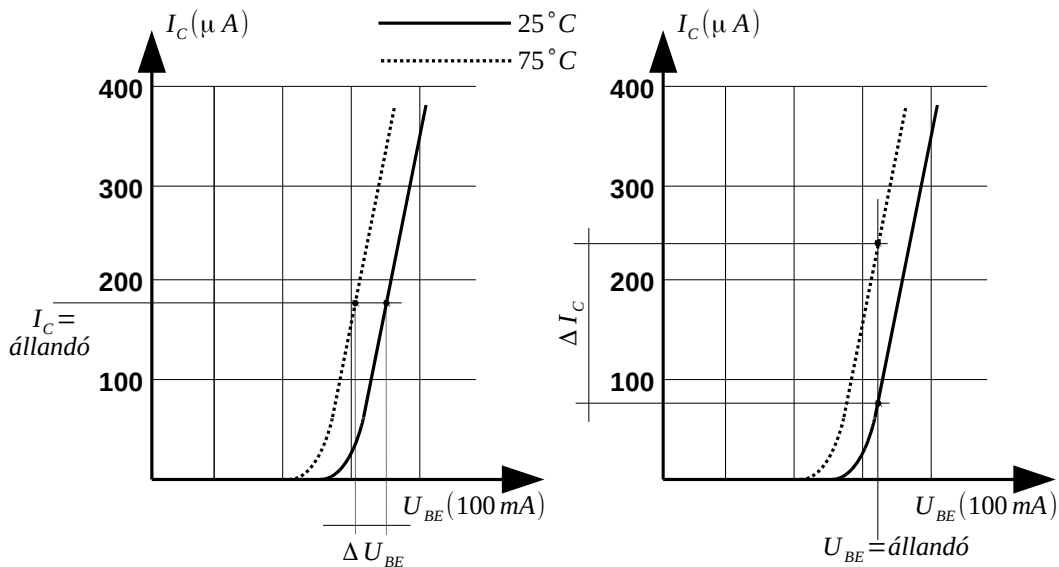


## KÖZÖS EMITTERŰ FOKOZAT BÁZISOSZTÓS MUNKAPONTBEÁLLÍTÁSA

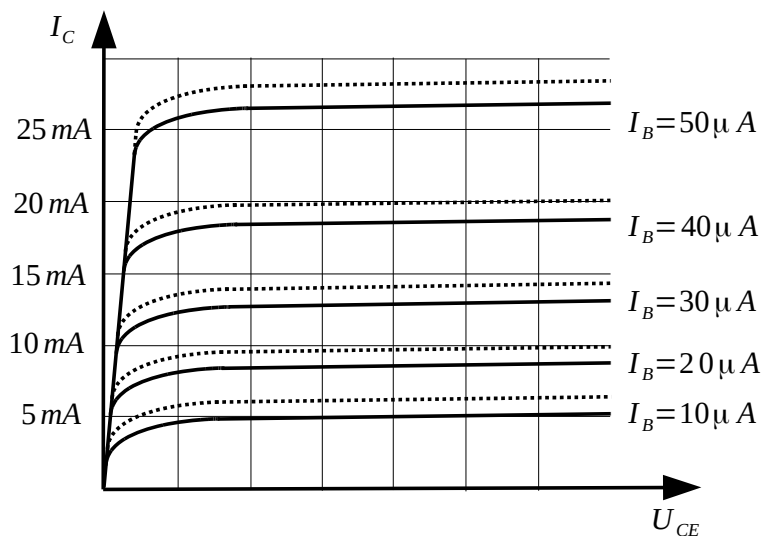
Mint ismeretes, a tranzisztor bázis-emitter diódájának jelentős a hőfokfüggése. Ugyanis a hőmérséklet növekedése a félvezetőkben megnöveli a töltéshordozók koncentrációját.  $1^\circ\text{C}$ -os növekedés hatására 2mV-tal csökken az  $U_{BE}$  nyitófeszültség. Ez olyan, mintha a diódára 2 mV-tal nagyobb nyitóirányú feszültséget kapcsolnánk, így a bázisáram megnő, vele együtt az emitteráram is, így a munkapont eltolódik, hőmérsékletfüggővé válik. A problémát két nézőpontból is vizsgálhatjuk:

1. Amennyiben lehetőségünk van a kollektoráram állandóvá tételére, akkor látható, hogy a hőmérséklet növelésekor kisebb feszültség is elegendő az azonos áramerősség eléréséhez;
2. A nyitóirányú feszültség állandó értéke mellett növelt hőmérséklet hatására az figyelhető meg, hogy azonos nyitóirányú feszültség hatására nagyobb lesz a kollektoráram.

Az  $I_C = \text{állandó}$  feltételhez ezek szerint  $\frac{\Delta U_{BE}}{\Delta T} = -2 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$  nyitófeszültség változás, az úgynevezett *nyitófeszültség drift* tartozik.



**1. ábra** A tranzisztor hőmérsékletfüggése (bemeneti karakterisztika)



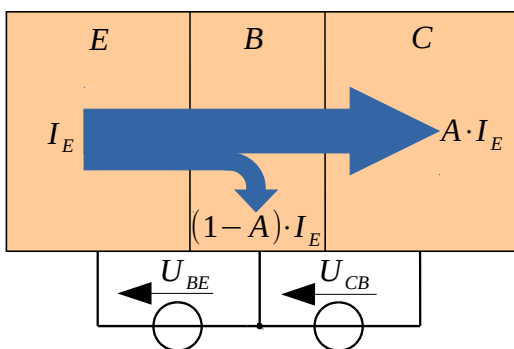
**2. ábra** A tranzisztor hőmérsékletfüggése (kimeneti karakterisztika)

A felmelegedés hatására a tranzisztor karakterisztikái és jellemzői megváltoznak, munkaponti áramok növekednek, így a karakterisztika eltolódik (1. és 2. ábra) A tranzisztor nyitófeszültségének hőfokfüggése tehát jelentősen kihat a munkapontra. A tranzisztorok paramétereinek hőfüggése a gyakorlati alkalmazások szempontjából nagyon kedvezőtlen jelenség. Csökkentése megfelelő munkapont-beállító módszerekkel és a félvezető-eszköz hűtésével lehetséges. Ez utóbbi különösen fontos a nagyteljesítményű áramkörökben, ugyanis növekvő hőmérséklet hatására növekszik az emitter- és kollektoráram is, mely növekvő disszipációs (hővé alakuló) teljesítményt eredményez. Növekvő teljesítmény növekvő hőmennyiséget idéz elő, mely tovább növeli a tranzisztor réteghőmérsékletét. Így következhet be a hőmegfutás, mely a tranzisztor tönkremeneteléhez vezethet.

A hőmérsékváltozás okozta munkaponti instabilitás egyik megoldásaként – kisjelű, kisteljesítményű erősítőfokozatokban – emitterellenállást alkalmazhatunk. Nézzük eme elem hatását!

A nyitófeszültség hatására megindul az  $I_E$  emitteráram. Ennek egy része a rekombinálódik, a nagyobbik hányada a kollektorba sodródik.

- az emitteráram:  $I_E = I_B + I_C$  ;
- a bázisáram:  $I_B = (1 - A) \cdot I_E$  ;
- a kollektaráram:  $I_C = A \cdot I_E$  .



**3. ábra**

Az „A” a tranzisztor egyenáramú (közös bázisú) áramerősítési tényezője, nagy áramerősítési tényező  $\left( B = \frac{I_C}{I_B} \right)$  esetén értéke megközelíti az 1-et ( $A \approx 1$ ).

Lényegében azt mutatja meg, hogy a bázisrekombináció miatt az emitteráram hányadosa érkezik meg a tranzisztor kollektorába. Ebből látszik, hogy  $A < 1$ , minden esetben.

A 3. ábra a valódi áramirányokat mutatja (az elektronok áramlási iránya), nem pedig a technikai áramirányokat!

A tranzisztor egyik fontos paramétere a dinamikus ellenállás, melyet adott munkapontban a termikus feszültség és a diffúziós egyenáram hányadosaként számíthatunk:

$$r_e = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_E} = \frac{U_T}{I_E}, \text{ ahol } U_T = 26 \text{ mV}$$

Értéke munkaponttól függő, de mindenképpen kis értékű, pl.:  $I_E = 1 \text{ mA}$  esetén a dinamikus ellenállás:  $r_e = 26 \Omega$

Ebből következik, hogy az emitteráram változás értéke:  $\Delta I_E = \frac{\Delta U_{BE}}{r_e}$

A kollektoráram:  $I_C = A \cdot I_E$

A kollektoráram változás:  $\Delta I_C = \alpha \cdot \Delta I_E$ , ahol  $\alpha$  a közös bázisú dinamikus áramerősítési tényező

Behelyettesítve:  $\Delta I_C = \alpha \cdot \frac{\Delta U_{BE}}{r_e}$

Annak érdekében, hogy a hőmérsékletváltozás okozta  $U_{BE}$ -változás kis kollektor- és emitteráram-változást hozzon létre, az  $r_e$  differenciális ellenállás értékét kellene növelni. Belátható, hogy erre korlátozott lehetőség van, amellet, hogy értéke amúgy is kicsi.

Egyetlen megoldás kínálkozik: a tranzisztor bázis-emitter diódájával sorba kell kötni egy emitterellenállást. Ebben az esetben a kollektoráram-változás a hőmérséklet függvényében a következőképpen alakul:

$$\Delta I_C = \alpha \cdot \frac{\Delta U_{BE}}{r_e + R_E}, \text{ ahol } R_E \gg r_e$$

Nézzük egy példán keresztül! Adatok:  $\alpha = 0,99$ ,  $T_{25} = 25^\circ C$ ,  $T_2 = 75^\circ C$ ,  $I_E = 2 \text{ mA}$ ,  $R_E = 200 \Omega$

Megoldás: A hőmérséklet-változás:  $\Delta T = T_2 - T_{25} = 75^\circ C - 25^\circ C = 50^\circ C$

A dinamikus ellenállás:  $r_e = \frac{U_T}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 13 \Omega$

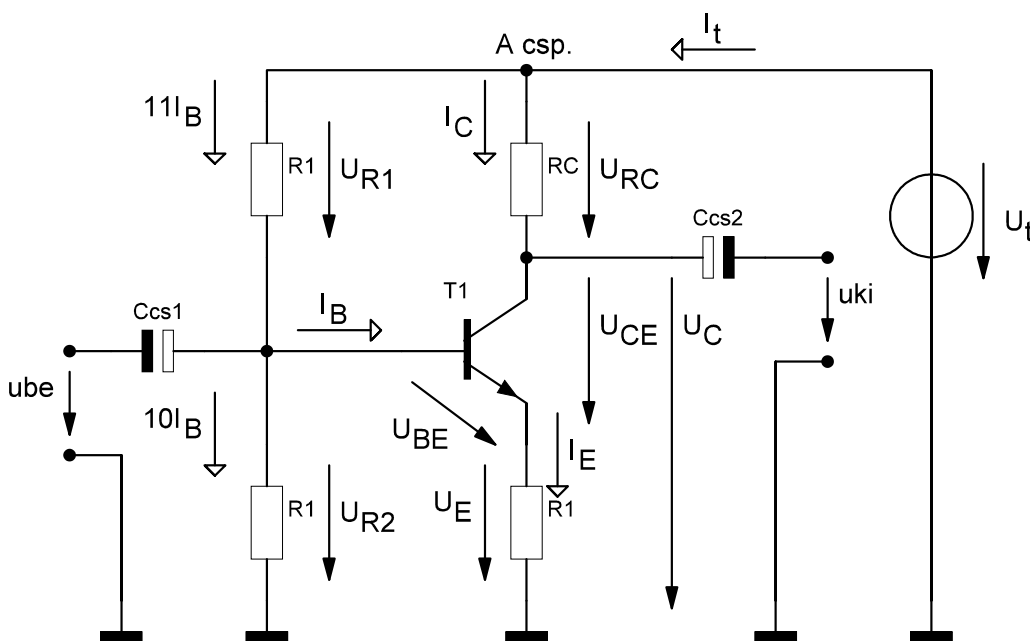
A nyitófeszültség-változás:  $\Delta U_{BE} = \Delta T \cdot \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta T} = 50^\circ C \cdot (-2 \frac{\text{mV}}{^\circ C}) = -100 \text{ mV}$

A kollektoráram-változás, emitterellenállás nélkül:  $\Delta I_{C1} = \alpha \cdot \frac{\Delta U_{BE}}{r_e} = 0,99 \cdot \frac{100 \text{ mV}}{13 \Omega} = 7,62 \text{ mA}$

A kollektoráram-változás, emitterellenállással:  $\Delta I_{C2} = \alpha \cdot \frac{\Delta U_{BE}}{r_e + R_E} = 0,99 \cdot \frac{100 \text{ mV}}{13 \Omega + 200 \Omega} = 465 \mu A$

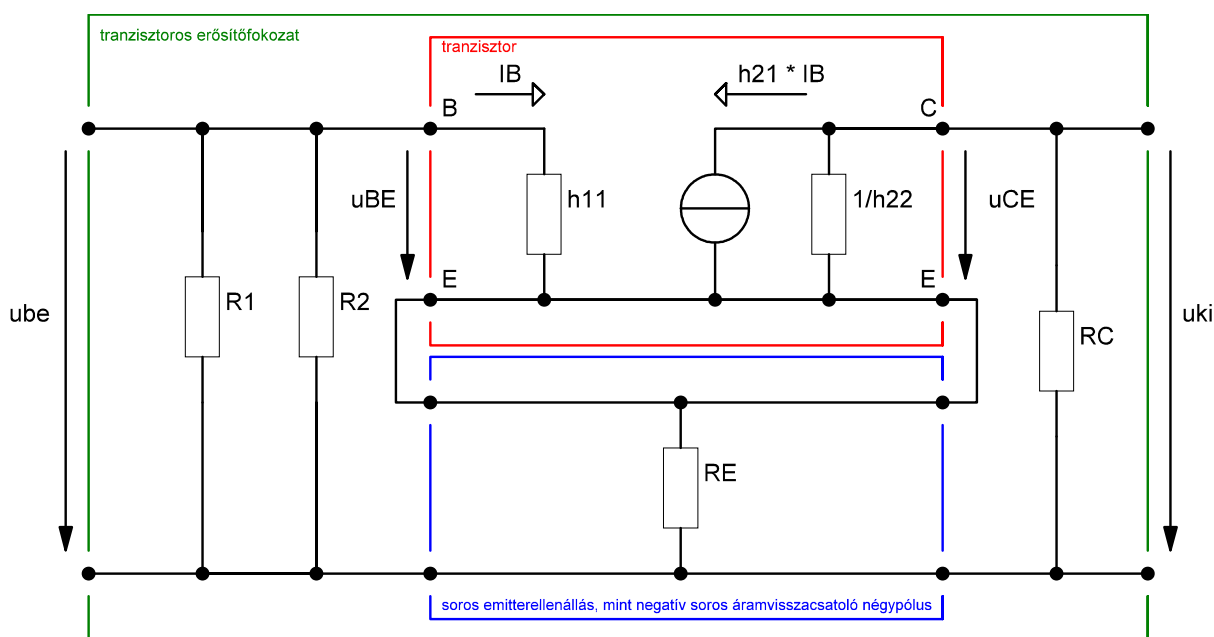
A két változás aránya megmutatja, hogy az emitterellenállásos fokozatban hányadrésznyi a kollektoráram-változás. Látszik, hogy több, mint 16-od részére csökkent a változás. Eme tény garantálja a sokkal stabilabb munkapontot.

$$\frac{\Delta I_{C2}}{\Delta I_{C1}} = \frac{7,62 \text{ mA}}{465 \mu A} = 16,4$$



4. ábra Közös emitterű erősítőfokozat, emitterellenállásos munkapontstabilizálással

A bázisfeszültség stabilizálása érdekében a bemeneti feszültségosztót úgy kell méretezni, hogy a tranzisztor által okozott terhelés annak működését kis mértékben befolyásolja. Ez viszonylag kis értékű ellenállásokat eredményezne. Ugyanakkor arra is figyelni kell, hogy az erősítőfokozat nagy bemenetű legyen, ez pedig azt tenné szükségessé, hogy az osztó ellenállásértékei nagyok legyenek. Eme két tény egymásnak ellentmondó, kompromisszumos tervezési kritérium. Tapasztalati ajánlás az, hogy a bázisosztó felső tagjának árama minimum 11-szerese, az alsó tagjának árama pedig – értelem szerint – 10-szerese legyen a bázisáramnak. Mindez nyomon követhető a 4. ábra szerinti kapcsolási rajzon. Könnyen belátható, hogy a fokozat bemeneti ellenállásának nagy értéke annak függvénye, hogy mekkora az igényelt bázisáram. Célszerű tehát nagy áramerősítési tényezőjű tranzisztort alkalmazni, mert ugyanakkora kollektoráram eléréséhez kisebb bázisáram szükséges, mint a kisebb áramerősítési tényezőjű tranzisztor esetében. Figyelje meg az erősítőfokozat váltakozóáramú helyettesítő képét! Látható, hogy az állandó bázisfeszültséget biztosító feszültségosztó ellenállásai a bemenettel párhuzamosan kapcsolódnak, így a bemeneti impedanciát csökkentik. Az ábrán felismerhető a B-E dióda és az emitterellenállás kapcsolata is.



**4. ábra** A közös emitterű, emitterellenállásos erősítőfokozat váltakozóáramú helyettesítő képe

Állítsuk be ezek után a fokozatunk egyenáramú munkapontját! Először felírhatók a hurok-, illetve csomóponti egyenletek, valamint a fontos összefüggések.

A bemeneti oldalon a következő hurokegyenletek adódnak:

1.  $U_{R1} + U_{R2} - U_t = 0$ , ebből:  $U_t = U_{R1} + U_{R2}$
2.  $U_{R1} + U_B - U_t = 0$ , ebből:  $U_t = U_{R1} + U_B$
3.  $U_{BE} + U_E - U_B = 0$ , ebből:  $U_B = U_{BE} + U_E$  és  $U_{R2} = U_B$

A kimeneti oldalra felírható hurokegyenlet alakok a következők:

1.  $U_{RC} + U_{CE} + U_E - U_t = 0$ , ebből:  $U_t = U_{RC} + U_{CE} + U_E$
2.  $U_{RC} + U_C - U_t = 0$ , ebből:  $U_t = U_{RC} + U_C$
3.  $U_{CE} + U_E - U_C = 0$ , ebből:  $U_C = U_{CE} + U_E$

Három csomóponti egyenlet is felírható:

- az egyik a tranzisztor bázisára:  $11 \cdot I_B - 10 \cdot I_I - I_B = 0$ , melyből:  $11 \cdot I_B = 10 \cdot I_I + I_B$ ;
- a másik a tranzisztorra írható fel: a tranzisztorba a kollektor- és a bázisáram folyik be és az emitteráram pedig kifolyik:  $I_B + I_C - I_E = 0$ , tehát:  $I_E = I_B + I_C$
- a harmadik a kollektor- és az osztóáramra:  $I_I - 11 \cdot I_B - I_C = 0$ , ebből:  $I_I = 11 \cdot I_B + I_C = 0$

**Feladat:** Számítsuk ki a 4. ábra szerinti kapcsolás munkaponti adatait és ellenállásait!

Kollektoráram:  $I_C = 2 \text{ mA}$

Egyenáramú áramerősítési tényező:  $B = 380$

Tápfeszültség:  $12 \text{ V}$

Kollektorfeszültség:  $U_C = 8,4 \text{ V}$

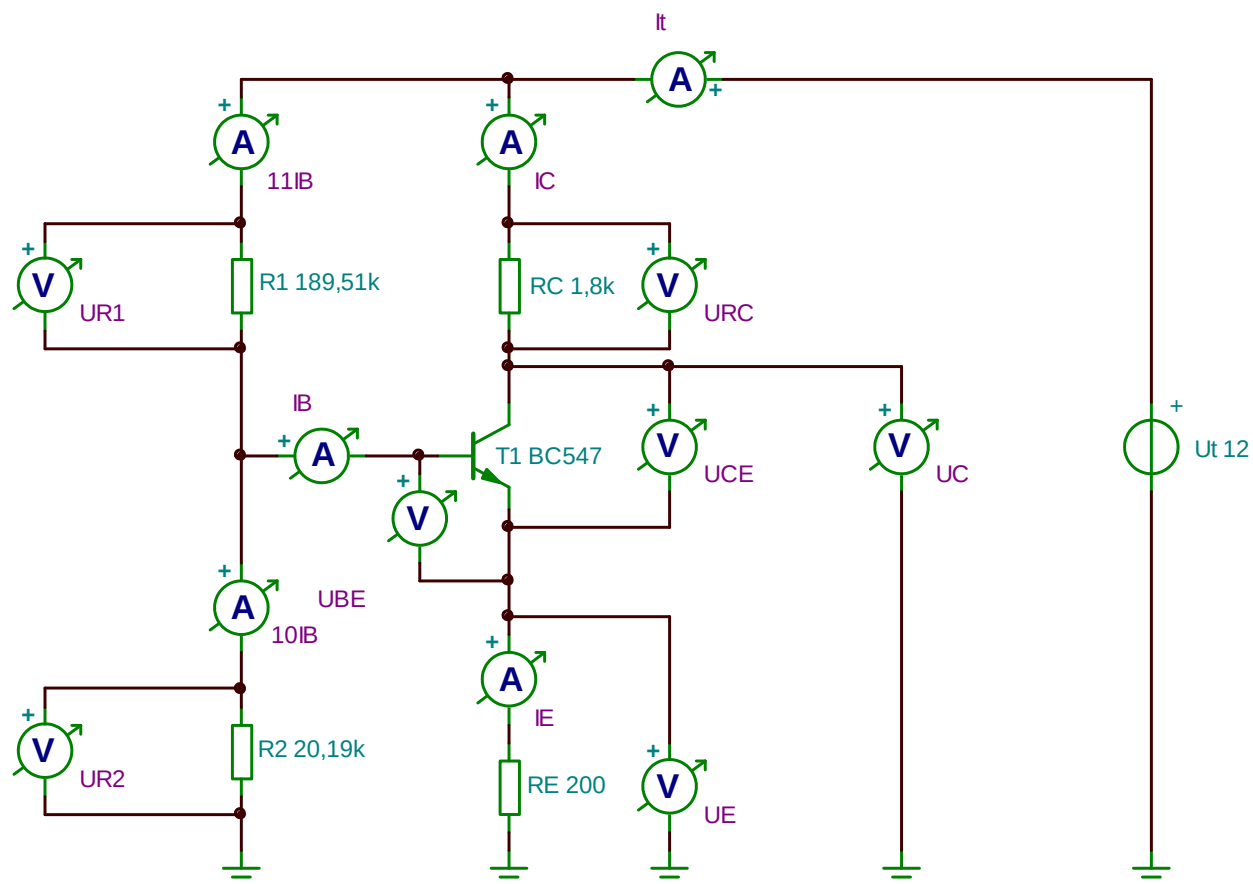
Emitterfeszültség:  $U_E = 400 \text{ mV}$

A tranzisztor nyitófeszültsége:  $660 \text{ mV}$

**Megoldás: (a számításokat mindig a kimeneti oldalon kezdjük!)**

- Az  $U_I = U_{RC} + U_C$  egyenletből számítsuk ki a kollektorellenálláson eső feszültséget!  
 $U_{RC} = U_I - U_C = 12 \text{ V} - 8,4 \text{ V} = 3,6 \text{ V}$ .
- Ennek ismeretében számolható a kollektorellenállás. Ismert a kollektorellenálláson eső feszültség, valamint a rajta átfolyó áramerősség értéke ( $I_C \approx I_E$ ).  
Eszerint:  $R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{3,6 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 1,8 \text{ k}\Omega$ .
- A bázisáramot a kollektoráram, valamint az egyenáramú áramerősítési tényező segítségével tudjuk kiszámítani a  $B = \frac{I_C}{I_B}$  összefüggésből:  $I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{2 \text{ mA}}{380} = 5,26 \mu\text{A}$ .
- A bázisosztó felső tagjának kiszámításához ismernünk kell a rajta eső feszültség értékét.
  - a bázisfeszültség:  $U_B = U_{BE} + U_E = 660 \text{ mV} + 400 \text{ mV} = 1060 \text{ mV} = 1,06 \text{ V}$
  - az  $R_2$  ellenállás feszültsége:  $U_{R2} = U_I - U_B = 12 \text{ V} - 1,06 \text{ V} = 10,94 \text{ V}$
  - az  $R_1$  osztó-ellenállás:  $R_1 = \frac{U_{R1}}{11 \cdot I_B} = \frac{10,94 \text{ V}}{11 \cdot 5,26 \mu\text{A}} = 189,1 \text{ k}\Omega$
- Mivel  $U_B = U_{R2} = U_{BE} + U_E$ , ezért  $R_2 = \frac{U_{R2}}{10 \cdot I_B} = \frac{U_B}{10 \cdot I_B} = \frac{1,06 \text{ V}}{10 \cdot 5,26 \mu\text{A}} = 20,15 \text{ k}\Omega$

**Feladat:** A TINA-TI nevű szimulációs szoftver segítségével állítsa össze a 4. ábra szerinti áramkört! Indítsa el a szimulációt majd értékelje a látottakat!



**5. ábra** Közös emitterű erősítőfokozat (emitterellenállásos munkapontstabilizálással) szimulációja