

10.B

Tranzisztoros alapáramkörök – Munkapont-beállítás

Definiálja a lineáris és a nemlineáris működést, a sztatikus és a dinamikus üzemmódot!

Értelmezze a munkapont, a munkaegyenes fogalmát és szerepét!

Mutassa be a munkapont beállítására szolgáló kapcsolásokat bipoláris és unipoláris tranzisztorok alkalmazásánál! Hasonlítsa össze a munkapont stabilitása szempontjából az egyes munkapont-beállító kapcsolásokat!

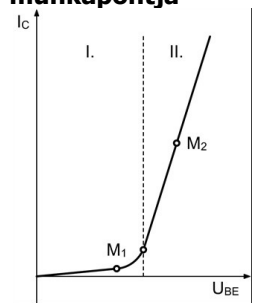
Ismertesse a munkapont-beállító kapcsolások egyes elemeinek szerepét!

A bipoláris tranzisztorok üzemmódjai, a tranzisztorok vezérlése statikus üzemmódban

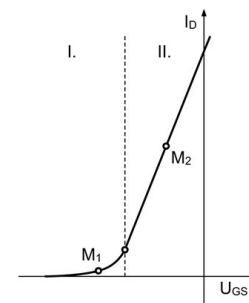
Lineáris és nemlineáris működés

A tranzisztor olyan félvezető eszköz, amelyet az áramkörökben kapcsolóként, vagy leggyakrabban erősítő elemként használhatunk fel. A kapcsolóüzemű alkalmazás elsősorban a digitális technikában, míg az erősítő üzemmódban analóg és digitális áramkörökben alkalmazzuk. A tranzisztor megfelelő működésének érdekében a munkapontját úgy kell megválasztani, hogy az elvárt működésnek megfeleljen.

A tranzisztor munkapontja



Bipoláris tranzisztor



JFET

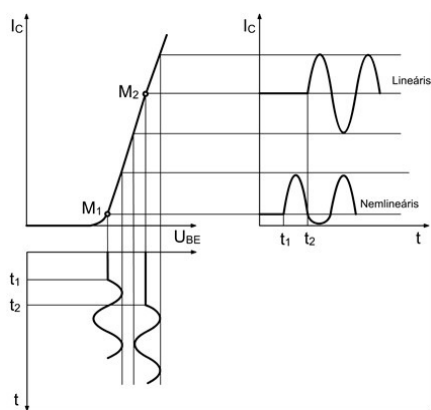
Nézzük meg, milyen kritériumok alapján választjuk meg a munkapont helyzetét az adott átviteli karakterisztikán:

- A bemeneti jel maximális értékének hatására a munkapont még az átviteli karakterisztika lineáris szakaszán helyezkedjen el.
- Működés során a tranzisztor jellemző értékei ne haladják meg a gyártók által előírt határértékeket.
- Biztosítani kell a tranzisztor stabil működését akkor is, ha pl. változások következnek be a környezeti hőmérsékletben, a tápfeszültségben.
- A tranzisztor zajtényezője az előírt értéken belül kell, hogy maradjon.

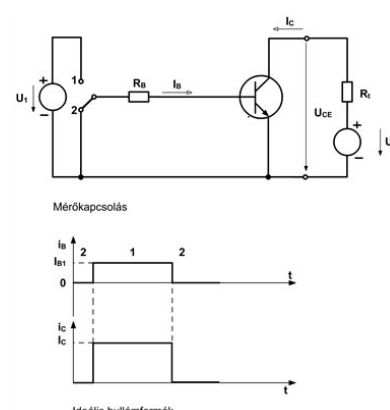
Bipoláris tranzisztorok üzemmódjai

Ha felvesszük egy bipoláris és egy térvezérlésű tranzisztor átviteli karakterisztikáját, akkor a jelleggörbéken megkülönböztethetünk egy nemlineáris (I.) és egy lineáris (II.) tartományt. A munkapont elhelyezésétől függően a tranzisztor működése lehet:

- lineáris működésű: a tranzisztoron folyó áram egyenesen arányos a vezérlőjel megváltozásával,
- nemlineáris működésű: a tranzisztoron folyó áram nem egyenesen arányos a vezérlőjel időbeni lefolyásával.



Bipoláris tranzisztorok működése



A bipoláris tranzisztorok kapcsolóüzeme

Figyeljük meg a jelleggörbéken feltüntetett munkapontokat. Ha az M_2 munkapont a jelleggörbe lineáris szakaszára esik, akkor a tranzisztor lineáris elemként viselkedik. A tranzisztor lineáris működését erősítőkapcsolásokban használhatjuk. A tranzisztor nemlineáris működését pedig – az M_1 munkapont beállításakor – elektronikus kapcsolási feladatok megoldására alkalmazhatjuk.

A valóságban a tranzisztzorok karakterisztikái nem biztosítanak tökéletesen lineáris működést, ezért nemlineáris torzítások lépnek fel.

Figyeljük meg, hogy ha a vezérlést változtatjuk, a munkapont megváltoztatja helyzetét a karakterisztikán.

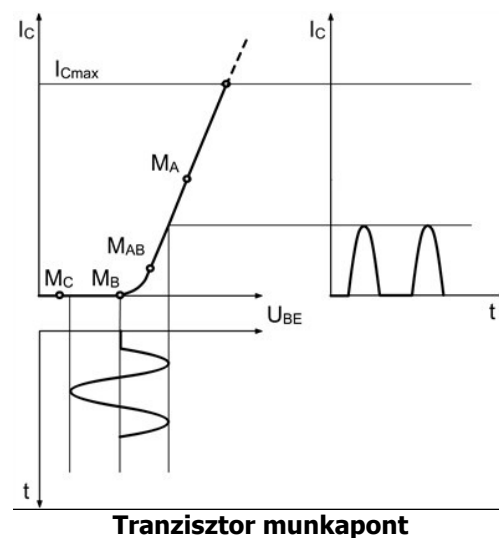
Sztatikus és dinamikus üzemmód definiálása

Sztatikusnak nevezzük azt az üzemmódot, amelyben a tranzisztor a vezérlés hatására csak a kimeneti áramát változtatja meg, miközben a kimeneti feszültség állandó marad. Ilyenkor a kollektorellenállás értéke nulla. Dinamikusnak nevezzük azt az üzemmódot, amelyben a tranzisztor a vezérlés hatására csak a kimeneti feszültségét változtatja meg. Ez az eset olyankor áll fenn, amikor a kimeneti körbe ellenállást kötünk.

Tranzisztor vezérlése sztatikusan

A tranzisztor munkapontját úgy tudjuk beállítani, hogy meghatározott egyenfeszültségeket kapcsolunk a kimeneti és bemeneti kapcsokra. Az említett kapcsokkal sorba kapcsolt ellenállások szabják meg a bemeneti és a kimeneti körben folyó egyenáram nagyságát. Ily módon beállítjuk a tranzisztor jelleggörbéi alapján megválasztott munkapontot.

A munkapont nagymértékben függ a bemeneti és kimeneti áramkörre előírt jelek váltakozó feszültségének és áramának nagyságától. Ha a jelek torzulását ki akarjuk küszöbölni, akkor a munkapontot a karakterisztika egyenes részének közepére kell felvenni. Ez a beállítás biztosítja a legnagyobb kivezérelhetőséget.



Munkapont beállítások

Figyeljük meg, milyen vezérlési lehetőségek adódnak a munkapont munkaegyenesen történő elhelyezésétől függően:

- A osztályú beállítás: — a munkapont a karakterisztika lineáris szakaszán van elhelyezve M_A és vezérlés alatt a lineáris szakaszon mozog. A kimeneti áram időbeli lefolyása azonos a vezérlő jel időbeli lefolyásával. A tranzistor működése lineárisnak tekinthető.
- B osztályú beállítás: - a munkapont— M_B a jelleggörbe lezárási pontjában van. A tranzisztoron a vezérlőjelnek csak az egyik fél periódusában folyik áram.
- AB osztályú beállítás: - a munkapont— M_{AB} az A- és B osztályú beállításnak megfelelő két munkapont között helyezkedik el. A tranzisztoron a fél periódusidőnél hosszabb ideig folyik áram vezérlés esetén.
- C osztályú beállítás: - a munkapont— M_C a jelleggörbe zárási szakaszán helyezkedik el. Kimeneti áram a fél periódusidőnél rövidebb ideig folyik, az áram impulzusszerű.

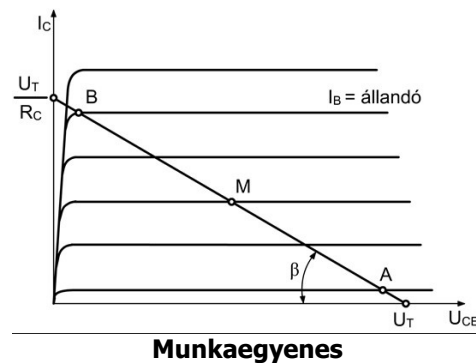
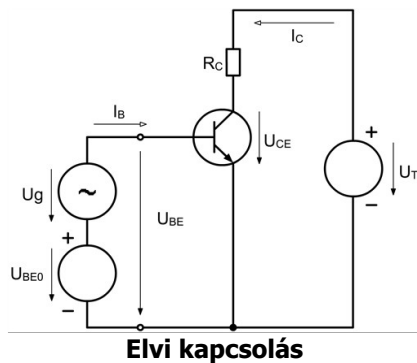
A különböző beállításokra a periódusidőhöz viszonyítva az az idő jellemző, amíg kimeneti áram folyik.

Az AB, B és C osztályban az áram nem szinuszos lefolyású, alapharmónikusokból és felharmónikusokból áll. Kisteljesítményű erősítő kapcsolások esetén általában A osztályú munkapont-beállítást alkalmazunk. Nagyobb teljesítmények esetén az A osztályú beállítás hátránya az igen nagy villamos energia felhasználás, mivel az eszközön vezérlés nélkül is jelentős értékű áram folyik.

A bipoláris tranzisztorok üzemmódjai, a tranzisztorok vezérlése dinamikus üzemmódban

Bipoláris tranzisztor dinamikus üzemmódja

Ha a tranzisztorra terhelést kapcsolunk, ami legyen egy ellenállás, akkor az ellenálláson eső feszültség a vezérlés ütemében változik.



A működésből következik, hogy egyenáramú U_{BE0} , I_{B0} , U_{CE0} , I_{C0} mennyiségekhez hozzáadódnak a vezérlő jel váltakozó áramai és feszültségei. Kirchhoff huroktörvénye alapján felírhatjuk a kimeneti mennyiségek közötti kapcsolatot:

$$U_T = I_C \cdot R_C + U_{CE}$$

Az egyenletet átrendezve:

$$I_C = \frac{U_T}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}$$

Az I_C áram és az U_{CE} feszültség között egyenes arányosság áll fenn, amelyet egy egyenessel ábrázolhatunk. Ez a tranzisztor munkaegyenes. Határozzuk meg a tengelyekkel való metszéspontokat:

- metszéspont a feszültségtengellyel:

$$I_C = 0 \Rightarrow U_{CE} = U_T$$

- metszéspont az áramtengellyel:

$$U_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{U_T}{R_C}$$

A munkaegyenes $\tan \beta$ meredeksége fordítottan arányos a kimeneti kör R_C ellenállásával:

$$\tan \beta = \frac{1}{R_C}$$

A munkaegyenes aktív tartománya

Ha a kollektorellenállás értéke 0, akkor a tranzisztor statikus üzemmódban működik, ilyenkor a munkaegyenes párhuzamos az áramtengellyel. A munkaegyenes metszi a tranzisztor kimeneti karakterisztikáit. Az A és B metszéspontok közötti szakasz az aktív tartomány, vagy más néven normál működési tartomány.

A munkaegyenes kiszerkesztése a térvázírlású tranzisztorok esetén is hasonló eljárással történhet:

- A meredekséget a kimeneti kör ellenállásainak eredője határozza meg.
- A kimeneti-áramkörben elhelyezkedő minden feszültségforrás feszültségeit is össze kell adni, mert ezek a feszültségek határozzák meg a munkaegyenes és a vízszintes tengely metszéspontját.

Kis és nagyjelű üzemmód

A tranzisztorok működésében kétféle üzemmódot különböztethetünk meg a rajtuk fellépő váltakozó és egyen mennyiségek egymáshoz viszonyított aránya alapján:

- Kisjelű üzemmód: a fellépő váltakozó áramok és- feszültségek sokkal kisebbek, mint az egyenfeszültség és egyenáram értékek.
- Nagyjelű-üzemmód: a fellépő váltakozó- és egyen mennyiségek értékei azonos nagyságrendben vannak.

A kisjelű üzemmód feltételei lehetővé teszik, hogy a tranzisztor bemeneti és kimeneti villamos paramétereit lineáris összefüggések kössék össze. Ez megengedi a paraméterek meghatározását számítással. Nagyjelű üzemmód esetén a tranzisztor a vezérlés során a nemlineáris tartományban is üzemel. Ezért a fellépő áramok és feszültségek csak szerkesztéssel határozhatók meg.

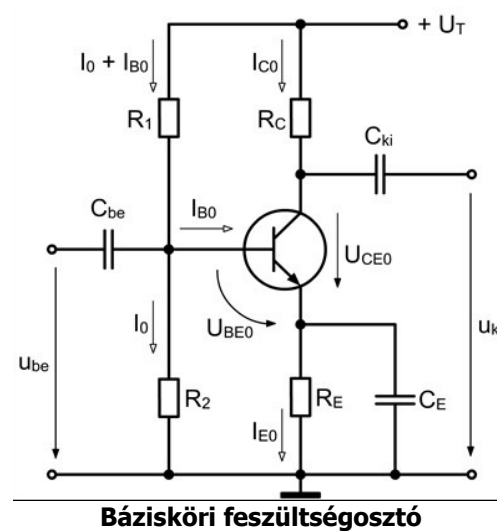
A bipoláris tranzisztorok munkapont beállítása

Bipoláris tranzisztor munkapont beállítása

Az egyenáramú táplálás módjait a legtöbbször használt közös emitteres kapcsolásban vizsgáljuk meg. A munkapontot a stabilitás érdekében egy teleses megoldással állítjuk be. A tranzisztor munkapontjának beállításához a jelgenerátorral sorba kapcsolunk egy egyenfeszültség-forrást, amely a kívánt U_{BE0} feszültségértéket beállítja. Ezt a bázisfeszültséget az U_T tápfeszültségből állítjuk elő. Ennek a megoldásnak két változata van:

- munkapont-beállítás bázisköri feszültségosztóval (bázisosztóval);
- munkapont-beállítás bázisárammal.

Munkapont beállítás bázisköri feszültségosztóval



A kapcsolás csatolókondenzátorainak szerepe:

- C_{be} és C_{ki} kondenzátor egyenáramú szempontból leválasztja a kimenetet és a bemenetet.
- Váltakozó feszültség-csatolást végez a működési- tartományban.

A bemeneti feszültségosztót úgy kell méretezni, hogy egy terheletlen feszültségosztóhoz hasonlóan működjön: a bázisosztó I_0 árama sokkal nagyobb legyen, mint az I_{B0} munkaponti bázisáram.

$$I_{B0} \ll I_0 \approx 5 \div 10 I_{B0}$$

A bázisosztó árama az előbbi összefüggést felhasználva:

$$I_0 \approx \frac{U_T}{R_1 + R_2}$$

Ebben az esetben a feszültségosztó állandó U_{B0} bázis-feszültséget szolgáltat, a bázisáram változásaitól függetlenül, tehát a feszültségosztó terheletlennek tekinthető.

$$U_{B0} = I_0 \cdot R_2 \approx U_T \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$(U_{B0} = U_{BE0} + I_{E0} \cdot R_E \approx U_{BE0} + I_{C0} \cdot R_E)$$

A kapcsolás munkaellenállása, azaz a kimeneti kör ellenállása: $R_E + R_C$. Ennek megfelelően a munkaegyenyes meredeksége:

$$\text{tg} \beta = \frac{1}{R_E + R_C}$$

A munkaegyenyes metszéspontja az áramtengellyel:

$$I_C = \frac{U_T}{R_E + R_C}$$

A munkaegyenyes metszéspontja az feszültségtengellyel:

$$U_{CE} = U_T$$

A kapcsolás ellenállásai:

Az R_1 R_2 osztó állítja be az U_{B0} bázisfeszültséget:

$$R_1 = \frac{U_T - U_{B0}}{I_0 + I_{B0}} = \frac{U_T - (U_{BE0} + I_{E0} \cdot R_E)}{I_0 + I_{B0}}, \quad R_2 = \frac{U_{B0}}{I_0} = \frac{U_{BE0} + I_{E0} \cdot R_E}{I_0}.$$

Az R_C a tranzistor munkaelenállása:

$$R_C = \frac{U_T - U_{C0}}{I_{C0}} = \frac{U_T - (U_{CE0} + I_{E0} \cdot R_E)}{I_{C0}}.$$

Az emitterellenállás szerepe kettős:

- A kapcsolás bemeneti ellenállása R_1 - és R_2 -től is függ. Fontos, hogy ezek ne legyenek kis értékűek. Az R_E -n eső feszültség nagyobb U_B érték beállítását teszi lehetővé, így R_2 is nagyobb lehet, mint R_E nélkül.
- R_E stabilizálja a munkapontot a hőmérsékletváltozás ellenében. Ha nő a hőmérséklet I_B is megnő. A kollektoráram ettől B-szeresen megváltozik, ezért I_E is megnő. Ez megnöveli az emitterfeszültséget. Mivel a bázisosztó miatt U_B közel állandó, és $U_{BE} = U_B - U_E$, U_B csökken, ami I_B -t is csökkenti. Vagyis a hőmérséklet hatására I_B nem tud megnőni. Ez negatív visszacsatolás, ami a munkapont hőmérsékleti eltolódása ellen hat.
- C_E szerepe: váltakozóáramú szempontból rövidre zárja R_E -t, vagyis az emitter váltakozóáramúlag földön van.

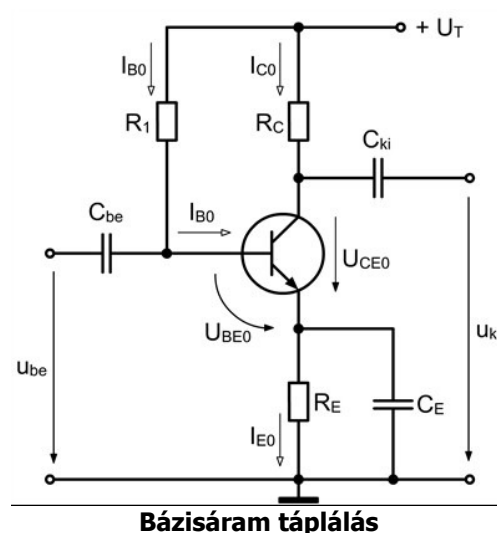
$$R_E = \frac{U_{E0}}{I_{E0}}$$

A bázisosztót alkotó ellenállások értékei, az ismertett összefüggések segítségével meghatározhatók. Abban az esetben, ha az U_{BE0} feszültséget nem adják meg, értéke:

- Germánium tranzistor esetén közelítőleg: $0,2 \div 0,3V$
- Szilícium tranzistor esetén közelítőleg: $0,6 \div 0,7V$

A gyakorlatban az $I_C \approx I_E$ megállapítást alkalmazhatjuk.

Munkapont beállítás bázisárammal



A kapcsolás elemzése után megállapíthatjuk, hogy a munkaponti kollektoráramból kiszámítható a tranzistor vezérléséhez szükséges bázisáram:

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{B}$$

A bázisáram csak az R_1 ellenálláson folyik, ezért:

$$R_1 = \frac{U_T - (U_{BE0} + U_{E0})}{I_{B0}}$$

Az R_C és R_E ellenállások számítása az előbbi kapcsolás alapján:

$$R_C = \frac{U_T - U_{C0}}{I_{C0}} = \frac{U_T - (U_{CE0} + I_{E0} \cdot R_E)}{I_{C0}}, \quad R_E = \frac{U_{E0}}{I_{E0}}.$$

Az ábrán látható kapcsolás hátránya, hogy a B egyenáramú áramerősítési tényező gyártási szórása nagyon nagy és tényleges értéke a munkaponti kollektoráramot jelentősen befolyásolja. Ugyanakkor nem biztosít olyan stabilitást, mint az előző kapcsolás, mivel nem tartja olyan állandó szinten a bázisfeszültséget.

Munkapont beállítás

A munkapont beállításához a jelgenerátorral sorbakapcsolunk egy egyenfeszültség-forrást, amely a kívánt U_{BE0} feszültségértéket beállítja. A kimeneti kör polarizálását az U_T feszültségű tápegység biztosítja. Két munkapont beállítási lehetőség van: munkapont-beállítás bázisköri feszültségosztóval (bázisosztóval); munkapont-beállítás bázisárammal.

A tervezérlésű tranzisztorok munkapont beállítása

A tervezérlésű tranzisztor munkapontjai

A tervezérlésű tranzisztorok leggyakoribb felhasználási területe a digitális technika. Itt azonban a FET-ek elsősorban integrált áramkörökben találhatók meg, amelyekben a munkapont beállítása gyárilag történik meg. A tervezérlésű tranzisztorokat diszkrét áramköri elemként általában kisjelű tartományban, nagyfrekvenciás erősítőkben használjuk, mivel a határfrekvenciájuk nagy és a kapacitásai kis értékűek.

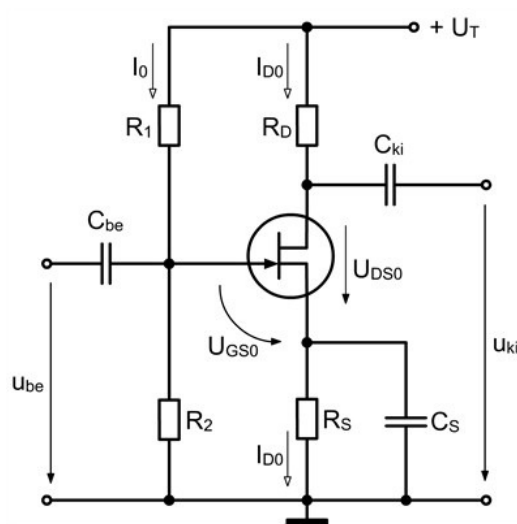
A tervezérlésű tranzisztorok tápfeszültségének és ellenállásainak olyan értékűeknek kell lenniük, hogy a munkapontot a megfelelő módon beállítsák. Figyeljük meg, hogyan állítható be a stabil munkapont földelt forrású kapcsolás esetén.

Az önvezető FET-ek munkapontjának beállítása a bipoláris tranzisztorokhoz hasonlóan kétféle módon történhet:

- feszültségosztóval vagy
- Source-ellenállással.

Ne feledkezzünk meg róla, hogy a kiürítéssel tervezérlésű tranzisztorokon nulla U_{GS} feszültség esetén is folyik egy bizonyos értékű csatornaáram.

Munkapont beállítás gateköri feszültségosztóval



JFET feszültségosztós munkapont beállítása

A feszültségosztós megoldásban a terheletlenség biztosításához a feszültségosztót alkotó ellenállásoknak nagy értékűeknek kell lenniük:

$$R_1 = \frac{U_T - U_{GS0} - I_{D0} \cdot R_S}{I_0}$$

Mivel a feszültségosztó I_0 árama nagyon kicsi, ezért

$$R_2 = \frac{U_{GS0} + I_{D0} \cdot R_S}{I_0} \text{ nagy értékű.}$$

A bemeneti feszültségosztó R_1 és R_2 , valamint a Source-ellenállásos megoldás R_1 ellenállás értékeinek felső határát a

gate-visszáram okozta feszültségesés határozza meg. Ez csak sokkal kisebb lehet, mint az U_{GS0} értéke. A gyakorlatban ezeknek az ellenállásoknak a maximális értékei $M\Omega$ nagyságrendűek.

Vizsgáljuk meg, hogyan történhet egy önzáró (növekményes) MOSFET munkapontjának beállítása, vagyis hogyan kell meghatározni az ábrán látható kapcsolás ellenállásainak értékét. Az R_S source-ellenállás ebben az áramkörben nem befolyásolja a munkapont helyzetét, csak a munkapont termikus stabilizálását biztosítja.

A munkaponti adatok és a tranzisztor paramétereinek ismeretében, az R_1 , R_2 , R_D ellenállások meghatározásához a következő összefüggések szükségesek:

A drain áram:

$$I_{D0} = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS0}}{U_P}\right)^2$$

A drain-source feszültség értéke:

$$U_{DS0} = U_T - I_{D0} \cdot (R_D + R_S)$$

A gate-source feszültség értéke:

$$U_{GS0} = I_0 \cdot R_2 - I_{D0} \cdot R_S$$

A drain-ellenállás értéke:

$$R_D = \frac{U_T - U_{DS0} - I_{D0} \cdot R_S}{I_{D0}}$$

A source-ellenállás értéke:

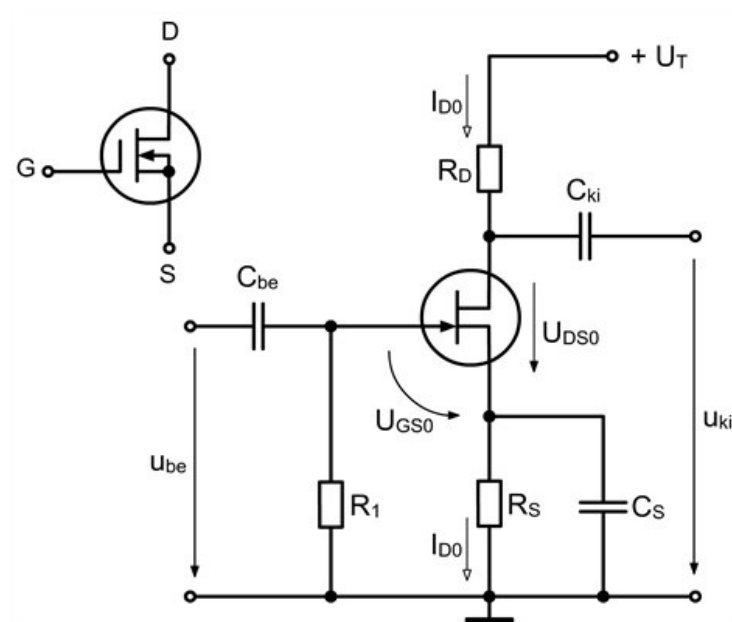
$$R_S = \frac{U_{S0}}{I_{D0}}$$

A gate-osztó értéke: az ellenállásokat minél nagyobbra kell választani, mert ettől függ a kapcsolás bemeneti ellenállása, tehát I_0 értéke kicsi.

$$R_1 = \frac{U_T - U_{G0}}{I_0} = \frac{U_T - (U_{GS0} + I_{D0} \cdot R_S)}{I_0}, \quad R_2 = \frac{U_{GS0} + I_{D0} \cdot R_S}{I_0}.$$

JFET-nél U_{GS0} negatív, ezért ennél a munkapont beállításnál $U_{G0} > U_{S0}$. A gate-osztós munkapont beállítás elsősorban növekményes MOS-FET-eknél alkalmazzák, mert ezeknél U_{GS0} pozitív.

Munkapont beállítás source-ellenállással



JFET source-ellenállásos munkapont beállítása

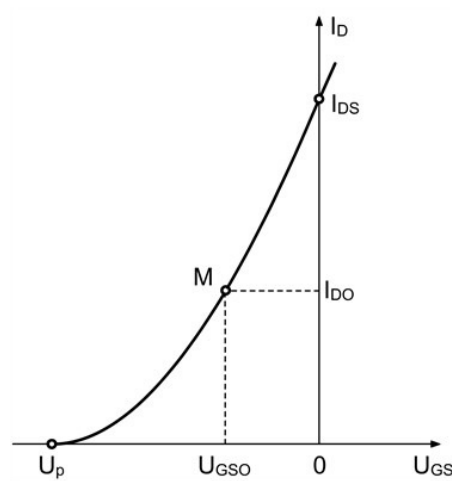
A gate-ellenálláson nem folyik áram, mert $I_G = 0$. Feladata, hogy a gate- potenciált 0 V-on tartsa. Értékét minél nagyobbra választják, azért, hogy a bemeneti ellenállás is nagy legyen. Azonban ha túl nagy az ellenállás értéke, akkor a rajta keletkezett zaj is nagy. Ezért R_G maximum 1 M Ω .

A source-ellenállás értéke:

$$R_S = \frac{U_{S0}}{I_{D0}} = \frac{-U_{GS0}}{I_{D0}}.$$

A drain-ellenállás értéke:

$$R_D = \frac{U_T - U_{DS0} - I_{D0} \cdot R_S}{I_{D0}}.$$



N-csatornás JFET átviteli karakterisztikája