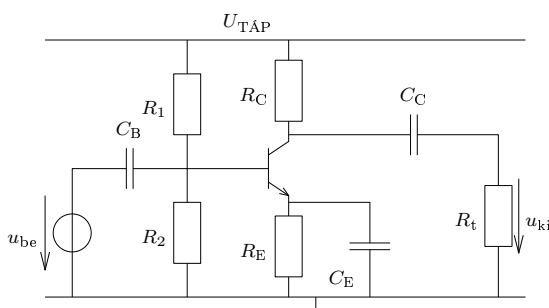


## Elektronika, harmadik gyakorlat

1. Adott az alábbi szilíciumtranzisztorral megépített kapcsolás, a következő paraméterekkel

$$\begin{aligned} B &= 220, & U_{\text{TÁP}} &= 15 \text{ V}, \\ R_E &= 870 \, \Omega, & R_1 &= 70 \text{ k}\Omega, \\ R_2 &= 22 \text{ k}\Omega, & R_t &= 4 \text{ k}\Omega, \\ R_C &= 2 \text{ k}\Omega, & C_B &= 10 \, \mu\text{F}, \\ C_E &= 20 \, \mu\text{F}, & C_C &= 33,1573 \text{ nF}. \end{aligned}$$



- (a) Melyik bipoláris tranzisztoros alapkapsolást valósítja meg a hálózat?

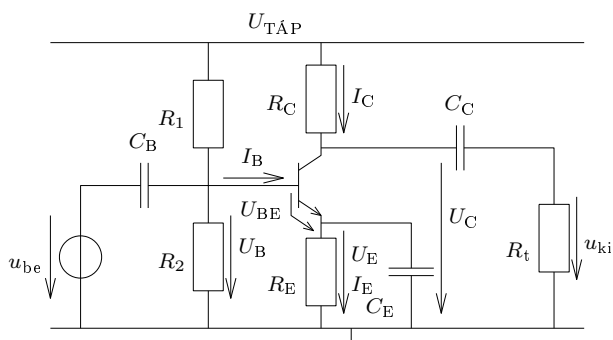
### Megoldás

Ez egy földelt emitteres alapkapsolás.

- (b) Add meg a munkaponti feszültségeket és áramokat!

### Megoldás

A megoldást az alábbi ábra jelöléseinek segítségével keressük.



A bázis feszültsége

$$U_B = U_{\text{TÁP}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3,587 \text{ V}.$$

Ennek segítségével (a bázis–emitterdióda nyitófeszültségét 0,6 V-nak feltételezve) az emitter munkaponti feszültsége

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,987 \text{ V},$$

így az emitter-munkaellenállásra felírt Ohm-törvényből az emitteráram (és a kollektoráram, hiszen  $A = \frac{B}{B+1} = 0,9955$ )

$$I_C \simeq I_E = \frac{U_E}{R_E} = 3,4333 \text{ mA}.$$

A bázisáram

$$I_B = \frac{I_E}{B+1} = 15,5352 \mu\text{A},$$

végül a kollektorfeszültség

$$U_C = U_{TAP} - I_C R_C = 8,1334 \text{ V}.$$

Legutoljára ellenőrizzük, hogy helyes volt-e a feltételezés, hogy a bázis nem terheli a bázisosztót

$$I_B = 15,5352 \mu\text{A} < 16,3043 \mu\text{A} = \frac{1}{10} \frac{U_{TAP}}{R_1 + R_2},$$

azaz a feltételezés helyes volt.

- (c) Mekkora az erősítőkapcsolás kimeneti és bemeneti ellenállása?

#### Megoldás

Az kapcsolás bemeneti ellenállása

$$R_{be} = R_1 \times R_2 \times r_B = 1515,2327 \Omega,$$

ahol felhasználtuk, hogy a tranzisztor meredeksége  $g_m = 132,0494 \text{ mS}$  aminek segítségével bázisának dinamikus ellenállása  $r_B = \frac{\beta}{g_m} = 1666,0437 \Omega$ .

A kapcsolás kimeneti ellenállása

$$R_{ki} = R_C = 2 \text{ k}\Omega.$$

- (d) Mekkora a kapcsolás üresjárási feszültségerősítése?

#### Megoldás

A kapcsolás üresjárási feszültségerősítése

$$A_{üres} = -g_m R_C = -264,0987,$$

ahol felhasználtuk, hogy a tranzisztor meredeksége (szobahőmérsékleten)

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 132,0494 \text{ mS}.$$

- (e) Mekkora a kapcsolás üzemi feszültségerősítése?

#### Megoldás

A kapcsolás üzemi feszültségerősítése

$$A_{üzemi} = -g_m (R_C \times R_t) = -176,0658.$$

- (f) Mi szab határt a kollektor munkaelenállás értékének és mekkora ez a határ?

**Megoldás**

A tranzisztor addig van aktív üzemmódban, amíg

$$U_{CEsat} < U_{CE} = U_C - U_E = U_{TAP} - I_C R_C - U_E,$$

ahonnan  $U_{CEsat} = 0,2\text{ V}$  felhasználásával

$$R_C < \frac{U_{TAP} - U_E - U_{CEsat}}{I_C} = 3440,7424\ \Omega.$$

- (g) Mekkora az erősítőkapcsolás alsó határfrekvenciája?

**Megoldás**

A megadott bemeneti és kimeneti csatolókonduktancia, illetve emitterhidegítő kondenzátor egy-egy pólust visz be az átvitelbe. Azt kell tehát megvizsgálni, hogy a három közül melyik pólus a legnagyobb, ez adja az erősítő alsó határfrekvenciáját. Ehhez írjuk fel a bemeneti csatolókonduktancia által bevitt pólusra az előadás alapján a törésponti frekvenciát

$$\omega_B = \frac{1}{(R_{be} + R_g) C_B} = \frac{1}{R_{be} C_B} = 65,9965 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

ahol a generátor ellenállás a mi esetünkben  $R_g = 0$ . Innen a keresett frekvencia

$$f_B = 10,5037\text{ Hz}.$$

A kimeneti csatolókonduktancia a bemeneti csatolókonduktanciával analóg módon (a kapcsolás kimenetének Thévenin-helyettesítőképét illetve a kimeneti körben lévő terhelő ellenállást felhasználva) a következő törésponti frekvenciát adja

$$\omega_C = \frac{1}{(R_{ki} + R_t) C_C} = 5026,5482 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

ahonnan a keresett frekvencia

$$f_C = 800\text{ Hz}.$$

Az emitterhidegítő-kondenzátor hatása (most csak a pólus érdekes számunkra, így csak azt fejezzük ki), az előadáson elhangzottak szerint

$$\omega'_E = \omega_E (1 + g_m R_E) = \frac{1}{R_E C_E} (1 + g_m R_E) = 6659,9393 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

innen a frekvencia

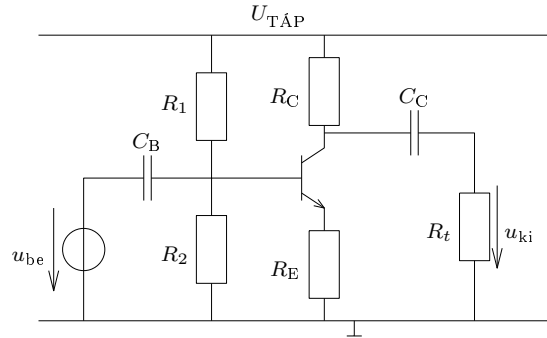
$$f'_E = 1059,9623\text{ Hz},$$

ami egyben az erősítőkapcsolás alsó határfrekvenciáját is adja, mivel  $f'_E > f_C > f_B$ .

2. Vizsgáljuk az alábbi ábra szerinti szilíciumtranzisztoros kapcsolást, amelynek a paraméterei

$$\begin{aligned} B &= 300, & R_1 &= 73\text{ k}\Omega, \\ R_2 &= 27\text{ k}\Omega, & R_E &= 2\text{ k}\Omega, \\ R_C &= 5\text{ k}\Omega, & R_t &= 10\text{ k}\Omega, \\ C_B &\rightarrow \infty, & C_C &\rightarrow \infty, \end{aligned}$$

$$U_{T\hat{A}P} = 10 \text{ V}.$$

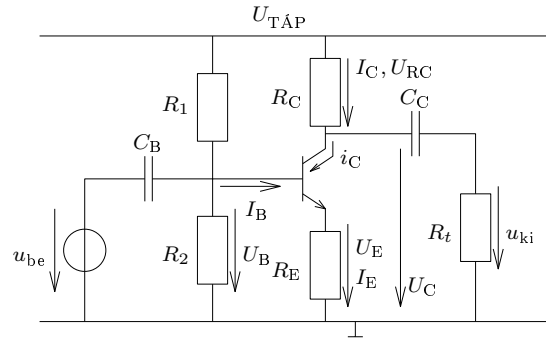


Kapcsolás

(a) Mekkora a munkaponti kollektoráram?

### Megoldás

Az alábbi ábra szerinti jelöléseket használjuk a megoldáshoz.



Jelölések a megoldáshoz

A bázisfeszültség

$$U_B = U_{T\hat{A}P} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2,7 \text{ V}.$$

Kivételesen számoljunk  $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ -os nyitófeszültséggel, akkor az emitterfeszültség

$$U_E = 2 \text{ V},$$

az emitteráram

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = 1 \text{ mA},$$

végül a kollektoráram

$$I_C \simeq I_E = 1 \text{ mA}.$$

Nézzük meg, hogy helyesen feltételeztük-e, hogy a bázis nem terheli a bázisosztót, amihez felírjuk a bázisáramot

$$I_B = \frac{I_E}{B + 1} = 3,3223 \mu\text{A} < \frac{1}{10} \frac{U_{T\hat{A}P}}{R_1 + R_2} = 10^{-5} \text{ A} = 10 \mu\text{A},$$

azaz a feltételezés helyes volt.

(b) Mekkora az erősítőkapcsolás feszültségerősítése?

**Megoldás**

A kimeneti feszültség kifejezése

$$u_{ki} = -i_C (R_C \times R_t) = -g_m u_{BE} (R_C \times R_t),$$

ahol a tranzisztor meredeksége

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 38,4615 \text{ mS}.$$

A bemeneti feszültség

$$u_{be} = u_{BE} + u_E = u_{BE} + i_E R_E \simeq u_{BE} + i_C R_E = u_{BE} + g_m u_{BE} R_E = u_{BE} (1 + g_m R_E),$$

ahonnan a bázis-emitterfeszültség (a bemeneti feszültséggel kifejezve)

$$u_{BE} = u_{be} \frac{1}{1 + g_m R_E}.$$

Ezt behelyettesítve a kimeneti feszültség kifejezésébe

$$u_{ki} = -g_m u_{be} \frac{1}{1 + g_m R_E} (R_C \times R_t) = -u_{be} \frac{g_m (R_C \times R_t)}{1 + g_m R_E} \left( \simeq -u_{be} \frac{R_C \times R_t}{R_E} \right)$$

(néha ebben az utóbbi alakban számolnak vele).

A feszültségerősítés tehát

$$A_{üzemi} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{g_m (R_C \times R_t)}{1 + g_m R_E} = -1,6453.$$

(c) Mekkora a bemeneti és a kimeneti ellenállása?

**Megoldás**

Mivel a kapcsolás kollektorköre azonos az emitterhidegítő kondenzátoros kapcsolásával (és a tranzisztort ideálisnak tekintettük) a kimeneti ellenállása

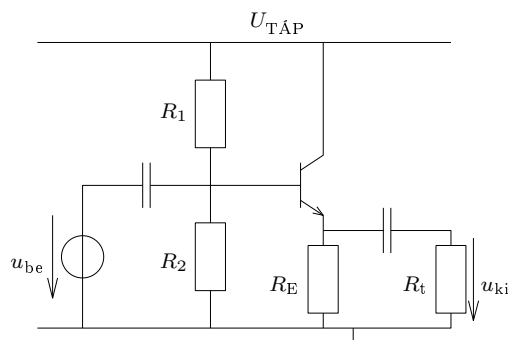
$$R_{ki} \simeq R_C = 5 \text{ k}\Omega.$$

A bemeneti ellenállás különbözik, hiszen az emitterhidegítő kondenzátor hiánya miatt az emitterkörü ellenállás (transzformáltja) is látszik a bemenetről

$$R_{be} = R_1 \times R_2 \times (r_B + B R_E) = R_1 \times R_2 \times B (r_E + R_E) = R_1 \times R_2 \times B \left( \frac{1}{g_m} + R_E \right) = 19,0909 \text{ k}\Omega.$$

3. Adott az alábbi szilíciumtranzisztorral megépített kapcsolás, a következő paraméterekkel

$$\begin{aligned} B &= 250, & U_{T\hat{A}P} &= 18 \text{ V}, \\ R_E &= 2 \text{ k}\Omega, & R_1 &= 90 \text{ k}\Omega, \\ R_2 &= 40 \text{ k}\Omega, & R_t &= 6 \text{ k}\Omega. \end{aligned}$$



(a) Melyik bipoláris tranzisztoros alkapcsolást valósítja meg a hálózat?

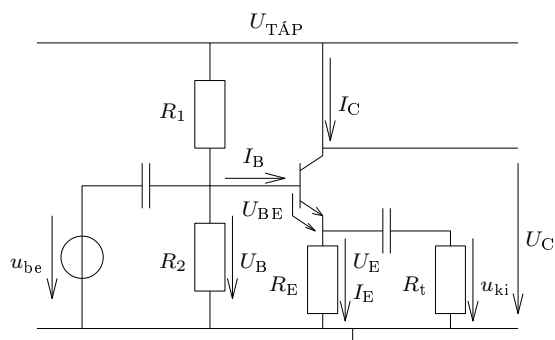
**Megoldás**

Ez egy földelt kollektoros alkapcsolás.

(b) Add meg a munkaponti feszültségeket és áramokat!

**Megoldás**

A megoldást az alábbi ábra jelöléseinek segítségével keressük.



A bázis feszültsége

$$U_B = U_{TAP} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5,5385 \text{ V.}$$

Ennek segítségével (a bázis-emitterdióda nyitófeszültségét 0,6 V-nak feltételezve) az emitter munkaponti feszültsége

$$U_E = U_B - U_{BE} = 4,9385 \text{ V,}$$

így az emitter-munkaellenállásra felírt Ohm-törvényből az emitteráram (és a kollektoráram, hiszen  $A = \frac{B}{B+1} = 0,996$ )

$$I_C \simeq I_E = \frac{U_E}{R_E} = 2,4692 \text{ mA.}$$

A bázisáram

$$I_B = \frac{I_E}{B + 1} = 9,8376 \mu\text{A,}$$

végül a kollektorfeszültség

$$U_C = U_{TAP} = 18 \text{ V.}$$

Legutoljára ellenőrizzük, hogy helyes volt-e a feltételezés, hogy a bázis nem terheli a bázisosztót

$$I_B = 9,8376 \mu\text{A} < 13,8462 \mu\text{A} = \frac{1}{10} \frac{U_{TAP}}{R_1 + R_2},$$

azaz a feltételezés helyes volt.

- (c) Mekkora az erősítőkapcsolás kimeneti és bemeneti ellenállása?

**Megoldás**

Az kapcsolás bemeneti ellenállása

$$R_{be} = R_1 \times R_2 \times (r_B + (1 + \beta)R_E) = 26,2517 \text{ k}\Omega,$$

ahol felhasználtuk, hogy a tranzisztor meredeksége  $g_m = 94,9704 \text{ mS}$  aminek segítségével bázisának dinamikus ellenállása  $r_B = \frac{\beta}{g_m} = 2,6324 \text{ k}\Omega$ .

A kapcsolás kimeneti ellenállása

$$R_{ki} = R_E \times \left( r_E + \frac{R_1 \times R_2}{1 + \beta} \right) = 113,9704 \Omega,$$

ahol  $r_E \simeq \frac{1}{g_m} = 10,5296 \Omega$ .

- (d) Mekkora a kapcsolás üresjárási feszültségerősítése?

**Megoldás**

A kapcsolás üresjárási feszültségerősítése

$$A_{\text{üres}} = \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} = 0,9948,$$

ahol felhasználtuk, hogy a tranzisztor meredeksége (szobahőmérsékleten)

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 94,9704 \text{ mS}.$$

- (e) Mekkora a kapcsolás üzemi feszültségerősítése?

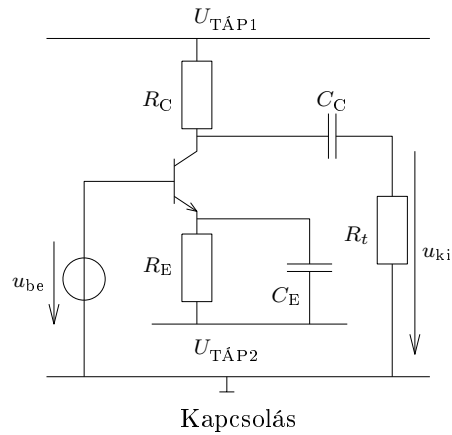
**Megoldás**

A kapcsolás üzemi feszültségerősítése

$$A_{\text{üzemi}} = \frac{g_m (R_E \times R_t)}{1 + g_m (R_E \times R_t)} = 0,993.$$

4. Vizsgáljuk a következő szilíciumtranzisztoros kapcsolást, a következő paraméterekkel

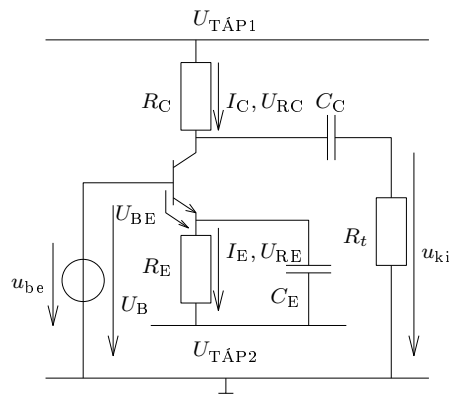
$$\begin{aligned} \beta &= 250, & R_E &= 3 \text{ k}\Omega, \\ R_C &= 5,1 \text{ k}\Omega, & R_t &= 10 \text{ k}\Omega, \\ C_C &= 10 \text{ nF}, & C_E &= 47 \text{ nF}, \\ U_{TAP1} &= 15 \text{ V}, & U_{TAP2} &= -5 \text{ V}. \end{aligned}$$



(a) Mekkora a munkaponti kollektoráram?

**Megoldás**

A következő ábra jelöléseit alkalmazva határozzuk meg a megoldást.



Jelölések a megoldáshoz

A bázis munkaponti egyenfeszültsége

$$U_B = 0.$$

Az emitterellenálláson eső feszültség

$$U_{RE} = -U_{BE} - U_{TAP2} = 4,4 \text{ V},$$

ennek segítségével az emitteráram

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = 1,4667 \text{ mA}.$$

A kollektoráram

$$I_C \simeq I_E = 1,4667 \text{ mA}.$$

(b) Mekkora az erősítőkapcsolás feszültségerősítése? Add meg dB-ben is!

**Megoldás**

A feszültségerősítés kiszámolásához szükségünk van a tranzisztor meredekségére is (mivel a



feladat nem hangsúlyozza, hogy ettől eltérő lenne, ezért szobahőmérsékleten számoljuk)

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 56,4103 \text{ mS}.$$

Mivel nem volt más megadva az üzemi erősítést számoljuk az előadáson tanultak szerint

$$A_{\text{üzemi}} = -g_m (R_C \times R_t) = -190,5247.$$

Az erősítés dB-ben

$$A_{\text{üzemi}} [\text{dB}] = 20 \lg |A_{\text{üzemi}}| = 45,599 \text{ dB}.$$

(c) Add meg a kapcsolás bemeneti és kimeneti ellenállását is!

### Megoldás

A bemeneti ellenállás csak a tranzisztor bázisának dinamikus ellenállása

$$R_{\text{be}} = r_B = (\beta + 1) r_E = (\beta + 1) \frac{1}{g_m} = 4449,5455 \Omega.$$

A kimeneti ellenállás a kollektorköri ellenállással egyezik (mivel a tranzisztor idealizált modelljével számoltunk, azaz a kollektor dinamikus ellenállást elhanyagolhatónak tekintettük)

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

5. Adott a következő szilíciumtranzisztoros kapcsolás, a következő paraméterekkel

$$U_C = 5 \text{ V},$$

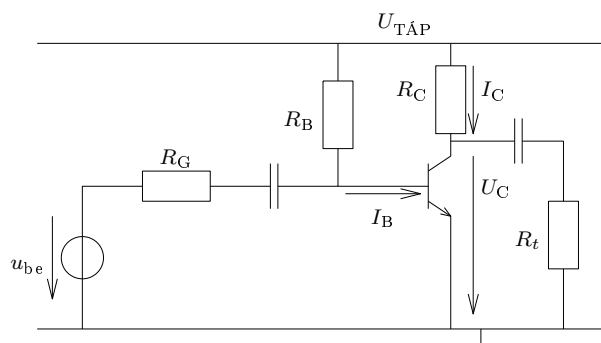
$$I_C = 2 \text{ mA},$$

$$R_t = 2 \text{ k}\Omega,$$

$$I_B = 42 \text{ }\mu\text{A},$$

$$U_{\text{TÁP}} = 9 \text{ V},$$

$$R_G = 1 \text{ k}\Omega.$$

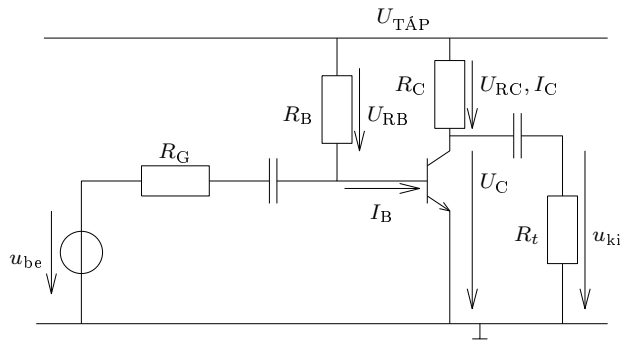


Kapcsolás

(a) Mekkora a munkaponti emitteráram?

### Megoldás

A következő ábra jelöléseit használjuk.



A megoldás során használt jelölések

Az emitteráram kiszámolásához először szükségünk van a közös emitteres áramerősítő tényezőre

$$B = \frac{I_C}{I_B} = 47,619.$$

Ennek segítségével a munkaponti emitteráram

$$I_E = \frac{B+1}{B} I_C = (B+1) I_B = 2,042 \text{ mA},$$

vagy egy sokkal elegánsabb megoldás a tranzisztor lábaira felírni az áramtörvényt

$$I_E = I_C + I_B = 2,042 \text{ mA}.$$

- (b) Mekkora a munkapontot beállító  $R_B$  bázisellenállás és  $R_C$  kollektorellenállás értéke?

#### Megoldás

Mivel a feladat szerint szilíciumtranzisztorról van szó, a bázis–emitter nyitófeszültség  $U_{BE} \simeq 0,6 \text{ V}$ . Ennek felhasználásával, a fenti ábra jelöléseit használva a bázisellenállásra felírt Ohm–törvény

$$R_B = \frac{U_{RB}}{I_B} = \frac{U_{TAP} - U_{BE}}{I_B} = \frac{9 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{42 \mu\text{A}} = 200 \text{ k}\Omega.$$

A kollektorellenállásra felírt Ohm–törvény

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{U_{TAP} - U_C}{I_C} = \frac{9 \text{ V} - 5 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega.$$

- (c) Mekkora a kapcsolás üresjárási feszültségerősítése?

#### Megoldás

Az üresjárási feszültségerősítés a terheletlen kapcsolásra felírva

$$A_{\text{üres}} = \frac{u_{ki}}{u_{be}},$$

a kimeneti feszültség

$$u_{ki} = -i_C R_C,$$

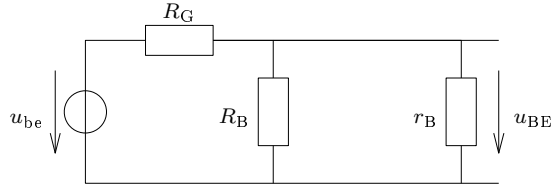
a kollektoráram

$$i_C = g_m u_{BE},$$

ahol a tranzisztor meredekségét a munkaponti kollektoráram segítségével kapjuk (mivel a feladat nem hangsúlyozza, hogy ettől eltérő lenne, ezért szobahőmérsékleten számoljuk)

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{2 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 76,9231 \text{ mS}$$

és a bázis–emitter váltakozófeszültséget a következő helyettesítő hálózatban vizsgáljuk.



A megoldás során használt jelölések

A tranzisztor bázisának dinamikus ellenállása

$$r_B = \frac{U_T}{I_B} = \frac{26 \text{ mV}}{42 \mu\text{A}} = 619,0476 \Omega.$$

A keresett (bázis–emitter)feszültséget a következő feszültségosztó segítségével kapjuk

$$u_{BE} = \frac{R_B \times r_B}{R_G + R_B \times r_B} u_{be}.$$

Ezt visszahelyettesítjük a kollektoráram, majd a kimeneti feszültség kifejezésébe

$$u_{ki} = -g_m R_C \frac{R_B \times r_B}{R_G + R_B \times r_B} u_{be}.$$

Az üresjárási feszültségerősítés tehát

$$\begin{aligned} A_{\text{üres}} &= \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -g_m R_C \frac{R_B \times r_B}{R_G + R_B \times r_B} = \\ &= -76,9231 \text{ mS} \cdot 2 \text{ k}\Omega \frac{200 \text{ k}\Omega \times 619,0476 \Omega}{1 \text{ k}\Omega + 200 \text{ k}\Omega \times 619,0476 \Omega} = -58,7113. \end{aligned}$$

(d) Mennyi az üzemi feszültségerősítése?

### Megoldás

A terhelt kollektorkörre felírva a kimeneti feszültség

$$u_{ki} = -i_C (R_C \times R_t),$$

azaz az üzemi feszültségerősítés

$$A_{\text{üzemi}} = A_{\text{üres}} \frac{R_C \times R_t}{R_C} = -29,3556.$$

(e) Mekkora a bemeneti szinuszos feszültség effektívértéke, ha a tranzisztort terhelő ellenálláson a feszültség csúcsértéke  $\hat{U}_{ki} = 1,5 \text{ V}$ ?

**Megoldás**

Mivel a terhelt erősítőkapcsolásról van szó a bemeneti feszültség csúcsértékét az üzemi feszültség-  
sége erősítés segítségével számolhatjuk

$$\hat{U}_{be} = \left| \frac{\hat{U}_{ki}}{A_{üzemi}} \right| = 51,0975 \text{ mV},$$

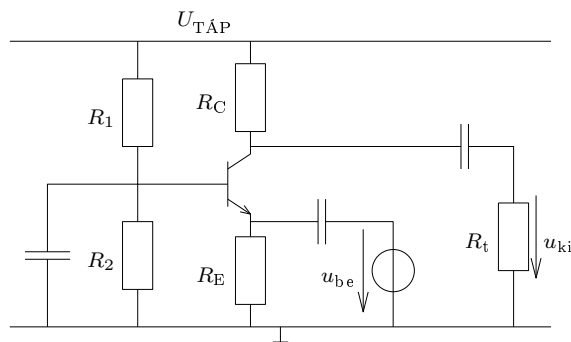
ahonnan a keresett effektívérték

$$U_{be} = \frac{\hat{U}_{be}}{\sqrt{2}} = 36,1314 \text{ mV}.$$

6. Adott az alábbi hálózat, a következő paraméterekkel

$$\begin{aligned} B &= 180, \\ R_E &= 670 \, \Omega, \\ R_1 &= 33 \text{ k}\Omega, \\ R_t &= 2 \text{ k}\Omega. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{T\ddot{A}P} &= 12 \text{ V}, \\ R_C &= 3,2 \text{ k}\Omega, \\ R_2 &= 6,02 \text{ k}\Omega. \end{aligned}$$



(a) Melyik bipoláris tranzisztoros alapkapsolást valósítja meg a hálózat?

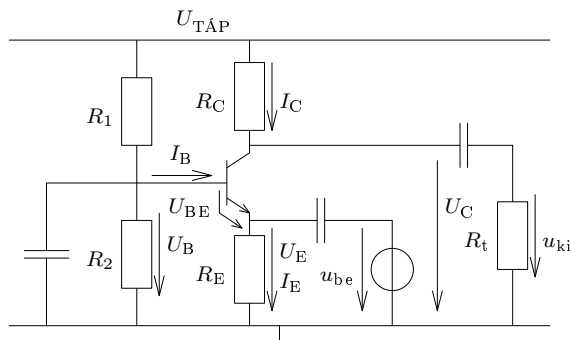
**Megoldás**

Ez egy földelt bázisú alapkapsolás.

(b) Add meg a munkaponti feszültségeket és áramokat!

**Megoldás**

A megoldást az alábbi ábra jelöléseinek segítségével keressük.



A bázis feszültsége

$$U_B = U_{TAP} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1,8514 \text{ V.}$$

Ennek segítségével (a bázis–emitterdióda nyitófeszültségét 0,6 V-nak feltételezve) az emitter munkaponti feszültsége

$$U_E = U_B - U_{BE} = 1,2514 \text{ V,}$$

így az emitter-munkaellenállásra felírt Ohm-törvényből az emitteráram (és a kollektoráram, hiszen  $A = \frac{B}{B+1} = 0,9945$ )

$$I_C \simeq I_E = \frac{U_E}{R_E} = 1,8677 \text{ mA.}$$

A bázisáram

$$I_B = \frac{I_E}{B + 1} = 10,3188 \mu\text{A,}$$

végül a kollektorfeszültség

$$U_C = U_{TAP} - I_C R_C = 6,0234 \text{ V.}$$

Legutoljára ellenőrizzük, hogy helyes volt-e a feltételezés, hogy a bázis nem terheli a bázisosztót

$$I_B = 10,3188 \mu\text{A} < 30,7535 \mu\text{A} = \frac{1}{10} \frac{U_{TAP}}{R_1 + R_2},$$

azaz a feltételezés helyes volt.

(c) Milyen üzemmódban van a tranzisztor?

#### Megoldás

Mivel azzal a feltételezéssel, hogy a bázis–emitterdióda nyitva van, reális értékeket kaptunk, csak azt kell ellenőrizni, hogy a kollektor–bázisdióda nyitva, vagy zárva van-e. Ezt most a kollektor–emitterfeszültség segítségével vizsgáljuk, ha az nagyobb, mint a szaturációs feszültség (0,2 V), akkor a tranzisztor aktív üzemmódban van, ha kisebb, akkor telítésben. Mivel

$$U_{CE} = U_C - U_E = 4,772 \text{ V} > U_{CES} \simeq 0,2 \text{ V}$$

a tranzisztor aktív üzemmódban van.

(d) Mekkora az erősítőkapcsolás kimeneti és bemeneti ellenállása?

#### Megoldás

Az előadáson elhangzottak szerint ennek a földelt bázisú alkapcsolásnak a bemeneti ellenál-

lása

$$R_{be} = R_E \times r_E = R_E \times \frac{1}{g_m} = 13,6375 \Omega,$$

ahol felhasználtuk, hogy a tranzisztor meredeksége (szobahőmérsékleten)

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 71,8346 \text{ mS},$$

a kimeneti ellenállása

$$R_{ki} = R_C = 3,2 \text{ k}\Omega.$$

- (e) Mekkora a kapcsolás üresjárású feszültségerősítése?

**Megoldás**

A kapcsolás megegyezik az előadáson látott példával, így az üresjárású feszültségerősítése

$$A_{\text{üres}} = g_m R_C = 229,8706.$$

- (f) Mekkora a kapcsolás üzemi feszültségerősítése?

**Megoldás**

Terhelt esetben a kollektoráram a párhuzamosan kapcsolt kollektor-munkaellenállás és a terhelőellenállás párhuzamos eredőjén ejti a kimeneti feszültséget (az üresjárású kollektor-munkaellenállás helyett), így az üzemi feszültségerősítés

$$A_{\text{üzemi}} = A_{\text{üres}} \frac{R_C \times R_t}{R_C} = g_m (R_C \times R_t) = 88,4118.$$

- (g) Mi szab határt a kollektor munkaellenállás értékének és mekkora ez a határ?

**Megoldás**

A tranzisztor addig van aktív üzemmódban, amíg

$$U_{CEsat} < U_{CE} = U_C - U_E = U_{TAP} - I_C R_C - U_E,$$

ahonnan  $U_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$  felhasználásával

$$R_C < \frac{U_{TAP} - U_E - U_{CEsat}}{I_C} = 5647,9348 \Omega.$$

7. Adott az ábra szerinti szilíciumtranzisztoros kapcsolás a következő adatokkal

$$I_E = 2 \text{ mA},$$

$$U_E = 0,94 \text{ V},$$

$$U_C = 5,94 \text{ V},$$

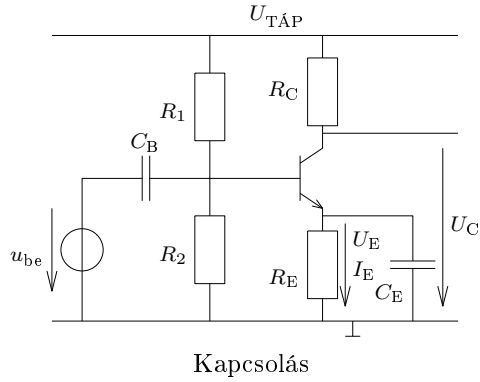
$$B = 200,$$

$$R_{be} = 2,68 \Omega,$$

$$C_B = 59,3862 \mu\text{F},$$

$$C_E = 3,3863 \mu\text{F},$$

$$U_{TAP} = 12 \text{ V}.$$

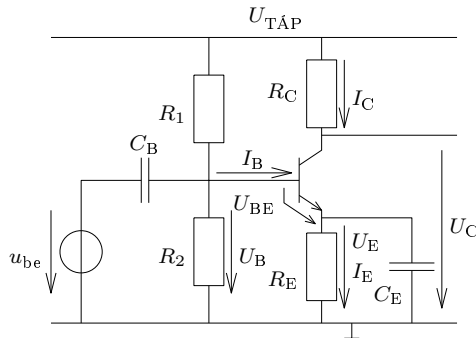


Kapcsolás

(a) Mekkora a munkapontot beállító ellenállások értéke?

### Megoldás

A következő ábra jelöléseit alkalmazzuk a megoldás során.



Jelölések a megoldáshoz

Az emitterellenállásra felírt Ohm-törvényből

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} = 470 \, \Omega.$$

A nagy földelt emitteres áramerősítő tényező miatt úgy tekintjük, hogy a földelt bázisú áramerősítési tényező közel 1, hiszen  $A = \frac{B}{B+1} = 0,995 \simeq 1$ , így az emitteráram és a kollektoráram körülbelül megegyezik

$$I_C \simeq I_E = 2 \, \text{mA}.$$

Ennek ismeretében a kollektor munkaellenállásra felírt Ohm-törvény

$$R_C = \frac{U_{TAP} - U_C}{I_C} = 3,03 \, \text{k}\Omega.$$

A bázisosztó ellenállásainak kiszámolásához a következő kétismeretlenes egyenletrendszert írhatjuk fel

$$R_{be} = R_1 \times R_2 \times r_B = \frac{(R_1 \times R_2) r_B}{R_1 \times R_2 + r_B}$$

$$U_E + U_{BE} = U_B = U_{TAP} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{TAP} \frac{1}{R_1} (R_1 \times R_2),$$

ahol az első egyenlet a bemeneti ellenállás kifejezése a bázisosztó és a bázis dinamikus ellenállásának segítségével, majd kicsit továbbalakítva, a második egyenlet a bázisfeszültségre felírt

- huroktörvény és
- a feszültségosztó, amit bővítettünk  $\frac{R_1}{R_1}$ -gyel.

Például a bázisosztó ellenállásainak párhuzamos eredőjét kifejezve mindkét egyenletből

$$R_1 \times R_2 = \frac{r_B R_{be}}{r_B - R_{be}}$$

$$R_1 \times R_2 = R_1 \frac{U_E + U_{BE}}{U_{TAP}},$$

majd ezeket egymással egyenlővé téve kapjuk, hogy

$$\frac{r_B R_{be}}{r_B - R_{be}} = R_1 \frac{U_E + U_{BE}}{U_{TAP}}.$$

Ebből a bázisosztó felső ellenállását kifejezve

$$R_1 = \frac{r_B R_{be}}{r_B - R_{be}} \frac{U_{TAP}}{U_E + U_{BE}},$$

ahol a bázis dinamikus ellenállása is ismeretlen, de a munkaponti adatokkal kifejezhető

$$r_B = \frac{U_T}{I_B} = \frac{U_T}{\frac{I_E}{B+1}} = (B+1) \frac{U_T}{I_E} = 2,613 \text{ k}\Omega,$$

ezt és az összes többi paramétert behelyettesítve kapjuk, hogy

$$R_1 = 20,9046 \Omega.$$

A bázisosztó másik ellenállása például az egyenletrendszer második egyenletéből

$$R_2 = \frac{(U_E + U_{BE}) R_1}{U_{TAP} - (U_E + U_{BE})} = 3,0777 \Omega.$$

Ellenőrizzük, hogy helyesen feltételeztük-e eddig, hogy a bázis nem terheli a bázisosztót, ehhez a bázisáram

$$I_B = \frac{I_E}{B+1} = 9,9502 \mu\text{A} < \frac{1}{10} \frac{U_{TAP}}{R_1 + R_2} = 50,0369 \text{ mA},$$

azaz helyesen feltételeztük, nem kell megismételni a számolást.

(b) Add meg az eddig ki nem számolt munkaponti adatokat!

#### Megoldás

Az eddigi számolás során csak a bázisfeszültséget nem fejeztük ki,

$$U_B = U_E + U_{BE} = 1,54 \text{ V}.$$

(c) Mekkora az erősítő kimeneti ellenállása?

#### Megoldás

Mivel az előadáson bemutatott kapcsolásról van szó, az ott elhangzottak változatlan formában



átvehető

$$R_{ki} = R_C = 3,03 \text{ k}\Omega.$$

- (d) Mekkora az erősítő feszültségerősítése?

**Megoldás**

Mivel az előadáson bemutatott kapcsolásról van szó, az ott elhangzottak változatlan formában átvehető

$$A_{\text{üres}} = -R_C g_m,$$

ehhez a tranzisztor meredeksége

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 76,9231 \text{ mS},$$

így az üresjárási feszültségerősítés

$$A_{\text{üres}} = -233,0769.$$

- (e) Mekkora az erősítőkapcsolás alsó határfrekvenciája?

**Megoldás**

A megadott bemeneti csatoló-, illetve emitterhidegítő-kondenzátor egy-egy pólust visz be az átvitelbe, azt kell megvizsgálni, hogy melyik pólus a nagyobb, az lesz az erősítő alsó határfrekvenciája. Ehhez írjuk fel a bemeneti csatoló-kondenzátor által bevitt pólusra az előadás alapján a törésponti frekvenciát

$$\omega_B = \frac{1}{(R_{be} + R_g) C_B} = \frac{1}{R_{be} C_B} = 6283,1853 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

ahol a generátor ellenállás a mi esetünkben  $R_g = 0$ . Innen a keresett frekvencia

$$f_B = 1 \text{ kHz}.$$

Az emitterhidegítő-kondenzátor hatása (most csak a pólus érdekes számunkra, így csak azt fejezzük ki), az előadáson elhangzottak szerint

$$\omega'_E = \omega_E (1 + g_m R_E) = \frac{1}{R_E C_E} (1 + g_m R_E) = 23\,344,3846 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

innen a frekvencia

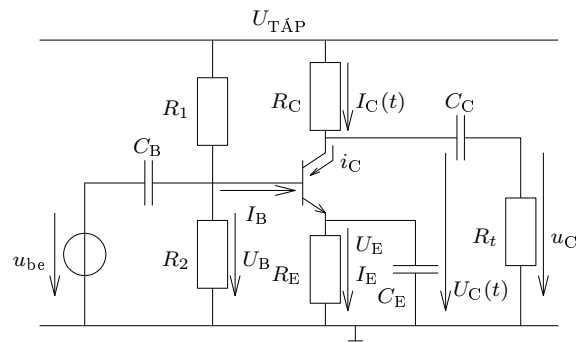
$$f'_E = 3715,3846 \text{ Hz},$$

ami egyben az erősítőkapcsolás alsó határfrekvenciáját is adja, mivel  $f'_E > f_B$ .

- (f) Mekkora az erősítő üzemi feszültségerősítése, ha a kimenetére egy  $R_t = 10 \text{ k}\Omega$ -os terhelést kapcsolunk.

**Megoldás**

A következő ábra mutatja a terhelt erősítőkapcsolást



Jelölések a megoldáshoz

Mivel ez a kapcsolás megegyezik az előadáson mutatottal, így az ott felírt üzemi feszültségerősítés kifejezés ebben az esetben változatlanul igaz, azaz

$$A_{\text{üzemi}} = -g_m (R_C \times R_t) = -2,3138 \cdot 10^{-2}.$$