

7.B Félvezető áramköri elemek – Bipoláris tranzisztorok

Értelmezze a bipoláris tranzisztor felépítését, működését, feszültség- és áramviszonyait! Értelmezze a tranzisztorhatást!

Mutassa be a bipoláris tranzisztor jellemzőit, alapkapcsolásait, s térjen ki a műszaki katalógus adatokra és határértékekre!

Rajzolja fel a legfontosabb közös emitteres jelleggörbét, a h -paraméteres helyettesítő képet és a tranzisztor jelképi jelöléseit!

Elemezze a jelleggörbék, a paraméterek és a helyettesítő képek közötti kapcsolatrendszert, s térjen ki a hőfokfüggés és a hűtés kérdéskörére!

A bipoláris tranzisztorok felépítése

A bipoláris tranzisztor háromelektrodás félvezető eszköz, amely három, egy kristályban kialakított, N-P-N vagy P-N-P elrendezésű, szennyezett félvezető tartományból áll. Ennek megfelelően megkülönböztetünk:

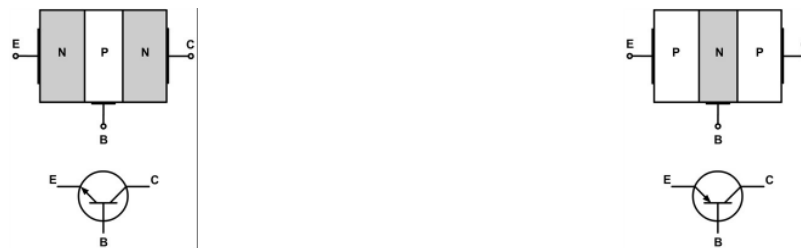
- NPN, illetve
- PNP tranzisztorokat.

Az egyes tartományok elnevezései:

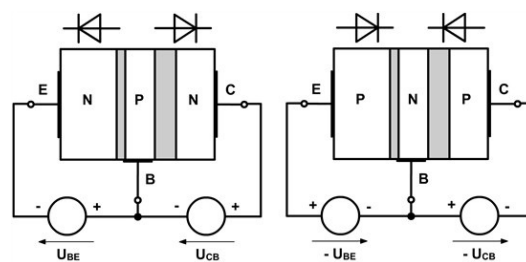
- emitter (E): a töltéshordozókat kibocsátó elektróda; [emittere; latin szó, jelentése: kibocsát]
- bázis (B): vezérlésre szolgáló elektróda; [basis; görög szó, jelentése: alap]
- kollektor (C): töltéshordozókat gyűjtő elektróda, [collecta; latin szó, jelentése: gyűjtés].

A bipoláris tranzisztorok bázistartományának hatásos szélessége sokkal kisebb, mint a kisebbségi töltéshordozók diffúziós hossza, ezért ez a középső tartomány igen vékony félvezető réteg a kollektor- és az emittortartományhoz viszonyítva. Az emitter és kollektor megközelítőleg azonos szennyezettségű és mindkét típusú tranziszternél erősebben szennyezett, mint a bázistartomány.

A bázis kicsi hatásos szélessége és alacsony szennyezettsége miatt a szabad töltéshordozók száma kicsi. Ez a tény a bázisrétegnek kis vezetőképességet kölcsönöz a másik kettőhöz viszonyítva.



Bipoláris tranzisztorok felépítése és rajzjelei



Bipoláris tranzisztorok előfeszítése

Bipoláris tranzisztorok gyártása

A tranzisztorok gyártására germániumot (Ge), szilíciumot (Si) és fémes vegyületeket (pl. gallium-arszenid = GaAs) használnak. Germánium-tranzisztorokat manapság sok előnytelen tulajdonsága miatt - csak néhány különleges alkalmazásra készítenek.

A bipoláris tranzisztorok rétegei

A tranzisztor szerkezetében levő két PN-átmenet külső feszültség alkalmazása nélkül megakadályozza a rétegek között a töltéshordozók áramlását. Normális (aktív) működés esetében az emitter és a bázis közötti PN-átmenet vezetési

irányban, a bázis és a kollektor közötti PN-átmenet pedig záróirányban kell üzemelnie. Kis jelű szilíciumtranszisztorok esetén:

- a bázis-emitter feszültség $U_{BE} \approx 0,6 \div 0,8V$,
- a kollektor-emitter feszültség értéke általában $U_{CE} \approx 5 \div 18V$.

A bipoláris tranzisztorok működése, tranzisztor alapegyenletek, tranzisztorhatás

NPN és PNP tranzisztorok működése

Mivel az NPN és PNP tranzisztor elvi működése megegyezik, ezért elégséges, ha az egyik típusú tranzisztort használjuk a fizikai működés bemutatására.

A bipoláris tranzisztor működését a már említett két típusú töltéshordozó biztosítja. A PNP tranzisztorok többségi töltéshordozói a lyukak, kisebbségi töltéshordozói az elektronok. Az NPN tranzisztorok esetén az elektronok a többségi töltéshordozók, a lyukak pedig kisebbségi töltéshordozóként viselkednek.

A bázis-emitter átmenet nyitó irányú erőfeszítése lehetővé teszi az emitter tartományban található többségi töltéshordozó lyukak rendezett mozgását (I_E), áthaladását a határreágen és a bázis tartományba való kerülésüket. A bázis tartomány gyakorlatilag kiürített rétegnek tekinthető a kollektor-bázis átmenet záróirányú előfeszítése, a bázisréteg kicsi szennyezettsége és vékonysága miatt. Ennek következtében a bázis tartományba jutott lyukak elenyésző része ($0,1...5\%$ –a) rekombinálódik az itt található elektronokkal és létrehozza a kis értékű bázisáramot (I_B).

Mivel a lyukak a bázis tartományban kisebbségi töltéshordozónak számítanak, - a bázis-kollektor átmenet záróirányú polarizálása miatt - diffúzióval a kollektor tartományba áramlanak és létrehozzák a kollektor elektródán keresztül az I_C kollektoráramot. A tranzisztor többségi töltéshordozói áramelágazást hoznak létre, melynek szereplői az emitteráram, a bázisáram és a kollektoráram. Az emitteráram a kollektor- és a bázisáram összege:

$$I_E = I_B + I_C.$$

Az előbbi összefüggés érvényes marad az értékek kis változása, vagy váltakozó áram esetén is:

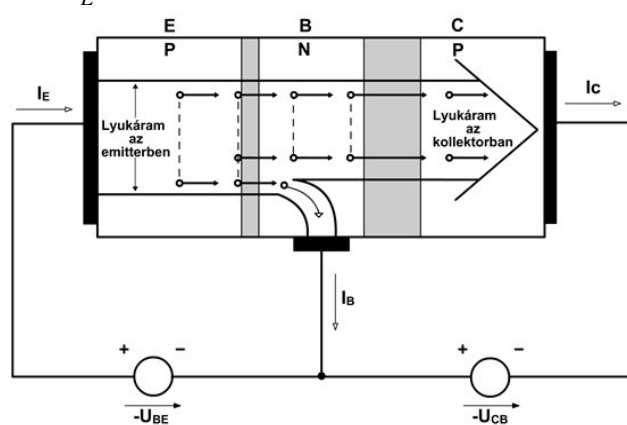
$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$$

$$i_E = i_B + i_C$$

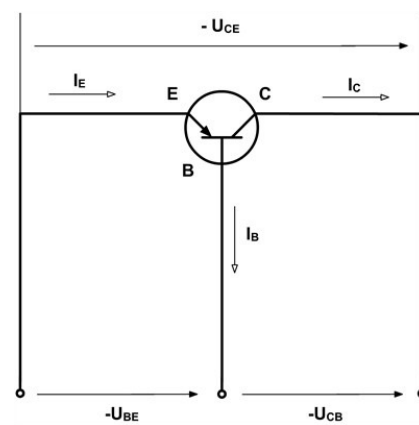
A tranzisztorban létrejövő áramelágazást, az árameloszlási tényezővel fejezik ki:

$$A = \frac{I_C}{I_E} \text{ egyenáram és}$$

$$\alpha = \frac{i_C}{i_E} \text{ váltakozó áram esetén.}$$



Többségi töltéshordozók áramlása PNP tranzisztorban



A PNP tranzisztor feszültség és áramviszonyai

Nagyjelű és kisjelű áramerősítés

A tranzisztor nagyjelű, vagy más néven egyenáramú áramerősítési tényezője, α pedig a kisjelű vagy váltakozó áramú áramerősítési tényezője. Az áramerősítési tényezők felhasználásával:

$$I_C = A \cdot I_E \text{ egyenáram és}$$

$$i_C = \alpha \cdot i_E \text{ váltakozó áram esetén;}$$

$I_B = (1 - A) \cdot I_E$ egyenáram és
 $i_B = (1 - \alpha) \cdot i_E$ váltakozó áram esetén.

A tranzisztor hurokegyenlete

A tranzisztorokon három feszültség lép fel:

- az U_{CE} kollektor-emitter feszültség,
- az U_{BE} bázis-emitter feszültség,
- és az U_{CB} a kollektor-bázis feszültség.

Ezekre a feszültségekre Kirchhoff második törvényének megfelelően érvényes a következő egyenlet:

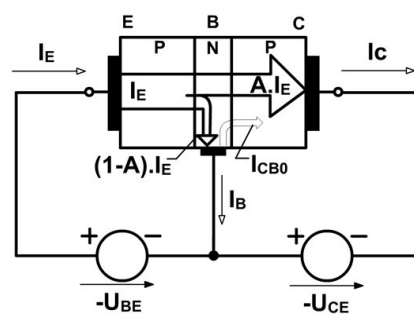
$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

A tranzisztort az U_{BE} bázis-emitter feszültség révén az I_B bázisáram vezérli. Segítségével változtatható az emitterben áramló lyukak (PNP tranzisztor), illetve elektronok (NPN tranzisztor) mennyisége, ami az emitter és végső soron a kollektoráram értékét meghatározza.

Ha $U_{BE} = 0$, akkor $I_B = 0$ és $I_C = 0$. Ekkor a kollektor és az emitter szakasz ellenállása nagy, tipikus értéke szilícium tranzisztorok esetén $10 \div 100 M\Omega$ közé esik.

Ha a tranzisztor bázis-emitter feszültsége túllépi a bázis-emitter határréteg záró feszültségét (szilícium tranzisztornál kb. 0,7 V), megindul a bázisáram. Az U_{BE} feszültség és az I_B bázisáram növelésével az I_C kollektoráram nő és a kollektor-emitter szakasz ellenállása fokozatosan csökken. Az U_{BE} és I_B adott értékén a tranzisztor teljesen kivezéreltté válik és a kollektor-emitter szakasz ellenállása eléri legkisebb értékét.

A tranzisztor felépítésétől függően, a minimális ellenállásérték kb. 20Ω -tól, 200Ω -ig változhat. A kollektoráram értéke - a fizikai működésnek megfelelően - csekély mértékben függ a záróirányú U_{CB} kollektor-bázis feszültségtől.



A bipoláris PNP tranzisztorban folyó áramok összetevői

A kisebbségi töltéshordozók áramlása

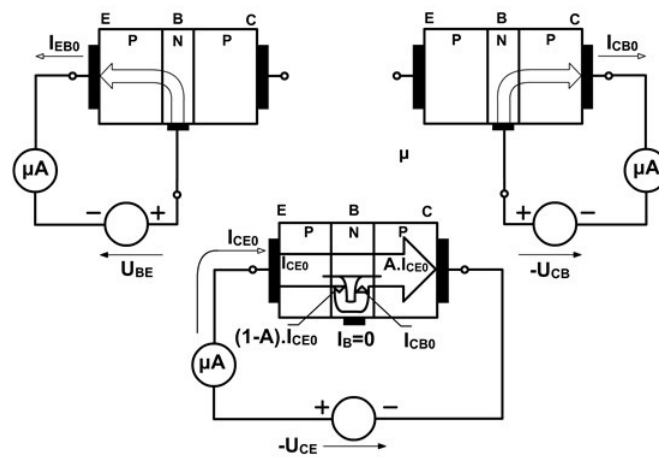
A többségi töltéshordozók által létrehozott áramok mellett a tranzisztor működését a kisebbségi töltéshordozók által létrehozott áramok (maradékáramok vagy visszáramok) is befolyásolják.

A maradékáramok záróirányú előfeszítés esetén folynak a PN átmeneteken. A bipoláris tranzisztorok esetében három maradékáramot különböztetünk meg:

- I_{EB0} a lezárt bázis-emitter átmenet visszárama; normális működésnél nem lép fel;
- I_{CB0} a lezárt kollektor-bázis átmenet visszárama; normális működésnél is jelen van;
- I_{CE0} az $I_B = 0$ feltétel mellett, a kollektor-emitter között folyó maradékáram; normális működés közben is folyik.

Az I_{CB0} maradékáram zavarja a tranzisztor normális működését, mivel iránya ellentétes a vezérlő bázisárammal és értéke jelentős hőmérsékletfüggőséget mutat.

Az I_{CE0} maradékáram jelenléte normál működés közben kevés zavart okoz, mivel iránya megegyezik a többségi töltéshordozók által létrehozott kollektor áramával.



Bipoláris tranzisztorok maradékáramai

Bipoláris tranzisztor alapegyenletei

Összegezve ismereteinket a következő alapegyenleteket írhatjuk fel:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = A \cdot I_E + I_{CB0}$$

$$I_B = (1 - A) \cdot I_E - I_{CB0}$$

Az egyenletek érvényesek maradnak, kis változások és kis amplitúdójú váltakozó áramok esetén is.

$$I_C = \frac{A}{1 - A} \cdot I_B + \frac{1}{1 - A} \cdot I_{CB0} = B \cdot I_B + (B + 1) \cdot I_{CB0}$$

Az összefüggésben $B = \frac{A}{1 - A}$ a bázisáramra vonatkoztatott egyenáramú áramerősítési tényező.

Tranzisztorhatás

Az emitterből a bázisba átkerülő töltéshordozók számát és így a kollektor áramát is elsősorban a bázis és az emitter közé kapcsolt feszültség határozza meg. Kis U_{BE} és ezzel együtt kis I_B változás hatására viszonylag nagy I_C változás következik be. Ez a tranzisztorhatás.

Alapkapcsolások, tranzisztor jelleggörbék

Alapkapcsolások fajtái

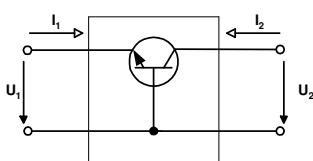
A tranzisztorok legfontosabb alkalmazási területe a kis feszültségszintű jelek alakhú erősítése. Az erősítő tulajdonságait célszerű négyfólyussá alakítva vizsgálni.

Mivel a tranzisztor három elektródával rendelkezik négyfólyussá úgy alakítható, hogy egyik kivezetés közösnek tekintjük a kimenet és bemenet szempontjából. Ennek megfelelően három alapkapcsolást különböztetünk meg, amelyek elnevezése a közös elektróda nevéből származik.

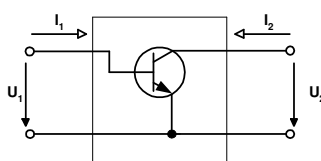
Ezek a következők:

- közös bázisú kapcsolás, vagy báziskapcsolás,
- közös emitteres kapcsolás, vagy emitterkapcsolás,
- közös kollektoros kapcsolás, vagy kollektorkapcsolás.

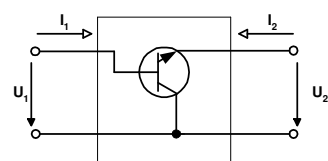
A tranzisztor fizikai működése minden alapkapcsolásban azonos. Az egyes alapkapcsolásokban, csak a tranzisztor külső jellemzői változnak meg. A négyfólyusként ábrázolt tranzisztor egyértelműen jellemezhető a ki- és bemenetén fellépő feszültségekkel és áramokkal. A négy jellemzőt összekapcsoló függvények grafikus ábrázolása révén kapjuk a tranzisztor karakterisztikáit (jelleggörbéit).



Közös bázisú alapkapcsolás



Közös emitteres alapkapcsolás



Közös kollektoros alapkapcsolás

Bipoláris tranzisztor jelleggörbéi

A tranzisztor négyfólyusként való tárgyalása négy jelleggörbe-típus meghatározását teszi lehetővé, amelyek a következők:

- Bemeneti jelleggörbe: a bemeneti feszültség és bemeneti áram közötti kapcsolatot szemlélteti, ha a kimeneti feszültség állandó:

$$I_1 = f(U_1) \Big|_{U_2 = konst.}$$
- Kimeneti jelleggörbe: a kimeneti feszültség és kimeneti áram közötti összefüggést tükrözi, ha a bemeneti áram állandó értéken van:

$$I_2 = f(U_2) \Big|_{I_1 = konst.}$$
- Áramokra vonatkozó átviteli (transzfer) jelleggörbe: a kimeneti áram és a bemeneti áram kapcsolatát szemlélteti állandó kimeneti feszültség esetén:

$$I_2 = f(I_1) \Big|_{U_2 = konst.}$$
- Feszültségekre vonatkozó átviteli (transzfer) jelleggörbe: a bemeneti feszültség és a kimeneti feszültség összetartozó értékeit adja meg, ha a bemeneti áramot állandó értéken tartjuk:

$$U_1 = f(U_2) \Big|_{I_1 = konst.}$$

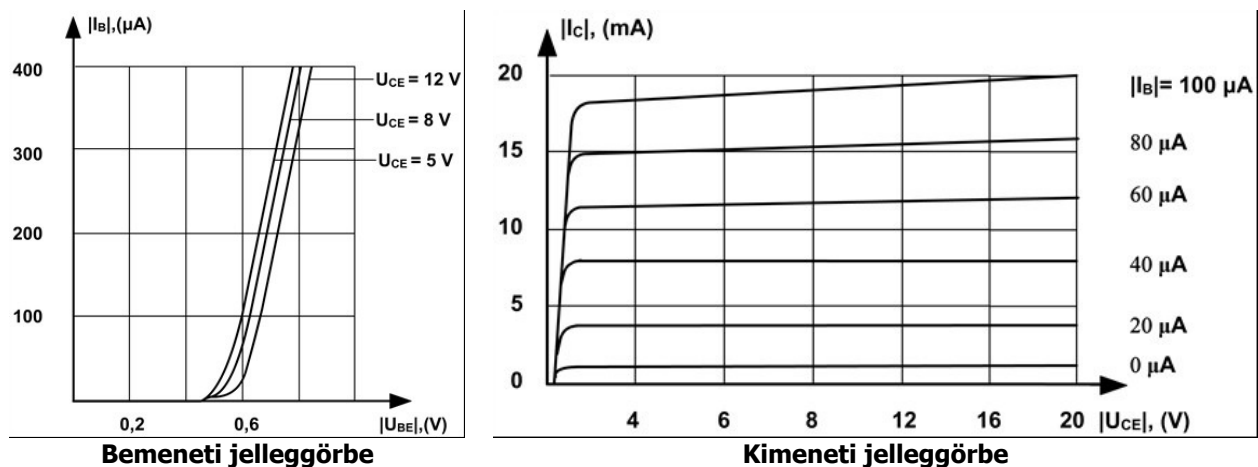
A gyakorlatban az átviteli karakterisztikákat ritkán használják, mivel az első két jelleggörbéből megszerkeszthetők és ezért nem tartalmazznak új adatokat.

Bipoláris tranzisztor jelleggörbéi emitterkapcsolásban

Bemeneti karakterisztika

Az emitterkapcsolás esetén fellépő feszültségek és áramok az alábbi ábrán láthatók.

Bemeneti paraméterek ebben az esetben a bázis-emitter feszültség U_{BE} és a bázisáram I_B . Ez nyitóirányú dióda jelleggörbe.



Kimeneti karakterisztika

Kimeneti paraméterek az I_C kollektoráram és az U_{CE} kollektor-emitter feszültség. Az egyes jelleggörbék meghatározott bázisáram-értékre érvényesek, amelyet a karakterisztika felvétele során állandó értéken kell tartani.

Tranzisztorokkal a valóságban csak megközelítően lehet lineáris erősítőt készíteni, ehhez a kimeneti- illetve bemeneti jelleggörbén szükséges egy meghatározott munkapontot kijelölni. Egyszerűsítésként a számításokhoz a munkapont közelében a jelleggörbéket érintőikkel helyettesítjük. Az érintők meredekségét differenciális jellemzőknek vagy kisjelű paramétereknek nevezzük.

A differenciális bemeneti és kimeneti ellenállás

A bemeneti jelleggörbe meredeksége egy adott P pontban, az r_m differenciális bemeneti ellenállást adja meg. Meghatározás szerint a differenciális bemeneti ellenállás:

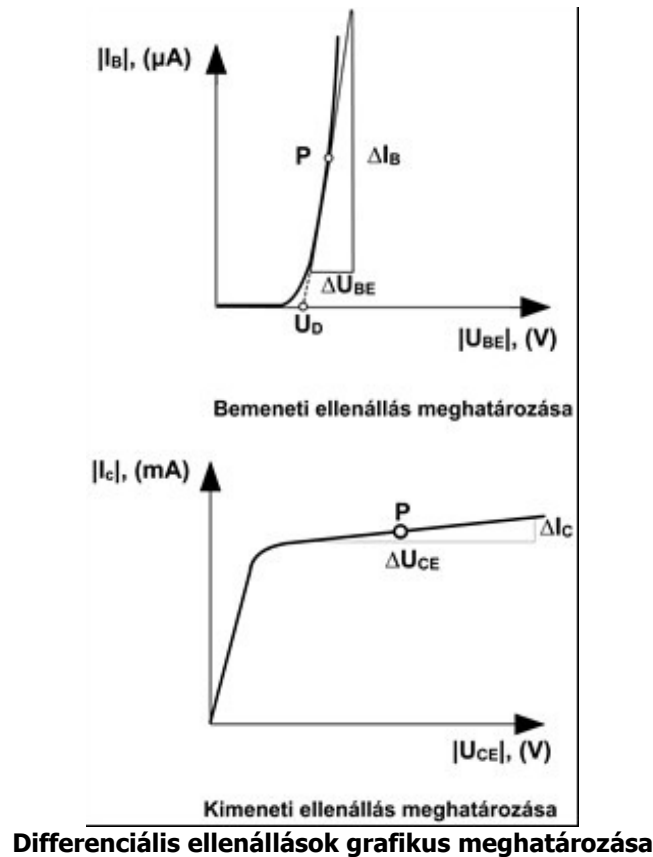
$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \Big|_{U_{CE} = \text{állandó}}$$

ahol ΔU_{BE} a bázis-emitter feszültség változása, ΔI_B a bázisáram változása, ha U_{CE} = állandó.

Az ábrán szerkesztett derékszögű háromszög, amelynek átfogója a görbéhez a P pontban húzott érintő, tetszőleges méretű lehet. A kollektoráram értékét a kollektor-emitter feszültség függvényében az r_{CE} differenciális kimeneti ellenállás adja meg:

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \Big|_{U_{BE}=\text{állandó}}$$

Az előbbi összefüggésben a kollektor-emitter feszültség változása, a kollektoráram változása, ha U_{BE} = állandó. A differenciális kimeneti ellenállás tulajdonképpen, a kimeneti jelleggörbe meredeksége egy adott P munkapontban.



Átviteli jelleggörbék

Az áramokra vonatkozó átviteli jelleggörbékét áramvezérlési jelleggörbéknek is nevezik. Ezek ebben az esetben, a kollektoráram és a bázisáram összetartozó értékeit adják meg állandó U_{CE} feszültségnél. Jó minőségű tranzisztorok jelleggörbéje a kezdet részén közel lineáris, majd kissé felfelé hajlik.

A P munkapontra vonatkozó B egyenáramú erősítés a jelleggörbéről leolvasható, mivel:

$$B = \frac{I_C}{I_B}.$$

A differenciális áramerősítési tényező

Tehát az áramátviteli karakterisztikának megfelelően a kollektoráram első közelítésben arányos a bázisárammal. Az áramátviteli jelleggörbe meredeksége egy adott P munkapontban az ott érvényes p differenciális áramerősítő tényezőt határozza meg. Meghatározás szerint a differenciális áramerősítési tényező a ΔI_C kollektoráram-változás és ΔI_B bázisáram-változás hányadosa:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_{U_{CE}=\text{állandó}}$$

Az áramerősítési tényezők nem állandók, hanem a kollektoráram értékétől függenek.

Értékük a kollektoráram növekedésével erőteljesen csökken. A teljesítménytranzisztorok áramerősítési tényezőjének maximuma amper nagyságrendű áramoknál van, de értéke lényegesen kisebb, mint a kisteljesítményű tranzisztorok esetén.

A bipoláris tranzisztorok műszaki adatai, határértékek és hőmérsékletfüggése

A műszaki adat

A műszaki adatok a tranzisztor üzemi jellemzőit adják meg. A gyártók a tranzisztorok adatlapjain különböző adatokat adnak meg, amelyek a felhasználás szempontjából elengedhetetlenül szükségesek. A tranzisztor működését egy adott munkapontban az előbbieket során már meghatározott emitterkapcsolásra érvényes jeladatok jellemzik:

- r_{BE} differenciális bemeneti ellenállás;
- r_{CE} differenciális kimeneti ellenállás;
- β differenciális áramerősítési tényező.

A bipoláris tranzisztorok jellemzői

A kollektor- és bázisáram arányát kifejező B egyenáramú erősítési tényező, amelyet különböző munkapontokra adnak meg, szintén nagyon fontos jellemzője a tranzisztoroknak:

$$B = \frac{I_C}{I_B}.$$

Egyéb fontos, visszarámokra vonatkozó jellemző adatok a következők:

- I_{CB0} kollektor-bázis **maradékáram**; nyitott emitter esetén;
- I_{CES} kollektor—emitter maradékáram; a bázis és emitter közötti rövidzáras esetén;
- I_{CE0} kollektor-emitter maradékáram; nyitott bázis esetén.

Bizonyos alkalmazások szempontjából fontos, a tranzisztor egyes zárórétegeinek a kapacitása. Ezt a záróréteg-kapacitások adják meg, amelyek adott zárófeszültségekre érvényesek:

- C_{CB0} kollektor-bázis kapacitás; nyitott emitter esetén;
- C_{EB0} emitter-bázis kapacitás; nyitott kollektor esetén.

A tranzisztorok tulajdonságai igen erős mértékben a működési frekvencia függvényei. Magasabb frekvenciákon a tranzisztorok paraméterei erőteljesen romlanak. A különböző frekvenciákon való működés jellemzésére

határfrekvenciákat használnak:

- $f_{\beta 1}$ a $\beta = 1$ **áramerősítéshez** tartozó frekvencia;
- f_T **tranzitfrekvencia**; egy mérési frekvencia és az ezen a frekvencián érvényes β **differenciális áramerősítési tényező** szorzata;
- f_g határfrekvencia; általában az a frekvencia, amelyen valamely mért mennyiség egy kisebb frekvencián (leggyakrabban 1 kHz-en) mért értékének 12 -szeresére csökken.

A tranzisztor zárórétegeiben hővé alakult veszteségi teljesítményt a termikus egyensúly fenntartása miatt a környezetbe el kell vezetni. A hőleadás **hatásfokát** a hőellenállásokkal jellemzik, amelyek a következők:

- R_{thjc} a záróréteg és a tranzisztorok közötti hőellenállás;
- R_{thja} a záróréteg és a környezeti levegő közötti **hőellenállás**; a hűtőfelület hőellenállásával együtt érvényes.

A tranzisztoroknak zárási állapotból vezetési állapotba való ugrásszerű vezérlésekor a kollektoráram csak egy bizonyos idő elteltével éri el maximális értékét. A nyitott tranzisztor zárása hasonló módon csak egy bizonyos idő eltelte után következik be. Az átmenetek a vezérlőmennyiséghez képest késnek.

- $T_{be\ ton}$ bekapcsolási idő; az az idő, ami a bázisáram rákapcsolásától kezdve addig eltelik, amíg a kollektoráram maximális értékének 90 %-át eléri.
- $t_{ki\ toff}$ kikapcsolási idő; az az idő, amely a lezárójelnek a bázisra való kapcsolásától addig eltelik, amíg a kollektoráram maximális értékének 10 %-ára csökken.

Határérték

Határértékeknek nevezzük azokat az adatokat, amelyeket nem szabad túllépni. A határértékek túllépése a tranzisztor meghibásodásához vezet. Az egyes határértékeket akkor sem szabad túllépni, ha más határértékek nincsenek teljesen kihasználva.

Bipoláris tranzisztorok határértékei

A legnagyobb megengedett zárófeszültségek: A legnagyobb megengedett zárófeszültség túllépése, a megfelelő záróréteg átütéséhez vezet. A gyártók a tranzisztor adatlapjain legtöbbször az U_{CB0} , U_{CE0} és U_{EB0} legnagyobb megengedhető zárófeszültségek szerepelnek.

A legnagyobb megengedett áramok: A legnagyobb megengedett áramok a tranzisztorok maximális áramterhelését adják meg.

- I_{Cmax} maximális kollektoráram; a legnagyobb megengedett tartós kollektoráram;
- I_{CM} kollektor-csúcsáram; az a maximális kollektoráram, amely csak véletlenszerűen és nagyon rövid ideig (leggyakrabban, 10 ms) léphet fel;
- I_{Bmax} maximális bázisáram; a legnagyobb megengedett tartós bázisáram.

A legnagyobb megengedett hőmérsékletek:

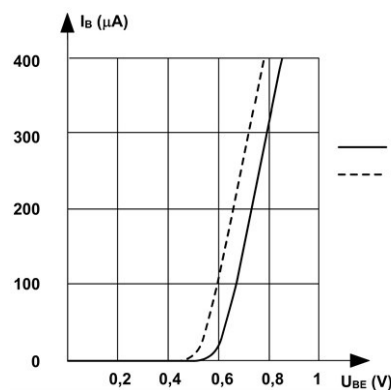
- a tranzisztorok zárórétegének hőmérséklete nem léphet túl egy meghatározott értéket, amely a maximális záróréteg-hőmérséklet. Ennek tipikus értéke szilíciumtranzisztoroknál kb. 200 °C, germánium tranzisztoroknál viszont lényegesen alacsonyabb, 90 °C körüli érték.

A legnagyobb megengedett **veszteségi teljesítmény**: a legnagyobb megengedett veszteségi teljesítmény $P_{tot max}$ a tranzisztorban hővé alakuló teljesítmény maximális értéke. A tranzisztor eredő veszteségi teljesítménye:

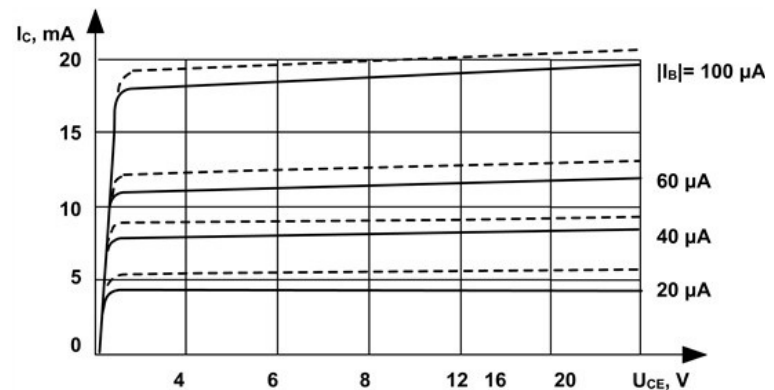
$$P_{tot} = U_{CE} \cdot I_C + U_{BE} \cdot I_B$$

Félvezetők és a hőmérséklet kapcsolata

A hőmérséklet növekedése köztudottan a **félvezetőkben** megnöveli a töltéshordozók koncentrációját. Ez történik a **bipoláris tranzisztor** félvezető rétegeiben is. Ennek hatására a tranzisztor karakterisztikái és jellemzői megváltoznak. A felmelegedés hatására a munkaponti áramok növekednek, és a karakterisztika eltolódik.



A tranzisztor bemeneti jelleggörbéjének hőfokfüggése



A tranzisztor kimeneti jelleggörbéjének hőfokfüggése

Bemeneti és kimeneti karakterisztika-eltolódás

A bemeneti jelleggörbe tulajdonképpen egy nyitóirányban előfeszített **PN-átmenet** hőfüggését szemlélteti. A hőmérséklet növekedése a bázis- és emitteráram növekedéséhez és a jelleggörbe balra tolódásához vezet. A bázis-emitter feszültség ΔU_{BE} eltolódásának nagysága a megfelelő ΔT hőmérsékletváltozáshoz viszonyítva jellemzi az emitteráram hőfüggését. A $\Delta U_{BE}/\Delta T$ paraméter, amely az U_{BE} **feszültség** hőmérsékleti tényezője Si, és Ge alapú tranzisztoroknál megközelítően azonos értékű.

$$\frac{\Delta U_{BE}}{\Delta T} = -2 \frac{mV}{C^0}$$

A kimeneti jelleggörbe eltolódása a hőmérsékletemelkedés következtében két tényezőnek tulajdonítható:

- a megnövekedett emitteráram növeli a kollektoráramot;
- I_{CB0} **maradékáram** növekedése szintén hozzájárul a kollektoráram növeléséhez.

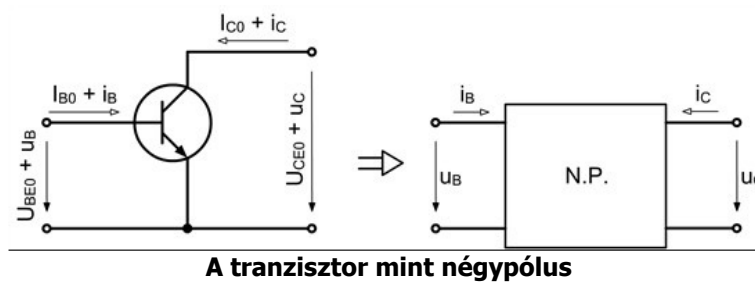
A tranzisztorok paramétereinek hőfüggése a gyakorlati alkalmazások szempontjából igen kedvezőtlen jelenség. Csökkentése megfelelő munkapont-beállító kapcsolásokkal és megfelelő hűtéssel lehetséges.

A tranzisztor helyettesítő képe

Mindegyik tranzisztor alapkapcsolás négy pólusnak tekinthető, ezért a kisjelű viselkedése a négy pólusok elmélete alapján leírható és vizsgálható. Ez azt jelenti, hogy négy, egymástól független paraméterrel (a be- és kimeneti feszültséggel és árammal) jellemezhető. A paraméterek közötti kapcsolatot a karakterisztikus egyenletek írják le.

Gondoljuk végig, hogyan viselkedik a tranzisztor lineáris erősítőkapcsolásokban. A karakterisztikája alapján belátható,

hogy a tranzisztor a normál aktív tartományban működik, vagyis aktív lineáris négyfázisnak tekinthető. A munkapont beállítása tehát úgy történjen, hogy az ellenállásokat olyan értékűekre kell megválasztani, hogy az aktív tartományra jellemző egyenfeszültségek és egyenáramok legyenek mérhetőek. Az erősítendő jel ezekhez a munkaponti adatokhoz adódik hozzá.



A tranzisztor működésének és felépítésének ismeretében megállapíthatjuk, hogy az időben lassan változó jelekre (kisfrekvencián) a tranzisztor frekvencia-független négyfázisként viselkedik, amelyet többféle helyettesítő képpel jellemezhetünk. Az elektronikai eszköz helyettesítő képének nevezzük azt az elektronikai - számítási szempontból egyenértékű - kapcsolást, amely elektromos szempontból ugyanúgy viselkedik, mint a helyettesített eszköz. A helyettesítő kép négy független paramétere két egyenletbe foglalva írja le az eszköz működését. A helyettesítő kép bevezetésére azért van szükség, mert egyszerűbbé teszi az áramkörben végzett számításokat, és szemléletesebbé teszi az eszköz működését.

A négyfázis négy paramétere hatféle paraméterrendszerrel jellemezhető:

1. impedancia: z ,
2. admittancia: y ,
3. hibrid: h ,
4. inverz hibrid: d ,
5. lánc: a ,
6. inverz lánc: b .

Azért jelöljük a paramétereket kisbetűvel, mert a kisjelű működést jellemzik. A fizikai jelentésük valamint a mértékegységük pedig a paraméterek kapcsolatától függ.

A tranzisztorok paraméterrendszerét úgy kell kiválasztani, hogy a milyen mérés technikai módszerrel lehet az eszközt megvizsgálni, és a működést milyen feltételekhez köthetjük:

- Kisfrekvencián a bemeneti üresjárás, és – a kimeneti rövidzár valósítható meg a legkönnyebben, ezért a hibrid paraméterrendszerrel.
- Nagyfrekvencián a rövidzár könnyebben megvalósítható, ezért az admittancia paraméterekkel jellemezhető.

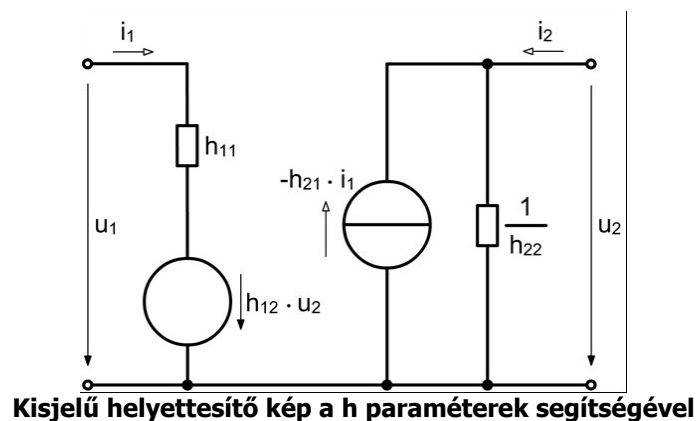
Hibrid paraméteres egyenletrendszer

A hibrid (vegyes) paraméteres egyenletrendszer a következő alakban írható fel:

$$u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2$$

$$i_2 = -h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2$$

A következő ábrán látható helyettesítő kép a hibrid paraméterek dimenziói alapján a bemeneti- (az 1-es index jelzi) és a kimeneti körre (a 2-es index jelzi) is érvényes.



A bipoláris tranzisztor h paramétere:

- $h_{11} = r_{BE} = \frac{u_{BE}}{i_B} \Big|_{u_{CE} = 0}$ bementi impedancia,
- $h_{21} = \beta = \frac{i_C}{i_B} \Big|_{u_{CE} = 0}$ áramerősítési tényező,
- $h_{22} = \frac{1}{r_{CE}} = \frac{i_C}{u_{CE}} \Big|_{i_B = 0}$ kimeneti admittancia.

A h (hibrid) paraméteres kép segítségével a kisfrekvenciás működését írhatjuk le a legegyszerűbben.

Az y (admittancia) paraméteres helyettesítő kép segítségével pedig a tranzisztor nagyfrekvenciás működését írhatjuk le a legegyszerűbben.

A helyettesítő kapcsolások jó minőségű tranzisztoroknál egyszerűsítést is tartalmazhatnak: ilyenkor a feszültség-visszahatást elhanyagolhatjuk, ezért a tranzisztor működésének jellemzésére három független paraméter is elegendő.

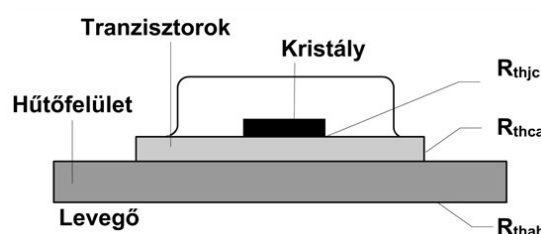
Hőmegfutás

A bipoláris tranzisztorok egy nem kívánatos, de jellemző tulajdonsága az úgynevezett hőmegfutás, amely a nem megfelelően stabil I_C és U_{CE} értékeknek tulajdonítható.

Ha a környezeti hőmérséklet nő, a kollektoráram növekszik és vele együtt nő a veszteségi teljesítmény is. A záróréteg és a környezeti levegő közötti véges (nem nulla) hőellenállás miatt a veszteségi teljesítmény növekedése újabb hőmérséklet-emelkedéshez vezet, ami ismét növeli a tranzisztor áramait és vele együtt a veszteségi teljesítményt, és így tovább. A folyamat, amely kezdetben lassan majd egyre gyorsulva jelentkezik, a maximális veszteségi teljesítmény túllépése miatt, a tranzisztor tönkremenetelével végződik.

Tranzisztorok hűtése

A legnagyobb megengedett veszteségi teljesítmény a tranzisztor hűtésével növelhető. Kisebb veszteségi teljesítményű vagy kisebb veszteségi teljesítménnyel üzemeltetett tranzisztoroknál általában elegendő a tok és a környezeti levegő közötti természetes hőátadás. Nagyobb veszteségi teljesítménnyel üzemelő tranzisztoroknál a hőelvezetés javítása miatt hűtőlemez, hűtőcsillagot, vagy más különleges hűtőttestet kell alkalmazni.

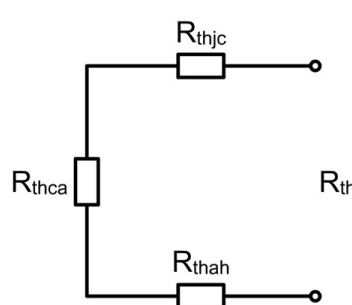


Hűtőlemezre szerelt tranzisztor szerelési vázlata

Mivel a hűtőkörnyezet lehet a tranzisztortok, a levegő vagy a hűtőlemez, többféle hőellenállás határozható meg:

- R_{thjc} : a záróréteg és a tranzisztortok közötti hőellenállás (a tranzisztor adatlapján szerepel);
- R_{thca} : a tranzisztortok és a hűtőfelület közötti hőellenállás (a szerelés minősége határozza meg);
- R_{thah} : a hűtőfelület és a környezeti levegő közötti hőellenállás (a hűtőlemez jellemzője).
- A hőellenállás a záróréteg és a környezet levegője között (R_{thja}):

$$R_{thja} = R_{thjc} + R_{thca}$$



Az elrendezés eredő hőellenállása