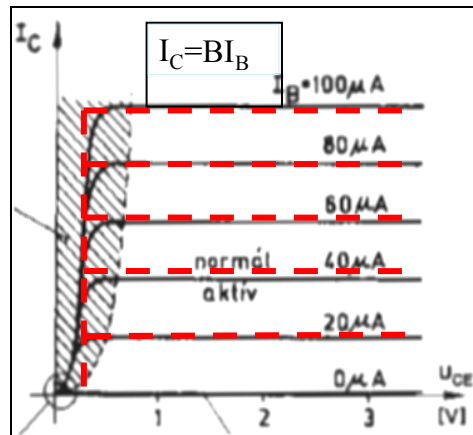


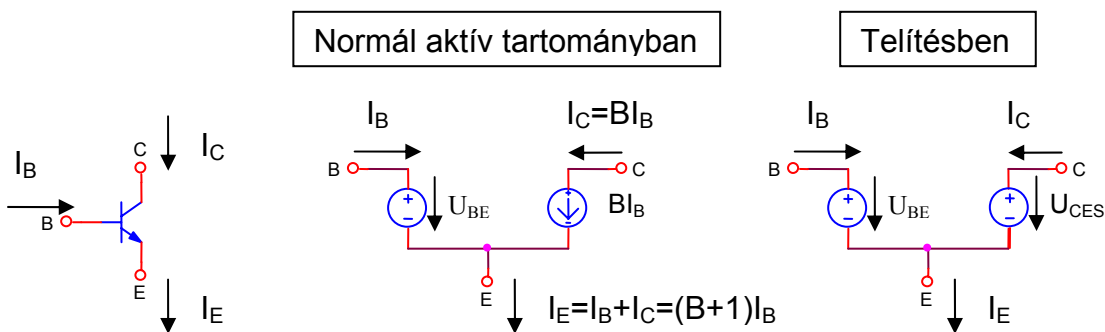
TRANZISZTOROS KAPCSOLÁSOK KÉZI SZÁMÍTÁSA

1. Egyenáramú számítás

A kézi számításokhoz az ábrán látható egyszerű közelítést használjuk:



Normál aktív tartományban a tranzisztort bázis-emitter diódáját az U_{BE} feszültségforrással helyettesítjük, a kollektor és az emitter közé pedig egy vezérelt áramgenerátort kapcsolunk: a kollektor áram B –szerese a bázisáramnak. (dióda helyettesítés ld. 5. előadás, 17,26. slide, tranzisztor működés és karakterisztika ld. 6. előadás 4-10 slide, 7. előadás 19-21 slide)



Telítésbe akkor kerül a tranzisztor, ha a kollektor-emitter feszültség lecsökken. Telítéssel üzemenben a bázis-emitter diódát feszültségforrással helyettesítjük, a kollektor és az emitter közé pedig egy konstans U_{CES} feszültségforrást kapcsolunk. A telítés határhelyzetén $U_{CE} = U_{CES}$, és $I_C = B I_B$ egyenlet még éppen teljesül, telítéssel üzemmódban viszont $I_C \neq B I_B$ (kisebb), a munkaponti áramokat a tranzisztort körülvevő passzív elemek határozzák meg.

Lezárt állapotban a pn átmenetek záróáramát elhanyagoljuk, azaz $I_B = I_C = I_E = 0$.

U_{BE} általában 0.6 – 0.7V, B 40-400, U_{CES} 0.1-0.3V között van, a példákban adótnak tételezzük fel.¹

A számítás menete

Egyenáramú számításoknál a kondenzátorokat szakadással, a tekercset rövidzárral helyettesítjük. A diódás áramkörökhöz hasonlóan feltételeznünk kell egy működési módot, amire vonatkozóan alkalmazzuk a helyettesítő képet. A számítás végeztével feltétlenül **ellenőrizni kell**, hogy a tranzisztor valóban a feltételezett üzemmódban dolgozik-e. Általában, ha van bázisáram, akkor normál aktív működési módot feltételezünk, és kiszámoljuk a helyettesítő kép alapján a munkaponti áramokat, az áramok ismeretében pedig a tranzisztor kollektor – emitter feszültségét.

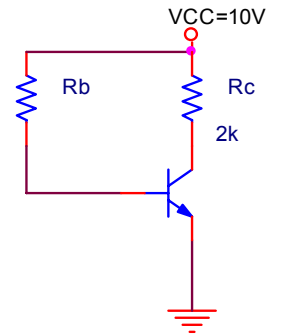
Ha $U_{CE} > U_{CES}$ a feltételezés helyes volt, ha azonban $U_{CE} < U_{CES}$, akkor a tranzisztort telítéssel üzemmódban van, tehát újra kell számolni az áramkört a telítésben alkalmazott helyettesítő kép segítségével.

¹ Megjegyzés: az U_{CES} , U_{BE} , B paraméterek meghatározása az adatlapból illetve karakterisztikákból lehetséges. Az ellenállások és tápfeszültségek értékeiből meg lehet becsülni a kollektoráramot (pl. a 4. példa esetén a tápfeszültség 15V és a tranzisztorttal egy 40kΩ és egy 10kΩ ellenállás van sorbakötve, ezért a tranzisztor árama $15/50=0.3\text{mA}$ –nél biztosan kisebb. Mivel ezek a paraméterek számottevően csak nagyságrendi kollektoráram változásokra változnak (ld. adatlap), így ezzel a becsléssel jó közelítést kapunk...

1. példa

Állapítsuk meg, hogy milyen üzemállapotban dolgozik az ábra szerinti kapcsolásban a tranzisztor és határozzuk meg az I_B , I_C és U_{CE} értékét, ha $B = 100$, $U_{BE}=0.7V$ telítésben pedig $U_{CES} = 0.2 V$, $U_{BES} = 0.8V$

- a) $R_B = 300 k\Omega$,
 b) $R_B = 150 k\Omega$,



Megoldás:

a) $R_B = 300 k\Omega$, az ábrából látható, hogy az emitter-bázis átmenet nyitóirányban van előfeszítve, azaz a tranzisztor vagy normál aktív vagy telítéses tartományban működik. Normál aktív működést feltételezve, az arra vonatkozó helyettesítőképpel kell számolni.

Az emitter-bázis körre felírható huroktörvény

$$-U_{CC} + I_B R_B + U_{BE} = 0, \text{ ebből a bázisáram számítható}$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} = \frac{10 - 0.7}{300} = 0.031mA = 31\mu A,$$

a kollektoráram pedig $I_C = B I_B = 100 \times 0.031 = 3.1mA$

Ellenőrizni kell, hogy a tranzisztor a feltételezett üzemmódban működik-e, ehhez meg kell határozni U_{CE} feszültséget. A kollektor-emitter körre felírt huroktörvény alapján:

$$-U_{CC} + I_C R_C + U_{CE} = 0, \text{ ebből a kollektor-emitter feszültség: } U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 10 - 3.1 \times 2 = 3.8V.$$

Mivel $U_{CE} > U_{CES}$, a feltételezés helyes volt, és a tranzisztor tényleg normál aktív tartományban működik.

b) $R_B = 150 k\Omega$ esetén az előzőek alapján

$$I_B = \frac{10 - 0.7}{150} = 0.062mA = 62\mu A$$

$$I_C = 100 \times 0.062 = 6.2mA$$

$$U_{CE} = 10 - 6.2 \times 2 = -2.4V$$

adódik, azaz $U_{CE} < 0.2 V$, tehát a tranzisztor telítésben van. (Az is nyilvánvaló, hogy pozitív tápfeszültség és földelt emitter esetén negatív kollektor emitter feszültség lehetetlen.)

Telítésben $U_{BES} = 0.8 V$ és $U_{CES} = 0.2 V$ értékekkel számolva:

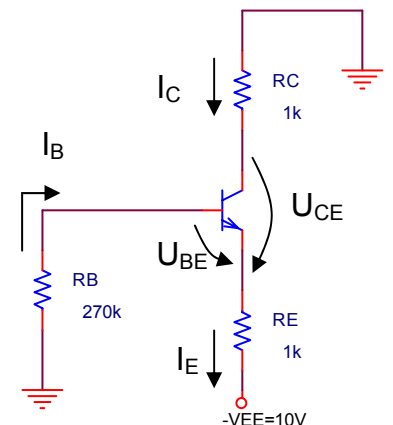
$$I_B = \frac{10 - 0.8}{150} = 0.0613mA$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CESat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{2} = 4.9mA$$

2. példa

Határozzuk meg az ábrán látható kapcsolásban a tranzisztor működési tartományát (üzemállapotát) és az I_B , I_C és U_{CE} munkaponti áram és feszültség értékeket.

A tranzisztorra $B = 100$, $U_{BE}=0.7V$, $U_{CES}=0.2V$.



Megoldás:

Normál aktív működést feltételezünk, az ábra szerinti áramirányokkal. A báziskörre felírt huroktörvény alapján:

$$I_B R_B + U_{BE} + I_E R_E - U_{EE} = 0 \text{ és felhasználva azt, hogy } I_E = (B + 1)I_B$$

$$I_B = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{R_B + (B + 1)R_E} = 0.025mA, \text{ ennek ismeretében}$$

$$I_C = B I_B = 2.5mA \text{ és } I_E = I_C + I_B = 2.525mA.$$

Ellenőrizni kell, hogy a tranzisztor valóban a feltételezéseknek megfelelően normál aktív tartományban működik-e, ehhez szükség van a kollektor-emitter feszültség meghatározására. A kollektor körre felírt huroktörvény alapján:

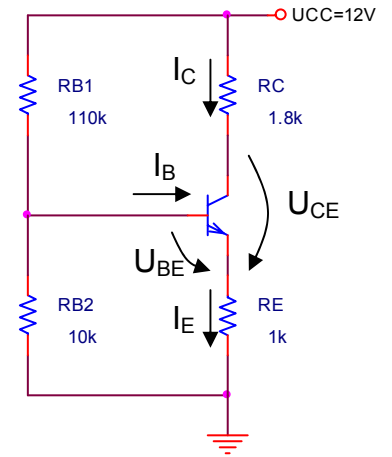
$$I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E - U_{EE} = 0, \text{ ebből}$$

$$U_{CE} = U_{EE} - I_C R_C - I_E R_E \approx 5V > U_{CES}, \text{ tehát a tranzisztor nem kerül telítésbe, a feltételezés helyes volt.}$$

3. Példa

- a) Határozzuk meg az ábra szerinti kapcsolásban I_C és U_{CE} értékét.
b) Mekkora R_C minimális értéke amivel a tranzisztor telítésbe kerül?

A tranzisztorra $B=150$, $U_{BE}=0.7V$, $U_{CES}=0.3V$



Megoldás:

a) R_{B1} és R_{B2} feszültségosztót alkot, amelyet a bázisáram terhel, így a bázis feszültsége a bázisáram függvényében a Thevenin helyettesítőkép alapján (ld. 1. előadás 12-14 slide):

$$U_B = U_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} - (R_{B1} \times R_{B2}) I_B \quad (1)$$

másrészt a bázispont feszültsége a bázis-emitter feszültség és az emitterellenálláson eső feszültség összege:

$$U_B = U_{BE} + I_E R_E = U_{BE} + (B+1) I_B R_E \quad (2)$$

A két egyenletből meghatározható a bázisáram:

$$I_B = 2 \mu A,$$

a bázisáram ismeretében pedig a munkaponti áramok:

$$I_C = B I_B = 0.3 mA \text{ és } I_E = I_C + I_B = 0.302 mA$$

A kollektorkörre felírt huroktörvény alapján

$$U_{CC} = I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E \quad (3)$$

a kollektor-emitter feszültség számítható:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = 11.1 V$$

mivel $U_{CE} > U_{CES}$, a tranzisztor valóban normál aktív üzemmódban működik.

b) a telítés határhelyzetén

$$U_{CE} = U_{CES}$$

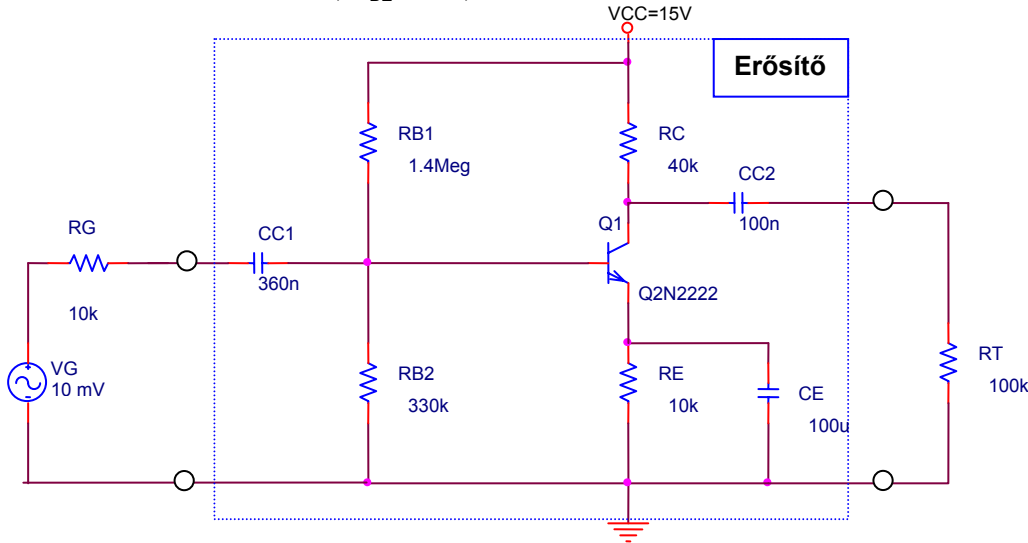
A bázisköri munkapont beállító kapcsolásban nincs változás, ezért I_B értéke ugyanannyi mint az előző esetben. A telítés határhelyzetén még igaz az $I_C = B I_B$ egyenlőség, tehát I_C és I_E áramok megegyeznek a számítottal. A (3) egyenletbe U_{CE} helyére U_{CES} helyettesítve meghatározhatjuk R_C ellenállást:

$$R_C = \frac{U_{CC} - U_{CES} - I_E R_E}{I_C} = 37.8 k\Omega$$

4. Példa

Határozzuk meg az adott erősítő paramétereit! (1. előadás 20. slide) Ha az erősítő bemenetére az ábrán látható 10mV amplitudójú feszültséggenerátort kapcsoljuk, mekkora feszültséget mérhetünk a terhelő ellenálláson?

A tranzisztor adatai: $\beta = 130$, $U_{BE} = 0.6V$, a kondenzátorok az erősítő frekvenciatartományában rövidzárnak tekinthetők.



A. Egyenáramú analízis

Egyenáramú számításához a kondenzátorokat szakadással helyettesítve az ábrán látható kapcsoláshoz jutunk. Az előző példa eredményeit felhasználva:

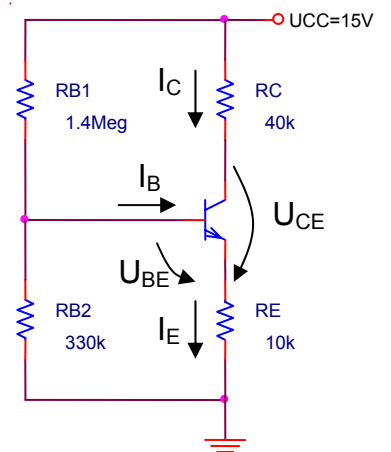
$$U_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} - (R_{B1} \times R_{B2}) I_B = U_{BE} + (B + 1) I_B R_E$$

egyenletből a bázisáram meghatározható.

$I_B = 1.4\mu A$, a bázisáram ismeretében a további munkaponti áramok:
 $I_C = 182\mu A$, $I_E = 183.4\mu A$.

A kollektor-emitter feszültség:

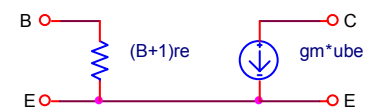
$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = 5.9V$, tehát a tranzisztor valóban normál aktív tartományban üzemel.



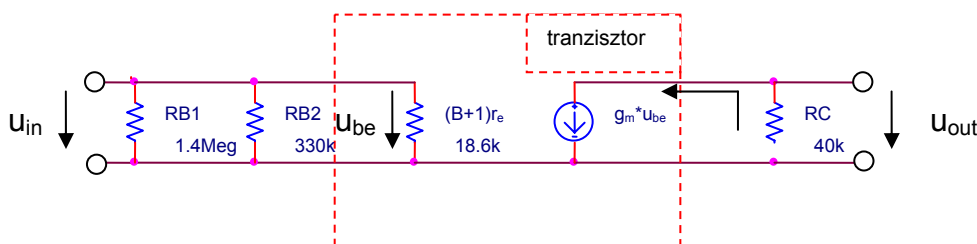
B. Kisjelű analízis

A munkaponti áramok ismeretében meghatározhatjuk a tranzisztor földelt emitteres kisjelű helyettesítő képét (7. előadás 39. slide, bármelyiket használhatnánk, de így a legegyszerűbb a számítás) A helyettesítő kép elemei:

$$r_e = \frac{U_T}{I_E} = \frac{0.026}{0.1834} = 0.142k\Omega, \quad g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{0.182}{0.026} = 7mS$$



A kapacitásokat és az egyenáramú feszültségforrást rövidzárral helyettesítve felrajzolhatjuk az erősítő kisjelű helyettesítő képét: (az erősítő bemenetére kerülő váltakozó feszültséget u_{in} , a kimenetet u_{out} jelöli)



A kimeneten a vezérelt áramgenerátor az R_C ellenálláson

$u_{out} = -g_m u_{be} R_C$ feszültséget ejt és mivel $u_{be} = u_{in}$, ezért $u_{out} = -g_m u_{in} R_C$

A névleges erősítés tehát:

$$A_0 = \frac{u_{out}}{u_{in}} = -g_m R_C = -280$$

A bemenő ellenállás a bázis ellenállások és a tranzisztor bemenő ellenállásának párhuzamos eredője:

$$R_{IN} = R_{B1} \times R_{B2} \times (B + 1)r_e = 17.4k\Omega,$$

a kimeneti ellenállás megegyezik a kollektor ellenállással:

$$R_{OUT} = R_C = 40k\Omega$$

Az adott generátor és terhelő ellenállásokkal az erősítés:

$$A_V = A_0 \frac{R_{IN}}{R_G + R_{IN}} \frac{R_T}{R_T + R_{OUT}} = -280 \frac{17.4}{10 + 17.4} \frac{100}{100 + 40} = -127$$

tehát a terhelő ellenálláson kb. 1.27V amplitudójú szinuszjelet mérhetünk.