

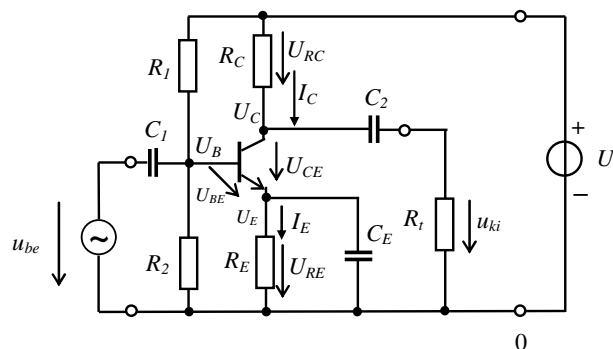
## 4.6. TRANZISZTOROS ERŐSÍTŐ ALAPKAPCSOLÁSOK

A tranzisztoros erősítő kapcsolások jellemzője: a bemenetükön a munkaponti értékekre szuperponált kismértékű változás a kimenetükön a munkaponti értékek körül változó felerősített jelet eredményez. Mivel a tranzisztor nemlineáris elem, az alakhű jelátvitel csak a munkapont kis környezetében valósul meg, ezt nevezik a tranzisztor kisjelű (lineáris) működésének. Kisjelű üzemmód esetén a vezérlőjel csak akkora változást eredményez a munkapont környezetében, amelyre még lineárisnak tekinthető a működés.

### 4.6.1. Közös emitterű váltakozó feszültségű erősítő kapcsolás

Bipoláris tranzisztoros közös emitterű váltakozófeszültségű erősítő kapcsolási rajza látható 4.18. ábrán.

A vezérlő generátor és az erősítő közé iktatott  $C_1$ , valamint a kimenet és a terhelés közé kapcsolt  $C_2$  csatolókapacitátor az egyenáramú jelet leválasztja, így a bemeneti jel esetleges egyenáramú összetevője nem változtatja meg a már beállított munkaponti értékeket, a terhelésre pedig csak a kimeneti jel változása jut.



4.18. ábra. Közös emitterű erősítő kapcsolás.

A kapcsolás  $R_E$  emitter ellenállása a negatív soros áram visszacsatolás révén kompenzálja a hőmérsékletváltozás hatását, ugyanakkor a vezérlőjel hatását is csökkenti, ezáltal rontja az erősítés paramétereit. A vezérlőjelre megszüntethető a visszacsatolás az emitter ellenállással párhuzamosan kapcsolt  $C_E$  emitter hidegítő kondenzátorral. A kondenzátorok egyenfeszültségre szakadásként viselkednek, és úgy kell megválasztani az értéküket, hogy a kapcsolás működési frekvenciáján a változásokra rövidzárként működjenek.

## A kapcsolás működése

A bemeneti vezérlőfeszültség legyen szinuszos hullámformájú feszültség.

Ha a vezérlőfeszültség 0-ról pozitív irányba változik:

- mivel a  $C_I$  kondenzátor a működési frekvencián rövidzár
- a tranzisztor  $U_B$  bázisfeszültsége a munkaponthoz képest a vezérlőjel értékével nagyobb lesz
- az emitter feszültsége nem változik, mert a  $C_E$  kondenzátor a munkaponti emitter feszültségre feltöltött feszültségforrás, így az  $U_{BE}$  bázis-emitter feszültség is a vezérlőjel értékével lesz nagyobb
- a nagyobb  $U_{BE}$  bázis-emitter feszültséghez nagyobb  $I_B$  bázisáram tartozik, a tranzisztor a munkaponthoz képest jobban kinyit
- nagyobb lesz az  $I_E = (1+B)I_B$  emitteráram és az  $I_C = BI_B$  kollektoráram
- a nagyobb kollektoráram nagyobb  $U_{RC}$  feszültséget hoz létre az  $R_C$  munkaellenálláson
- a tranzisztor kollektorának  $U_C$  feszültsége csökken a munkaponti értékhez képest a megnövekedett  $U_{RC}$  feszültség miatt, mivel  $U_C = U_t - U_{RC}$  és az  $U_t$  tápfeszültség állandó
- a  $C_2$  csatoló-kondenzátor az  $U_C$  kollektor feszültség munkaponti egyenfeszültség-összetevőjét leválasztja, így a terhelő ellenállásra csak a kollektor feszültség változása jut.

Ha a bemeneti feszültség 0-ról negatív irányban változik:

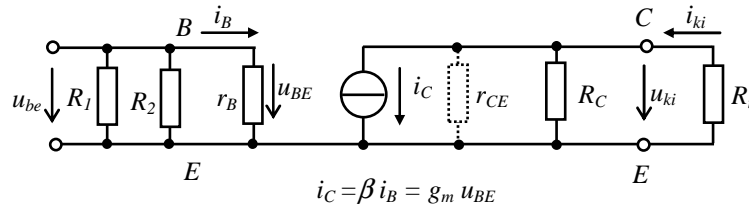
- a vezérlőjel a tranzisztort a zárás irányába viszi, az  $I_C$  kollektoráram csökken
- a munkaellenállás feszültsége  $U_{RC} = I_C R_C$  csökken
- a tranzisztor kollektorának  $U_C$  feszültsége növekszik a munkaponti értékhez képest
- a kimeneti feszültség növekszik.

Megállapítható, hogy a vezérlőfeszültség szinuszos függvény szerinti változásának hatására megnövekedett amplitúdójú, ellenkező fázishelyzetű szinuszos feszültség lesz a kimeneten. A közös emitterű váltakozófeszültségű erősítő fázist fordít.

Az erősítőkapcsolás üzemi jellemzőinek meghatározásához a kapcsolás fizikai, kisjelű helyettesítő képe nyújt támpontot.

Kiindulásként a kapcsolás munkapontja már beállított, csak a változások figyelembe vételével történik a kisjelű helyettesítő kép meghatározása a fizikai működés alapján.

A változásokra a csatolókkondenzátorok, az emitter hidegítő kondenzátor és az egyenfeszültségű tápforrás rövidzárnak számít, a tranzisztor az előző fejezetben leírt kisjelű helyettesítő képével modellezhető. Ennek figyelembevételével a közös emitterű erősítő kapcsolás kisjelű helyettesítő képe a 4.19. ábrán látható.



4.19. ábra. Közös emitterű erősítő kapcsolás kisjelű fizikai helyettesítő képe

A kapcsolás feszültségerősítési tényezője:

$$A_u = -\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{i_C \cdot (R_C \times R_L)}{u_{BE}} = -\frac{g_m u_{BE} (R_C \times R_L)}{u_{BE}} = -g_m (R_C \times R_L) \quad (4.41)$$

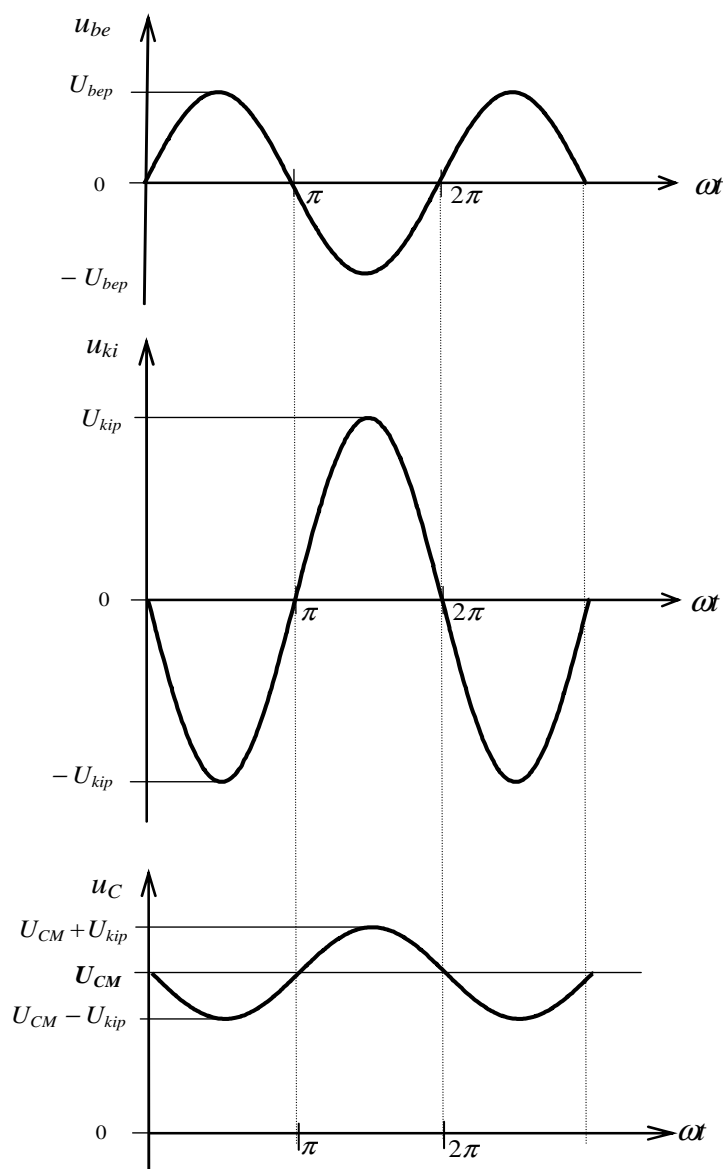
A kapcsolás bemeneti ellenállása:

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{u_{be}}{\frac{u_{be}}{R_1 \times R_2 \times r_B}} = R_1 \times R_2 \times r_B \cong (R_1 \times R_2) \times \beta r_E \quad (4.42)$$

A kapcsolás kimeneti ellenállása:

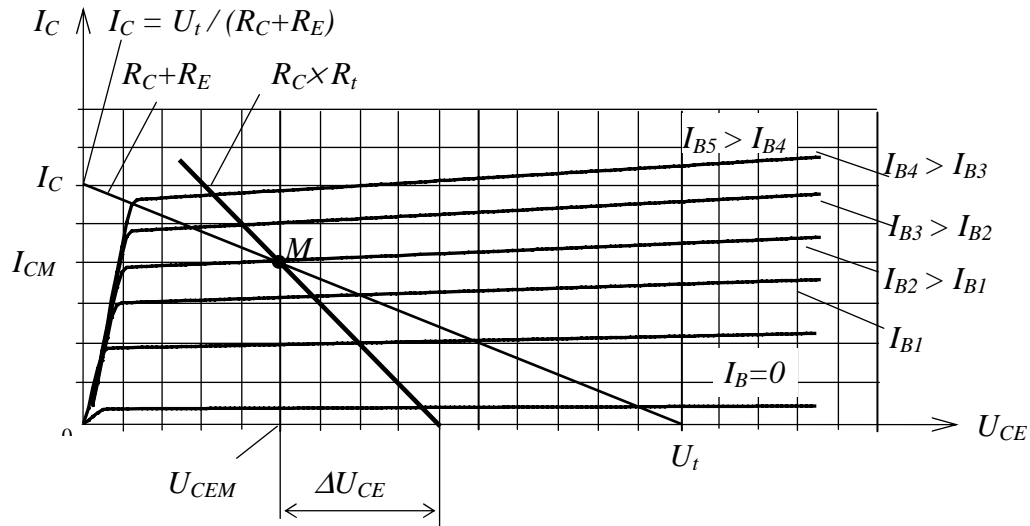
$$R_{ki} = -\frac{u_{kii}}{i_{kir}} = -\frac{-i_C (R_C \times r_{CE})}{i_C} = R_C \times r_{CE} \approx R_C, \quad (4.43)$$

mivel  $r_{CE}$  értéke  $M\Omega$  nagyságrendű, a  $k\Omega$  nagyságrendű  $R_C$  ellenállással párhuzamosan kapcsolva értéke elhanyagolható.



4.20. ábra. Bipoláris tranzistoros közös emitterű AC erősítő feszültség-időfüggvényei.

A vezérlőjel hatására kialakuló munkapont nem az egyenáramú munkaegyenestől változik, mert a hidegítő kondenzátor a változás szempontjából rövidre zárja az emitter ellenállást. A vezérlés hatására a kimeneti feszültség változása a kollektorellenállás és a terhelőellenállás párhuzamos eredőjén, a váltakozó áramú munkaegyenestől jön létre.



4.21. ábra. Váltakozó áramú munkaegyes szerkesztése

A szinuszos vezérlőfeszültség minden félperiódusban egyszer 0 értékű, ilyenkor a munkapontba kerül a kimeneti feszültség, így a munkapont közös pontja mindkét munkaegyesnek. Mivel az Ohm törvény a változásokra is érvényes, így a váltakozó áramú egyenes egy másik pontja a

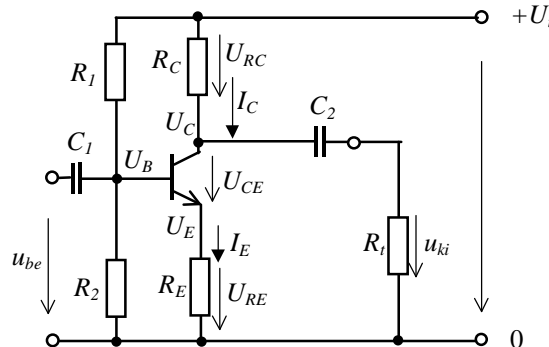
$$\Delta U_{CE} = \Delta I_C (R_C \times R_i) \quad (4.44)$$

összefüggéssel határozható meg. A  $\Delta I_C$  kollektoráram változás értékének a munkaponti kollektoráram értékét célszerű választani.

A váltakozó áramú munkaegyes szerkesztése a 4.21. ábrán látható.

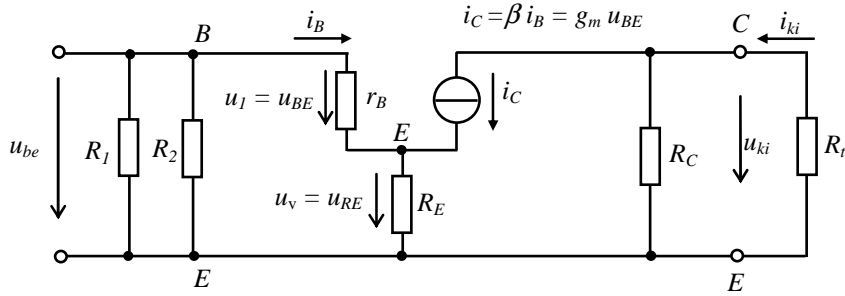
#### 4.6.1.1. Közös emitterű váltakozó feszültségű erősítő kapcsolás emitterkörü negatív visszacsatolással

A közös emitterű kapcsolásból a  $C_E$  hidegítő kondenzátort elhagyva, nemcsak a munkapontra, hanem a vezérlésre is érvényesül a soros negatív áram visszacsatolás hatása. Az erősítőjellelmezők értékét a visszacsatolás megváltoztatja.



4.22. ábra. Közös emitterű AC erősítő kapcsolás emitterkörü negatív visszacsatolással

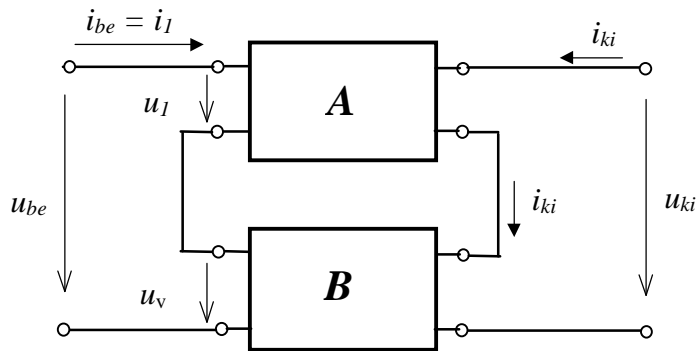
A kapcsolási rajz alapján a kisjelű helyettesítő kép:



4.23. ábra. Emitterkörben visszacsatolt közös emitterű erősítő  
kisjelű fizikai helyettesítő képe.

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

Ez a kapcsolás SOROS-ÁRAM visszacsatolást valósít meg.



4.24. ábra. Soros áram visszacsatolás tömbvázlata.

A visszacsatolt rendszer eredő erősítése:

$$A' = \frac{A}{1 + AB} \quad (4.45)$$

A soros áram visszacsatolás célszerű erősítése:

- az „A” erősítő erősítő admittanciája:

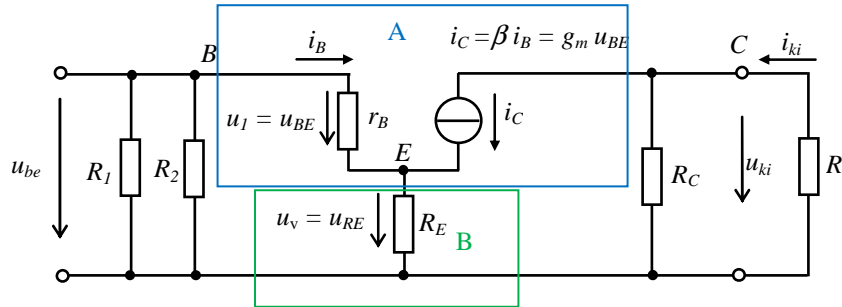
$$A_Y = \frac{i_{ki}}{u_1} \quad (4.46)$$

- az „B” erősítő erősítő impedanciája:

$$B_Z = \frac{u_v}{i_{ki}} \quad (4.47)$$

A soros áram visszacsatolás célszerű hurokerősítése:

$$H = A_y B_z. \quad (4.48)$$



4.25. ábra. Emitterkörü negatív visszacsatolású közös emitterű erősítő kisjelű helyettesítő képe

Az „A” erősítő kimeneti jele:  $i_{ki} = i_C$ , bemeneti jele:  $u_{be} = u_1$ , erősítő admittanciája:

$$A_y = \frac{i_{ki}}{u_1} = \frac{i_C}{u_{BE}} = \frac{g_m u_{BE}}{u_{BE}} = g_m \quad (4.49)$$

A „B” erősítő kimeneti jele:  $u_v = u_{RE}$ , bemeneti jele:  $i_{be} = i_C$ , erősítő impedanciája:

$$B_z = \frac{u_v}{i_{ki}} = \frac{u_{RE}}{i_{ki}} = \frac{i_C R_E}{i_C} = R_E \quad (4.50)$$

A kapcsolat célszerű hurokerősítése:

$$H = A_y B_z = g_m R_E \quad (4.51)$$

A visszacsatolt erősítő eredő feszültségerősítése:

$$A'_u = \frac{A_u}{1 + A_y B_z} = \frac{A_u}{1 + g_m R_E} \quad (4.52)$$

A visszacsatolatlan rendszer feszültségerősítése:

$$A_u = -g_m (R_C \times R_t) = -\frac{(R_C \times R_t)}{r_E} \quad (4.53)$$

ahol  $g_m$  a tranzisztor meredeksége, amelynek reciproka a transzfer karakterisztikán definiált  $r_E$  dinamikus ellenállás:

$$g_m = \frac{1}{r_E}. \quad (4.54)$$

Az eredő rendszer feszültségerősítése:

$$A'_u = \frac{A_u}{1 + A_y B_z} = \frac{-g_m (R_C \times R_t)}{1 + g_m R_E} = -\frac{\frac{(R_C \times R_t)}{r_E}}{1 + \frac{R_E}{r_E}} = -\frac{\frac{(R_C \times R_t)}{r_E}}{\frac{r_E + R_E}{r_E}} = -\frac{(R_C \times R_t)}{r_E + R_E} \quad (4.55)$$

Az  $r_E$  dinamikus ellenállás általában nagyságrenddel kisebb az emitter ellenállásnál, így elhanyagolható, ekkor a feszültségerősítés az

$$A'_u \cong -\frac{(R_C \times R_t)}{R_E} \quad (4.56)$$

összefüggéssel számítható.

A visszacsatolás a bemeneti ellenállást is megváltoztatja az

$$R'_{be} = R_{be}(1 + H) \quad (4.57)$$

mértékben.

Az „A” erősítő bemeneti ellenállása:  $R_{be} = r_B$ , amely a visszacsatolás hatására

$$R'_{be} = r_B(1 + H) \quad (4.58)$$

mértékben változik.

A célszerű hurokerősítést behelyettesítve:

$$R'_{be} = r_B(1 + g_m R_E). \quad (4.59)$$

A  $g_m$  meredekség behelyettesíthető

$$g_m \cong \frac{1}{r_E} \quad (4.60)$$

alakban, az  $r_B$  kifejezhető

$$r_B \cong \beta r_E \quad (4.61)$$

formában. Ezeket a 4.59 összefüggésbe behelyettesítve, az átalakítások után az erősítő eredő bemeneti ellenállása:

$$R'_{be} = \beta r_E \left( 1 + \beta \frac{R_E}{r_E} \right) = \beta(r_E + R_E) \quad (4.62)$$

összefüggéssel határozható meg.

Ezzel a bemeneti ellenállással párhuzamosan kapcsolódnak a bázisosztó ellenállásai, így a kapcsolás eredő belső ellenállása:

$$R_{be} = (R_1 \times R_2) \times \beta(r_E + R_E) \quad (4.63)$$

összefüggéssel határozható meg.

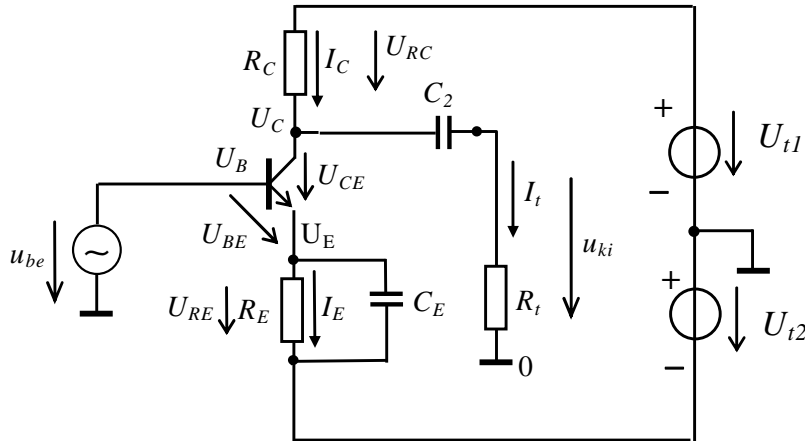
A kimeneti ellenállásra az u.n. belső visszacsatolás nem hat, így értéke megegyezik a visszacsatolatlan rendszer kimeneti ellenállásával:

$$R_{ki} \approx R_C \quad (4.64)$$



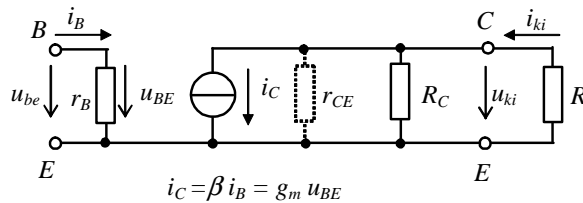
### Két tápfeszültséges munkapont beállítású közös emitterű AC erősítő kapcsolás

A két tápfeszültséggel beállított munkapontú erősítő váltakozó áramú működése azonos az egy tápfeszültséggel rendelkező kapcsolás működésével.



4.25. ábra. Két tápfeszültséggel beállított munkapontú  
váltakozó áramú erősítő kapcsolási rajza

A kapcsolás kisjelű helyettesítő képe látható a 4.26. ábrán.



4.26. ábra. Két tápfeszültséggel beállított munkapontú,  
váltakozó áramú erősítő kisjelű helyettesítő képe

A kisjelű helyettesítő kép alapján kapcsolás erősítő jellemzői meghatározhatók.

Feszültségerősítési tényező:

$$A_u = -g_m(R_C \times R_L) = -\frac{R_C \times R_L}{r_E} \quad (4.65)$$

Bemeneti ellenállás:

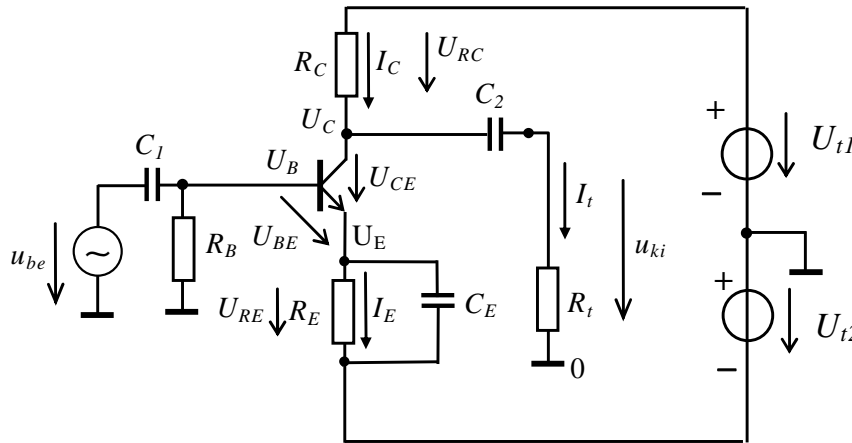
$$R_{be} \approx r_B = \beta r_E \quad (4.66)$$

Mivel a kapcsolás nem rendelkezik bázisosztóval, így a bemeneti ellenállás a tranzisztor  $r_B$  bemeneti dinamikus ellenállásával egyezik meg.

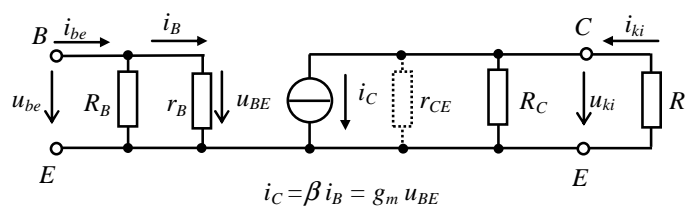
Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} \approx R_C \quad (4.67)$$

Ha az erősítő kapcsolás bemenetére is csatolókondenzátor kerül, a munkapont beállításnál tárgyalt módon biztosítani kell a bázis munkaponti egyenáramát a bázis és a föld közé kötött bázisellenállással (4.27. ábra).



4.27. ábra. Két tápfeszültséggel beállított munkapontú  
váltakozó áramú erősítő kapcsolási rajza bemeneti csatolókondenzátorral



4.28. ábra. Két tápfeszültséggel beállított munkapontú,  
váltakozó áramú erősítő kisjelű helyettesítő képe bázisellenállással

Bemeneti ellenállás:

$$R_{be} \approx R_B \times r_B = R_B \times \beta r_E \quad (4.68)$$

Változás szempontjából az  $R_B$  ellenállás párhuzamosan kapcsolódik a tranzisztor dinamikus ellenállásával (4.28. ábra), a párhuzamos eredőjük lesz a bemeneti ellenállás (4.68).