Mészáros Miklós

Elektronikai áramkörök alapjai II.

NSZFI
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

Elektronikai áramkörök tervezése, dokumentálása

A követelménymodul száma: 0917-06 A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-038-50

Új Magyarország

ELEKTRONIKAI ÁRAMKÖRÖK ALAPJAI II.

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Új munkahelyének profilja: gyengeáramú analóg erősítők tervezése, méretezése és működtetése. A tényleges munkavégzés előtt részt kell vennie egy speciális szakmai tanfolyamon, amelynek belépési feltétele a bipoláris és unipoláris tranzisztorokkal felépített erősítőfokozatok munkapontbeállítási megoldásainak, váltakozóáramú jellemzőinek az ismerete. Az alábbiakban segítséget kaphat a méretezési alapok elsajátításához, felfrissítéséhez. Tanulmányozza az alábbi szakmai információkat, s oldja meg az önellenőrző feladatokat!

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

BEVEZETŐ

A gyengeáramú analóg erősítők méretezéséhez elengedhetetlen az erősítők felépítésének, belső kapcsolatrendszerének a megismerése. Az elviekben elképzelt sztatikus üzemmód megismerése vezet a műszaki gyakorlat dinamikus üzemmódjának a tisztázásához. Egy erősítő fokozat működtetéséhez munkapont beállítás szükséges. Az elektronikai gyakorlatban a munkapont beállítást általában egy tápegységről biztosítják különböző értékű ellenállások beiktatásával. Az aktív elem/elemek paraméterei és a kapcsolódó ellenállások megszabják az erősítők váltakozóáramú jellemzőit. Az erősítő frekvencia-átvitelét csatoló-, hidegítő-, szerelési-, szórt- és réteg-kapacitások is befolyásolják. Az erősítők méretezése alapvetően munkapont beállítást és váltakozóáramú jellemzők meghatározását jelenti. A méretezést megkönnyíti az aktív elem, illetve a teljes erősítő négypólusos helyettesítő képének a felrajzolása. A méretezés végrehajtása után lehet az erősítő áramkört összeállítani és a gyakorlatban igen sokféle célra alkalmazni.

MUNKAANYAG

ERŐSÍTŐFOKOZATOK MUNKAPONT BEÁLLÍTÁSA

Az elektronika legalapvetőbb aktív elemei a bipoláris és a térvezérlésű tranzisztorok. A 3 kivezetéssel rendelkező eszközöket az erősítő alapkapcsolásokban az egyik elektróda bemenet – kimenet közötti közösítésével négypólusként kezeljük. A tranzisztorok felépítésének, működésének, tulajdonságainak és jelleggörbéinek ismeretében kimondható, hogy ezek az aktív alapelemek áramkörökben erősítőelemként és kapcsolóelemként egyaránt alkalmazhatók. Az aktív eszközök működtetésének, vezérlésének előfeltétele az egyenáramú feltételek biztosítása, azaz a munkapont beállítása.

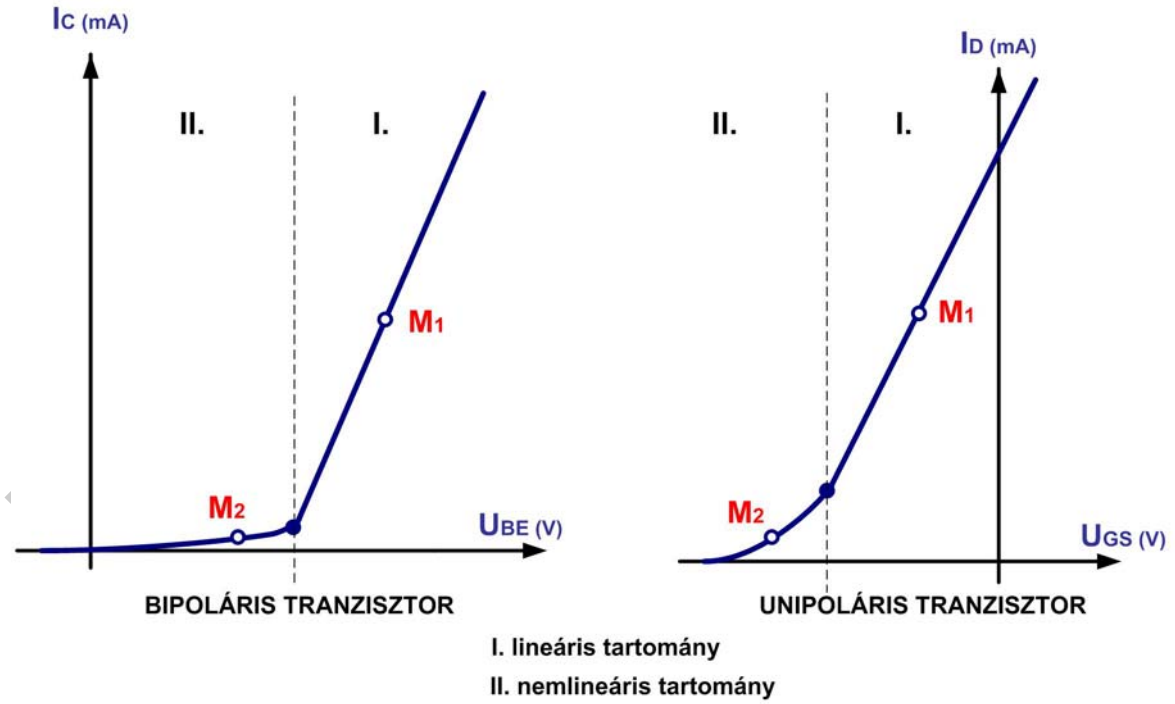
Munkapont: az eszköz egyenáramú üzemi körülményeit biztosító, összetartozó egyenáram–egyenfeszültség értékek. Grafikusan: a jelleggörbéken összetartozó egyenáram–egyenfeszültség értékpár által meghatározott pont.

Munkapont beállítás: a működtetés, vezérlés alapfeltételeként az aktív eszköz bemeneti és kimeneti kapcsaira megfelelő egyenfeszültségek biztosítása.

Vezérlés: az egyenfeszültségekkel beállított munkapontú aktív elem bemenetére működtető váltakozó jel kapcsolása. Vezérlés hatására a munkapont mozgást végez a jelleggörbén.

Az 1. ábrán a tranzisztorok átviteli karakterisztikáin különböző munkapont beállítások tanulmányozhatók.

ANYAG



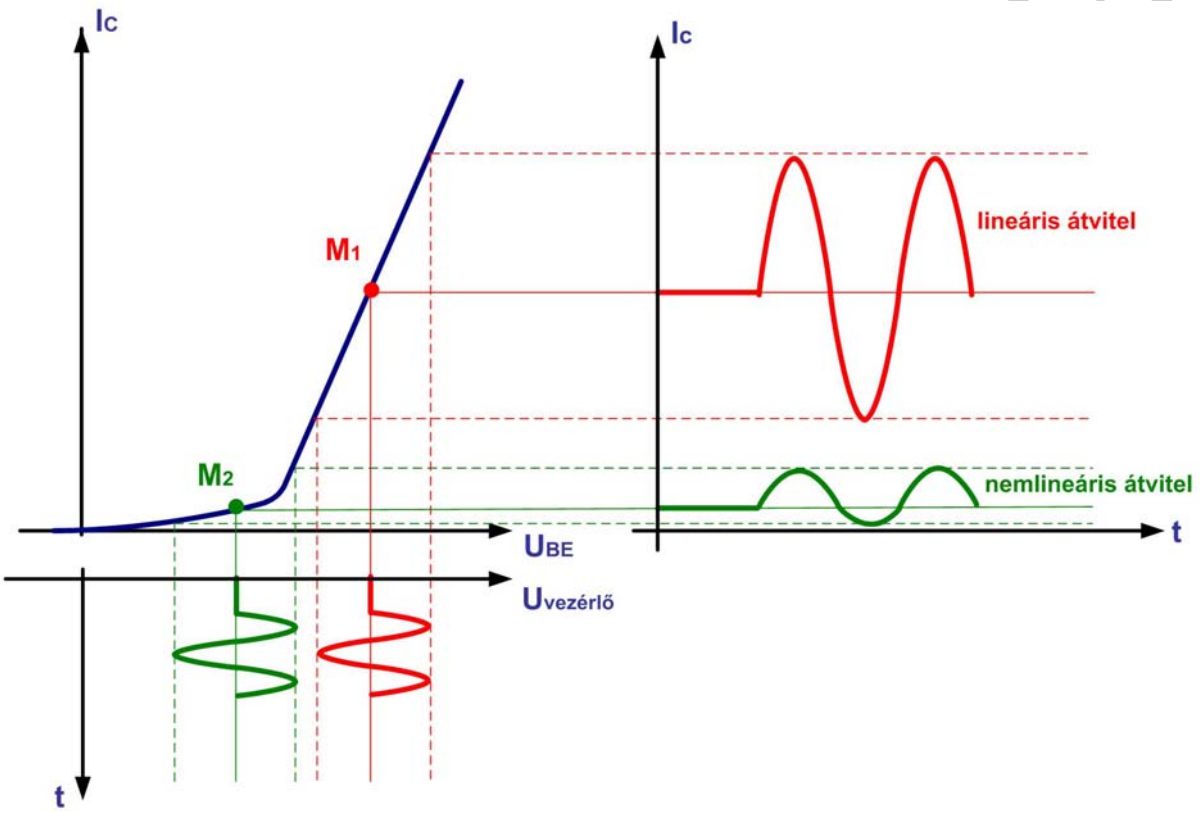
1. ábra. Működési tartományok és munkapontok a tranzisztorok transzfer karakterisztikáin

A bipoláris és az unipoláris tranzisztor transzfer jelleggörbéje egyaránt két tartományra bontható:

Lineáris tartomány (I.) → az aktív elem árama egyenesen arányos a vezérlő feszültség időbeni változásával. Az **M_1** munkapont környezetében az aktív elem lineárisan működik. Ebben a tartományban az aktív elem alakhű erősítésre alkalmazható.

Nemlineáris tartomány (II.) → az aktív elem árama nem egyenesen arányos a vezérlő feszültség időbeni változásával. Az **M_2** munkapont környezetében az aktív elem nemlineárisan működik. Az ilyen elhelyezésű munkapontot leginkább kapcsolóeszközöknél használják ki.

A 2. ábra bemutatja mindkét munkapont beállításnál egy bipoláris tranzisztor jelátvitelét.



2. ábra. Bipoláris tranzisztor vezérlése lineáris és nemlineáris üzemmódban

Látható, hogy az **M_1** munkapont körüli szakaszon vezérelt erősítő lineárisan viszi át a jelet. Az **M_2** munkapont alkalmazásánál a kimeneti jel eltorzul, a jelátvitel nemlineáris.

1. Sztatikus üzemmód

Sztatikus üzemmódban a bemeneti vezérlés hatására csak az aktív eszköz kimeneti árama változik, a kimeneti feszültsége állandó marad. Ilyenkor az aktív elem kimeneti körében rövidzár van. Négy féle munkapont beállítás lehetséges, attól függően, hogy a munkapontot az aktív elem átviteli karakterisztikájának melyik részére állítjuk be:

"A" osztályú beállítás (**M_A**): munkapont elhelyezés a lineáris szakaszon, s vezérléskor a munkapont végig a lineáris szakaszon mozog. Az aktív elem a vezérlő jel mindkét félperiódusában lineárisan működik.

"B" osztályú beállítás (**M_B**): munkapont elhelyezés a lezárási pontban, s vezérléskor a munkapont a jelleggörbe mindkét tartományába átkerül. Ilyenkor az aktív elem csak a vezérlő jel egyik félperiódusában működik erősítő elemként.

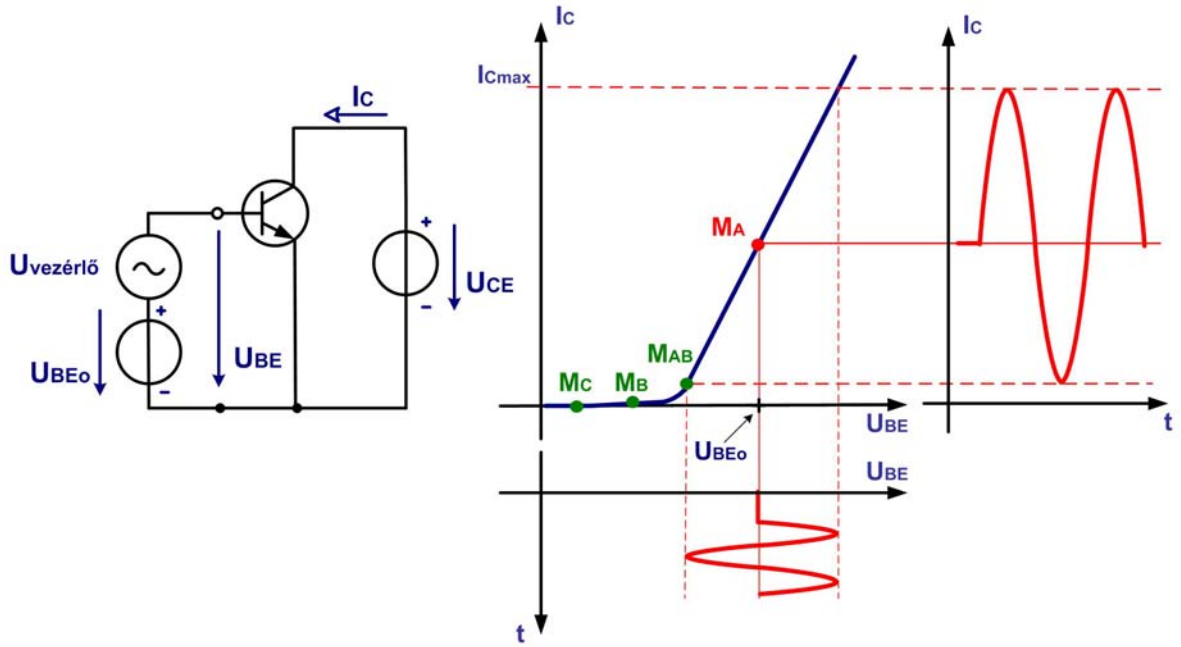
"AB" osztályú beállítás (**M_{AB}**): munkapont elhelyezés az **M_A** és **M_B** közötti tartományban. Vezérléskor fél periódusidőnél hosszabb ideig folyik áram az aktív elemen.

"C" osztályú beállítás (**M_C**): munkapont elhelyezés a karakterisztika zárási tartományában. Vezérléskor fél periódusidőnél rövidebb ideig folyik áram az aktív elemen.

A 3. ábrán sztatikus üzemmódban látható egy bipoláris tranzisztor vezérléséhez összeállított áramköri megoldás, valamint a jellegzetes munkapont elhelyezések.

FONTOS! A régebbi szabványok a tranzisztoroknál a körbe foglalt jelölést alkalmazták, de az MSZ EN 60617-x szabványnak a kör nélküli jelölések felelnek meg. A bipoláris és az unipoláris tranzisztorokat tartalmazó áramkörök kezelésénél ez a tananyagelem az aktív áramköri elem körbefoglalását alkalmazza.

ANYAG



3. ábra. Bipoláris tranzisztor vezérlése sztatikus üzemmódban

A fenti áramkörben a munkapont beállításához meghatározott egyenfeszültségeket (**U_{BEo}**, **U_{CE}**) kell alkalmazni az aktív elem bemeneti és kimeneti körében. Az egyenfeszültségek szabják meg, hogy a tranzisztor milyen munkapontba kerül. Az **$U_{vezérlő}$** jelet az **U_{BEo}** munkaponti egyenfeszültségre kell ráültetni (szuperponálni). Az összetett bemeneti jel:

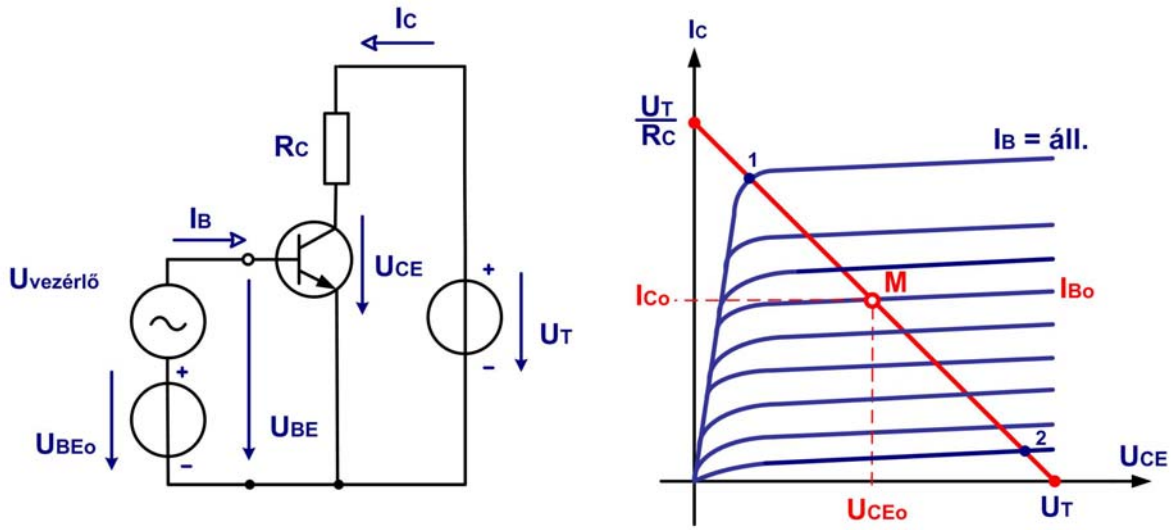
$U_{BE} = U_{BEo} + U_{vezérlő}$

A legjobb kivezérelhetőség úgy érhető el, ha "A" osztályú munkapont beállítást alkalmazunk, s az M_A munkapontot a jelleggörbe lineáris tartományának közepére választjuk. Ekkor is határt szab a maximálisan megengedett kollektor áram (I_{Cmax}).

2. Dinamikus üzemmód

Dinamikus üzemmódban a bemeneti vezérlés hatására az aktív eszköz kimeneti feszültsége követi a bemeneti jel változását. Ilyenkor az aktív elem kimeneti körében egy munkaellenállás található.

A 4. ábrán egy bipoláris tranzisztor dinamikus vezérléséhez összeállított áramkör elvi kapcsolása és a kimeneti karakterisztika munkaegyenese tanulmányozható.



4. ábra. Bipoláris tranzisztor vezérlése dinamikus üzemmódban

Munkaegyenes: az aktív elem kimeneti karakterisztikáján a kimeneti körben mérhető feszültség és a kimeneti áram közötti lineáris kapcsolat grafikus megjelenítését szimbolizáló egyenes. Bipoláris tranzisztornál a kiinduló egyenlet:

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

A munkaegyenes meredekségét kizárólag a kimeneti körben elhelyezett ellenállás vagy ellenállások értéke befolyásolja.

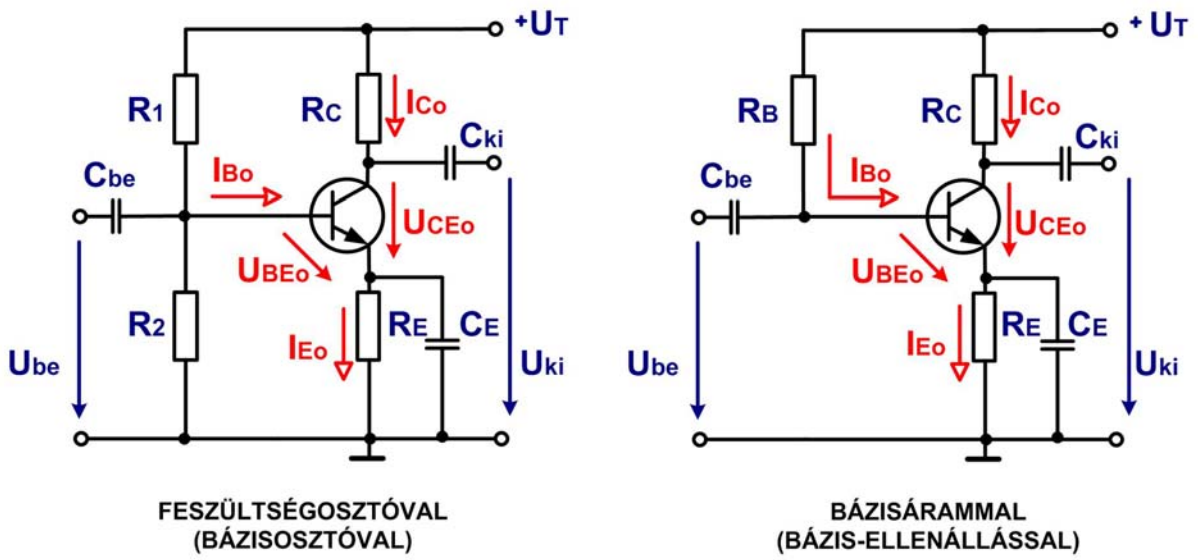
A munkaegyenesen bejelölt **1**-es és **2**-es pontok között található a tranzisztor normál működési tartománya.

Munkaellenállás: dinamikus üzemmódban az aktív elem kimeneti körében elhelyezett ellenállás vagy ellenállások, melynek hatására vezérléskor a kimeneti feszültség változik.

Munkapontbeállítás: a műszaki gyakorlatban az erősítőfokozatok üzemi működésének feltételeként az aktív elem bemeneti és kimeneti kapcsaira előírt értékű egyenfeszültségek beállítása.

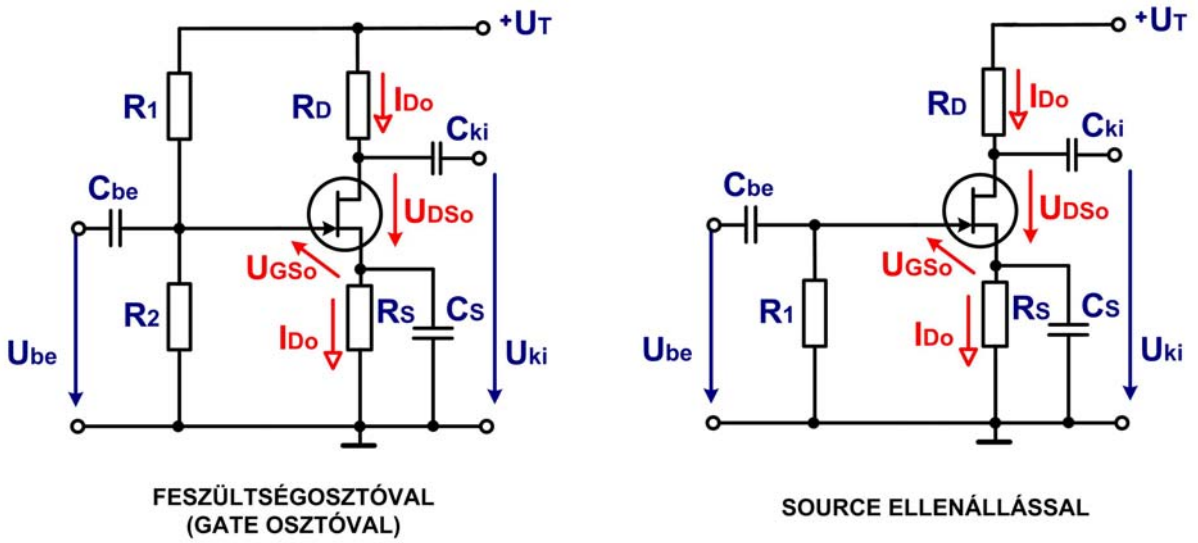
Optimális munkapontbeállítás: egyetlen tápegységgel és különböző helyekre kapcsolt ellenállásokkal egyenfeszültségek biztosítása. Természetesen az ellenállások az erősítők jellemzőit is befolyásolják.

Az 5. és 6. ábrán egy NPN típusú bipoláris tranzisztor és egy N csatornás jFET tranzisztornál alkalmazott munkapontbeállítási megoldásokat láthatunk.



5. ábra. Bipoláris tranzisztor munkapontjának beállítása

A bipoláris tranzisztoros kapcsolási rajzokon a munkaponti adatok a következők: U_{BEo}, U_{CEo}, I_{Bo}, I_{Co}, I_{Eo}. A munkaponti adatok közül az U_{BEo} értéke germánium alapanyag esetén 0,2–0,3V, szilícium tranzisztoroknál 0,6–0,7 V.



6. ábra. Térvezérlésű tranzisztor munkapontjának beállítása

A térvezérlésű tranzisztoros kapcsolási rajzokon a munkaponti adatok a következők: U_{GSo}, U_{DSo}, I_{Do}.

A P csatornás bipoláris tranzisztornál és a MOSFET típusú tranzisztoroknál a munkapontbeállítás hasonló elveken alapszik.

A munkapont-beállító ellenállások méretezése a munkaponti adatok ismeretében az Ohm- és Kirchhoff törvények segítségével történik. Nézzünk néhány egyszerű méretezési mintapéldát!

1. mintapélda

Méretezzük az 5. ábrán látható, bázis-ellenállásos, közös emitteres erősítő munkapont-beállító elemeit (R_C, R_E, R_B)!

Munkaponti adatok:

U_T = 15 V
U_{BE0} = 0,6 V
I_{C0} = 6 mA
I_{B0} = 50 µA
U_{CE0} = 5,2 V
U_{RE} = 2 V

Megoldás:

MUNKAAN

A kapcsolási rajz segítségével, az Ohm- és a Kirchhoff-törvények alkalmazásával felírjuk a meghatározandó ellenállásokon eső egyenfeszültséget és elosztjuk az ellenállásokon átfolyó egyenárammal.

$$R_C = \frac{U_T - U_{CEO} - U_{RE}}{I_{C0}} = \frac{15\,V - 5{,}2\,V - 2\,V}{6\,mA} = \underline{1{,}3\ \mathrm{k\Omega}}$$

$$R_B = \frac{U_T - U_{BE0} - U_{RE}}{I_{B0}} = \frac{15\ \mathrm{V} - 0{,}6\ \mathrm{V} - 2\ \mathrm{V}}{50\ \mu A} = \underline{250\ \mathrm{k\Omega}}$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_{C0} + I_{B0}} = \frac{2\ \mathrm{V}}{6\,mA + 50\ \mu A} = \underline{330\ \Omega}$$

(Amennyiben a kiszámított ellenállás értékekhez a műszaki gyakorlatban nem tartoznak ellenállások, akkor az elméleti eredményekhez legközelebb eső szabványos értékű ellenállásokat kell választani.)

2. mintafeladat

Méretezzük a 6. ábrán látható, source-ellenállásos, source kapcsolású jFET-es erősítő munkapont-beállító elemeit (**R_S**, **R_D**)!

Munkaponti adatok:

U_T = 15 V
I_{D0} = 1 mA
U_{GS0} = -2,5 V
U_{DS0} = 6,5 V
A kapcsolásban feltüntetett **R_1** ellenállás a munkapont beállításban nem játszik szerepet.

Megoldás:

A kapcsolási rajz segítségével itt is az Ohm- és a Kirchhoff-törvények alkalmazása történik.

$$R_S = \frac{|U_{GS0}|}{I_{D0}} = \frac{2{,}5\ \mathrm{V}}{1\ \mathrm{mA}} = \underline{2{,}5\ \mathrm{k\Omega}}$$

Magyarázat: vezérlés nélkül az **R_1** *ellenálláson nem folyik áram, így nem esik rajta feszültség, ezért az* **R_S** *ellenálláson a hurok törvény szerint 2,5 V feszültségnek kell esnie.*

$$R_D = \frac{U_{R_D}}{I_{D0}} = \frac{6V}{1mA} = \underline{6\,k\Omega}$$

Magyarázat: a kimeneti oldalra felírt huroktörvény segítségével kifejezhető az **R_D** *ellenállásra jutó egyenfeszültség:*

MUNKAANYAG

$$U_T = U_{R_D} + U_{R_S} + U_{DS0}$$
$$U_{R_D} = U_T - U_{DS0} - U_{R_S} = 15V - 6{,}5V - 2{,}5V = 6V$$

ERŐSÍTŐK AKTÍV ALAPELEMEINEK HELYETTESÍTŐ KÉPEI

Az erősítők aktív diszkrét elemeinek tekintjük a bipoláris és az unipoláris tranzisztorokat. Mindkét aktív elem 3 kivezetéssel rendelkezik, de erősítő alapkapcsolásokban az egyik elektródát a bemenet-kimenet szempontjából közösnek tekintjük, s így a tranzisztorok **aktív lineáris négypólusként** kezelhetők. Az ilyen típusú négypólusokhoz az elektronikai méretezés helyettesítő képeket rendel.

Helyettesítő kép: az elektronikai eszköz jellemzését segítő, elektronikai számítások szempontjából egyenértékű, hagyományos alapelemekből felépített áramkör. Az ilyen kapcsolás elektronikai szempontból ugyanúgy viselkedik, mint az eredeti elektronikai eszköz. Az erősítőelemek helyettesítő képe feszültség- és/vagy áramgenerátorokból, valamint passzív elemekből felépített lineáris négypólus. A helyettesítő képek alkalmazása szemléletessé és átláthatóbbá teszi az erősítők működését, méretezését.

Az aktív elemek négypólusos helyettesítő képeinél a hibrid (**h**), az inverz hibrid (**d**), vagy az admittancia (**y**) paramétereket alkalmazzák.

Hibrid (vegyes, h) paraméterű egyenletrendszer:

$$u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2$$
$$i_2 = -h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2$$

Inverz hibrid (fordított vegyes, d) paraméterű egyenletrendszer:

$$i_1 = d_{11} \cdot u_1 - d_{12} \cdot i_2$$
$$u_2 = d_{21} \cdot u_1 + d_{22} \cdot i_2$$

Admittancia (vezetőképesség, y) paraméteres egyenletrendszer:

$$i_1 = y_{11} \cdot u_1 - y_{12} \cdot u_2$$
$$i_2 = -y_{21} \cdot u_1 + y_{22} \cdot u_2$$

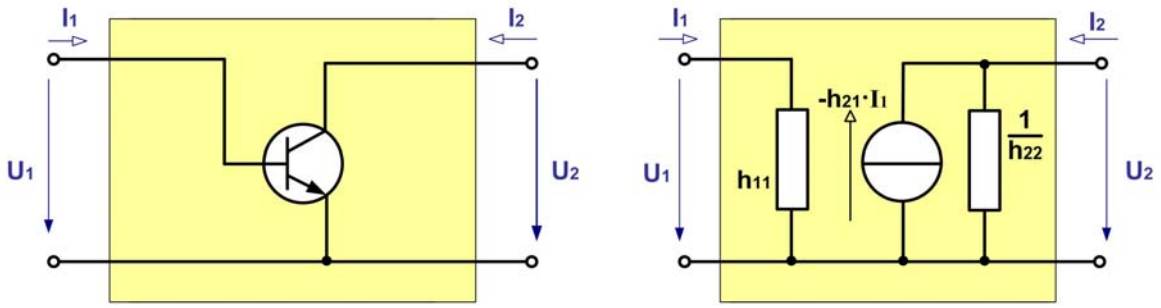
1. Bipoláris tranzisztorok helyettesítő képe

Kisfrekvenciás működtetésnél a bipoláris tranzisztorokhoz leggyakrabban a hibrid (**h**) paramétereket használják.

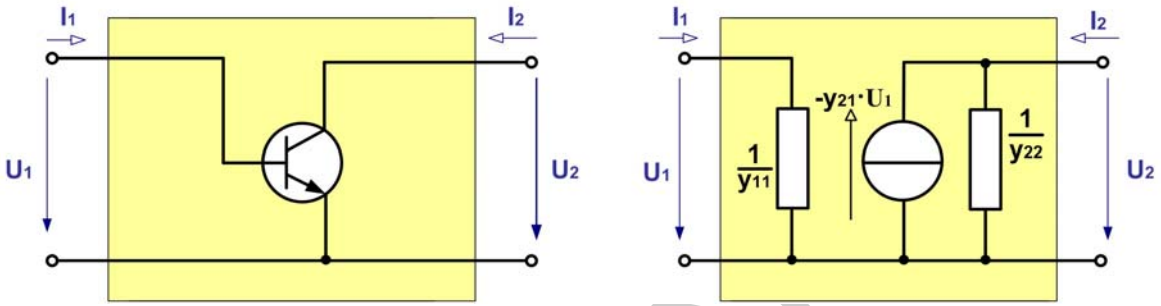
Nagyfrekvencián az admittancia (**y**) paramétereket alkalmazzák.

A 7. és 8. ábrán az NPN típusú, bipoláris tranzisztorok helyettesítő képei láthatók.

MUNKAANYAG



7. ábra. Bipoláris tranzisztor kisfrekvenciás, hibrid paraméteres helyettesítő képe



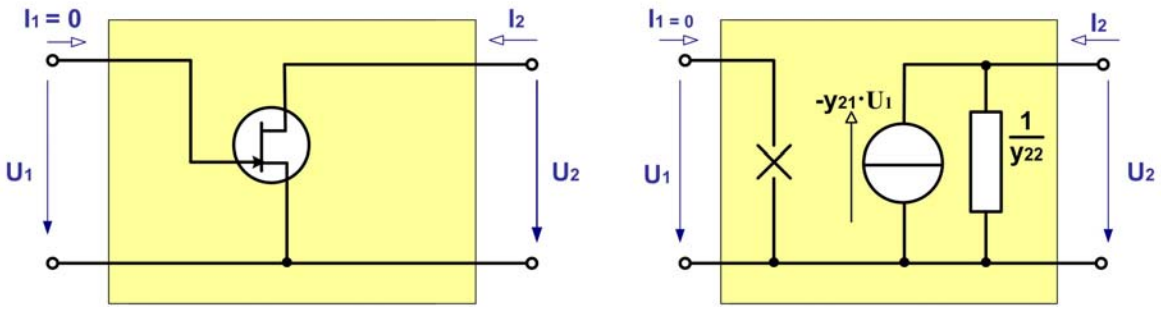
8. ábra. Bipoláris tranzisztor nagyfrekvenciás, admittancia paraméteres helyettesítő képe

A bipoláris tranzisztoroknál megfigyelhető, hogy 1 db áramgenerátorral és 2 db ellenállással megalkotható a helyettesítő kép. Természetesen a PNP tranzisztorokhoz, illetve azok közös kollektorú és közös bázisú alkalmazásaihoz hasonló elvű helyettesítő képek készíthetők.

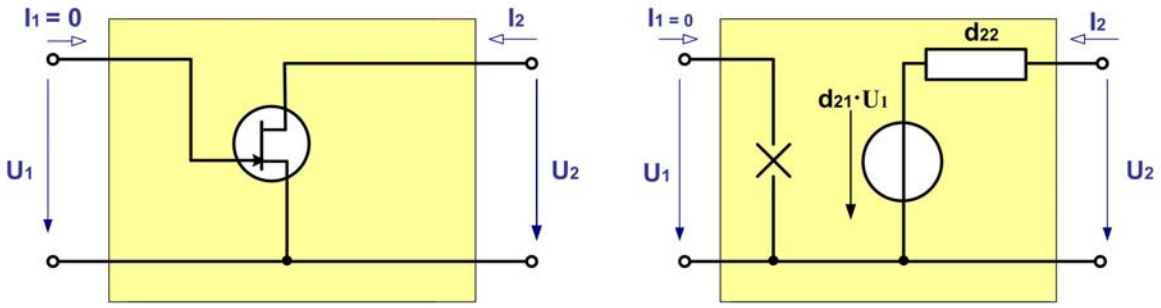
1. Unipoláris tranzisztorok helyettesítő képei

A **térvezérlésű tranzisztorokhoz** méréstechnikai szempontok szerint az admittancia (**y**), vagy az inverz hibrid (**d**) paramétereket alkalmazzák.

A 9. és 10. ábrán N csatornás, source kapcsolású jFET tranzisztorok helyettesítő képei tanulmányozhatók.



9. ábra. jFET tranzisztor admittancia paraméteres helyettesítő képe

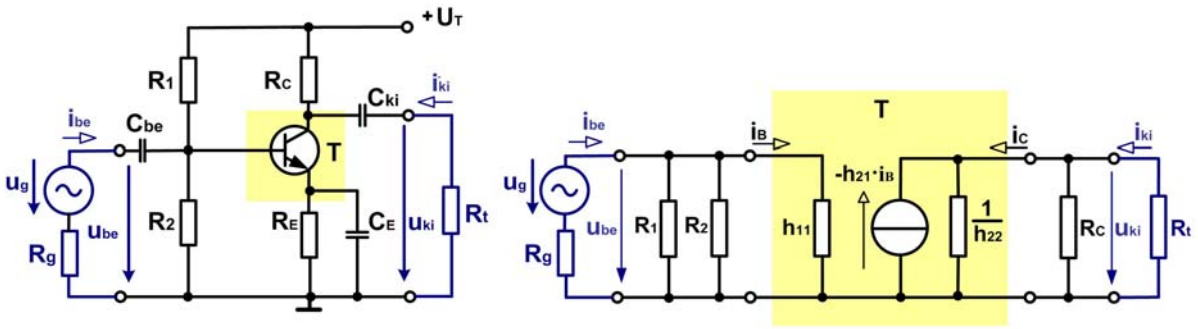


10. ábra. jFET tranzisztor inverz hibrid paraméteres helyettesítő képe

Az unipoláris tranzisztorok helyettesítő képein megfigyelhető, hogy a bemeneti áramuk elhanyagolható, így bemenetük szakadásnak tekinthető. A helyettesítő kép 1db feszültség- vagy áramgenerátorból, 1 db ellenállásból és egy db szakadás jelképből összerakható.

Természetesen a P csatornás jFET-ekhez vagy a MOSFET-ekhez, illetve azok drain és gate kapcsolásaihoz hasonló elvű helyettesítő képek készíthetők.

Az eddigiekben körbejártuk a bipoláris és az unipoláris tranzisztorok négypólusos helyettesítő képeit. Az elsajátított ismeretek birtokában elkészíthető bármely erősítő alapkapcsolás váltakozóáramú helyettesítő képe. Gyakorlati példaként a 11. ábrán vizsgáljuk meg egy közös emitteres bázisosztós alapkapcsolás hibrid paraméteres helyettesítő képét!



11. ábra. Közös emitteres alapkapcsolás és hibrid paraméteres helyettesítő képe

A 11. ábra NPN tranzisztoros, emitter kapcsolású erősítőjét feszültséggenerátor (u_g, R_g) vezérli, s a kimenetét terhelő ellenállás (R_t) zárja. Az ábrán elkülönítve felismerhető a tranzisztor hibrid paraméteres helyettesítő képe. A bázisosztó (R_1, R_2) és a munkaellenállás (R_c) elhelyezkedését a helyettesítő képen magyarázza, hogy az U_T feszültségű tápegység váltakozó áram szempontjából rövidzárnak tekinthető. A kondenzátorok (C_{be}, C_{ki}, C_E) váltakozó áramon a helyettesítő képen szintén rövidzárként szerepelnek. Az emitter kondenzátor a helyettesítésnél az emitter ellenállát is rövidre zárja.

Természetesen hasonlóan helyettesíthető a többi bipoláris tranzisztoros alapkapcsolás, s ugyanilyen módszerrel megalkothatók a térvezérlésű tranzisztoros alapkapcsolások helyettesítő képei.

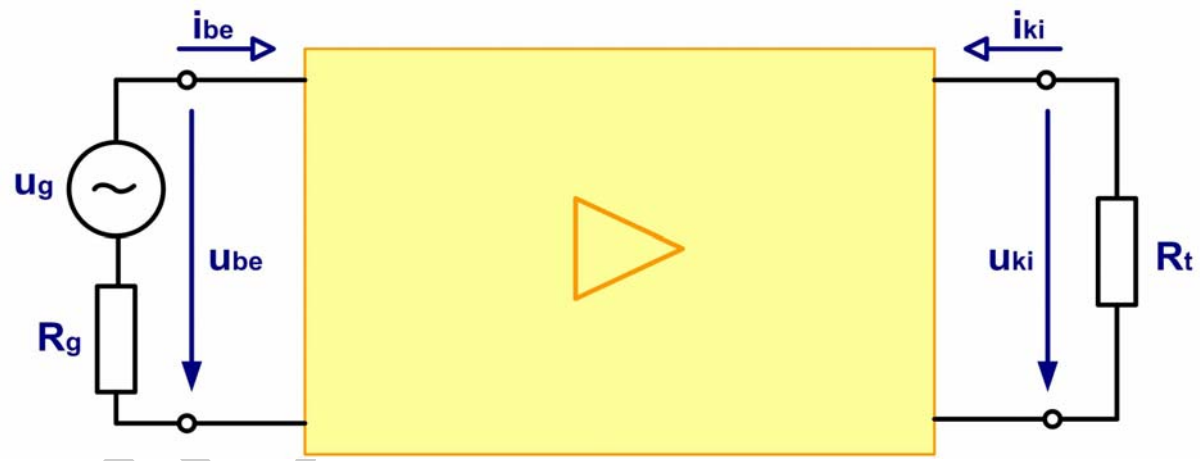
Az erősítők váltakozó áramú jellemzőit a kapcsolási rajzuk és helyettesítő képeik segítségével lehet legszemléletesebben értelmezni.

ERŐSÍTŐK JELLEMZŐI

Erősítő: elektronikus áramkör, aktív négypólus, amely a bemenetére vezetett elektromos jelből a kimenetén megegyező hullámformájú, de tetszőlegesen nagyobb értékű elektromos jelet szolgáltat. A kapcsoláshoz alkalmazott tápegység energiája fedezi a nagyobb értékű jel teljesítménynövekedését.

Erősítés: vezérelt teljesítmény-átalakítás.

A 12. ábrán egy erősítő általános, tömbvázlatos jelölése látható. Az erősítő bemenetén egy u_g feszültségű, Rg belső ellenállású generátor biztosítja az u_{be} bemeneti feszültséget és i_{be} bemeneti áramot. A kimeneten R_t terhelő ellenálláson jön létre az u_{ki} kimeneti feszültség és az i_{ki} kimeneti áram.



12. ábra. Erősítő tömbvázlatos jelölése

A tömbvázlatos jelölésen feltüntetett háromszög jelképezi az erősítés irányát. Az erősítések megvalósításához aktív elem(ek) (bipoláris és/vagy unipoláris tranzisztorok) szükségesek. Az erősítő kapcsolásokban a munkapont beállítására ellenállások kellenek, melyek befolyásolják az erősítő jellemzőit is. A gyakorlati áramkörökben a megfelelő működést kondenzátorok is biztosítják.

Az erősítőket különböző szempontok szerint osztályozhatjuk. A különböző erősítőfajtákat, s azok rövid ismertetőjét – a teljesség igénye nélkül – a 13. ábra tartalmazza.

ERŐSÍTŐ FAJTÁK	AZ ERŐSÍTŐ ÁLTALÁNOS ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE
Váltakozó feszültségű erősítő	Az erősítendő bemeneti jel váltakozó feszültség. Erősítése frekvenciafüggő.
Egyenfeszültségű erősítő	Az erősítendő bemeneti jel egyenfeszültség. Felhasználható igen kis frekvenciájú, lassan változó jelek erősítésére is.
Bipoláris tranzisztoros erősítő	Az erősítő aktív elemként kizárólag bipoláris tranzisztor(ok)at tartalmaz.
Unipoláris tranzisztoros erősítő	Az erősítő aktív elemként kizárólag térvezérlésű tranzisztor(ok)at tartalmaz.
Szélessávú erősítő	Nagy sávszélességgel rendelkező erősítő, amelynél a széles frekvenciatartományt negatív vissza-csatolással vagy kompenzálással biztosítják.
Hangolt (szelektív) erősítő	Egy kiválasztott, keskeny frekvenciatartományban erősítik a jelet. A frekvenciasávot párhuzamos rezgőkörrel vagy sávszűrővel biztosítják.
Többfokozatú erősítő	Erősítőfokozatok láncba kapcsolása galvanikus-, kapacitív-, vagy RC csatolással. A nagy erősítés érdekében előerősítőt, főerősítőt, teljesítményerősítőt tartalmaz.
Visszacsatolt erősítő	Az erősítő kimenetéről a felerősített jel egy részét a bemeneti jel fázisával ellentétesen visszavezetik a bemenetre. A visszacsatolással befolyásolhatók az erősítő jellemzői.
Kisjelű erősítő	Az erősítőben fellépő váltakozó áramok és feszültségek értékei sokkal kisebb nagyságrendűek, mint az egyenáramok és egyenfeszültségek.
Nagyjelű erősítő	Az erősítőben fellépő váltakozó- és egyen mennyiségek (feszültségek, áramok) értékei azonos nagyságrendűek.
Nagyjelű feszültségerősítő	Jelentős kimeneti teljesítmény nélkül, nagy kimeneti feszültséget biztosító erősítő.
Nagyjelű teljesítményerősítő	Jelentős kimeneti teljesítményt szolgáltató erősítő,
Differenciál erősítő	Két szimmetrikus erősítőfokozatból álló egyenáramú erősítő, a műveleti erősítő bemeneti fokozata.
Műveleti erősítő	Többfokozatú, integrált, igen nagy erősítésű, szinte ideális feszültség erősítő, mellyel visszacsatolással igen sok féle matematikai és elektronikai művelet megvalósítható.

13. ábra. Az erősítők csoportosítása

Az erősítők legfontosabb jellemzői az alábbi csoportokba sorolhatók:

- Erősítések
- Bemeneti és kimeneti ellenállás
- Egyéb erősítő jellemzők

1. Erősítések

Az erősítő kapcsolásoknál értelmezett erősítések: feszültségerősítés, áramerősítés, teljesítményerősítés. Az erősítések kifejezhetők viszonyszámban és logaritmikusan, decibel-ben is. Az alábbi összefüggéseket elsősorban a méréses meghatározásokhoz alkalmazzák.

Feszültségerősítés: nagysága a kimeneti és a bemeneti feszültség csúcsértékének vagy effektív értékének hányadosa.

$$A_u = \frac{U_{ki\ csúcs}}{U_{be\ csúcs}} = \frac{U_{ki\ eff}}{U_{be\ eff}}$$

$$a_u = 20 \cdot \lg A_u \ [dB]$$

Áramerősítés: nagysága a kimeneti és a bemeneti áram csúcsértékének vagy effektív értékének hányadosa.

MUNKAA

$$A_i = \frac{I_{ki\ csúcs}}{I_{be\ csúcs}} = \frac{I_{ki\ eff}}{I_{be\ eff}}$$

$$a_i = 20 \cdot \lg A_i \ [dB]$$

Teljesítményerősítés: nagysága a kimeneti és a bemeneti teljesítmény csúcsértékének vagy effektív értékének hányadosa.

$$A_p = \frac{P_{ki\ csúcs}}{P_{be\ csúcs}} = \frac{P_{ki\ eff}}{P_{be\ eff}} = A_u \cdot A_i$$

$$a_p = 10 \cdot \lg A_p \ [dB]$$

Szinuszos vezérlés esetén a csúcsérték és az effektív érték közötti kapcsolat:

$$effektív\ érték = \frac{csúcsérték}{\sqrt{2}}$$

Fontos: az erősítések a valóságban precízen csak komplex számokkal értelmezhetők, mert bemeneti és kimeneti jelei ritkán azonos fázisúak. A fenti összefüggések a fázisszöget nem veszik figyelembe.

2. Bemeneti és kimeneti ellenállás

Az erősítők bemeneti és kimeneti ellenállásait az Ohm törvény alkalmazásával írhatjuk fel. Az összefüggésekben a csúcsértékekkel vagy az effektív értékekkel számolunk. Az alábbi képleteket elsősorban a méréses meghatározásnál alkalmazzák.

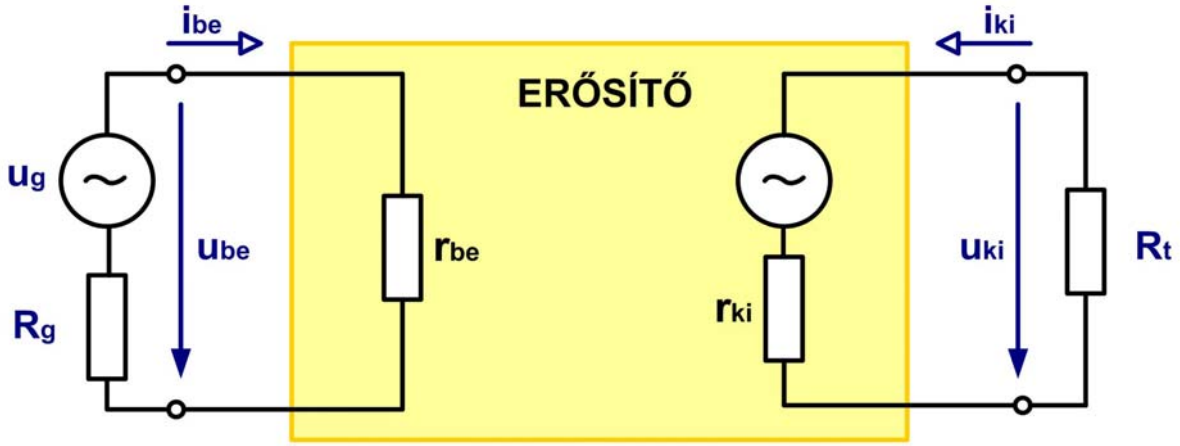
Bemeneti ellenállás: nagyságát az erősítő bemeneti feszültségének (U_{be}) és bemeneti áramának (I_{be}) hányadosa határozza meg.

$$r_{be} = \frac{U_{be\ csúcs}}{I_{be\ csúcs}} = \frac{U_{be\ eff}}{I_{be\ eff}}$$

Kimeneti ellenállás: nagyságát az erősítő terhelés nélküli, üresjárati kimeneti feszültségének ($U_{kiü}$) és kimeneti rövidzárási áramának (I_{kir}) hányadosa határozza meg.

$$r_{ki} = \frac{U_{ki\ ü\ csúcs}}{I_{ki\ r\ csúcs}} = \frac{U_{ki\ ü\ eff}}{I_{ki\ r\ eff}}$$

MUNKAANYAG



14. ábra. Az erősítő felépítése a bemenet és a kimenet szempontjából

A 14. ábrán megfigyelhető, hogy az erősítő bemeneti részét a bemeneti ellenállás képviseli, amely terheli a vezérlő generátort. Az erősítő kimeneti oldala generátorként fogható fel, amelyet a terhelő ellenállás terhel.

Elméleti méretezéseknél a pontos összefüggéseket az erősítő teljes helyettesítő képe alapján lehet felírni.

3. Egyéb erősítő jellemzők

Az erősítők gyakorlati alkalmazása egyéb jellemzők ismeretét is megköveteli. Ezek közül a legfontosabbak a következők: frekvenciamenet, határfrekvenciák, sávszélesség, zajtényező, torzítási tényezők.

Frekvenciamenet: az erősítő frekvencia-átvitelére jellemző diagram, amely a feszültségerősítés frekvenciafüggését szemlélteti.

Határfrekvenciák (f_a, f_f): azon két frekvencia, amelyeknél az erősítő feszültségerősítése a közepes frekvencián (f_k) mért erősítés 70,7 %-a, illetve az erősítés 3 dB-lel kisebb, mint a közepes frekvencián mért erősítés dB-ben. A két határfrekvencia: f_a alsó-, f_f felső határfrekvencia. A műszaki gyakorlatban az erősítők alsó határfrekvenciáját leginkább a "látható" csatoló kondenzátorok kapacitásai (C_{be}, C_{ki}) okozzák. A 3 dB-es erősítéscsökkenésből matematikailag az alábbi összefüggések vezethetők le:

$$X_{C_{be}} = r_{be} + R_g \qquad \boxed{C_{be} = \frac{1}{2\pi f_a \left(r_{be} + R_g\right)}}$$

$$X_{C_{ki}} = r_{ki} + R_t \qquad \boxed{C_{ki} = \frac{1}{2\pi f_a \left(r_{ki} + R_t\right)}}$$

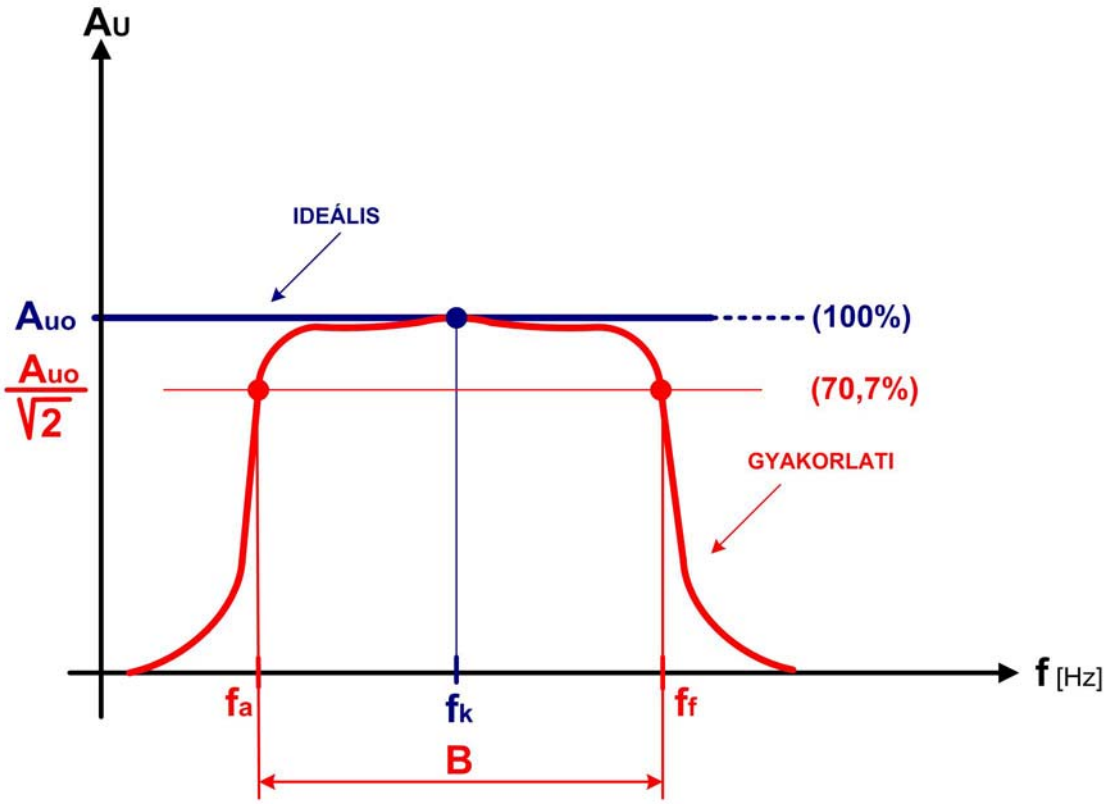
A felső határfrekvenciát döntően a "láthatatlan" szórt-, szerelési- és rétegkapacitások okozzák.

MUNKAANYAG

Sávszélesség (B): az alsó- és a felső határfrekvenciák közötti frekvenciatartomány.

$$B = f_f - f_a$$

A 15. ábra szemlélteti egy szélessávú erősítő frekvenciamenetét, sávszélességét, alsó- és felső határfrekvenciáját.



15. ábra. Egy szélessávú erősítő frekvenciamenete

A 15. ábrán megfigyelhető egy gyakorlati szélessávú erősítő frekvenciafüggése, határfrekvenciái, közepes frekvenciája és sávszélessége.

A műszaki gyakorlatban alkalmazott erősítőkkel szemben elvárás, hogy a működési tartományban a bemeneti és kimeneti jel alakja ne térjen el egymástól. A valóságban fellépő zajok, zavarok torzításokat okoznak a felerősített jel alakjában.

A továbbiakban megvizsgáljuk a zajok és torzítások erősítőkre gyakorolt hatásait, a zajok és torzítások legfontosabb jellemzőit.

Jel: a hasznos információt tartalmazó feszültség vagy áram meghatározott időfüggvény szerinti változása.

Zaj: zavaró jelek összessége, melynek időfüggvénye szabálytalan, s hasznos információt nem tartalmaz.

Az erősítőkben keletkező zajokat döntő mértékben a töltéshordozók rendezetlen mozgása okozza. Az ilyen zajok fellépnek az erősítő ohmos jellegű ellenállásaiban és aktív eszközeiben egyaránt. Fajtái:

Termikus zaj: a töltéshordozók rendezetlen hőmozgása miatt fellépő zaj. Értékét átlagos zajteljesítményként, zajfeszültségként vagy zajáramként adják meg.

Sörétzaj: félvezetőkben a töltéshordozók PN átmeneten történő áthaladásánál keletkezik. Kisfrekvencián főleg a Zener diódáknál jelentős.

Villódzási zaj (flicker-zaj): aktív és passzív áramköri elemeken a gyártástechnológia következtében fellépő zaj. Kisfrekvencián leginkább a MOSFET-eknél veszélyes.

Jel/zaj viszony: a jelteljesítmény és a zajteljesítmény hányadosa dB-ben kifejezve. Az erősítő zajosságának egyik számszerű jellemzője. (Angol rövidítéssel: SNR vagy S/N → Signal to Noise Ratio.)

$$\frac{P_{jel}}{P_{zaj}}^{[\mathrm{dB}]} = 10 \cdot \lg \frac{P_{jel}}{P_{zaj}} [\mathrm{dB}]$$

A képletben: P_{jel} → jelteljesítmény, P_{zaj} → zajteljesítmény

Zajtényező: az erősítő bemenetére és kimenetére vonatkoztatott jel/zaj viszonyok hányadosa dB-ben kifejezve.

$$F^{[\mathrm{dB}]} = 10 \cdot \lg \frac{\frac{P_{jel\,be}}{P_{zaj\,be}}}{\frac{P_{jel\,ki}}{P_{zaj\,ki}}} = 10 \cdot \lg \frac{1}{A_p} \cdot \frac{P_{zaj\,ki}}{P_{zaj\,be}} [\mathrm{dB}]$$

A képletben: A_P → az erősítő teljesítményerősítése

Zajszint: a hangosság érzékeléséhez tartozó jellemző, amely a mért zajteljesítmény és a hallásküszöb hangintenzitásához tartozó zajteljesítmény hányadosa dB-ben kifejezve.

$$d^{[\mathrm{dB}]} = 10 \cdot \lg \frac{P_{zaj}}{P_{zaj\,0}} [\mathrm{dB}]$$

A képletben viszonyítási alapként a P_{zaj0} → a hallásküszöb hangintenzitásához (1 kHz-nél 10-12 W/m²) tartozó zajteljesítmény szerepel.

Érdekesség: a zajszint emberi szervezetre gyakorolt hatása a hangosság függvényében a következő:

MUNKAANYAG

- *30 dB zajszint → pszichés,*
- *65 dB zajszint → vegetatív,*
- *90 dB zajszint → hallószervi,*
- *120 dB zajszint → fájdalomküszöb,*
- *120 –130 dB zajszint → maradandó halláskárosodás,*
- *160 dB zajszint → dobhártyarepedés,*
- *175 dB zajszint → halálos következményű.*

Torzítás: erősítőkben fellépő jelenség, melynek hatására a vezérlő analóg jel időfüggvényének tulajdonságai a kimenetre érve nem kívánt módon megváltoznak. Másként fogalmazva: a jel spektrumában található különböző frekvenciájú összetevők erősítéskor módosulnak. A torzulások mértékét a vezérlő analóg jel frekvenciája és amplitúdója befolyásolja.

Lineáris torzítások: az erősítő a különböző frekvenciájú jeleket nem egyforma mértékben erősíti (*frekvenciatorzítás*), illetve módosítja a jel komponenseinek egymáshoz viszonyított fázishelyzetét (*fázistorzítás*). A lineáris torzításokat az erősítő frekvenciafüggő lineáris karakterisztikájú elemei (L, C) okozzák.

Nemlineáris torzítások: az erősítő a különböző amplitúdójú jeleket nem egyforma mértékben erősíti. Az erősítő kimenetén nem kívánatos jelösszetevők jelennek meg. *Harmonikus torzítás:* a kimeneten megjelenő jelösszetevők frekvenciái a bemeneti jelösszetevők frekvenciájának (alapharmonikus) egész számú többszörösei (felharmonikusok). *Modulációs torzítás:* a kimeneten megjelenő jelösszetevők frekvenciái a bemeneti jelösszetevők frekvenciáinak összegei és különbségei. A nemlineáris torzításokat az erősítő nemlineáris karakterisztikájú elemei (félvezető eszközök) okozzák.

Harmonikus torzítási tényező: az összegzett felharmonikusok effektív értékének és a teljes jel effektív értékének az aránya % –ban kifejezve.

$$k_h = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots\ldots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \ldots\ldots + U_n^2}}$$

U_1→ az alapharmonikus jel feszültségének effektív értéke

U_2, U_3,…U_n → a felharmonikus jelek feszültségeinek effektív értéke

4. Erősítők méretezése

Az erősítő fokozatok méretezése a műszaki gyakorlatban leegyszerűsítve 3 fő lépésből áll. A méretezés lépései:

1. lépés: az áramkör felépítésének megtervezése, az áramkör megrajzolása

2. lépés: munkapont beállítás

MUNKAANYAG

3. lépés: váltakozó áramú erősítő paraméterek meghatározása

Az eddig tárgyaltak alapján tegyünk kísérletet egy kiválasztott erősítő alapkapcsolás méretezésére!

MÉRETEZÉSI FELADAT

Végezzük el a 16. ábrán látható source kapcsolású unipoláris tranzisztoros erősítő méretezését!

Munkaponti adatok:	$U_{GS0} = -2$ V	$U_{DS0} = 8$ V	$I_{D0} = 1{,}4$ mA
jFET paraméterek:	$y_{21} = 10$ mS	$y_{22} = 25$ µS	
Egyéb adatok:	$U_T = 24$ V	$R_G = 200$ kΩ	$R_t = 15$ kΩ
	$u_g = 25$ mV	$R_g = 25$ kΩ	

Feladatok:

a) Határozzuk meg R_S és R_D értékét!

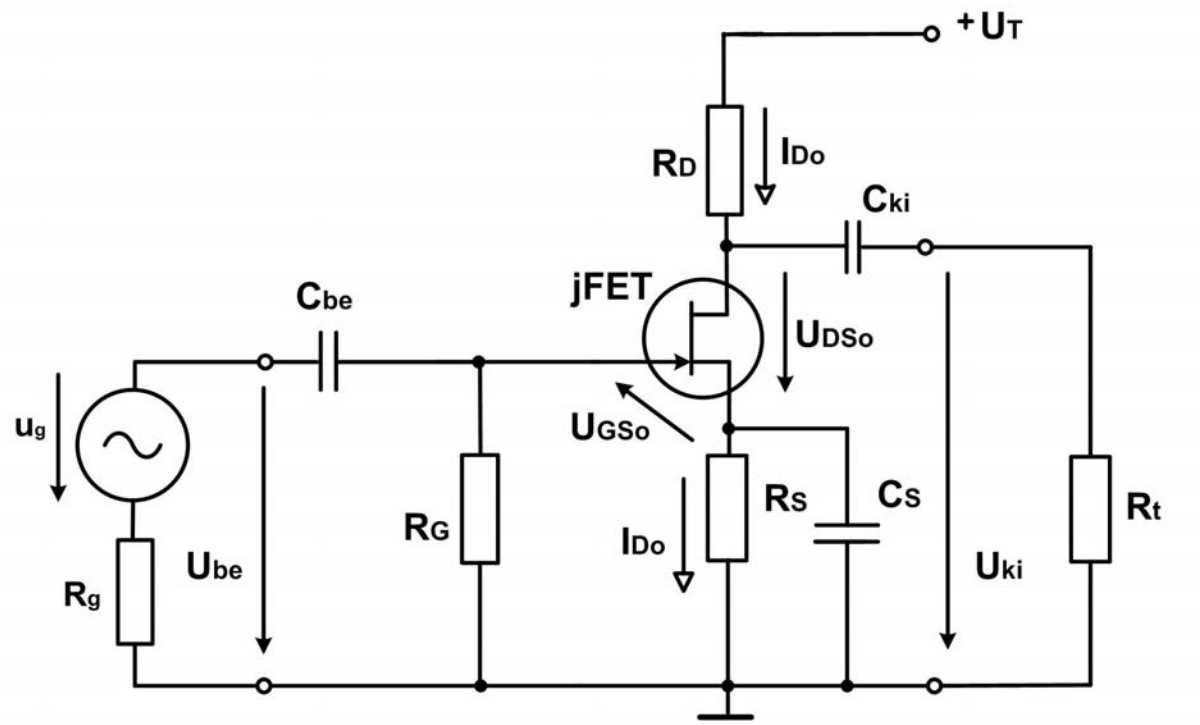
b) Határozzuk meg a fokozat bemeneti és kimeneti ellenállását!

c) Határozzuk meg a terhelt erősítő feszültségerősítését!

d) Határozzuk meg a terhelt erősítő kimeneti feszültségét!

e) Határozzuk meg C_{ki} értékét úgy, hogy a kapcsolás alsó határfrekvenciája $f_a = 15$ Hz legyen! (A többi kapacitás nem szól bele az átvitelbe.)

ANYAG



16. ábra. ***Source kapcsolású unipoláris tranzisztoros erősítő***

Megoldás:

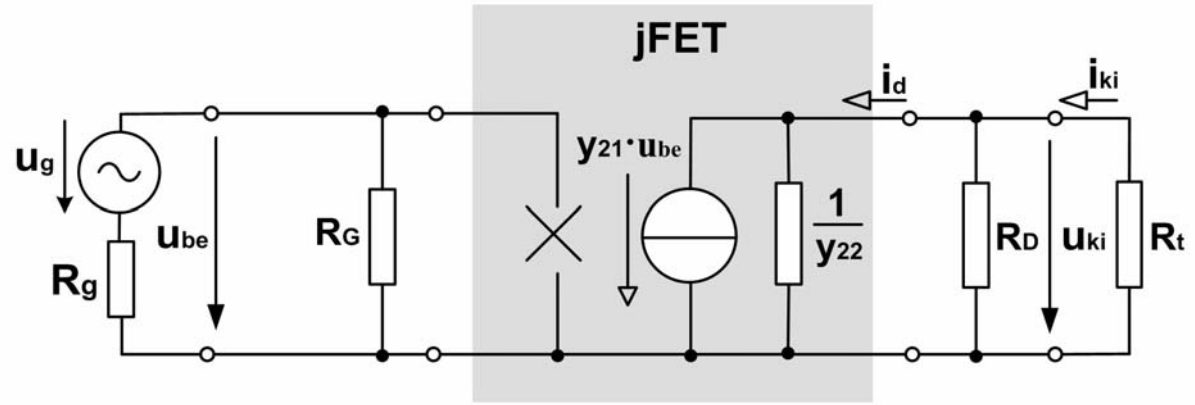
a) Az áramkörön bejelölt egyenfeszültségek és egyenáramok figyelembevételével az összefüggések felírásához az elektrotechnika Ohm- és Kirchhoff törvényeit alkalmazzuk. (A kapcsolás bemenetén az I_G gate áram elhanyagolható.)

$$|U_{GS0}| = U_{R_S}$$

$$R_S = \frac{|U_{GS0}|}{I_{D0}} = \frac{|-2\,\mathrm{V}|}{1{,}4\,\mathrm{mA}} = \underline{\underline{1{,}43\,k\Omega}}$$

$$R_D = \frac{U_T - U_{DS0} - U_{R_S}}{I_{D0}} = \frac{24\,\mathrm{V} - 8\,\mathrm{V} - 2V}{1{,}4\,\mathrm{mA}} = \underline{\underline{10\,k\Omega}}$$

b) Az erősítő bemeneti és kimeneti ellenállását a kapcsolás **y** paraméteres helyettesítő képéből lehet legegyszerűbben meghatározni. A helyettesítő kép a 17. ábrán látható.



17. ábra. A source kapcsolású erősítő y paraméteres helyettesítő képe

Ha a bemenet felől, illetve a kimenet felől betekintünk a helyettesítő négypólusba, könnyedén felírhatjuk a bemeneti és a kimeneti ellenállás összefüggését, majd behelyettesítés után meghatározhatjuk az értékeket.

$$r_{be} = R_G = \underline{\underline{200\,k\Omega}}$$

$$r_{ki} = R_D \times \frac{1}{y_{22}} = 10\,k\Omega \times \frac{1}{25\,\mu S} = \underline{\underline{8\,k\Omega}}$$

c) A feszültségerősítés meghatározásához egy rövid levezetés után eljuthatunk.

$$A_{ut} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} \qquad u_{ki} = -y_{21s} \cdot u_{be} \cdot \left(\frac{1}{y_{22s}} \times R_D \times R_t \right)$$

$$A_{ut} = -y_{21} \cdot (R_{ki} \times R_t) = -10\,mS \cdot (8\,k\Omega \times 15\,k\Omega) = \underline{\underline{-52{,}1}}$$

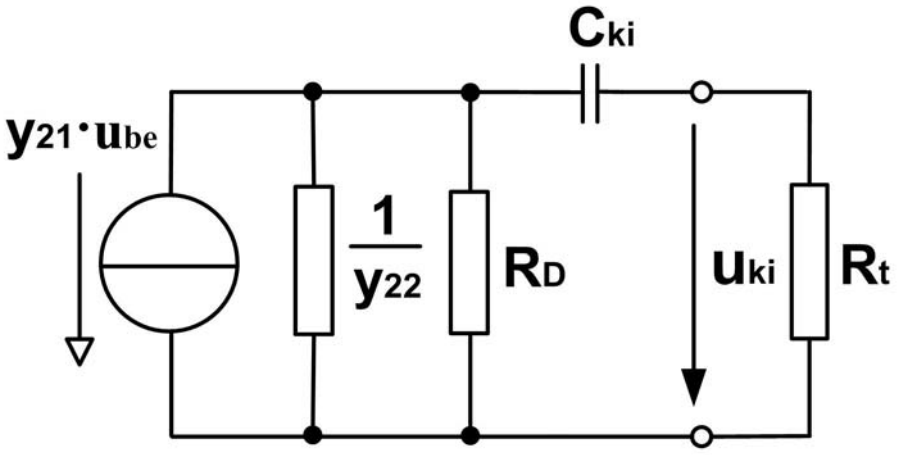
A végeredményből látható, hogy az erősítő fázist fordít.

d) A kimeneti feszültség meghatározásához először fel kell írni a vezérlő generátorból az erősítő bemenetére jutó váltakozó feszültséget, majd a feszültségerősítés segítségével kimeneti feszültséggé alakítva határozhatjuk meg a pontos értéket.

$$u_{be} = u_g \cdot \frac{R_G}{R_G + R_g} = 25\text{ mV} \cdot \frac{200\text{ k}\Omega}{200\text{ k}\Omega + 25\text{ k}\Omega} = \underline{\underline{22{,}22\,mV}}$$

$$u_{kit} = A_{ut} \cdot u_{be} = -52{,}1 \cdot 22{,}22\,mV = \underline{\underline{-1{,}16\,V}}$$

e) A megadott paraméterek szerint az erősítő alsó határfrekvenciáját csak a C_{ki} kimeneti kapacitás okozza. Az erősítő helyettesítő képének kimeneti körében (ld. 18. ábra!), a határfrekvencia definíciójából adódó egyenlőségből a határfrekvencia kiszámításához juthatunk.



18. ábra. Az erősítő kimeneti körének kisfrekvenciás helyettesítő képe

A feszültségosztás törvényét alkalmazva levezetéssel bizonyítható, hogy a határfrekvencián bekövetkező 3 dB-es erősítés szintcsökkenésnél a csatoló kondenzátor reaktanciája értékre megegyezik a körülötte elhelyezkedő ellenállások eredőjével.

$$X_{C_{ki}} = \left(\frac{1}{y_{22}} \times R_D\right) + R_t = r_{ki} + R_t \qquad X_{C_{ki}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_a \cdot C_{ki}}$$

$$C_{ki} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_a \cdot (r_{ki} + R_t)} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 15\,Hz \cdot \left(0{,}8 \cdot 10^4\,\Omega + 1{,}5 \cdot 10^4\,\Omega\right)} = \underline{\underline{462\,nF}}$$

Összefoglalás

Az esetfelvetés kapcsán kiderült, hogy leendő munkahelye a közeljövőben új szakmai profilra fog átállni. Az új feladatok között gyengeáramú analóg erősítők tervezése és méretezése szerepel. A munkába állás előtt egy speciális szakmai tanfolyamon vesz részt, melynek belépési feltétele a bipoláris és unipoláris tranzisztorokkal felépített erősítőfokozatok munkapontbeállítási megoldásainak, váltakozóáramú jellemzőinek az ismerete. Jelen tananyagrésztől segítséget kaphatott a méretezési alapok elsajátításához, felfrissítéséhez.

Az információfrissítés rövid bevezetővel kezdődött, melyben tájékozódhatott a szakmai információtartalomra vonatkozó tudnivalókról.

A gyengeáramú analóg erősítők méretezéséhez szilárd alapokat nyújtott az erősítők felépítésének, belső kapcsolatrendszerének a megismerése. Ehhez meg kellett vizsgálni az elviekben létező sztatikus működési üzemmódot, ahonnan egyenes út vezetett az elektronikai gyakorlat dinamikus üzemmódjának a tisztázásához.

Egy erősítő fokozat működtetése előtt biztosítani kellett a munkapont beállítást, amely lényegében az erősítő egyenáramú méretezését jelentette. Tisztázódtak a különböző osztályokba sorolt munkapontbeállítási megoldások előnyei és hátrányai. Kapcsolási rajzok bizonyították, hogy a munkapontbeállítás megvalósítható egy tápegység és az aktív elemhez csatlakozó, különböző értékű ellenállások beiktatásával.

Az aktív elem/elemek és a kapcsolódó ellenállások meghatározták az erősítők váltakozóáramú jellemzőit. Külön kategóriába kerültek az erősítés fajták, a be- és kimeneti ellenállások és az erősítő egyéb jellemzői. Egy erősítő fokozat frekvencia-átvitelének tárgyalásánál tisztázódott, hogy csatoló-, hidegítő-, szerelési-, szórt- és réteg-kapacitások is befolyásolják a működést.

Az erősítők méretezése alapvetően munkapont beállítást és váltakozóáramú jellemzők meghatározását jelentette. A méretezést megkönnyítette az aktív elem, illetve a teljes erősítő négypólusos helyettesítő képének a felrajzolása. Mindezt külön-külön meg kellett vizsgálni a bipoláris és az unipoláris tranzisztorral felépített erősítőknél. Egy összefoglaló táblázatból kiderült, hogy a műszaki gyakorlatban igen sokféle erősítő elnevezéssel találkozhatunk. A méretezés gyakorlati megvalósítását mintafeladatok és mértezési feladat zárta.

A méretezés lépéseinek elméleti tisztázása, majd végrehajtása után elegendő információ gyűlhetett össze az erősítő áramkörök megtervezéséhez, összeállításához és a gyakorlati alkalmazásaihoz.

MUNKAANYAG

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Az elektronikai áramkörök alapjait tárgyaló témakörhöz tartozó ismeretek alkalmazásához az írott szakmai szöveg megértése, a különböző készségek fejlesztése szükséges.

Az elsajátított információk gyakorlati alkalmazásához elengedhetetlen a gyakorlatias feladatértelmezés módszer kompetencia fejlesztése.

A szakmai szöveg alapos tanulmányozása és feldolgozása után célszerű az alábbi gyakorló feladatok megoldása.

1. feladat: Egyszerű kapcsolási rajzok elkészítésével mutassa be az erősítők sztatikus és dinamikus üzemmódja közötti különbségeket!

2. feladat: Rajzolja fel egy térvezérlésű tranzisztor transzfer karakterisztikáját, s jelöljön meg rajta egy M_1 és M_2 munkapontot! Az M_1 munkapont a lineáris, az M_2 munkapont a nemlineáris működési tartományban helyezkedjék el.

3. feladat: Készítse el egy közös emitteres erősítőfokozat kapcsolási rajzát és hibrid paraméteres helyettesítő képét! Az áramkörhöz alkalmazzon 4 db ellenállást, 3 db kondenzátort, 1 db tápegységet, vezérlő generátort és terhelő ellenállást!

4. feladat: Készítse el egy source kapcsolású JFET-es erősítőfokozat kapcsolási rajzát és admittancia paraméteres helyettesítő képét! Az áramkörhöz alkalmazzon 3 db ellenállást, 3 db kondenzátort, 1 db tápegységet, vezérlő generátort és terhelő ellenállást!

5. feladat: A 3. és 4. feladathoz elkészített kapcsolási rajzokon tüntesse fel az aktív elemhez tartozó munkaponti feszültségeket és áramokat! Írja fel a munkaponti adatok kiszámítására szolgáló matematikai összefüggéseket!

6. feladat: Írja le az alábbi elektronikai alapfogalmak jelentését!

- "B" osztályú munkapontbeállítás
- hibrid paraméteres egyenletrendszer
- erősítő frekvenciamenete

7. feladat: Sorolja fel az erősítő fokozatok váltakozóáramú jellemzőit! Írja fel a jellemzőkhöz tartozó matematikai összefüggéseket!

8. feladat: Határozza meg dB-ben az alábbi, viszonyszámban megadott erősítés értékeket!

- $A_u = -150$
- $A_i = 36{,}5$
- $A_P = 1450$

9. feladat: Határozza meg viszonyszámban az alábbi, dB-ben megadott erősítés értékeket!

MUNKAANYAG

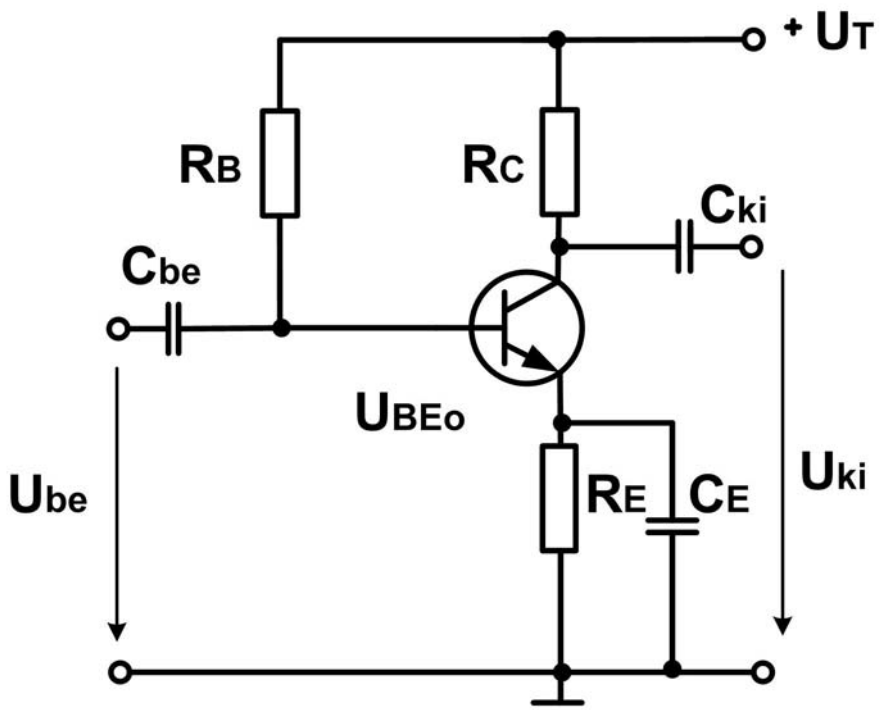
- A_u = 45 dB
- A_i = 32 dB
- A_P = 70 dB

MUNKAANYAG

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Számítással határozza meg az alábbi, közös emitteres, bázisáram táplálású erősítő munkapont beállító ellenállásait!



19. ábra

Adatok:

U_T = 10 V
I_{C0} = 25 mA
U_{E0} = 2 V
U_{CE0} = 3V
B = 200
U_{BE0} = 0,6 V

Feladatok:

a) Jelölje be a kapcsolási rajzon a munkapont beállító ellenállások meghatározásához szükséges egyenáramokat és egyenfeszültségeket!

b) Határozza meg a munkapont beállító ellenállások (R_C, R_E, R_B) számszerű értékét!

R_C =

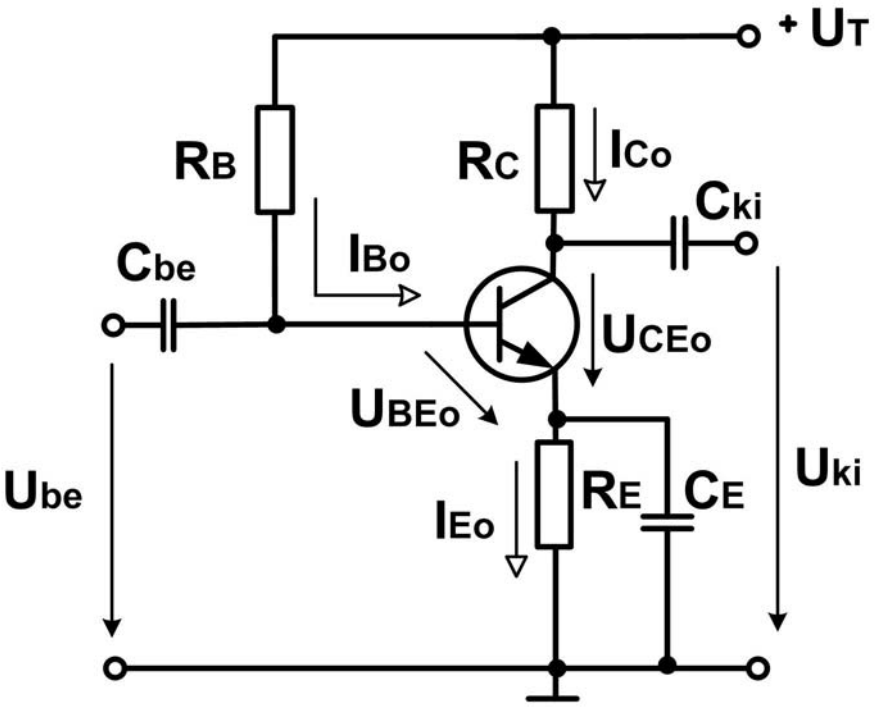
R_E =

R_B=

2. feladat

Méretezze az alábbi Source kapcsolású erősítő fokozatot!

MUNKAANYAG



20. ábra

Adatok:

U_T = 12 V R_t = 20 kΩ
R_G = 1 MΩ R_D = 4 kΩ
y_{21s} = 2,5 mS, y_{22s} = 25 μS
U_g = 50 mV, R_g = 50 kΩ

Feladatok:

<u>a) Készítse el a méretezés előtt álló áramkör admittancia paraméteres helyettesítő képét!</u>

b) Határozza meg dB-ben az erősítő feszültségerősítését terhelő ellenállás nélkül és terheléssel!

$\mathbf{A}_u$=

$\mathbf{a}_u$=

$\mathbf{A}_{ut}$=

$\mathbf{a}_{ut}$=

c) Számítsa ki az erősítő fokozat bemeneti és kimeneti ellenállását!

$\mathbf{R}_{be}$=

$\mathbf{R}_k$i=

d) Határozza meg a terhelt erősítő fokozat kimenetén megjelenő feszültség értékét!

$\mathbf{U}_{kit}$=

MUNKAANYAG

3. feladat

Méretezze egy RC csatolású erősítő alapkapcsolás csatoló kondenzátorait!

Adatok:

r_{be}= 1 MΩ	bemeneti ellenállás
r_{ki}= 4 kΩ	kimeneti ellenállás
R_g= 10 kΩ	vezérlő generátor belső ellenállása
R_t= 20 kΩ	terhelő ellenállás
f_{a1}= 10Hz	a bemeneti kör alsó határfrekvenciája
f_{a2}= 40 Hz	a kimeneti kör alsó határfrekvenciája

Feladatok:

a) Készítse el az erősítő bemenetéhez tartozó helyettesítő áramkört, és az alapján számítsa ki a bemeneti csatoló kondenzátor kapacitását!

C_{be}=

b) Készítse el az erősítő kimenetéhez tartozó helyettesítő áramkört, és az alapján számítsa ki a kimeneti csatoló kondenzátor kapacitását!

C_{ki}=

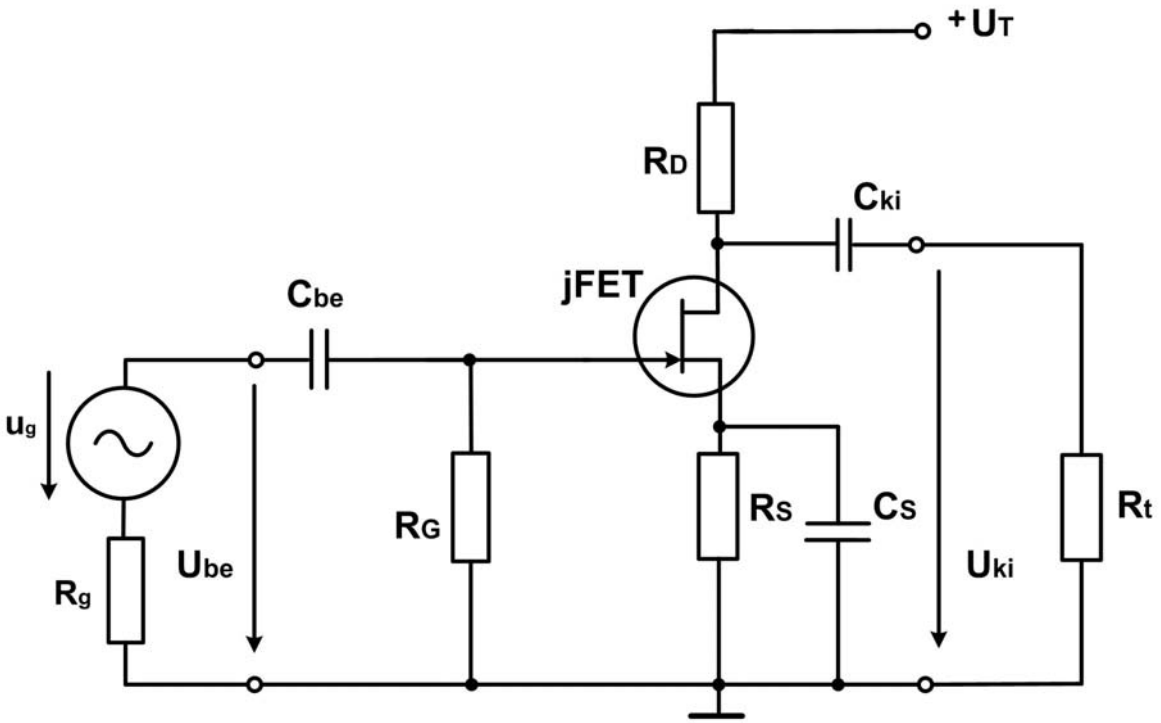
MUNKAANYAG

MUNKAANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat

a) A munkaponti egyenáramok és egyenfeszültségek feltüntetése a kapcsolási rajzon.



21. ábra

b) A munkapont beállító ellenállások számszerűsített meghatározása.

Az ellenállások kiszámításához a kapcsolási rajz segítségével, az Ohm- és a Kirchhoff-törvények alkalmazásával lehet eljutni.

$$U_T = U_{R_{C0}} + U_{R_{E0}} + U_{CE0}$$

$$U_{R_{E0}} = U_{E0} = 2\ \text{V}$$

$$U_{R_{C0}} = U_T - U_{R_{E0}} - U_{CE0} = 10\,\text{V} - 2\,\text{V} - 3\,\text{V} = \underline{\underline{5\,\text{V}}}$$

$$R_C = \frac{U_{R_{C0}}}{I_{C0}} = \frac{5\,\text{V}}{25\,\text{mA}} = \underline{\underline{200\,\Omega}}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{B} = \frac{25\,\text{mA}}{200} = \underline{\underline{125\,\mu\text{A}}}$$

$$I_{E0} = I_{C0} + I_{B0} = 25\ \text{mA} + 125\,\mu\text{A} = 25{,}125\,\text{mA}$$

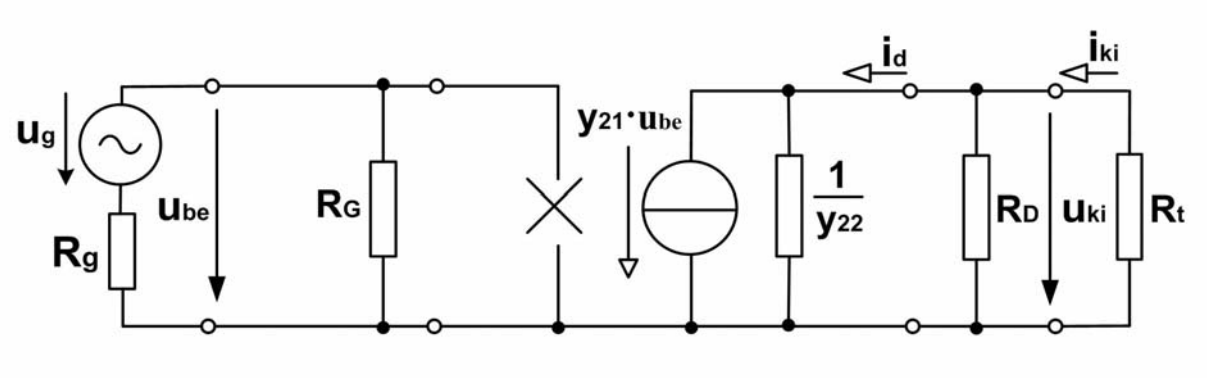
$$R_E = \frac{U_{E0}}{I_{E0}} = \frac{2\,\text{V}}{25{,}125\,\text{mA}} = \underline{\underline{80\,\Omega}}$$

$$U_{R_B} = U_T - U_{B0} = U_T - U_{BE0} - U_{E0} = 10\,\text{V} - 0{,}6\ \text{V} - 2\,\text{V} = \underline{\underline{7{,}4\ \text{V}}}$$

$$R_B = \frac{U_{R_B}}{I_{B0}} = \frac{7{,}4\,\text{V}}{125\,\mu\text{A}} = \underline{\underline{60\,\Omega}}$$

2. feladat

a) Az erősítő fokozat helyettesítő képe:



22. ábra

b) A feszültségerősítés terhelés nélkül és terheléssel:

$$A_u = -2{,}5\ \text{mS} \cdot \left(\frac{1}{0{,}025\ \text{mS}} \times 4\ \text{k}\Omega \right) = -2{,}5\ \text{mS} \cdot 3{,}63\ \text{k}\Omega = \underline{\underline{-9{,}09}}$$

$$a_u = 20\lg|A_u| = 20\lg|9{,}09| = \underline{\underline{19{,}17\ dB}}$$

$$A_{ut} = -2{,}5\ \text{mS}\cdot\left(\frac{1}{0{,}025\ \text{mS}}\times 4\ \text{k}\Omega\times 20\ \text{k}\Omega\right) = -2{,}5\ \text{mS}\cdot 3{,}08\ \text{k}\Omega = \underline{\underline{-7{,}69}}$$

$$a_{ut} = 20\lg|A_u| = 20\lg|7{,}69| = \underline{\underline{17{,}72\ dB}}$$

<u>c) Az erősítő bemeneti és kimeneti ellenállása a helyettesítő kép alapján:</u>

$$r_{be} = R_G = \underline{\underline{1\ \text{M}\Omega}}$$

$$r_{ki} = \frac{1}{y_{22s}}\times R_D = \frac{1}{0{,}025\ \text{mS}}\times 4\ \text{k}\Omega = \underline{\underline{3{,}63\ \text{k}\Omega}}$$

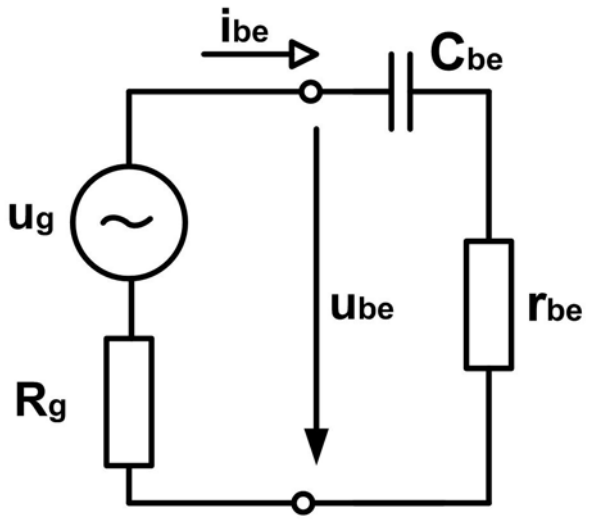
<u>d) A terhelt erősítő kimeneti feszültsége:</u>

$$u_{kit} = u_{be}\cdot|A_{ut}| = 47{,}62\ \text{mV}\cdot 9{,}09 = \underline{\underline{433\ \text{mV}}}$$

$$u_{be} = u_g\cdot\frac{R_G}{R_G + R_g} = 50\ \text{mV}\cdot\frac{1\ \text{M}\Omega}{1\ \text{M}\Omega + 50\ \text{k}\Omega} = 47{,}62\ \text{mV}$$

3. feladat

<u>a) Az erősítő bemeneti áramköre és a bemeneti csatoló kondenzátor kapacitása:</u>



23. ábra

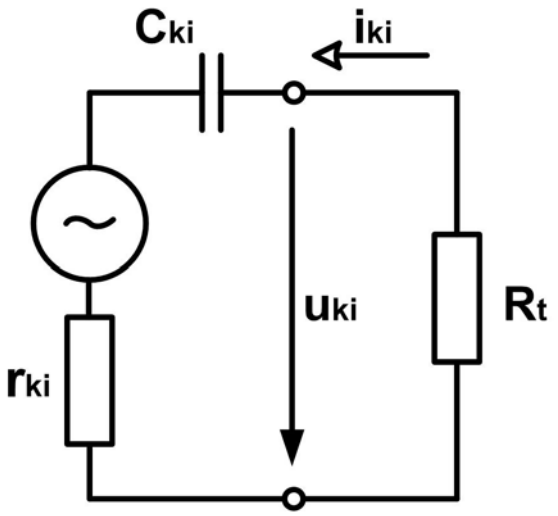
MUNKAANYAG

$$X_{C_{be}} = r_{be} + R_g$$

$$X_{C_{be}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{a1} \cdot C_{be}}$$

$$C_{be} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{a1} \cdot \left(r_{be} + R_g\right)} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10\,Hz \cdot \left(1 \cdot 10^6\,\Omega + 10^4\,\Omega\right)} = \underline{\underline{15{,}7\,nF}}$$

<u>a) Az erősítő kimeneti áramköre és a kimeneti csatoló kondenzátor kapacitása:</u>



24. ábra

$$X_{C_{ki}} = r_{ki} + R_t$$

$$X_{C_{ki}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{a2} \cdot C_{ki}}$$

$$C_{ki} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{a2} \cdot \left(r_{ki} + R_t\right)} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 40\,Hz \cdot \left(4 \cdot 10^3\,\Omega + 20 \cdot 10^3\,\Omega\right)} = \underline{\underline{165{,}8\,nF}}$$

MUNKA AG

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök tankönyv, Generál Press Kiadó, 2005.

Gergely István: Elektrotechnika, General Press Kiadó, 2009.

Zombori Béla: Elektronika, Tankönyvmester Kiadó, 2006.

Zombori Béla: Elektronikai feladatgyűjtemény, Tankönyvmester Kiadó, 2008.

Kóródi Dávid – Tóth S. Róbert: Villamosságtani alapismeretek, NSZFI Tankönyvkiadó, 2005.

Horváth Ernő: Elektronika feladatgyűjtemény I., Terra Print Kiadó, 1994.

Szűcs Lászlóné: Elektronikai példatár, Lexika Tankönyvkiadó, 1997.

AJÁNLOTT IRODALOM

U. Tietze–Ch. Scenk: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.

Mihály László: Elektronikai tesztgyűjtemény, Tankönyvmester Kiadó, 2006.

MUNKAANYAG

A(z) 0917-06 modul 038-as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 523 01 0000 00 00	Elektronikai technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
10 óra

MUNKAANYAG

MUNKAANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának fejlesztése” keretében készült.
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.
Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató