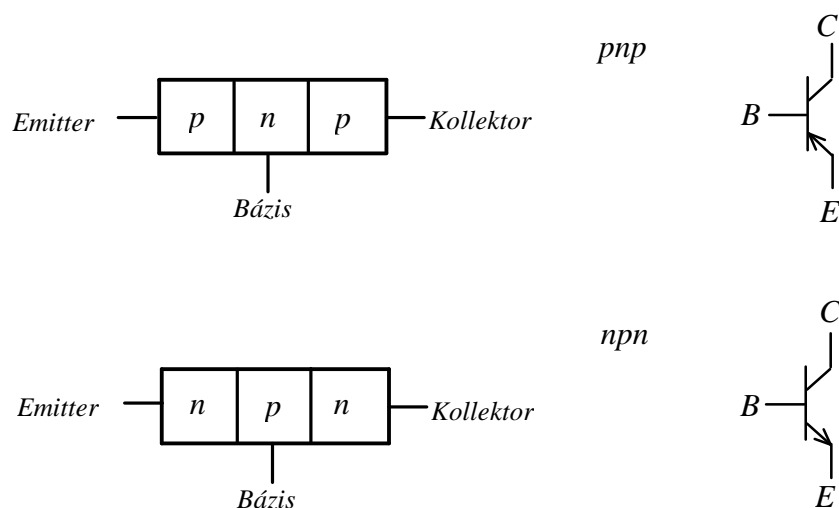


4. BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK

A tranzisztor két pn átmenetből áll, ahol az egyik réteg közös. A közös réteg vagy n , vagy p típusúan szennyezett, ezért a tranzisztor szennyezési sorrendje lehet pn vagy n pn. Minden réteghez tartozik egy-egy kivezetés: a közös réteg a bázis, amelynek egyik oldalán az emitter, a másikon pedig a kollektor van. A tranzisztor szerkezeti sémája és jelképi jelölése a 4.1. ábrán látható.



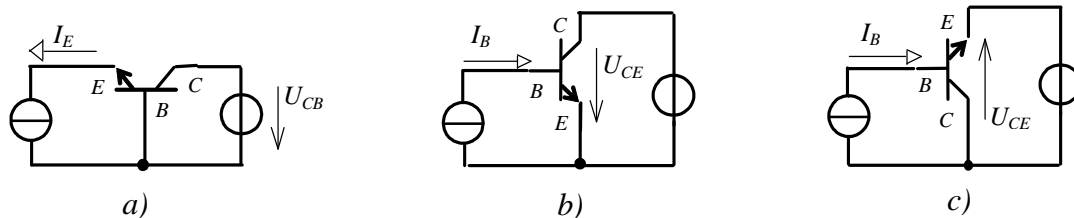
4.1. ábra. A tranzisztor szerkezeti sémája és jelképi jelölése

A közös bázisréteg rendkívül vékony, és mivel mindkét pn átmenet közös eleme, ezért az átmenetek között jelentős kölcsönhatás lép fel: a bázis-emitter átmenet áramával a kollektor és az emitter között folyó áram befolyásolható. A réteg-tranzisztorban az elektronok és a lyukak egyaránt részt vesznek az áramvezetésben, erre utal a bipoláris tranzisztor elnevezés. Az n pn és a p np struktúrájú tranzisztorok működése lényegében nem tér el egymástól, csupán az egyenfeszültségek polaritása, illetve az egyenáramok iránya ellentétes (4.2. ábra). A következőkben csak a gyakoribb n pn típusú tranzisztorral foglalkozunk.



4.2 ábra. Az n pn és a p np típusú tranzisztor feszültség- és áramirányai közös emitterű kapcsolásban

A tranzisztor működtetéséhez két tápforrás szükséges, ezért aszerint, hogy e két tápforrásnak melyik elektródán van a közös pontja, alapvetően három kapcsolási lehetőség van: a közös bázisú, a közös emitterű és a közös kollektorú kapcsolás (4.3. ábra). Ezen alkalmazások közül a közös emitterű a legjelentősebb, leggyakrabban alkalmazott kapcsolás, ezért a tranzisztor működését közös emitterű alapkapsolást feltételezve tárgyaljuk.



4.3. ábra. Az npn tranzisztor elvi alapkapsolásai: a) közös bázisú, b) közös emitterű, c) közös kollektorú kapcsolás

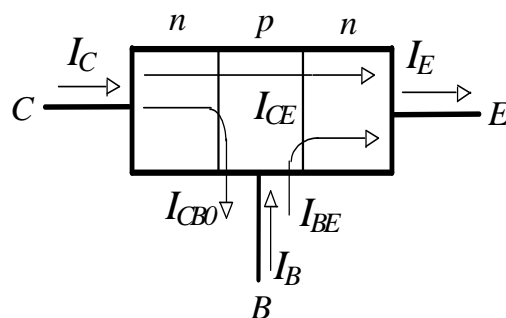
A tranzisztor folyamatosan vezérelhető elektronikus eszköz, amely – tápforrás energiájának hasznosításával – teljesítményerősítésre alkalmas. A közös emitterű kapcsolásban az I_B bázisáram a vezérlő, az I_C kollektoráram pedig a vezérelt áram.

4.1. A bipoláris tranzisztor működési módjai

A tranzisztor egyes pn átmeneteire kapcsolt feszültségek polaritásától függően négy alapvető működési mód különböztethető meg.

a) Normál aktív működési mód

A tranzisztor *normál aktív tartományban* működik, ha a bázis-emitter átmenet igénybevétele nyitóirányú, a bázis-kollektor átmeneté pedig záróirányú. A kialakuló áramok a 4.4. ábrán láthatók.



4.4. ábra. A tranzisztor áramai a normál aktív tartományban

Az $U_{BE} > 0$ és az $U_{BC} < 0$ feszültségek hatására a bázis-kollektor átmeneten I_{CB0} záróirányú áram, a bázis-emitter átmeneten pedig I_{BE} nyitóirányú áram folyik. A kis értékű bázis-emitter áram hatására a kollektor-emitter között nagy I_{CE} áram indul (tranzisztor hatás). E két áram között az

$$I_{CE} = B I_{BE} \quad (4.1)$$

összefüggés teremt kapcsolatot, ahol B a *közös emitterű egyenáramú (nagyjelű) áramerősítési tényező*, amelynek szokásos értéke: $B = 25-1500$.

A bevezetett jelölésekkel a bázisáram az

$$I_B = I_{BE} - I_{CB0} \quad (4.2)$$

összefüggéssel, a kollektoráram az

$$I_C = I_{CB0} + B I_{BE} \quad (4.3)$$

összefüggéssel, az emitteráram pedig az

$$I_E = I_{BE} + B I_{BE} = (B + 1) I_{BE} \quad (4.4)$$

összefüggéssel határozható meg. A csomóponti törvény szerint:

$$I_E = I_C + I_B. \quad (4.5)$$

A bázis-emitter átmenet árama a (2.20) összefüggés alapján:

$$I_{BE} = I_B + I_{CB0}. \quad (4.6)$$

Ezt az összefüggést felhasználva, a kollektoráram

$$I_C = I_{CB0} + B(I_B + I_{CB0}) = B I_B + (B+1) I_{CB0}, \quad (4.7)$$

az emitteráram pedig

$$I_E = (B+1)(I_B + I_{CB0}) = (B+1) I_B + (B+1) I_{CB0} \quad (4.8)$$

A kollektor-bázis záróirányú áram általában elhanyagolható, ekkor a kollektoráram

$$I_C = B I_B, \quad (4.9)$$

az emitteráram pedig

$$I_E = (B + 1) I_B \quad (4.10)$$

alakú. A két áram hányadosa az A közös bázisú egyenáramú (nagyjelű) áramerősítési tényező:

$$A = \frac{I_C}{I_E} = \frac{B}{B + 1}. \quad (4.11)$$

A normál aktív tartomány jellemzője, hogy a bázis-emitter átmenet kis értékű áramának hatására a kollektor-emitter átmeneten nagy értékű áram folyik.

b) Inverz aktív működési mód

A kollektor és az emitter szerepét felcserélve a tranzisztor inverz aktív tartományban működik. Ekkor a bázis-emitter átmenetre $U_{BE} < 0$ záróirányú, a kollektor-bázis átmenetre pedig $U_{CB} > 0$ nyitóirányú feszültség jut. A normál aktív tartomány mintájára definiált inverz áramerősítési tényezők a tranzisztor aszimmetrikus felépítése miatt lényegesen kisebbek, ezért ennek a tartománynak kicsi a jelentősége.

c) Telítési mód

Ebben az üzemmódban a tranzisztor mindkét átmenetére nyitóirányú feszültség jut, tehát $U_{BE} > 0$ és $U_{BC} > 0$. A nyitott pn átmenetek kis ellenállása miatt az áramot főképp a külső hálózat határozza meg. A telítési tartomány határa az $U_{BC} = 0$ értékhez tartozik, ekkor $U_{BE} = U_{CE}$. A telítéshez tartozó kollektor-emitter feszültséget U_{CEsat} maradékfeszültségnek, másképpen szaturációs feszültségnek nevezik. Értéke: 0,1-3V.

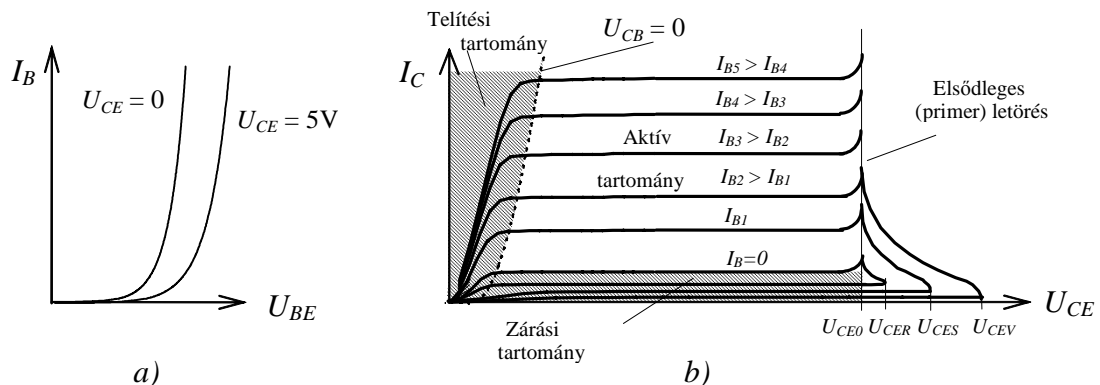
d) Zárási mód

Ha mindkét pn átmenetre $U_{BE} < 0$ és $U_{BC} < 0$ záróirányú feszültség jut, a tranzisztor közelítőleg szakadásként viselkedik, a pn átmeneteken záróirányú áramok folynak. A záróirányú áramok értékei: $I_{CB0} = I_{BE0} = 0,1...5$ mA.

4.2. A bipoláris tranzisztor jelleggörbéi

A tranzisztor kivezetéseire jutó feszültségek és a kivezetéseken átfolyó áramok közötti összefüggéseket általában jelleggörbékben adják meg. Ezek közül legfontosabb a bemeneti és a kimeneti jelleggörbe sereg ismerete. Ezek alapján tárgyalhatók pl. a kisjelű erősítők, a kapcsolóüzem, stb.

Közös emitterű kapcsolásban a tranzisztor $I_B = f(U_{BE})$ bemeneti, valamint az $I_C = f(U_{CE})$ kimeneti jelleggörbéi a 4.5. ábrán láthatók. A bemeneti jelleggörbe az emitter-bázis pn átmenet nyitóirányú jelleggörbéjéhez hasonló. Mivel a kimeneti oldal U_{CE} feszültsége visszahat a bemenetre, ezért meg kell adni, hogy mekkora U_{CE} kollektor-emitter feszültségre vonatkozik a jelleggörbe. Záróirányban a maradékáramot és a letörési feszültséget elegendő ismerni.



4.5. ábra. A közös emitterű tranzisztor: a) bemeneti és b) kimeneti karakterisztikái

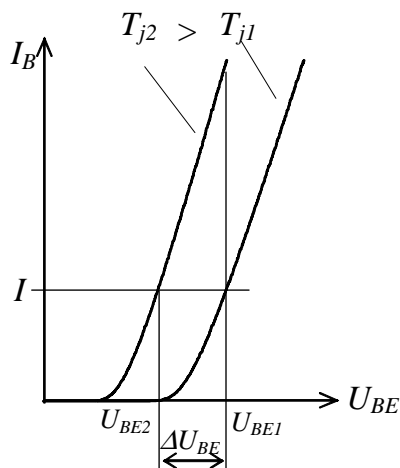
A kimeneti karakterisztika az állandó bázisáramhoz tartozó kollektoráram változást adja meg az U_{CE} kollektor-emitter feszültség függvényében. Az $I_B = 0$ bázisáramhoz tartozó jelleggörbe a zárási tartományt, az $U_{CB} = 0$ jelleggörbe pedig a telítési tartományt határolja.

A tranzisztor kollektor-emitter feszültsége egy maximális értéket nem haladhat meg, ez az érték az U_{CE0} letörési feszültség az $I_B = 0$ bázisáramhoz tartozó jelleggörbén, szabadon hagyott bázis esetén. Ha a bázis és az emitter között R ellenállás van, a zárási tartományban csökken a kollektor-emitter maradékáram, a letörési feszültség pedig nagyobb lesz. A karakterisztika azonban visszahajló jellegű és az U_{CER} érték elérése után csökkenő feszültségnél is megnövekszik a kollektoráram. A maradékáram tovább csökkenthető, ha az ellenállás értéke egészen rövidzárig csökken. Ekkor a letörési feszültség U_{CES} értékű. A legkisebb maradékáram és a legnagyobb letörési feszültség érték (U_{CEV}) a bázis-emitter közé kapcsolt zárófeszültséggel érhető el. A letörési feszültségnél nagyobb feszültségeknél a lavinahatás miatt elsődleges (primer) letörés következik be, a tranzisztor a nagy veszteségi teljesítmény következtében meghibásodik.

4.3. A bipoláris tranzisztor hőfokfüggése

A tranzisztor, mint minden félvezető eszköz működését is befolyásolja a hőmérséklet változása. A lineáris erősítőként alkalmazott tranzisztor a normál aktív tartományban működik, ahol a bázis-emitter átmenetre kapcsolt feszültség nyitóirányú, a kollektor-bázis átmenetre kapcsolt feszültség pedig záróirányú.

A bázis-emitter átmenet hőfokfüggését a nyitóirányú igénybevétel miatt a dióda nyitóirányú hőmérséklet függése jellemzi. A hőmérséklet emelkedésével a tranzisztor bementi karakterisztikája a kisebb feszültségek irányába eltolódik.



4.6. ábra. A tranzisztor bázis-emitter átmenetének hőfokfüggése.

A hőmérsékleti együttható jó közelítéssel

$$\frac{\Delta U_{BE}}{\Delta T} = -2 \frac{mV}{^{\circ}C}, \quad (4.12)$$

így ahhoz, hogy az áram állandó maradjon, minden 1 °C hőmérséklet növekedéskor 2 mV-tal kell csökkenteni a dióda nyitóirányú feszültségét (4.6. ábra).

A kollektor-bázis átmenet hőfokfüggését a záróirányú igénybevétel miatt a maradékáramok hőmérséklet függése jellemzi.

$$I_{CB0(T_2)} = I_{CB0(T_1)} \cdot e^{b\Delta T}, \quad \Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.13)$$

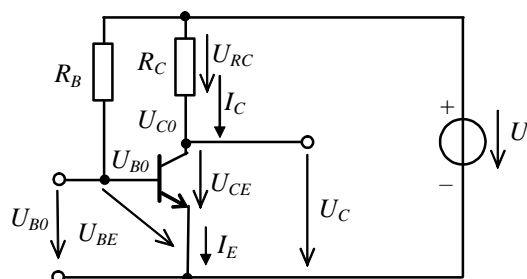
4.4. Bipoláris tranzisztor munkapont beállítása

A normál aktív tartományban működtetett tranzisztor a bemenetére kapcsolt kis teljesítményű jelet a kimenetén felerősített, nagy teljesítményű jellé alakítja. A tranzisztor ebben a tartományban erősítőként működik. A normál aktív tartomány beállításához a tranzisztor elektródáin biztosítani kell a megfelelő egyenfeszültség és egyenáram értékeket, be kell állítani a tranzisztor munkapontját. A munkapont beállítása nem függ az alapkapsolások típusától.

Közös emitterű kapcsolást választva, a munkapont beállítás során biztosítani kell a bázis-emitter pn átmenet nyitóirányú, és a kollektor-emitter átmenet záróirányú feszültségét, miközben a kollektóráram és a munkaellenállás értékét úgy kell megválasztani, hogy a lehető legnagyobb legyen az alakhűen felerősített kimeneti jel amplitúdója. Fontos követelmény ezenkívül a munkapont stabilitása is, a munkapont beállító áramkört ennek megfelelően kell kialakítani.

a) Áramtáplálásos munkapont beállítás – munkapont beállítás bázisárammal

Állandó bázisáram gyakorlatilag a tápfeszültség és a bázis közé iktatott nagy értékű ellenállással állítható elő (4.7. ábra).



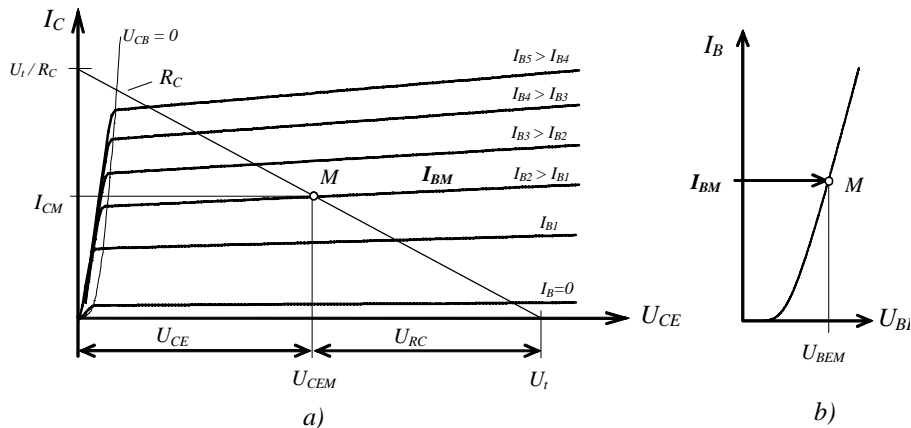
4.7. ábra. Munkapont beállítás bázisárammal.

A munkapont beállítás menete: először a kimeneti karakterisztikán ki kell választani az M munkapontot: a karakterisztika és az R_C munkaellenállás (szembefordított) karakterisztikájának metszéspontján (4.8a ábra). Ha más egyéb kötöttség nincs, a munkapontot a munkaegyenesen a tápfeszültség közel felénél célszerű kijelölni, így a munkapont körüli szimmetrikus változás a lehető legnagyobb lehet. A karakterisztikáról leolvasható az I_{BM} munkaponti bázisáram értéke.

A tranzisztor bemeneti karakterisztikáján az I_{BM} bázisáramhoz U_{BEM} munkaponti bázis-emitter feszültség tartozik (4.8b ábra). Ennek ismeretében az R_B bázisellenállás értéke az

$$R_B = \frac{U_t - U_{BEM}}{I_{BM}} \quad (4.14)$$

összefüggéssel meghatározható.



4.8. ábra. Munkapont megválasztása a tranzisztor kimeneti és bemeneti karakterisztikája alapján.

A kapcsolás előnye az egyszerű, kevés alkatrészt igénylő felépítés, valamint a nagy bemeneti ellenállás. Hátránya a hőmérsékletváltozások jelentős hatása.

Az áramtáplálásos munkapont beállítás esetén a bázis-emitter dióda hőfokfüggése nem befolyásolja lényegesen a munkaponti bázisáram értékét, mert az áramgenerátoros táplálás miatt a bázisáram állandó, a szükséges bázis-emitter feszültség pedig automatikusan kialakul. A munkaponti stabilitást a tranzisztor B nagyjelű áramerősítési tényezőjének jelentős hőfokfüggése, illetve nagy szórása veszélyezteti.

A munkapontot befolyásolja még a kollektor-bázis átmenet záróirányú áramának hőmérsékletváltozása is. Az I_{CB0} maradékáram értéke ugyan kicsi, de a hőmérséklet növekedésével exponenciálisan növekszik, és $(1+\beta)$ -szor nagyobb értéke adódik hozzá a kollektoráramhoz, amely így már jelentős munkaponti kollektoráram változást jelent.

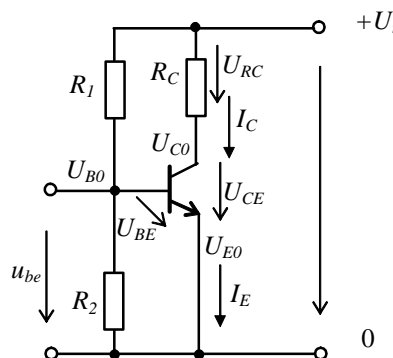
b) Munkapont beállítás bázisosztóval

A tranzisztor munkapontja a bázisáram helyett a bázis-emitter feszültség beállításával is megválasztható.

A beállítás menete: a tranzisztor $U_{CE}-I_C$ kimeneti karakterisztikáján ki kell választani a munkapont helyét, lehetőleg a munkaegyenes felezőpontjaként a tápfeszültség közel felénél, így biztosítva a felerősített jel alakhűségét. A kimeneti karakterisztika és az R_C ellenállás munkaegyenesének metszéspontja meghatározza a munkaponti bázisáramot, ennek ismeretében az $U_{BE}-I_B$ bemeneti karakterisztikából leolvasható a szükséges U_{BEM} munkaponti bázis-emitter feszültség. Ezt a feszültséget kell a bázisra kapcsolt R_1 és R_2 ellenállásokból kialakított osztóval előállítani.

$$U_{B0} = U_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.15)$$

Az osztó ellenállásai nem választhatók nagyon kis értékűre, mert ebben az esetben az osztó nagy árama a vezérlő generátort túlzottan leterheli. Az ellenállásokat túl nagy értékűre sem célszerű választani, mert ekkor már a bázisáram terheli az osztót, és ez további stabilitási problémát okoz.



4.9. ábra. Munkapontbeállítás bázisosztóval.

A kapcsolás hátrányai:

- érzékeny a tranzisztor áramerősítési tényezőjének szórására,
- az U_{BE} bázis-emitter feszültség meghatározásánál is nagy a hibalehetőség,
- kényes az $R_1 - R_2$ osztó eltéréseire: az osztónak mV pontossággal kell a bázis – emitter átmenet számára a nyitóirányú feszültséget biztosítani,
- jelentős a hőmérsékletváltozás hatása. Döntő szerepe a bázis-emitter átmenet hőfokfüggésének van, ezért ezt a feszültségtáplálásos munkapont beállítást nem célszerű alkalmazni hőkompenzálás nélkül.

c) Munkapont beállítás bázisosztóval és emitterellenállással

A bázisosztóval beállított munkapont esetén az állandó bázisfeszültség miatt a hőmérséklet növekedésével növekszik a bázisáram, illetve az emitteráram. Állandó értéken akkor lehetne a bázisáramot tartani, ha minden 1°C hőmérséklet növekedés esetén 2mV -al csökkenne a bázis-emitter feszültség. Az emitterkörbe iktatott ellenállással megvalósítható a hőmérséklet okozta változás kompenzálása. Az emitterpont feszültsége az emitter ellenálláson eső feszültséggel azonos: $U_{E0} = U_{RE}$. Ha a hőmérséklet növekedése miatt a bázisáram ΔI_B értékkel megnövekszik, ezzel arányosan megnő az emitteráram is

$$\Delta I_E = (1 + \beta) \Delta I_B \quad (4.16)$$

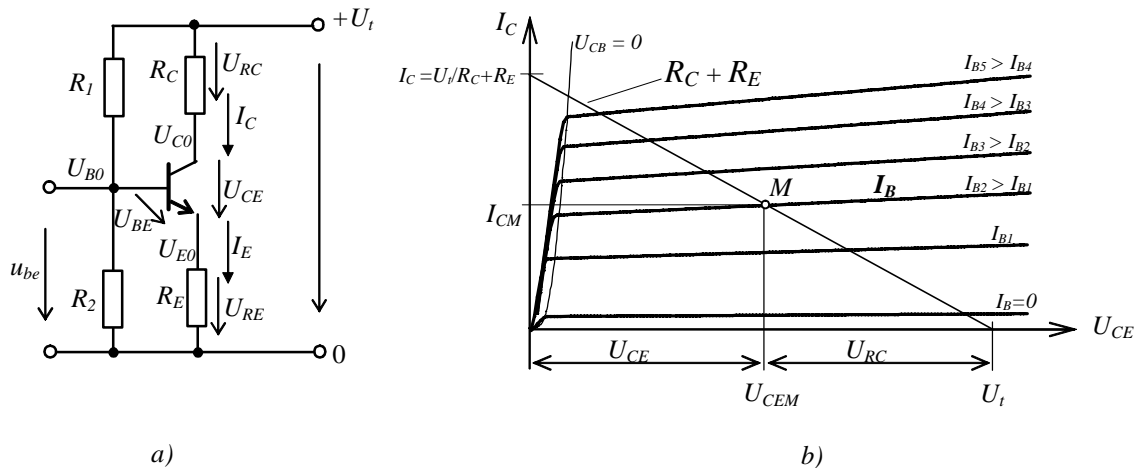
értékkel, ahol β a váltakozóáramú áramerősítési tényező. Az emitterellenálláson nagyobb lesz a feszültség:

$$\Delta U_{RE} = \Delta I_E R_E, \quad (4.17)$$

az emitterpont feszültsége megemelkedik. A bázis feszültsége a bázisosztó által beállított állandó érték, így a bázis-emitter feszültség az

$$U_{BE} = U_{B0} - U_{E0} \quad (4.18)$$

összefüggés alapján kisebb lesz, a tranzisztor kisebb mértékben nyit, az emitteráram kevésbé növekszik, mint emitterellenállás nélkül: negatív soros áramvisszacsatolás valósul meg. A jó stabilitás érdekében az emitterellenállást nagyra célszerű választani, de ügyelni kell arra, hogy a tranzisztor kivezérelhetősége még megfelelő maradjon, jusson elegendő feszültség a kollektor- emitter elektródák közé.



.10. ábra. a) munkapont beállítás bázisosztóval és emitterellenállással, b) az egyenáramú munkaegyenes szerkesztése.

A munkapont beállítás során a nyitott bázis-emitter átmenet feszültsége szilícium alapú tranzisztorokra közelítő értéként $U_{BE} = 0,6\text{ V}$ -ra megválasztható. Ez a becslés nem okoz számottevő hibát, a tranzisztor nagy gyártási szórása, és a beállító

ellenállások pontatlansága miatt. Ezen a becsült adaton kívül a munkapont nem függ a tranzisztor paramétereitől, a külső elemek segítségével beállítható.

A kimeneti oldal hurokegyenlete:

$$U_i = U_{RC} + U_{CE} + U_{RE} = I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E. \quad (4.19)$$

Mivel a tranzisztor bázisárama általában nagyságrendekkel kisebb, mint az emitteráram, ezért a kollektoráram és az emitteráram közel azonos: $I_C \approx I_E$.

Ennek figyelembevételével a hurokegyenlet

$$U_i = U_{RC} + U_{CE} + U_{RE} = I_C (R_C + R_E) + U_{CE}. \quad (4.20)$$

alakban megadható, amely alapján megszerkeszthető a kapcsolás egyenáramú munkaegyenese (4.10b ábra).

A kapcsolás kimeneti pontja a kollektor kivezetés, ennek munkaponti feszültsége az

$$U_{C0} = U_i - U_{RC}, \quad (4.21)$$

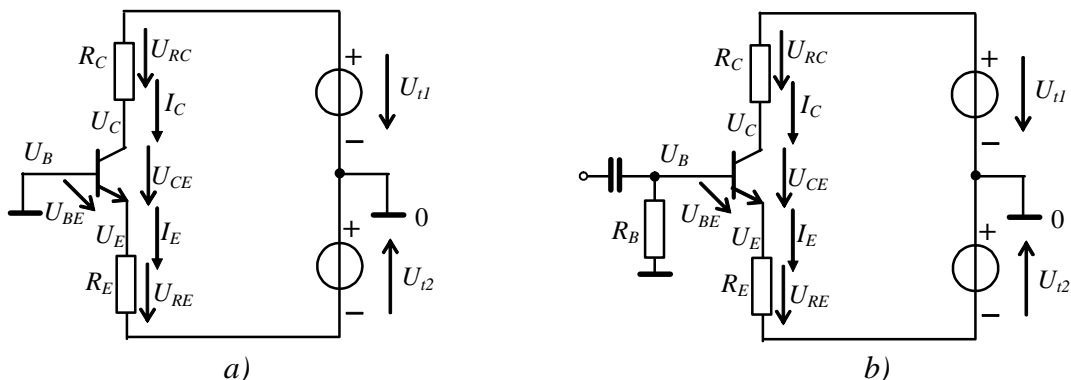
illetve az

$$U_{C0} = U_{CE} + U_{RE} \quad (4.22)$$

összefüggéssel megadható.

d) Munkapont beállítás két tápfeszültséggel

A két tápforrással való munkapont beállításnál a hőmérsékletkompenzálás szintén az emitterellenállással történik, de elmarad a bázisosztó, a bázist a tápforrások közös 0 pontjára kell kötni.



4.11. ábra. Munkapont beállítás két tápforrással.

A tranzisztor emittere az emitterellenálláson keresztül a negatív tápforrásra kapcsolódik (4.11a ábra), így a bázis-emitter pn átmenet nyitóirányú feszültséget kap. A bázisáramot akkor is biztosítani kell, ha az erősítő bemenetére csatolókonduktancia kerül, ezért ilyenkor a bázist egy viszonylagosan nagy értékű ellenálláson keresztül kell a közös pontra kötni (4.11b ábra). Mivel az R_B bázisellenálláson átfolyik az I_B bázisáram, a bázis kis értékű negatív feszültségre

kerül. A bázisellenállást úgy kell megválasztani, hogy feszültsége nagyságrendekkel legyen kisebb a tranzisztor bázis-emitter feszültségénél,

$$R_B I_B \ll U_{BE}, \quad (4.23)$$

így a tranzisztor bázisfeszültsége közel 0-nak tekinthető:

$$U_{B0} \approx 0. \quad (4.24)$$

A nyitott bázis-emitter átmenet feszültsége szilícium tranzisztorokra közelítő értéként $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ -ra megválasztható, tehát az emitter feszültsége a közös ponthoz képest:

$$U_{E0} = U_{B0} - U_{BE} = 0 - 0,6 = -0,6 \text{ V}. \quad (4.25)$$

Az emitterellenállás feszültsége:

$$U_{RE} = U_{E0} - U_{i2}. \quad (4.26)$$

Mivel az emitterellenállás feszültsége közelítőleg a negatív tápfeszültség, ezért az ellenállás értékét viszonylagosan nagyra kell választani, ami kedvező a hőmérséklet stabilizálás szempontjából.

A kimeneti oldalra felírható hurokegyenlet:

$$U_{i1} - U_{i2} = U_{RC} + U_{CE} + U_{RE}. \quad (4.27)$$

4.5. A bipoláris tranzisztor kisjelű helyettesítő képe

A bipoláris tranzisztor kisjelű helyettesítő képe a munkapont kis környezetében jellemzi a munkaponti mennyiségek megváltozásának összefüggéseit.

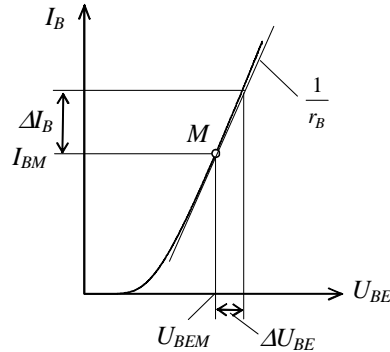
A helyettesítő képek lehetnek:

- fizikai helyettesítő képek, amelyek a tranzisztor fizikai működéséhez kapcsolódnak,
- négypólus helyettesítő képek, ahol a tranzisztor egy bemeneti és egy kimeneti kapcsolárral, adott bemeneti és kimeneti feszültség és áram mérőiránnyal ellátott, „fekete dobozba” zárt eszköz. A doboz tényleges fizikai működésétől függetlenül egyenletrendszerekkel, paraméterekkel és előírt elrendezésű helyettesítő áramkörrel jellemezhető.

A tranzisztor kisjelű fizikai helyettesítő képe a tranzisztor fizikai működéséből adódóan rajzolható fel, adott alapkapsolás esetén.

Közös emitterű alapkapsolás esetén a vezérlés a bázis és az emitter között a bázisáram változtatásával jön létre, a kimenet a kollektor és az emitter közötti feszültségváltozás.

A bemeneti karakterisztika a pn átmenet nyitóirányú karakterisztikája (4.12. ábra). A karakterisztika a munkapont kis környezetében lineáris egyenessel közelíthető, amely az r_B dinamikus ellenállással jellemezhető.



4.12. ábra. A bemeneti karakterisztika dinamikus ellenállása.

A vezérlés hatására a bázisáram az M munkaponthoz képest ΔI_B értékkel megváltozik, ugyanakkor megváltozik a bázis-emitter feszültség is ΔU_{BE} értékkel:

$$\Delta I_B = \frac{\Delta U_{BE}}{r_B}, \quad (4.28)$$

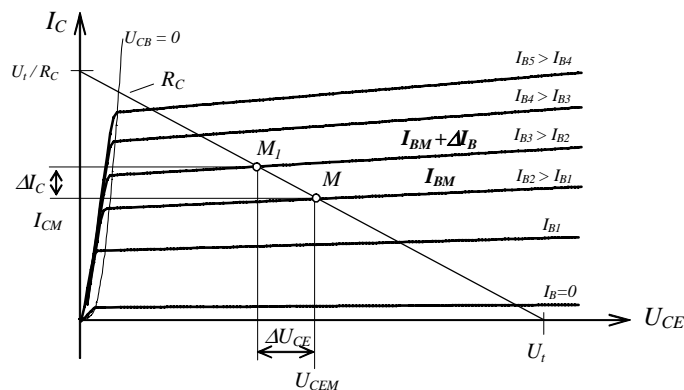
ahol az r_B dinamikus ellenállás az

$$r_B = \left. \frac{dU_{BE}}{dI_B} \right|_M \quad (4.29)$$

összefüggéssel adható meg, ahol a β a közös emitterű kisjelű áramerősítési tényező.

A bemenet változásának hatására megváltozik a kimenet is. A bázisáram változásával arányosan változik meg a kollektoráram:

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B. \quad (4.30)$$



4.13. ábra. A bipoláris tranzisztor kimeneti karakterisztikája közös emitterű kapcsolás esetén.

A bázisáram változását a ...összefüggés szerint a bázis-emitter feszültség változásával kifejezve a kollektoráram változása átírható a

$$\Delta I_C = \beta \frac{\Delta U_{BE}}{r_B} = \frac{\Delta U_{BE}}{\frac{r_B}{\beta}} \quad (4.31)$$

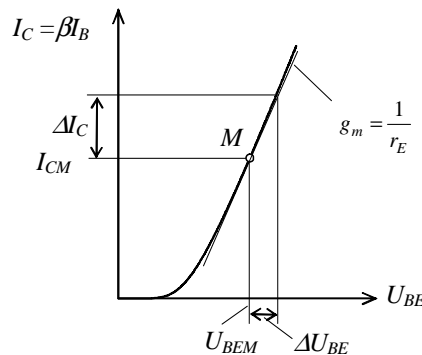
alakra, ahol az

$$\frac{r_B}{\beta} = r_E \quad (4.32)$$

dinamikus ellenállás a tranzfer karakterisztikát jellemzi (3.46.ábra):

$$r_E = \frac{dU_{BE}}{dI_C} \Big|_M \quad (4.33)$$

a tranzfer karakterisztika munkapontjához húzott érintő meredekségének, azaz a tranzistor meredekségének reciproka.



4.14. ábra. A bipoláris tranzistor tranzfer karakterisztikája közös emitterű kapcsolás esetén.

A tranzistor meredeksége:

$$g_m = \frac{1}{r_E} = \frac{dI_C}{dU_{BE}} \Big|_M \quad (4.34)$$

A tranzfer karakterisztikát leíró áram-feszültség összefüggés:

$$I_C \cong I_0 e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \quad (4.35)$$

A .. összefüggésbe behelyettesítve:

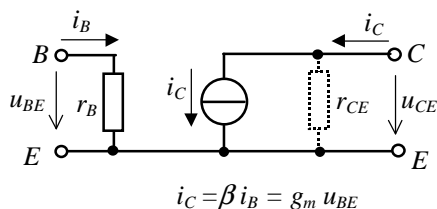
$$g_m = \frac{dI_C}{dU_{BE}} \Big|_M = \frac{dI_0 e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}}{dU_{BE}} \Big|_M, \quad (4.36)$$

majd a deriválás után a munkaponti értéket behelyettesítve:

$$g_m = \frac{I_{CM}}{U_T}, \quad (4.37)$$

a meredekség gyakorlatilag jó közelítéssel a tranzistor munkaponti kollektorárama és a termikus feszültség hányadosaként számítható.

A tranzisztor közös emitterű, legegyszerűbb, fizikai, kisjelű helyettesítő képe, amely csak a változásokra érvényes, a bemeneten az r_B dinamikus ellenállással, a kimeneten áramgenerátorral modellezi a tranzisztort.



4.15. ábra. A tranzisztor közös emitterű, legegyszerűbb, fizikai, kisjelű helyettesítő képe

Az áramgenerátor $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$ árama a ΔU_{BE} bemeneti feszültségváltozással is felírható:

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B = \beta \frac{\Delta U_{BE}}{r_B} = \frac{\Delta U_{BE}}{\frac{r_B}{\beta}} = \frac{\Delta U_{BE}}{r_E} = g_m \Delta U_{BE} \quad (4.38)$$

A változó mennyiségek jelölésére a kisbetűket alkalmazva az összefüggések átírhatók az

$$i_C = \beta i_B = g_m u_{BE} \quad (4.39)$$

alakra.

A helyettesítő kép pontosítása:

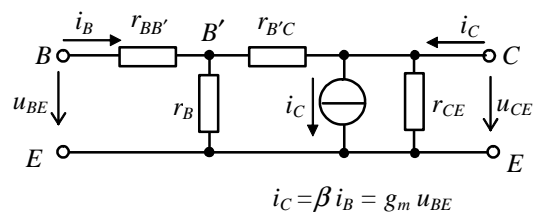
- A kimeneten az áramgenerátor belső ellenállását kell a kollektor- emitter közé berajzolni, ez a dinamikus ellenállás a kimeneti karakterisztika alapján definiálható:

$$r_{CE} = \left. \frac{dU_{CE}}{dI_C} \right|_{I_B = \text{állandó}}, \quad (4.40)$$

értéke $10^5 \Omega$ nagyságrendű.

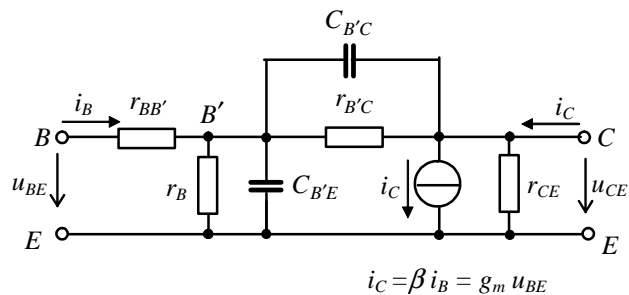
- A bázis gyengén szennyezett, villamos vezetőképessége kicsi. A tényleges bázisréteg és a báziskivezetés között mindig található egy rosszul vezető kristályrész, amelynek néhány ohmtól néhány száz ohmig terjed a nagysága. Az $r_{BB'}$ a bázis és a báziskivezetés közötti kristályellenállás.
- A kimenet kis mértékben visszahat a bemenetre: ezt a kollektor és a bázis közé kapcsolt $r_{B'C}$ ellenállással lehet figyelembe venni. A kimeneti feszültségváltozás az r_B és az $r_{B'C}$ ellenállások alkotta osztón visszajut a bemenetre. Az $r_{B'C}$ ellenállás értéke nagy, $M\Omega$ nagyságrendű.

A bipoláris tranzisztor pontosított helyettesítő képe látható a 4.15. ábrán.



4.16. ábra. A bipoláris tranzisztor pontosított kisjelű fizikai helyettesítő képe.

A pn átmenetek kapacitásai kis értékük következtében nagyfrekvencián fejtik ki hatásukat. A normál aktív tartományban működő tranzisztor bázis és emitter közötti nyitóirányú igénybevétel miatt a $C_{B'E}$ diffúziós kapacitását, a bázis-kollektor átmenetnek pedig a záróirányú igénybevétele miatt a kiürített réteg $C_{B'C}$ kapacitását kell figyelembe venni. A bipoláris tranzisztor nagyfrekvenciás helyettesítő képe látható a 4.16. ábrán.



4.17. ábra. Bipoláris tranzisztor helyettesítő képe nagyfrekvencián.