

ÓBUDAI EGYETEM
KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR
AUTOMATIKA INTÉZET

ELEKTRONIKA I.

MINTAPÉLDÁK

Összeállította: Dr. Iváncsyné Csepesz Erzsébet

Budapest, 2012.

Diódák, Zener diódák

1) Egy valóságos rétegdióda munkaponti adatait mérésrel határoztuk meg:

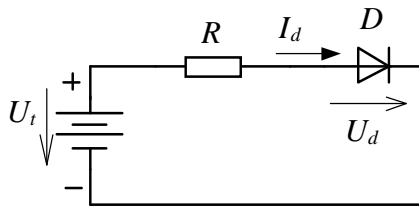
a dióda nyitóirányú feszültsége:	$U_d = 0,6 \text{ V}$
a dióda nyitóirányú árama:	$I_d = 1 \text{ mA}$
a termikus feszültség értéke:	$U_T = 26 \text{ mV}$

Számítsa ki a dióda visszáramát!

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{U_d}{U_T}} - 1 \right) \quad I_0 = \frac{I_d}{e^{\frac{U_d}{U_T}} - 1} = \frac{10^{-3}}{e^{\frac{0,6}{26 \cdot 10^{-3}}} - 1} \quad I_0 = 9,5 \cdot 10^{-14} \text{ A}$$

2) Mekkora előtét ellenállást kell a diódával sorba kapcsolni, ha a telepfeszültség $U_t = 2,7 \text{ V}$, és azt szeretnénk, hogy a diódán $I_d = 5 \text{ mA}$ áram folyjon át?

A dióda nyitóirányú feszültségét a dióda-egyenletből számolja ki, ha a dióda visszárama $I_0 = 1 \cdot 10^{-14} \text{ A}$ és a termikus feszültség $U_T = 26 \text{ mV}$!



$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{U_d}{U_T}} - 1 \right) \quad I_d \cong I_0 e^{\frac{U_d}{U_T}}$$

$$U_d = U_T \ln \frac{I_d}{I_0} = 26 \cdot 10^{-3} \ln \frac{5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-14}}$$

$$U_d = 0,7 \text{ V}$$

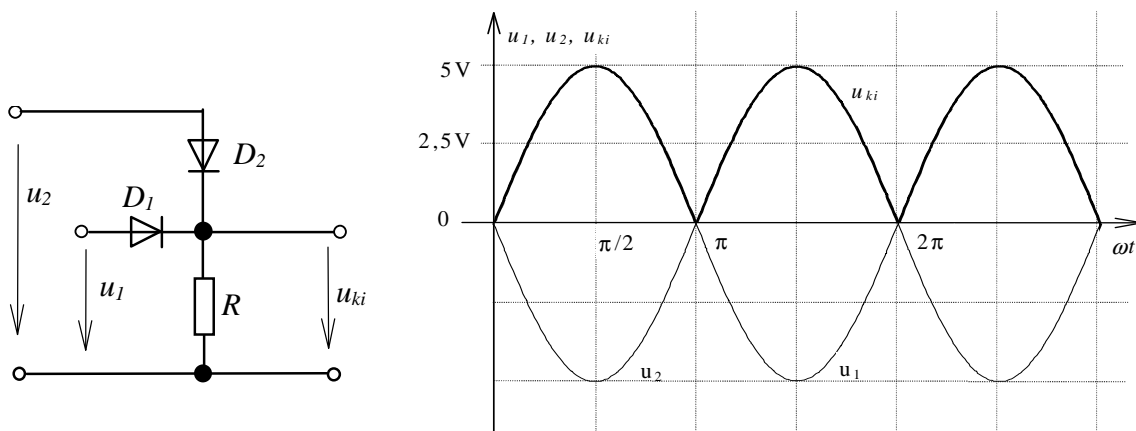
$$U_t - I_d R - U_d = 0$$

$$R = \frac{U_t - U_d}{I_d} = \frac{2,7 - 0,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 400 \Omega$$

Mekkora a dióda dinamikus ellenállása a fenti munkapontban?

$$r_d = \left. \frac{du_d}{di_d} \right|_{I_M, U_M} \quad r_d = \frac{U_T}{I_d} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 5,2 \Omega$$

- 3) Adott az alábbi diódás kapcsolás. Rajzolja le a **kimenet időfüggvényét**, ha a bemenetekre adott jelek: $u_1 = 5 \cdot \sin \omega t$ és $u_2 = 5 \cdot \sin(\omega t + \pi)$! A diódák ideálisak!



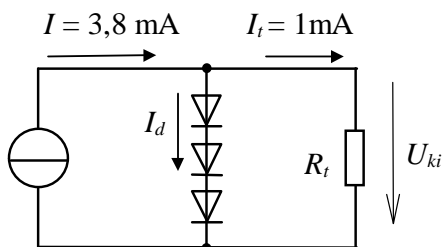
- 4) Számítsa ki az R_t terhelő ellenálláson eső U_{ki} feszültséget! A diódák teljesen egyformák!

A dióda maradékárama:

$$I_o = 10^{-14} \text{ A}$$

A termikus feszültség:

$$U_T = 26 \text{ mV}$$



$$I_d = I - I_t = 3,8 \cdot 10^{-3} - 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 2,8 \text{ mA}$$

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{U_d}{U_T}} - 1 \right)$$

$$U_d = U_T \ln \left(\frac{I_d}{I_0} + 1 \right) = 26 \cdot 10^{-3} \ln \left(\frac{2,8 \cdot 10^{-3}}{10^{-14}} + 1 \right) = 0,685 \text{ V}$$

$$U_{ki} = 3U_d = 2,055 \text{ V}$$

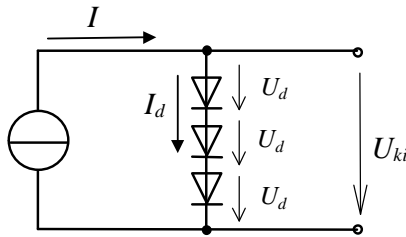
- 5) Határozza meg az áramgenerátor áramát, ha a kimeneti feszültség: $U_{ki} = 2,055 \text{ V}$, és a diódák teljesen egyformák!

A dióda maradékárama:

$$I_o = 10^{-14} \text{ A}$$

A termikus feszültség:

$$U_T = 26 \text{ mV}$$



$$U_{ki} = 3U_d = 2,055 \text{ V}$$

$$U_d = \frac{U_{ki}}{3} = 0,685 \text{ V}$$

$$I = I_d$$

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{U_d}{U_T}} - 1 \right) \cong I_o e^{\frac{U_d}{U_T}} = 10^{-14} \cdot e^{\frac{0,685}{0,026}} = 2,766 \text{ mA}$$

- 6) Mennyit változik a dióda nyitóirányú feszültsége, ha árama a 10-szeresére nő ($I_{d2} = 10I_{d1}$)?

A termikus feszültség: $U_T = 26 \text{ mV}$.

$$I_{d1} = I_o e^{\frac{U_{d1}}{U_T}}$$

$$I_{d2} = 10I_{d1} = I_o e^{\frac{U_{d2}}{U_T}}$$

$$\frac{I_{d2}}{I_{d1}} = 10 = \frac{e^{\frac{U_{d2}}{U_T}}}{e^{\frac{U_{d1}}{U_T}}}$$

$$\ln 10 = \frac{U_{d2} - U_{d1}}{U_T}$$

$$\Delta U_d = U_{d2} - U_{d1} = U_T \ln 10 = 26 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 = 59,8 \text{ mV}$$

- 7) Rajzoljon egy Zener diódás feszültségstabilizátort és határozza meg a megadott elemek értékeinek segítségével az I_{be} bemeneti és az I_z Zener áram értékét!

Adatok: a tápfeszültség:

$$U_{be} = 20 \text{ V}$$

a Zener feszültség:

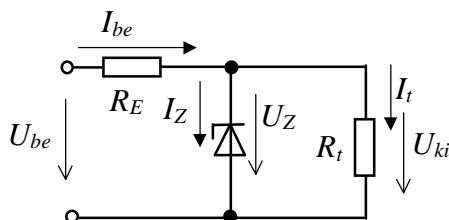
$$U_Z = 13 \text{ V}$$

az előtétellenállás értéke:

$$R_E = 100 \Omega$$

a terhelőellenállás értéke:

$$R = 300 \Omega$$



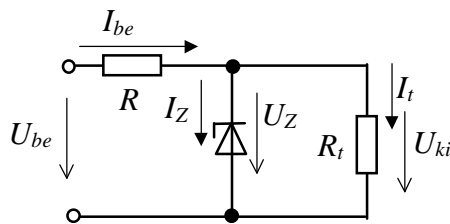
$$I_{be} = \frac{U_{be} - U_Z}{R_E} = \frac{20 - 13}{100} = 70 \text{ mA}$$

$$I_t = \frac{U_t}{R} = \frac{U_Z}{R} = \frac{13}{300} = 43,3 \text{ mA}$$

$$I_{be} = I_t + I_Z \quad I_Z = I_{be} - I_t = 0,07 - 0,0433 = 0,0267 \text{ A}$$

$$I_Z = 26,7 \text{ mA}$$

8) Határozza meg az ábrán látható elemi feszültségstabilizátor előtét ellenállásának nagyságát!



Adatok:

A tápfeszültség:

$$U_{be} = 15 \text{ V} \pm 3 \text{ V}$$

a terhelő áram:

$$I_t = 0 \dots 20 \text{ mA}$$

a Zener dióda névleges feszültsége:

$$U_{ZN} = 6,2 \text{ V}$$

a Zener dióda névleges árama:

$$I_{ZN} = 5 \text{ mA}$$

a Zener dióda dinamikus ellenállása:

$$r_z = 10 \Omega$$

a Zener dióda megengedett disszipációs teljesítménye:

$$P_{dmax} = 600 \text{ mW}$$

$$I_{be} = I_Z + I_t$$

A Zener áramának maximális értéke:

$$I_{Zmax} = \frac{P_{dmax}}{U_{ZN}} = \frac{600 \cdot 10^{-3}}{6,2} \cong 97 \text{ mA}.$$

A Zeneren akkor folyik maximális áram, ha a bemeneti feszültség maximális és a terhelő áram minimális értékű: $U_{bemax} = 18 \text{ V}$, $I_{tmin} = 0$.

$$I_{be} = \frac{U_{be} - U_Z}{R} \quad I_Z = I_{be} - I_t$$

$$I_{Zmax} = \frac{U_{be\max} - U_{ZN}}{R} - I_{t\min} = \frac{18 - 6,2}{R} - 0$$

$$R \geq \frac{U_{be\max} - U_{ZN}}{I_{Z\max}} = \frac{18 - 6,2}{97 \cdot 10^{-3}} = 121,6 \Omega \approx 120 \Omega$$

A Zeneren akkor folyik a legkisebb áram, ha a bemeneti feszültség minimális és a terhelő áram maximális értékű: $U_{be\min} = 12 \text{ V}$, $I_{t\max} = 20 \text{ mA}$.

$$I_{Z\min} = \frac{U_{be\min} - U_{ZN}}{R} - I_{t\max} = \frac{12 - 6,2}{R} - 20 \cdot 10^{-3}$$

A Zener minimális árama: $I_{Z\min} = I_{ZN} = 5 \text{ mA}$.

$$R \leq \frac{U_{be\min} - U_{ZN}}{I_{Z\min} + I_t} = \frac{12 - 6,2}{5 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 10^{-3}} = 232 \Omega \approx 230 \Omega$$

$$120 \Omega \leq R \leq 230 \Omega$$

$$R = 180 \Omega$$

Mekkora lesz a kimeneti feszültség ΔU_{ki} változása, ha a bemeneti feszültség $\Delta U_{be} = 2 \text{ V}$ -ot változik?

$$\Delta U_{ki} = \Delta U_{be} \frac{r_Z}{R + r_Z} = 2 \frac{10}{190} = 105 \text{ mV}.$$

Mekkora a kimeneti feszültség ΔU_{ki} változása, ha a terhelő áram $\Delta I_t = 5 \text{ mA}$ -t változik?

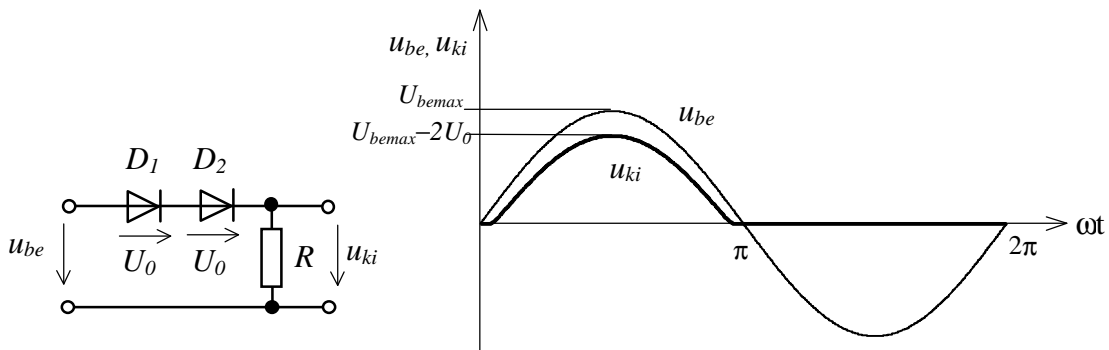
$$r_Z = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta I_t}$$

$$\Delta U_{ki} = -r_Z \Delta I_t = -50 \text{ mV}$$

9) Rajzoljon fel egy diódás szinteltoló áramkört 2 db diódával!

A diódák nyitóirányú feszültsége: U_0 .

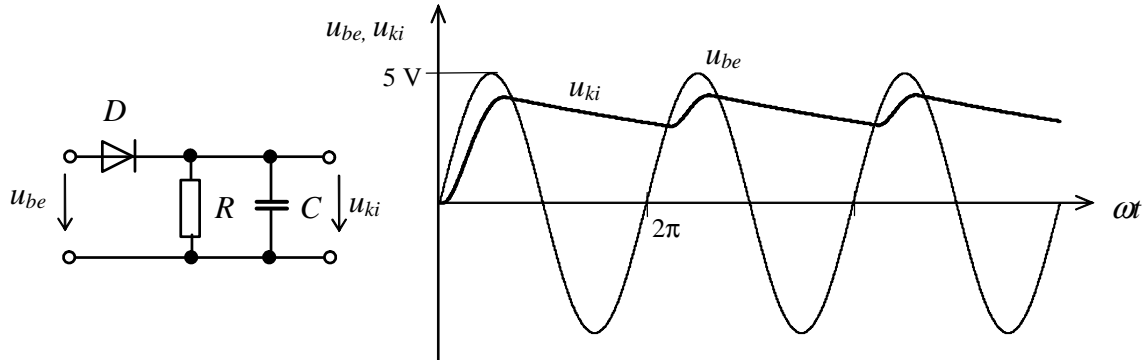
Rajzolja le az $u_{be}(\omega t)$ bemeneti és az $u_{ki}(\omega t)$ kimeneti feszültség időfüggvényeket!



10) Rajzoljon fel egy soros diódás csúcsegyenirányítót!

Rajzolja le a bemeneti és a kimeneti feszültség időfüggvényét, ha

$$u_{be}(\omega t) = 5 \sin \omega t \text{ [V]}$$

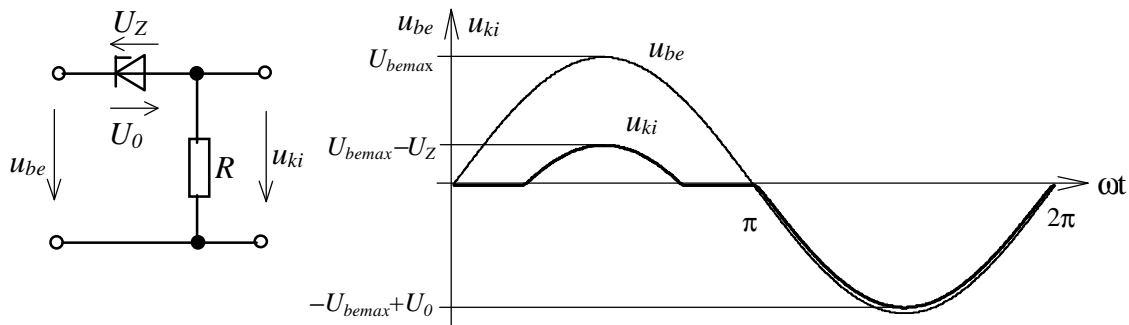
**11) Rajzoljon fel egy Zener diódás szinteltoló áramkört!**

A bemenetre kapcsolt feszültség: $u_{be} = 20 \sin \omega t \text{ [V]}$

a Zener dióda feszültsége: $U_Z = 5 \text{ V}$

a Zener dióda nyitóirányú feszültsége: $U_0 = 0,6 \text{ V}$

Rajzolja le léptékhelyesen az $u_{be}(\omega t)$ bemeneti és az $u_{ki}(\omega t)$ kimeneti feszültség időfüggvényeket! Határozza meg a kimeneti feszültség amplitúdóit!

**12) Adott az alábbi Zener diódás határoló kapcsolás.**

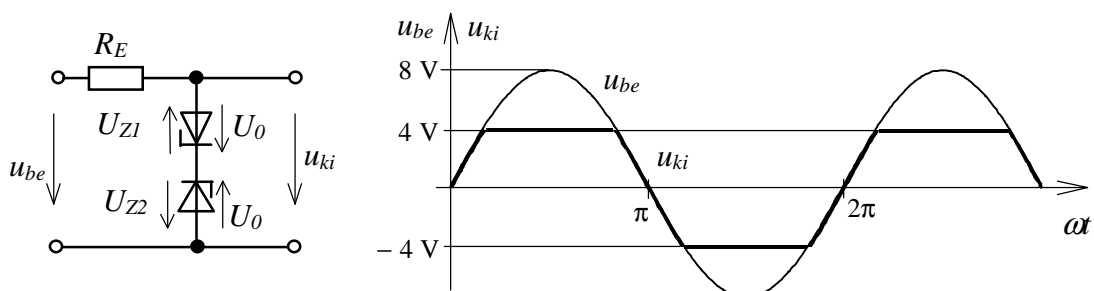
A bemeneti feszültség: $u_{be} = 8 \sin \omega t \text{ [V]}$

A diódák nyitóirányú feszültsége: $U_0 = 0,7 \text{ V}$ (nem változik!)

a letörési feszültségek: $U_{Z1} = U_{Z2} = 3,3 \text{ V}$

Rajzolja le a be- és a kimenet időfüggvényét!

$$+\hat{U}_{ki} = U_{Z2} + U_0 = 3,3 + 0,7 = 4 \text{ V} \quad -\hat{U}_{ki} = -(U_{Z1} + U_0) = -(3,3 + 0,7) = -4 \text{ V}$$



Tranzisztorok, tranzistoros erősítő kapcsolások

13) Határozza meg egy bipoláris tranzisztor földelt emitteres áramerősítési tényezőjét (B), ha az alábbi adatokat ismeri:

a bázisáram: $I_B = 100 \mu\text{A}$

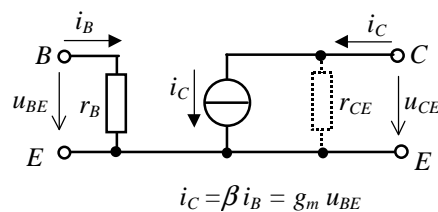
a kollektoráram: $I_C = 1 \text{ mA}$

a kollektor-bázis maradékáram: $I_{CBO} = 10 \mu\text{A}$

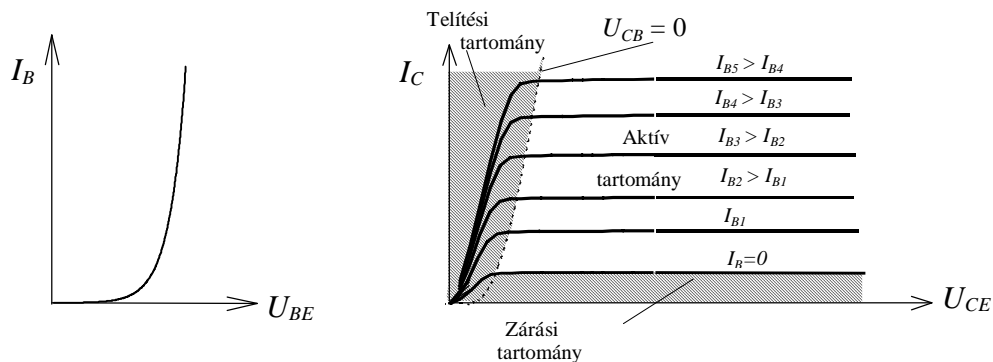
$$I_C = B I_B + (1 + B) I_{CBO}$$

$$B = 9$$

14) Rajzolja le a bipoláris tranzisztor földelt emitteres, kisjelű, fizikai helyettesítő képét!



15) Rajzolja le a bipoláris tranzisztor földelt emitteres bemeneti és kimeneti karakterisztikáját!



16) Határozza meg az ábrán látható tranzistoros erősítő kapcsolás munkaponti adatait!

Adatok:

A tápfeszültség:

$$U_t = 10 \text{ V}$$

a tranzisztor bázis-emitter feszültsége:

$$U_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

az emitter ellenállás:

$$R_E = 2 \text{ k}\Omega$$

a kollektor ellenállás:

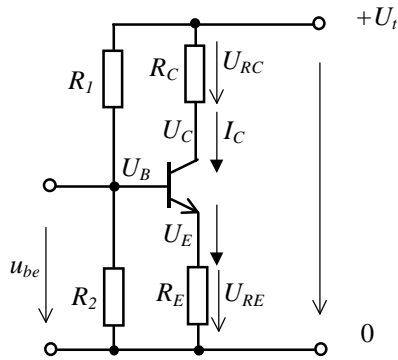
$$R_C = 5 \text{ k}\Omega$$

a bázisosztó ellenállásai:

$$R_1 = 73 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 27 \text{ k}\Omega$$

A tranzisztor nagyjelű áramerősítési tényezője: $B = 300$



$$U_B = U_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \frac{27 \cdot 10^3}{27 \cdot 10^3 + 73 \cdot 10^3} = 2,7 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,7 - 0,7 = 2 \text{ V}$$

$$U_E = U_{RE} = 2 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{2}{2 \cdot 10^3} = 1 \text{ mA}$$

$$I_E \approx I_C$$

$$U_{RC} = I_C R_C = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3 = 5 \text{ V}$$

$$U_{CE} = U_i - U_{RC} - U_{RE} = 10 - 5 - 2 = 3 \text{ V}$$

$$U_C = U_i - U_{RC} = 10 - 5 = 5 \text{ V}$$

17) Határozza meg az ábrán látható tranzisztoros erősítő kapcsolás munkaponti adatait!

Adatok:

A tápfeszültség:

$$U_{t1} = +15 \text{ V}$$

$$U_{t2} = -5 \text{ V}$$

a tranzisztor bázis-emitter feszültsége:

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

az emitter ellenállás:

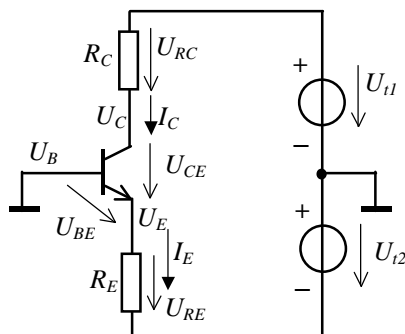
$$R_E = 3 \text{ k}\Omega$$

a kollektor ellenállás:

$$R_C = 5,1 \text{ k}\Omega$$

A tranzisztor nagyjelű áramerősítési tényezője:

$$B = 300$$



$$U_B = 0$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = -0,6 \text{ V}$$

$$U_{RE} = U_E - U_{t2} = -0,6 - (-5) = 4,4 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{4,4}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,46 \text{ mA}$$

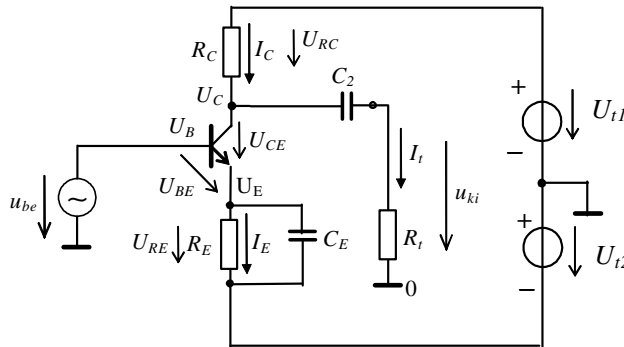
$$I_E \approx I_C$$

$$U_{RC} = I_C R_C = 1,46 \cdot 10^{-3} \cdot 5,1 \cdot 10^3 = 7,45 \text{ V}$$

$$U_C = U_{t1} - U_{RC} = 15 - 7,45 = 7,55 \text{ V}$$

$$U_{CE} = U_C - U_E = 7,55 - (-0,6) = 8,15 \text{ V}$$

- 18)** Határozza meg az alábbi földelt emitteres kapcsolás kollektor áramát! Számítsa ki az erősítő fokozat feszültségerősítését (A_u), bemeneti (R_{be}) és kimeneti (R_{ki}) ellenállását sávközépen! Adja meg a feszültségerősítést dB-ben is!

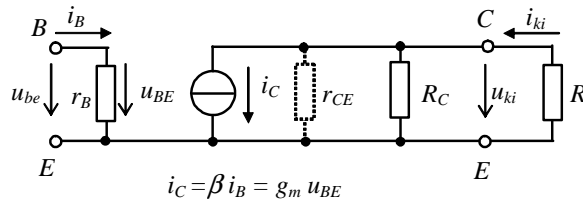


Adatok:

 $T = \text{BC } 182\text{C}, \beta = 250$
$$R_E = 3 \text{ k}\Omega$$
$$R_C = 5,1 \text{ k}\Omega$$
$$R_t = 10 \text{ k}\Omega$$
$$C_2 = 10 \mu\text{F}$$
$$C_E = 47 \text{ } \mu\text{F}$$
$$U_{BEmp} = 0,6 \text{ V}$$
$$U_{tI} = +15 \text{ V}$$
$$U_{t2} = -5 \text{ V}$$

$$U_T = 26 \text{ mV}$$

A kapcsolat kisjelű fizikai helyettesítő képe:



$$U_B = 0$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = -0,6 \text{ V}$$

$$U_{RE} = U_E - (U_{t2}) = -0,6 - (-5) = 4,4 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_F} = \frac{4,4}{3 \cdot 10^3} = 1,46 \text{ mA}$$

$$I_E \approx I_C = 1,46 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{1,46 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 56 \text{ mS}$$

$$r_E = \frac{U_T}{I_C} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{1,46 \cdot 10^{-3}} = 17,8 \, \Omega$$

$$R_C \times R_t = \frac{5,1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{(5,1 + 10) \cdot 10^3} = 3,37 \text{ k}\Omega$$

$$A_u = -g_m(R_C \times R_t) = -\frac{R_C \times R_t}{r_E} = -189,13$$

$$A_u[dB] = 20 \lg |A_u| = 45,53 \text{ dB}$$

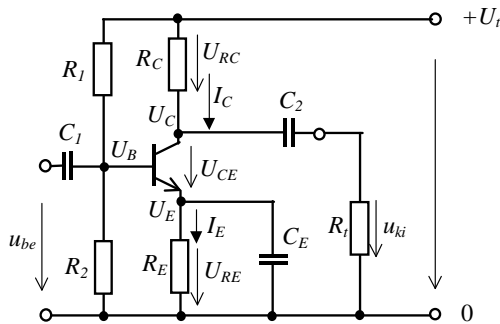
$$R_{be} \approx r_B = \beta r_E = 250 \cdot 17,8 = 4,45 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki} \approx R_C = 5,1 \text{ k}\Omega$$

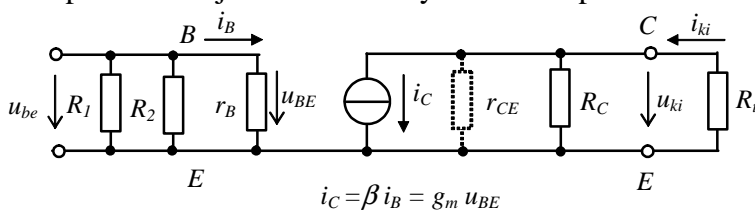
- 19) Határozza meg az ábrán látható tranzisztoros közös emitterű erősítő kapcsolás kollektor áramának (I_C) értékét, valamint a kapcsolás feszültségerősítésének (A_u), bemeneti ellenállásának (R_{be}) és kimeneti ellenállásának (R_{ki}) nagyságát!

Adatok:

a tranzisztor típusa:	2N5086
váltakozó áramú áramerősítési tényezője:	$\beta = 300$
a bázisosztó ellenállásai:	$R_1 = 73 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 27 \text{ k}\Omega$
az emitterellenállás:	$R_E = 2 \text{ k}\Omega$
az emitter hidegítőkondenzátor:	$C_E = 47 \text{ }\mu\text{F}$
a kollektorellenállás:	$R_C = 5 \text{ k}\Omega$
a terhelőellenállás:	$R_t = 10 \text{ k}\Omega$
a bemeneti csatoló kondenzátor:	$C_1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$
a kimeneti csatoló kondenzátor:	$C_2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$
a tranzisztor bázis-emitter feszültsége:	$U_{BEmp} = 0,7 \text{ V}$
a termikus feszültség:	$U_T = 26 \text{ mV}$
tápfeszültség:	$U_t = 10 \text{ V}$



A kapcsolás kisjelű fizikai helyettesítő képe:



$$U_B = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \frac{27 \cdot 10^3}{27 \cdot 10^3 + 73 \cdot 10^3} = 2,7 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,7 - 0,7 = 2 \text{ V}$$

$$U_{RE} = U_E = 2 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{2}{2 \cdot 10^3} = 1 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 38 \text{ mS}$$

$$r_E = \frac{U_T}{I_C} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 26 \text{ }\Omega$$

$$A_u = -g_m (R_C \times R_t) = -\frac{R_C \times R_t}{r_E} = -38 \cdot 10^{-3} \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{(5 + 10)10^3} = -126$$

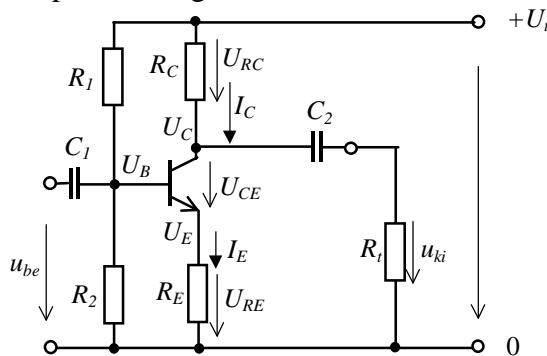
$$R_{be} = (R_1 \times R_2) \times \beta r_E = 5,588 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki} \approx R_C = 5 \text{ k}\Omega$$

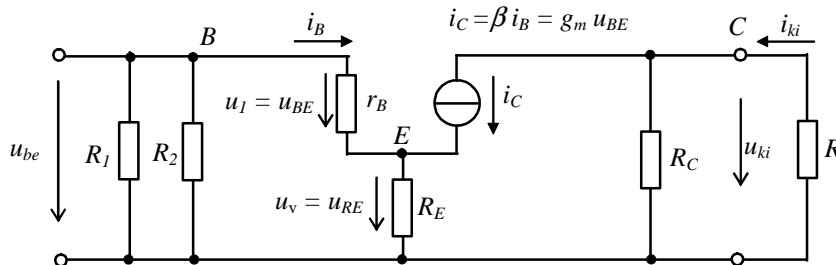
- 20) Határozza meg az ábrán látható tranzisztoros közös emitterű erősítő kapcsolás kollektor áramának (I_C) értékét, valamint a kapcsolás feszültségerősítésének (A_u), bemeneti ellenállásának (R_{be}) és kimeneti ellenállásának (R_{ki}) nagyságát!

Adatok:

a tranzisztor típusa:	2N5086
váltakozó áramú áramerősítési tényezője:	$\beta = 300$
a bázisosztó ellenállásai:	$R_1 = 73 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 27 \text{ k}\Omega$
az emitter ellenállás:	$R_E = 2 \text{ k}\Omega$
a kollektor ellenállás:	$R_C = 5 \text{ k}\Omega$
a terhelő ellenállás:	$R_t = 10 \text{ k}\Omega$
a bemeneti csatolókondenzátor:	$C_1 = 10 \text{ }\mu\text{F}$
a kimeneti csatolókondenzátor:	$C_2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$
a tranzisztor bázis-emitter feszültsége:	$U_{BEmp} = 0,7 \text{ V}$
a termikus feszültség:	$U_T = 26 \text{ mV}$
tápfeszültség:	$U_t = 10 \text{ V}$



A kapcsolás kisjelű, fizikai helyettesítő képe:



A tranzisztor i_C kollektoráram a R_E emitterellenálláson létrehozza az $u_v = u_{RE}$ visszacsatolt feszültséget, amely az $u_l = u_{BE}$ feszültséggel sorba kapcsolódik: összegük az u_{be} bemeneti feszültség.

Ez a kapcsolás SOROS-ÁRAM visszacsatolást valósít meg.

$$U_B = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \frac{27 \cdot 10^3}{27 \cdot 10^3 + 73 \cdot 10^3} = 2,7 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,7 - 0,6 = 2 \text{ V}$$

$$U_{RE} = U_E = 2 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{2}{2 \cdot 10^3} = 1 \text{ mA}$$

$$r_E = \frac{U_T}{I_C} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 26 \Omega$$

$$A_u \cong -\frac{R_C \times R_t}{R_E} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{(5 + 10) \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^3} = -1,6$$

$$R_{be} = (R_1 \times R_2) \times \beta (r_E + R_E) = 19,09 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ki} \approx R_C = 5 \text{ k}\Omega$$

- 21) Határozza meg az ábrán látható tranzisztoros közös kollektorú erősítő kapcsolás A_u feszültségerősítésének, R_{be} bemeneti ellenállásának, valamint R_{ki} kimeneti ellenállásának értékét!

Adatok:

a tranzisztor típusa:

BC182

váltakozóáramú áramerősítési tényezője:

$\beta = 200$

a bázisosztó ellenállásai:

$R_1 = 12,4 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 2,6 \text{ k}\Omega$

az emitterellenállás:

$R_E = 1 \text{ k}\Omega$

a terhelőellenállás:

$R_t = 3 \text{ k}\Omega$

a bemeneti csatolókondenzátor:

$C_1 = 10 \mu\text{F}$

a kimeneti csatolókondenzátor:

$C_2 = 10 \mu\text{F}$

a tranzisztor bázis-emitter feszültsége:

$U_{BEmp} = 0,7 \text{ V}$

a termikus feszültség:

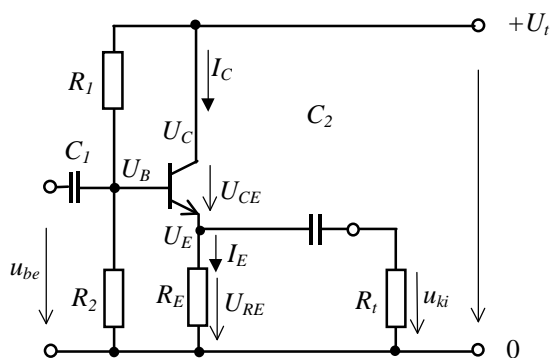
$U_T = 26 \text{ mV}$

a tranzisztor munkaponti emitterárama:

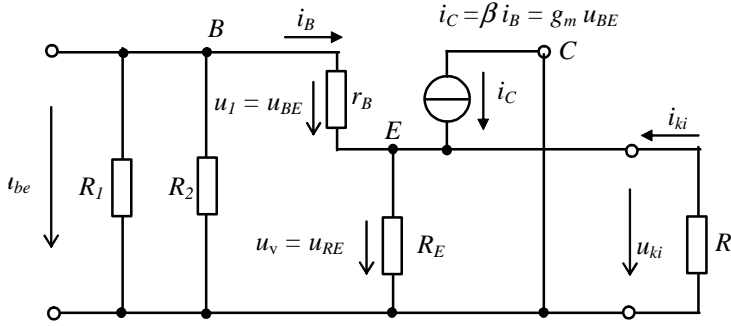
$I_E = 2 \text{ mA}$

tápfeszültség:

$U_t = 15 \text{ V}$



A kapcsolás kisjelű helyettesítő képe:



Az R_E emitterellenállás $u_v = u_{RE}$ feszültsége a tranzisztor $u_I = u_{BE}$ feszültségével sorba kapcsolódik, összegük az u_{be} bemeneti feszültség. A visszacsatoló tag, azaz az emitterellenállás feszültsége az u_{ki} kimeneti feszültség.

Ez a kapcsolás SOROS-FESZÜLTSG visszacsatolást valósít meg.

A kapcsolás eredő feszültségerősítése:

$$A'_u = \frac{A_u}{1+H} = \frac{A_u}{1+A_u B_u}$$

A visszacsatolatlan rendszer feszültségerősítése:

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_I} = \frac{i_C (R_E \times R_t)}{u_{BE}} = \frac{g_m u_{BE} (R_E \times R_t)}{u_{BE}} = g_m (R_E \times R_t) = \frac{1}{13} \cdot \frac{10^3 \cdot 3 \cdot 10^3}{(10^3 + 3 \cdot 10^3)} = 58$$

A visszacsatoló tag feszültségerősítése:

$$B_u = \frac{u_v}{u_{ki}} = \frac{u_{ki}}{u_{ki}} = 1$$

$$A'_u = \frac{A_u}{1+H} = \frac{A_u}{1+A_u B_u} = \frac{58}{59} = 0,98$$

$$R'_{be} = R_1 \times R_2 \times (r_B + r_B g_m (R_E \times R_t)) = R_1 \times R_2 \times \left(\beta r_E + \beta r_E \frac{1}{r_E} (R_E \times R_t) \right)$$

$$R'_{be} = R_1 \times R_2 \times \beta (r_E + (R_E \times R_t)) \cong 2,1 \text{ k}\Omega$$

$$R'_{ki} = \frac{R_{ki}}{1+H_{ii}}$$

$$R_{ki} = R_E$$

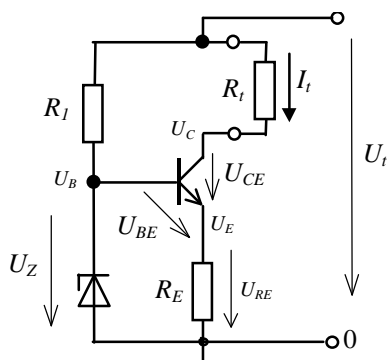
$$A_{uü} = g_m R_E$$

$$B_{uü} = 1$$

$$H_{ii} = A_{uü} B_{uü} = g_m R_E$$

$$R'_{ki} = \frac{R_{ki}}{1+H_{ii}} = \frac{R_E}{1+g_m R_E} = r_E \times R_E \cong 13 \Omega$$

- 22) Határozza meg az alábbi kapcsolás R_E munkapont beállító elemének értékét, ha $I_t = 1 \text{ mA}$! Határozza meg a terhelő ellenállás R_{tmin} minimális, valamint az R_{tmax} maximális értékét, amelynél még áramgenerátorként működik a kapcsolás!

**Adatok:**

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

$$U_t = 15 \text{ V}$$

$$U_Z = 5,6 \text{ V}$$

$$R_I = 2 \text{ k}\Omega$$

$$U_B = U_Z$$

$$U_B = 5,6 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - U_{BE} = 5,6 - 0,6 = 5 \text{ V}$$

$$U_{RE} = U_E$$

$$I_E \cong I_t$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_E} = \frac{5}{10^{-3}} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_{tmin} = 0$$

Az áramgenerátorként való működés feltétele, hogy a tranzisztor kollektor-bázis diódája zárt maradjon:

$$U_{BC} \leq 0, \text{ tehát } U_C > U_B.$$

$$U_t - I_t R_t = U_C$$

$U_t - I_t R_t \geq U_B$ Ebből a feltételből határozható meg a terhelő ellenállás maximális értéke:

$$R_{tmax} \leq \frac{U_t - U_B}{I_t} \leq \frac{15 - 5,6}{10^{-3}} \leq 9,4 \text{ k}\Omega$$

- 23) Írja fel a záróréteges térvezérlésű tranzisztor ($JFET$) $I_{DS} = f(U_{GS})$ összefüggését! Adja meg az összefüggésben szereplő betűk jelentését!

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0} \right)^2$$

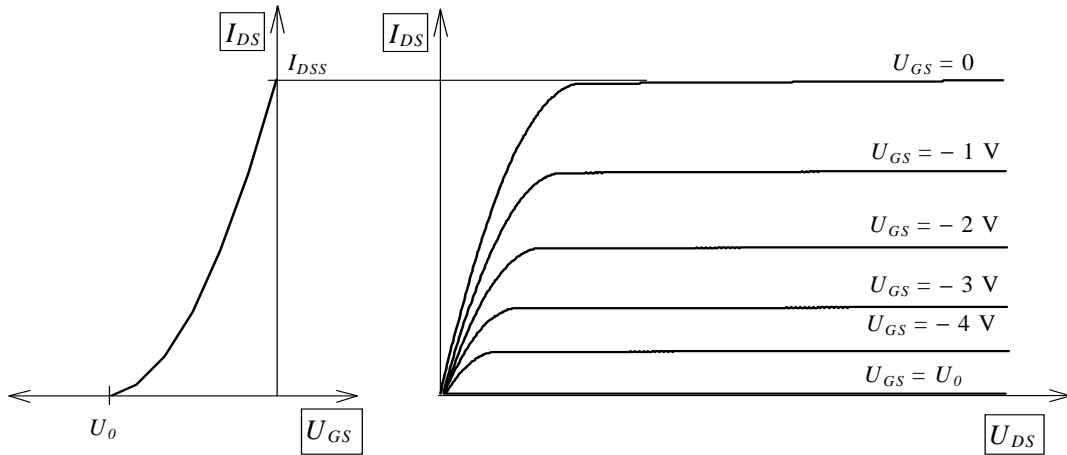
I_{DS} : $JFET$ drain-source árama

U_{GS} : vezérlőfeszültség

I_{DSS} : $JFET$ telítési árama

U_0 : $JFET$ elzáródási feszültsége

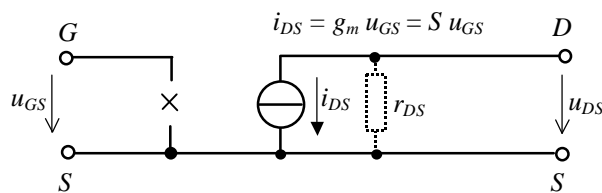
- 24)** Rajzolja fel a záróréteges térvezérlésű tranzisztor (*JFET*) transzfer és kimeneti karakterisztikáját!



- 25)** Definiálja a *JFET* meredekségét, és adja meg kiszámításának módját!

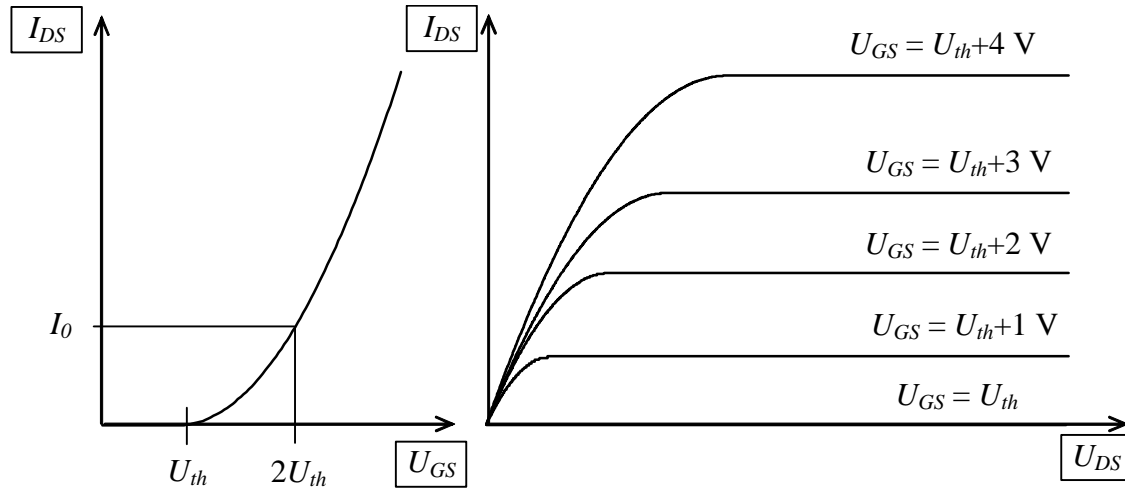
$$S = g_m = \frac{dI_{DS}}{dU_{GS}} = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta U_{GS}} \quad g_m = \frac{dI_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2}{dU_{GS}} = -\frac{2I_{DSS}}{U_0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)$$

- 26)** Rajzolja fel a fizikai működés ismeretében a záróréteges térvezérlésű tranzisztor (*JFET*) földelt source-ú, kisjelű, kisméretű, dinamikus helyettesítő képét!

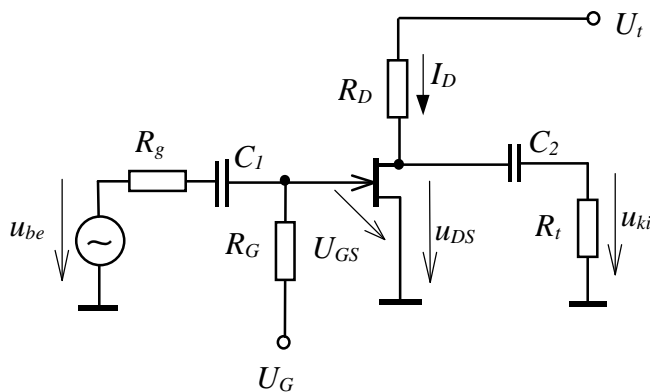


Az $r_{DS} = \left. \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_{DS}} \right|_{U_{GS}=all.}$ kimeneti dinamikus ellenállás nagy értéke miatt sokszor elhanyagolható.

- 27) Rajzolja fel a növekményes *MOSFET* transzfer és kimeneti karakterisztikáját! (A tengelyekre felmért mennyiségeknek, a karakterisztikák jellemző pontjainak, valamint a paraméterként használt mennyiségeknek a jelöléséről ne feledkezzen meg!)



- 28) Határozza meg az ábrán látható *JFET*-es földelt source-ú erősítő munkaponti adatait és a feszültségerősítését!



Adatok:

$$\begin{aligned} U_t &= +15 \text{ V} \\ U_G &= -2,5 \text{ V} \\ R_D &= 3 \text{ k}\Omega \\ R_G &= 1 \text{ M}\Omega \\ R_t &= 10 \text{ k}\Omega \\ R_g &= 50 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{DSS} &= 10 \text{ mA} \\ U_o &= -5 \text{ V} \end{aligned}$$

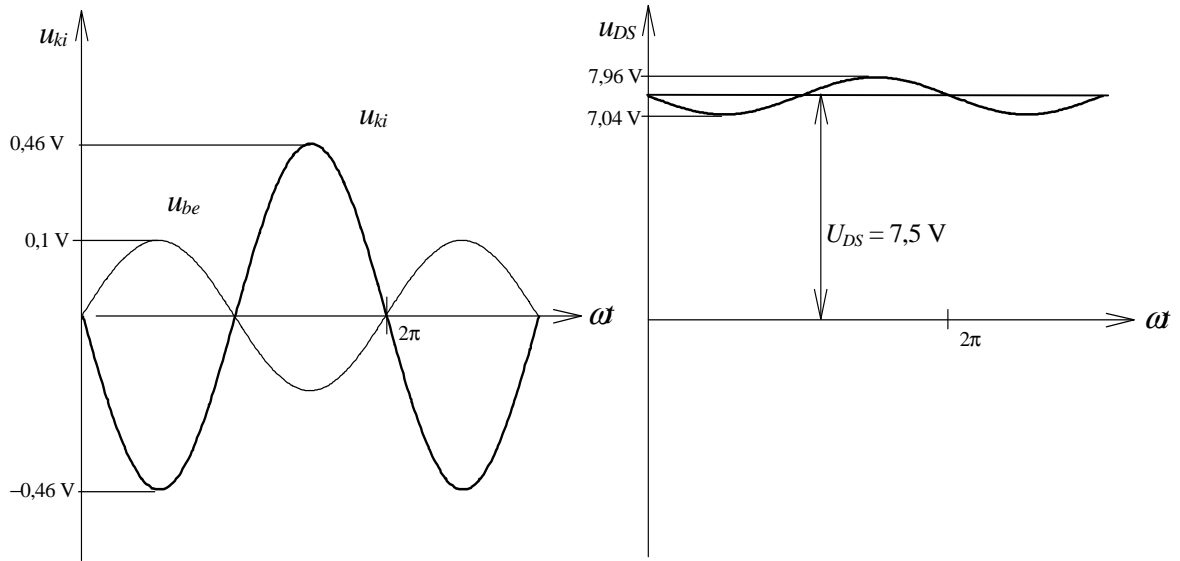
$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0} \right)^2 = 10 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{-2,5}{-5} \right)^2 = 2,5 \text{ mA}$$

$$U_{DS} = U_t - I_{DS} R_D = 15 - 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 7,5 \text{ V}$$

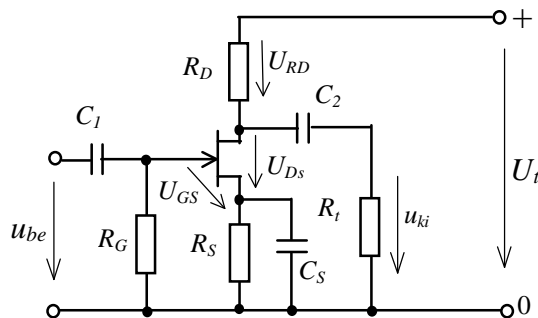
$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0} \right) = -\frac{20 \cdot 10^{-3}}{-5} \left(1 - \frac{-2,5}{-5} \right) = 2 \text{ mS}$$

$$A_u = -g_m (R_D \times R_t) = -2 \cdot 10^{-3} (3 \cdot 10^3 \times 10 \cdot 10^3) = -4,6$$

Rajzolja meg léptékhelyesen az u_{ki} és u_{DS} időfüggvényeket, ha $u_{be} = 0,1 \sin \omega t$ [V]!



29) Állítsa be a *JFET* munkapontját $I_{DSmp} = 10$ mA-re!



Adatok:

$$U_t = 20 \text{ V}$$

$$R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_D = 1 \text{ k}\Omega$$

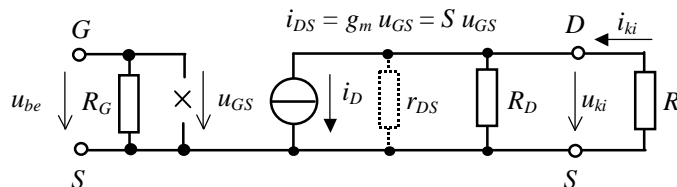
$$R_t = 10 \text{ k}\Omega$$

$$I_{DSS} = 15 \text{ mA} \quad \text{rövidzárási áram}$$

$$U_o = -5 \text{ V} \quad \text{elzáródási feszültség}$$

A C_1 és C_2 csatolókapacitások végtelen nagy értékűnek tekinthetők.

Rajzolja le a kapcsolás váltakozó áramú (kisjelű) fizikai helyettesítő képét!



Határozza meg a kapcsolás A_u feszültségerősítésének értékét! Adja meg a feszültségerősítés nagyságát dB-ben is!

$$U_G = 0$$

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0} \right)^2$$

$$U_{GS} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_{DS}}{I_{DSS}}} \right) U_0 = \left(1 - \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}}} \right) (-5) = -0,917 \text{ V}$$

$$U_{RS} = |U_{GS}| = 0,917 \text{ V}$$

$$R_S = \frac{U_{RS}}{I_D} = \frac{0,917}{10 \cdot 10^{-3}} = 0,0917 \cdot 10^3 = 91,7 \Omega$$

$$U_{DS} = U_t - I_{DS} R_D - I_{DS} R_S = 20 - 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^{-3} \cdot 91,7 = 9,083 \text{ V}$$

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_0} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0} \right) = -\frac{30 \cdot 10^{-3}}{-5} \left(1 - \frac{-0,917}{-5} \right) = 4,89 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$A_u = -g_m (R_D \times R_t) = -4,89 \cdot 10^{-3} \left(\frac{10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{10^3 + 10 \cdot 10^3} \right) = -4,44$$

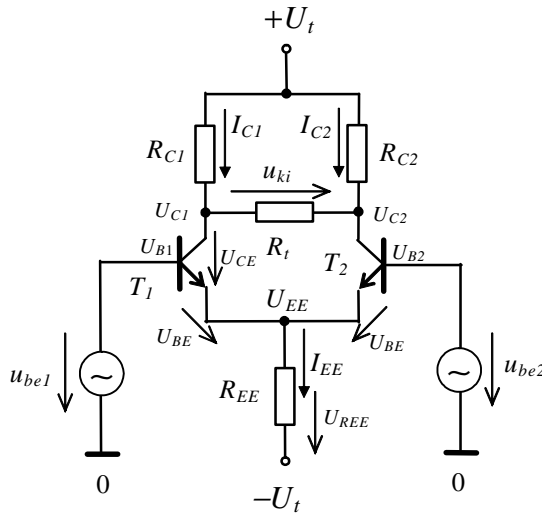
$$A_u [dB] = 20 \lg |A_u| = 12,94 \text{ dB}$$

Határozza meg az R_{be} bemeneti és az R_{ki} kimeneti ellenállás nagyságát!

$$R_{be} \cong R_G$$

$$R_{ki} \cong R_D$$

- 30) Határozza meg az ábrán látható tranzisztoros differencia-erősítő kapcsolás munkaponti adatait és a feszültségerősítésének nagyságát szimmetrikus vezérlés esetén!

**Adatok:**

$$\begin{aligned}
 U_t &= \pm 15 \text{ V} \\
 R_{C1} &= R_{C2} = R_C = 5 \text{ k}\Omega \\
 R_{EE} &= 3,6 \text{ k}\Omega \\
 R_t &= 10 \text{ k}\Omega \\
 U_{BE} &= 0,6 \text{ V} \\
 \beta_1 &= \beta_2 = 200 \\
 U_T &= 26 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

$$U_{B1} = U_{B2} \cong 0$$

$$U_{EE} = U_B - U_{BE} = 0 - 0,6 = -0,6 \text{ V}$$

$$U_{REE} = U_{EE} - (-U_t) = -0,6 - (-15) = 14,4 \text{ V}$$

$$I_{EE} = \frac{U_{REE}}{R_{EE}} = \frac{14,4}{3,6 \cdot 10^3} = 4 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = I_C = \frac{I_{EE}}{2} = 2 \text{ mA}$$

$$r_E = \frac{U_T}{\frac{I_{EE}}{2}} = \frac{26 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 13 \text{ }\Omega$$

$$r_E = r_{E1} = r_{E2}$$

$$g_m = \frac{1}{r_E} = 77 \text{ mS}$$

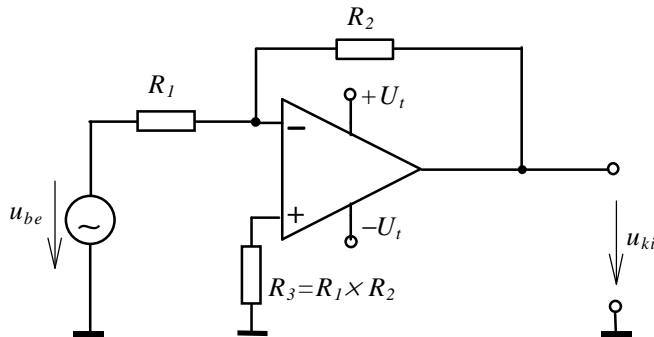
$$A_{us} = -g_m \left(R_C \times \frac{R_t}{2} \right) = -77 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3} = -190$$

$$A_{us}[\text{dB}] = 20 \lg |A_{us}| = 45,57 \text{ dB}$$

$$R_{bes} \cong 2r_B = 2\beta r_E = 5200 \text{ }\Omega$$

Műveleti erősítőkkel megvalósított kapcsolások

31) Határozza meg az ábrán látható erősítő kapcsolás feszültségerősítését (a lineáris tartományban)!

**Adatok:**

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$+U_t = +10 \text{ V}$$

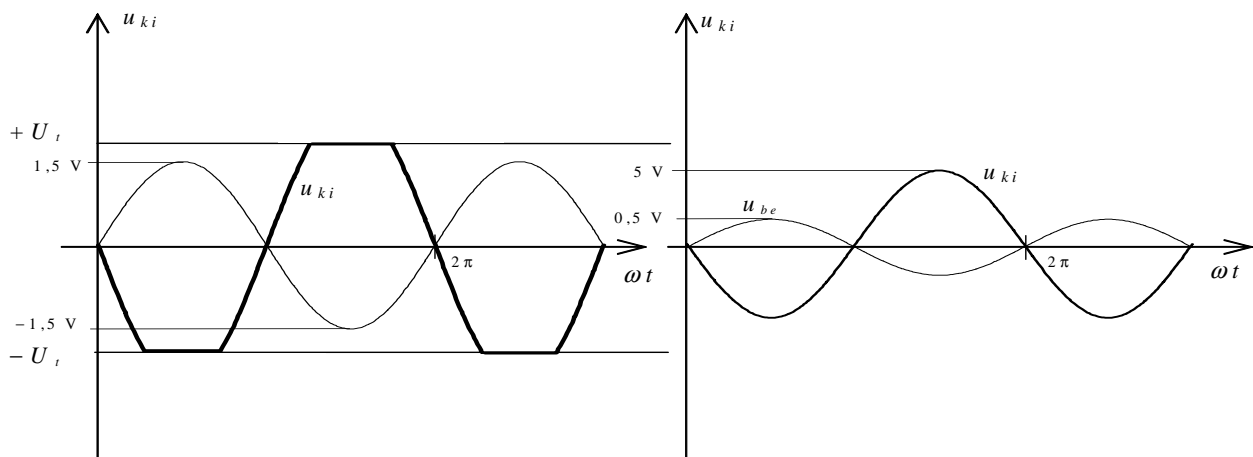
$$-U_t = -10 \text{ V}$$

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10 \cdot 10^3}{10^3} = -10$$

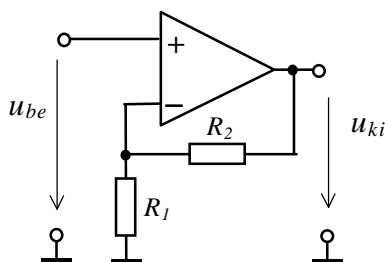
Rajzolja meg a kimeneti feszültség léptékhelyes időfüggvényét, ha:

a) $u_{be}(t) = 1,5 \sin \omega t \text{ [V]}$

b) $u_{be}(t) = 0,5 \sin \omega t \text{ [V]}$



32) Határozza meg az ábrán látható, műveleti erősítővel megvalósított **neminvertáló** erősítő A_u feszültségerősítését!

**Adatok:**

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 90 \text{ k}\Omega$$

$$U_{kimax} = +U_t = +15 \text{ V}$$

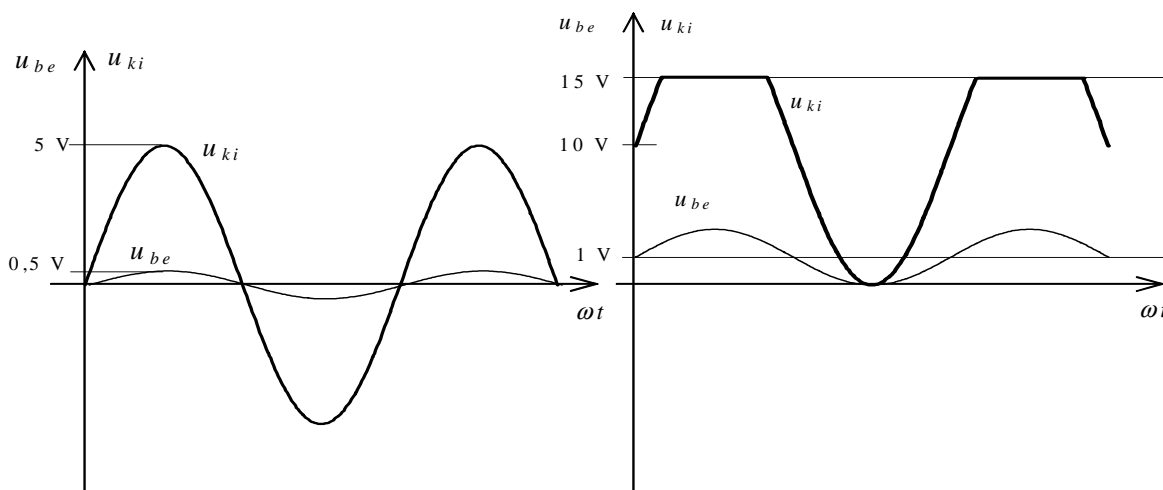
$$U_{kimin} = -U_t = -15 \text{ V}$$

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{90 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 10$$

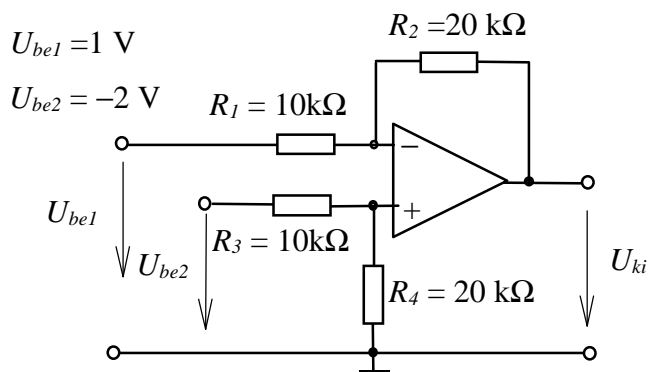
Rajzolja le az u_{be} bemeneti és az u_{ki} kimeneti feszültség időfüggvényét, ha

a) $u_{be} = 0,5 \sin \omega t$ [V],

b) $u_{be} = 1 + 1 \sin \omega t$ [V]!



33) Határozza meg az alábbi kapcsolás kimeneti feszültségének értékét!



Különbségképző kapcsolás

A szuperpozíció szerint:

$$u_{ki} = u_{ki1} + u_{ki2}$$

a) Legyen $u_{be2} = 0$, ekkor a kimeneti feszültség:

$$u_{ki1} = -\frac{R_2}{R_1} u_{be1}$$

b) Legyen $u_{be1} = 0$, ekkor a kimeneti feszültség:

$$u_{ki2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_{be2} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

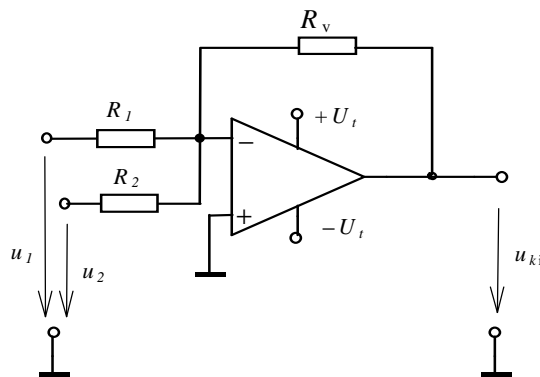
$$u_{ki} = u_{ki1} + u_{ki2} = -\frac{R_2}{R_1} u_{be1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_{be2} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$u_{ki} = -\frac{20 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} u_{be1} + \left(1 + \frac{20 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3}\right) u_{be2} \frac{20 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 20 \cdot 10^3}$$

$$u_{ki} = -2u_{be1} + 2u_{be2}$$

$$U_{ki} = -2U_{be1} + 2U_{be2} = -2 + 2(-2) = -6$$

34) Határozza meg az ábrán látható összegző kapcsolás kimeneti feszültségét a táblázat *a)* és *b)* oszlopában megadott bemeneti feszültségek esetén!



Adatok:

$$+U_t = +10 \text{ V}$$

$$-U_t = -10 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_v = 10 \text{ k}\Omega$$

	<i>a)</i>	<i>b)</i>
U_1	1 V	1 V
U_2	2 V	-2 V
U_{ki}	-10 V	-8 V

$$U_{ki} = -R_v \left(\frac{U_{be1}}{R_1} + \frac{U_{be2}}{R_2} \right)$$

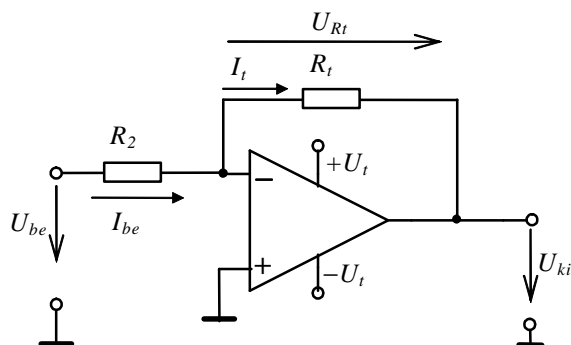
$$a) \quad U_{ki} = -10 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{10^3} + \frac{2}{10 \cdot 10^3} \right) = -12 \text{ V}$$

Mivel a műveleti erősítő tápfeszültsége $U_t = \pm 10 \text{ V}$, ezért a kimeneti feszültség sem lehet nagyobb ennél az értéknél, tehát:

$$U_{ki} = -10 \text{ V}.$$

$$b) \quad U_{ki} = -10 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{10^3} + \frac{(-2)}{10 \cdot 10^3} \right) = -8 \text{ V}$$

- 35) Határozza meg az ábrán látható műveleti erősítő áramgenerátor terhelő ellenállásának minimális és maximális értékét!



Adatok:

$$U_t = \pm 10 \text{ V}$$

$$U_{be} = -5 \text{ V}$$

$$R_2 = 7,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_{tmin} = 0$$

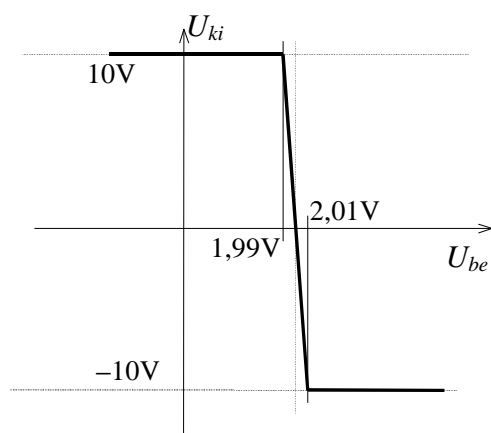
$$I_{be} = \frac{U_{be}}{R_2} = \frac{-5}{7,5 \cdot 10^3} = -0,67 \text{ mA}$$

$$I_{be} = I_t$$

$$U_{Rtmax} = U_{ki} \quad U_{ki} = U_t$$

$$R_{tmax} = \frac{|U_{Rtmax}|}{|I_t|} = \frac{10}{0,67 \cdot 10^{-3}} = 15 \text{ k}\Omega$$

- 36) Mekkora az A_{u0} feszültségerősítés és az U_R referenciasfeszültség értéke, ha a komparátor transzfer karakterisztikája a következő:



Megoldás:

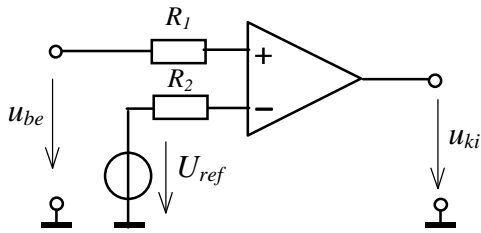
$$\Delta U_{be} = 0,02 \text{ V}$$

$$\Delta U_{ki} = 20 \text{ V}$$

$$U_R = 2 \text{ V}$$

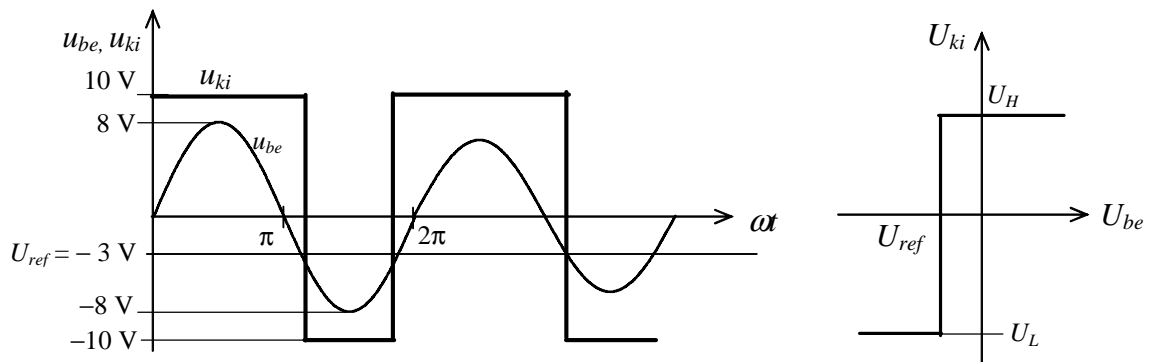
$$A_{u0} = -\frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}} = -\frac{20}{0,02} = -1000$$

- 37) Rajzolja le az ábrán látható ideális műveleti erősítővel megvalósított **hiszterézismentes, neminvertáló** komparátor transzfer karakterisztikáját, valamint az u_{be} bemeneti és az u_{ki} kimeneti feszültség időfüggvényét, ha $u_{be} = 8\sin\omega t$ [V]!

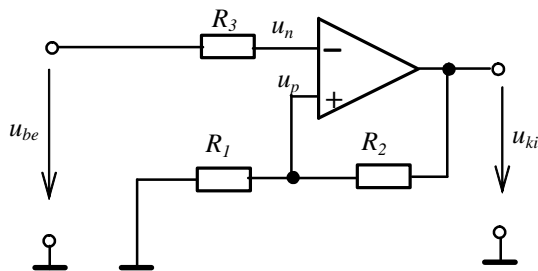


Adatok:

$$\begin{aligned} U_{ref} &= -3 \text{ V} \\ U_H &= (+U_{kimax}) = +10 \text{ V} \\ U_L &= (-U_{kimax}) = -10 \text{ V} \\ R_1 &= 10 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$



- 38) Rajzoljon egy **ideális invertáló hiszterézises** nullkomparátort! Számítsa ki a komparátor U_f felső, és U_a alsó billenési szintjeit! Rajzolja le a kapcsolás transzfer karakterisztikáját!

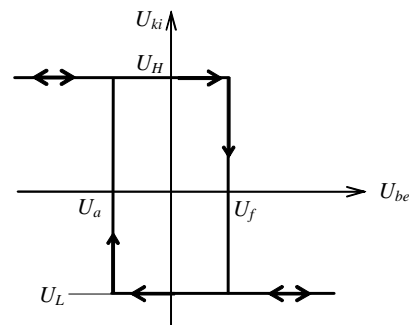


Adatok:

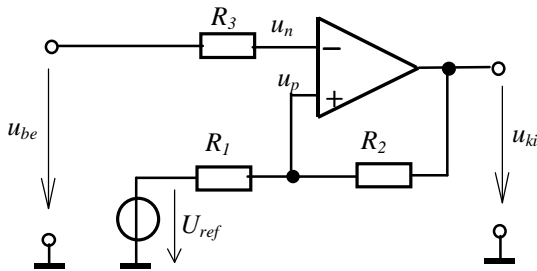
$$\begin{aligned} U_H &= (+U_{kimax}) = +15 \text{ V} \\ U_L &= (-U_{kimax}) = -15 \text{ V} \\ R_1 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 9 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$U_f = U_H \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 15 \cdot \frac{10^3}{1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^3} = 1,5 \text{ V}$$

$$U_a = U_L \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -15 \cdot \frac{10^3}{1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^3} = -1,5 \text{ V}$$



39) Rajzoljon egy **ideális invertáló hiszterézises** komparátort! Számítsa ki a komparátor billenési szintjeit! Rajzolja le a kapcsolás transzfer karakterisztikáját!



Adatok:

$$U_{ref} = 5 \text{ V}$$

$$U_H = (+U_{kimax}) = +15 \text{ V}$$

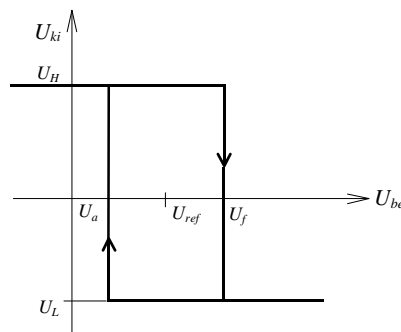
$$U_L = (-U_{kimax}) = -15 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

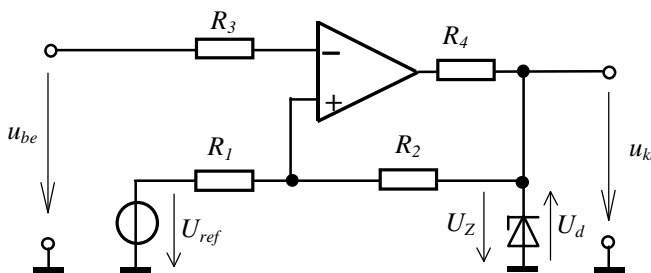
$$R_2 = 9 \text{ k}\Omega$$

$$U_f = U_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_H \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5 \frac{9 \cdot 10^3}{10^3 + 9 \cdot 10^3} + 15 \frac{10^3}{10^3 + 9 \cdot 10^3} = 6 \text{ V}$$

$$U_a = U_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_L \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5 \frac{9 \cdot 10^3}{10^3 + 9 \cdot 10^3} - 15 \frac{10^3}{10^3 + 9 \cdot 10^3} = 3 \text{ V}$$



40) Adott az alábbi komparátor kapcsolás:



Adatok:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 52,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_1 \times R_2$$

$$R_4 = 1,8 \text{ k}\Omega$$

$$U_Z = 5,6 \text{ V}$$

$$U_{ref} = 4,9 \text{ V}$$

$$U_d = 0,6 \text{ V}$$

Határozza meg u_{ki} legnagyobb és legkisebb értékét! ($+U_{kimax} = U_H$; $-U_{kimax} = U_L$)

$$U_H = U_Z = 5,6 \text{ V}$$

$$U_L = -U_d = -0,6 \text{ V}$$

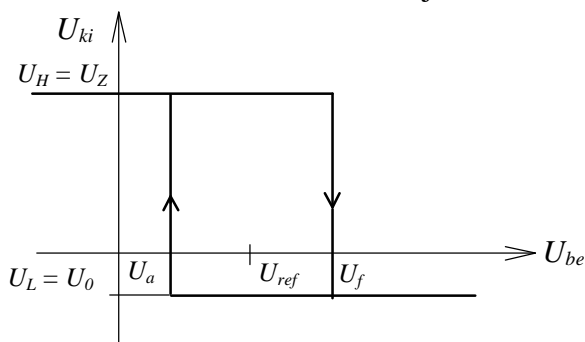
Határozza meg az alsó és a felső billenési szintet (U_a , U_f), és a hiszterézis nagyságát (U_h)!

$$U_f = U_H \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5,6 \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 52,5 \cdot 10^3} + 4,9 \frac{52,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 52,5 \cdot 10^3} = 5,012 \text{ V}$$

$$U_a = U_L \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = -0,6 \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 52,5 \cdot 10^3} + 4,9 \frac{52,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 52,5 \cdot 10^3} = 4,02 \text{ V}$$

$$U_h = U_f - U_a = 5,012 - 4,02 = 0,992 \text{ V}$$

Rajzolja le a kapcsolás transzfer karakterisztikáját!



- 41) Rajzoljon egy **neminvertáló hiszterézises** komparátort, és annak transzfer karakterisztikáját! Határozza meg az alsó és a felső billenési szintet (U_a , U_f), valamint a hiszterézis nagyságát (U_h)!

Adatok:

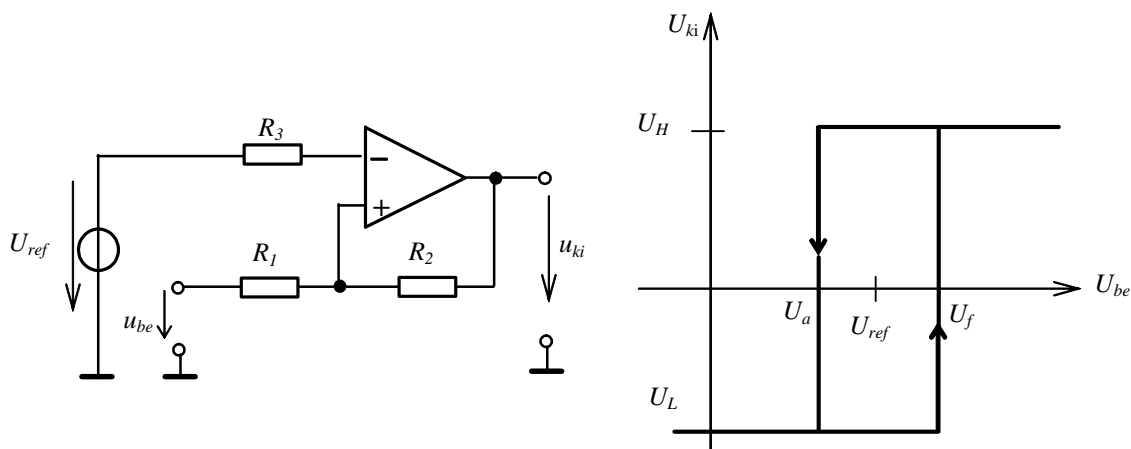
$$U_{ref} = 5 \text{ V}$$

$$U_H = (+U_{kimax}) = +15 \text{ V}$$

$$U_L = (-U_{kimin}) = -15 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

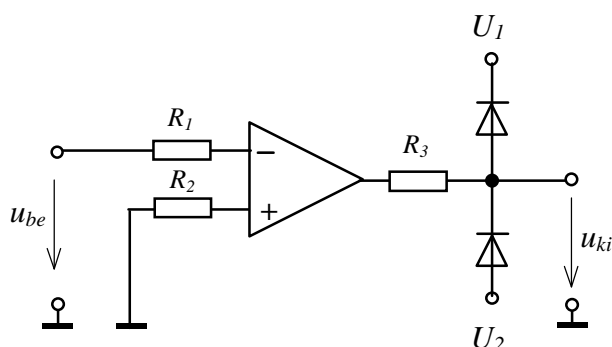


$$U_f = \frac{U_{ref} - U_L \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} = U_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - U_L \frac{R_1}{R_2} = 5 \left(1 + \frac{10^3}{10 \cdot 10^3}\right) - (-15) \frac{10^3}{10 \cdot 10^3} = 7 \text{ V}$$

$$U_a = \frac{U_{ref} - U_H \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} = U_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - U_H \frac{R_1}{R_2} = 5 \left(1 + \frac{10^3}{10 \cdot 10^3}\right) - 15 \frac{10^3}{10 \cdot 10^3} = 4 \text{ V}$$

$$U_h = U_f - U_a = \frac{R_1}{R_2} (U_H - U_L) = 7 - 4 = 3 \text{ V}$$

42) Rajzoljon egy **invertáló nullkomparátort! Korlátozza a kimeneti feszültséget $U_{ki\min} = -1\text{V}$ és $U_{ki\max} = 5\text{V}$ közé diódák segítségével! A diódák nyitóirányú feszültsége $U_d = 0,6\text{V}$.**



$$U_{ki\max} - U_1 = U_d$$

$$U_1 = U_{ki\max} - U_d = 5 - 0,6 = 4,4 \text{ V}$$

$$U_2 - U_{ki\min} = U_d$$

$$U_2 = U_d + U_{ki\min} = 0,6 + (-1) = -0,4 \text{ V}$$