{12 - 2 - 0.6}{9.38 + 0.02} = 1 \text{ mA} \quad r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = \frac{26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 26 \Omega$$



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

A kisjelű helyettesítő kép:



Az első fokozat paraméterei:

$$R_{be1} = R_{12} = R_1 \times R_2 = 50 \text{ k}\Omega$$

Ha $C_2 = 0$

$$A_{ü1} = \frac{u_1}{u_{be}} = -\frac{R_3}{1/S + R_4} = -\frac{SR_3}{1 + SR_4} = -\frac{2}{1 + 2} = -0.667$$

Ha $C_2 \rightarrow \infty$

$$A_{ü1} = \frac{u_1}{u_{be}} = -\frac{R_3}{1/S} = -SR_3 = -2$$

$$R_{ki1} = R_3 = 2 \text{ k}\Omega$$

A második fokozat paraméterei:

$$R_{be2} = (1 + \beta)(r_d + R_5) = 100 * (9.38 + 0.026) = 946 \text{ k}\Omega$$

$$A_{ü2} = \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{R_5}{r_d + R_5} = \frac{9.38}{9.406} = 0.997 \cong 1$$

$$R_{ki2} = [r_d + (1 - \alpha)R_{ki1}] \times R_5 = [0.026 + 0.02] \times 9.38 \cong 46 \text{ }\Omega$$

A teljes átvitel szempontjából leosztás csak a két fokozat között lép fel, így:

$$A_{ü} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_{ü1} \frac{R_{be2}}{R_{ki1} + R_{be2}} A_{ü2} = -2 \frac{94.6}{2 + 94.6} 0.997 = -1.96$$

$$R_{be} = R_{be1} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki} = R_{ki2} = 46 \text{ }\Omega$$