

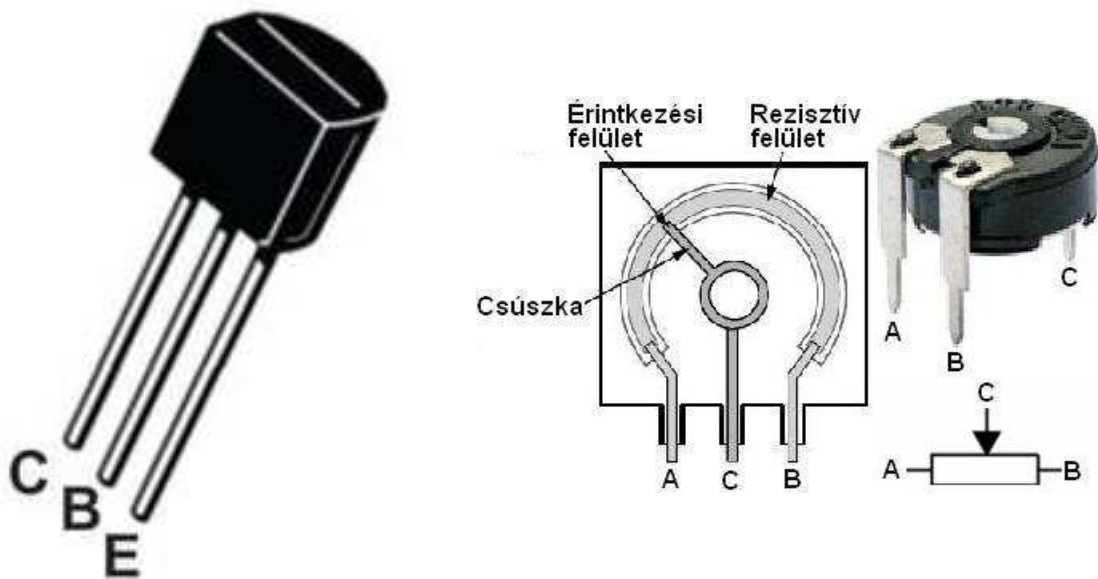
3. Mérés

Bipoláris tranzisztorok

A mérés során aszimmetrikus táplálás kell, vagyis a laboratóriumi tápegység egyik állítható kimenete elegendő (bal vagy jobb, teljesen mindegy).

Az általunk használni kívánt kimeneten a mérés megkezdése előtt állítsunk be körülbelül **20mA áramkorlátot**, melyet ne módosítsunk a foglalkozás hátralévő részében!

A mérés során **BC337** típusú NPN tranzisztort alkalmazunk, továbbá szükség lesz változtatható értékű ellenállásra (ellenállásosztóra), azaz potenciométerre.



3.1 ábra: A BC337-es tranzisztor láb kiosztása (bal) és a potenciométer bekötése (jobb)

Sok ilyen tokozású (ún. TO-92 tokozás) bipoláris tranzisztornak ugyanez a láb kiosztása (gyakori példa a BC182), de előfordulnak eltérések!

A potmétereknél általában a csúszka vagy középen van egy sorban a többi kivezetéssel, vagy középen, de elkülönítve.

3.0 Otthoni kötelezően előkészítendő feladatok:

1/a. Számítsuk ki a **3.1 pontban** mérésre kerülő áramgenerátor várható áramát (I_C)! A tranzisztor β áramerősítési tényezőjét kezeljük kellően nagyként.

1/b. Határozzuk meg a munkaponti paramétereket (I_E, U_B, U_C, U_E) $R_T=2k\Omega$ mellett!

1/c. Számítsuk ki a maximális terhelő ellenállás értékét!

2/a. Számítsuk ki a **3.2 pontban** mérésre kerülő FE (földelt emitteres) erősítő DC (egyenáramú) munkaponti paramétereit ($I_E, U_B, U_C, U_E, U_{CE}, U_{BE}$)! A tranzisztor β áramerősítési tényezőjét kezeljük kellően nagyként.

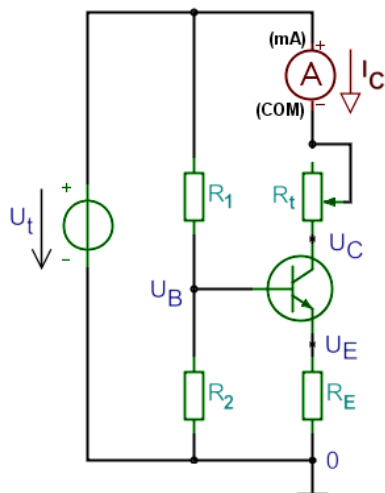
2/b. Határozzuk meg ennek a kapcsolásnak a feszültségerősítését a leírásban meghatározott terhelés esetén!

2/c. Határozzuk meg ennek a kapcsolásnak a feszültségerősítését C_E kondenzátor nélkül!

2/d. Határozzuk meg a kapcsolat bemeneti ellenállását ($\beta=100$; „worst case”)! Fontos megjegyezni, hogy a tranzisztorok nagy gyártási szórással készülnek; a jelen mérésben szereplő BC337 β paramétere például 100-600 közé esik (katalógus adat)!

3.1 Áramgenerátor bipoláris tranzisztorral:

3.1.1 Valósítsuk meg a bipoláris tranzisztorral felépített áramgenerátort a 3.2 *ábra* alapján!



3.2 ábra: Tranzisztoros áramgenerátor

A megépítéshez szükséges adatok:

- $U_t = 15V$
- $R_1 = 120k\Omega$
- $R_2 = 33k\Omega$
- $R_E = 1k\Omega$
- $R_t = 10 k\Omega$ potenciométer.

A kapcsolásban szereplő összes ellenállást mérjük meg két tizedes pontossággal, majd a jegyzőkönyv elkészítése során ezekkel a pontos értékekkel számoljunk.

Mivel az áramgenerátor esetében a kollektorellenállás jelenti a terhelést/fogyasztót, így az árammérő által mért mennyiség az áramgenerátor árama ($I_{ki}=I_C$, vagyis a kollektoráram).

3.1.2 Határozzuk meg a generátoráramot $R_t=0$ mellett (vagy a potenciométer legyen 0Ω állásban, vagy ne tegyük még be, viszont ilyenkor rövidzárral kell helyettesíteni), majd vessük össze a számított értékkel! **Az árammérőt használjuk két tizedes pontosságú ($0,01mA$) állásban (kivéve a kimeneti ellenállás mérésnél, ahol a lehető legpontosabb állásba tegyük).**

3.1.3 Kezdjük növelni R_t értékét (csavarhúzóval) mindaddig, amíg I_{ki} értéke 10%-al nem csökken a rövidzársihoz képest. Ekkor vegyük ki az R_t potenciométert, majd a mérés során használt két lába között (egyik végállás és a csúszka) mérjük meg az ellenállását; ez lesz R_{tmax} . Vessük össze a számított R_{tmax} értékkel! (A 10% egy önkényesen választott érték, a könnyebb mérés érdekében választottunk ilyen nagy számot.)

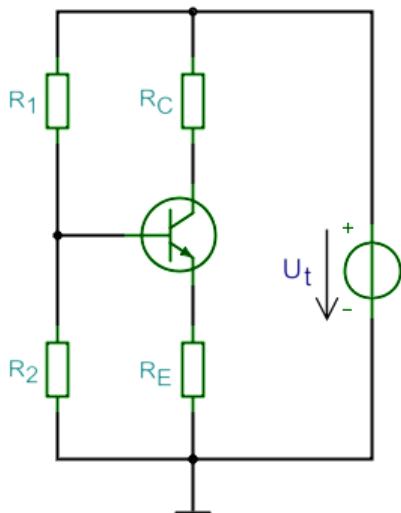
3.1.4 Tegyük be ezúttal a potenciométer helyére a $2k\Omega$ ellenállást (mivel ez R_{tmax} -nál kisebb érték, ezért a kapcsolás áramgenerátoros üzemben van). Mérjük meg az U_B , U_C , U_E csomóponti potenciálokat (a referenciaponthoz képesti feszültségeket), majd vessük össze az előkészítendő feladatban számított értékekkel!

3.1.5 Mérjük meg az áramgenerátor kimeneti ellenállását! Tegyük vissza a potmétert a $2k\Omega$ terhelés helyére. Ehhez kapcsoljunk egy feszültségmérőt **párhuzamosan** az R_t terhelő ellenállással, melynek értékét először úgy válasszuk meg, hogy a rajta eső U_{Rt} feszültség nagyon kicsi (pl. nulla) legyen, majd pedig úgy, hogy 6-7V legyen (tehát még az áramgenerátoros szakaszon belül). **Az áramot a lehető legpontosabban mérjük!** A jegyzőkönyv elkészítése során számítsuk ki R_{t1} és R_{t2} értékét, illetve az áramgenerátor kimeneti ellenállását!

	R_{t1}	R_{t2}
U_{Rt}	mV	V
I_C	mA	mA

$$r_{ki} = \frac{\Delta U_{Rt}}{\Delta I_C} = \left| \frac{U_{Rt2} - U_{Rt1}}{I_{C2} - I_{C1}} \right|$$

3.2 Földelt emitteres erősítő vizsgálata:



A megépítéshez szükséges adatok:

$$\begin{aligned} U_t &= 15\text{V} \\ R_1 &= 120\text{k}\Omega \\ R_2 &= 33\text{k}\Omega \\ R_E &= 2\text{k}\Omega \\ R_C &= 5,1\text{k}\Omega \end{aligned}$$

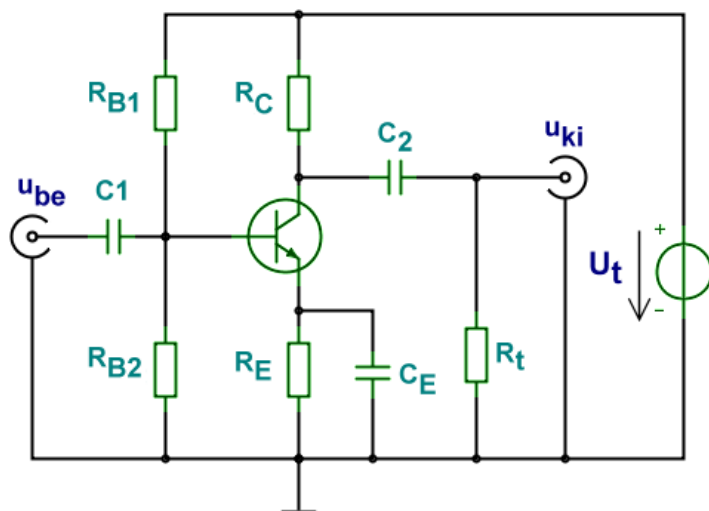
A kapcsolásban szereplő összes ellenállást mérjük meg két tizedes pontossággal, majd a jegyzőkönyv elkészítése során ezekkel a pontos értékekkel számoljunk.

3.3 ábra: Földelt emitteres erősítő egyenáramú munkapont beállító része

3.2.1 Az előző mérésben mért áramgenerátort **nem kell teljesen szétbontani** a 3.3 és 3.4 ábra szerinti földelt emitteres erősítő megépítéséhez! A bázisosztó változatlan, mindössze az emitterellenállás legyen ezúttal $R_E=2\text{k}\Omega$ a korábbi $1\text{k}\Omega$ helyett, a kollektorellenállás pedig **potenciométer helyett** fixen $R_C=5,1\text{k}\Omega$.

Első körben még ne tegyük be C_1 , C_2 csatolókondenzátorokat, C_E -t és R_t -t sem, nincs szükség bemeneti jelre, oszcilloszkópra stb., csak a tranzisztorra, és az őt körülvevő négy ellenállásra. A tápfeszültség változatlanul maradjon $U_t=15\text{V}$.

3.2.2 Mérjük meg a kapcsolás munkaponti paramétereit: $U_B, U_C, U_E, U_{BE}, U_{CE}$ (előbbi hármat a referenciaponthoz képest, utóbbi kettőt az alsó indexben szereplő két-két tranzisztorkivezetés között)! A mért feszültségek és a kapcsolásban szereplő ellenállásértékek pontos ismertében határozzuk meg a kollektoráramot! A jegyzőkönyvben a számított és mért értékeket vessük össze, az eltéréseket indokoljuk!



A megépítéshez szükséges adatok:

$$\begin{aligned} U_t &= 15\text{V} \\ R_1 &= 120\text{k}\Omega \\ R_2 &= 33\text{k}\Omega \\ R_E &= 2\text{k}\Omega \\ R_C &= 5,1\text{k}\Omega \\ C_1 &= C_2 = 100\text{nF} \\ C_E &= 47\mu\text{F} \end{aligned}$$

(C_1 és C_2 fólia/kerámia kondenzátorok, ezért polaritás-függetlenek.)

3.4 ábra: Földelt emitteres erősítő teljes kapcsolása

3.2.3 Egészítsük ki a kapcsolást a három kondenzátorral és a terhelő ellenállással ezúttal a teljes 3.4 ábrának megfelelően! A kondenzátorok értékei: $C_E=47\mu\text{F}/35\text{V}$ elektrolitkondenzátor (ELKO, polaritás függő), $C_1=C_2=100\text{nF}$ kerámia- vagy fóliakondenzátor (polaritás független). Illesztett terhelés esetén a kimeneti impedanciával megegyező

ellenállásértékkel kell terhelni az erősítőt (jelen esetben némi hanyagolások mellett $R_i=R_C$)! Az u_{be} -ként jelölt bemeneti pontot kössük a függvénygenerátor analóg kimenetére, egyúttal az oszcilloszkóp CH1 csatornájára (T-elosztó és BNC-BNC kábel használatával!), az u_{ki} kimeneti pontot pedig az oszcilloszkóp CH2 csatornájára.

A függvénygenerátor által szolgáltatott bemeneti jelet állítsuk 5kHz-es szinuszra és akkora amplitúdójúra, hogy a kimenő jel még ne torzuljon észrevehetően! Ez a bemeneti érték várhatóan nagyon kicsi, mV nagyságrendű lesz, ezért a kimeneti jelre lesz célszerű triggerelni. Rögzítsük a bemeneti, valamint a kimeneti jelet fázishelyesen, értékeljük ki őket (periódusidő, frekvencia, csúcstól-csúcsig vett érték, amplitúdó, fázishelyzet, stb.), majd határozzuk meg az erősítést! A mért és számított értékeket a jegyzőkönyvben hasonlítsuk össze, adjuk meg dB-ben is!

3.2.4 Mérjük meg az erősítő alsó és felső határfrekvenciáját!

Ehhez mérjük meg a kimenő jel csúcstól-csúcsig értékét közepes frekvencián (az eddigi 5kHz erre megfelel). A függvénygenerátor frekvenciáját (semmi mást!) változtassuk lefelé és felfelé egyaránt mindaddig, amíg a kimenő jel feszültsége a 70%-ára nem csökken (az 5kHz frekvenciás állapothoz képest); ezek a frekvenciaértékek lesznek f_a és f_f alsó- és felső határfrekvenciák, vagyis a sávközépi erősítéshez képest a -3dB-es pontok.

Lehetséges mérési módok:

1) a kimenő feszültséget mérjük multiméterrel AC állásban. Használhatjuk a V vagy mV állást (ilyenkor a 70%-os csökkenést figyeljük), vagy a dB állást (ilyenkor a középfrekvencián mért értékhez képesti 3dB-s csökkenést keressük).

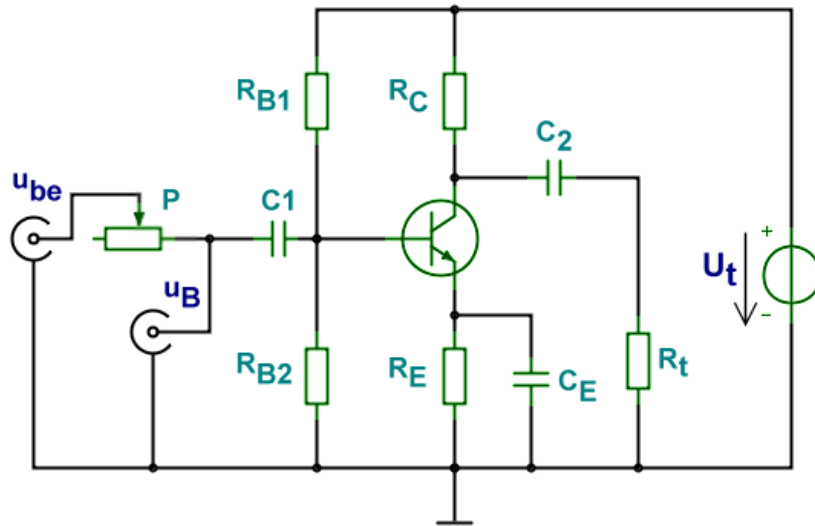
Ez a megoldás jó lehet az alsó határfrekvencia esetén. A felső határfrekvenciához viszont jelen esetben nem lesz jó, mert a HM8012 multiméter AC módban 20kHz-ig mér legjobban, 80kHz-en már 3 decibeles pontja van, a kapcsolásunk felső határfrekvenciája pedig ennél jóval nagyobb.

2) Használjuk az oszcilloszkópot. Ilyenkor több lehetőségünk is van:

a) Középfrekvencián megmérjük a csúcstól csúcsig értéket. Ezután kiszámoljuk ennek a 70%-át (-3dB) és ezt beállítjuk előre a kurzorokkal (felét pozitívban, felét negatívban). Ezután addig növeljük/csökkentjük a frekvenciát, míg a kimenő jel a kurzorok közé nem ér. Ezt nehezítheti, ha a kapcsolás torzít, ekkor ugyanis a pozitív és negatív csúcs nem feltétlen egyenlő.

b) Használjuk a szkóp automatikus V_{pp} mérési üzemmódját. A kimeneti csatornát kiválasztva a szkóp bal oldalán lévő gombsorral kiválaszthatjuk a Vertical menüből a V_{pp} opciót, ekkor az aktuális mért értéket a grafikon ablak alján megjeleníti. (Ha az a sor tele van már más mennyiségekkel, akkor a Measure menüben a Clear all funkcióval törölhetjük azt a sort.)

3.2.5 Távolítsuk el C_E emitterkondenzátort, majd mérjük meg újra az erősítést ($f_{be}=5kHz$); számítsuk ki dB-ben is! Az eltérést a jegyzőkönyvben indokoljuk! (Szükség esetén növeljük meg a bemeneti jel amplitúdóját!)



3.5 ábra: Erősítő bemeneti ellenállásának mérése

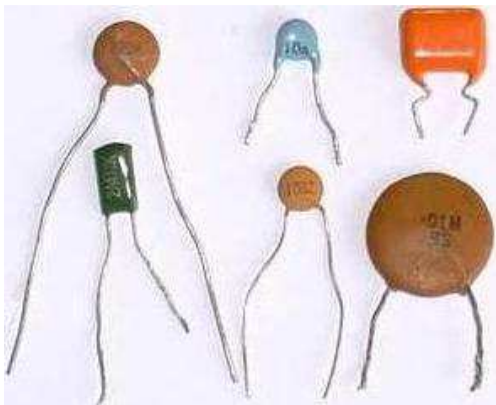
3.2.6 Tegyük vissza C_E kondenzátort (polaritás helyesen), majd mérjük meg az erősítő bemeneti ellenállását! Ehhez C_1 bemeneti csatolókondenzátor elé sorosan iktassuk be a $R_p=10k\Omega$ értékű potenciométert a **3.5 ábrának** megfelelően! Így az erősítő látszólagos bemeneti ellenállása és a potenciométer egy osztót képeznek. A mérés során ezúttal ne az oszcilloszkópot kössük az u_{be} pontra a függvénygenerátorral párhuzamosan, hanem egy digitális multimétert AC mV állásban (COM bemenete a referenciaponton)! Állítsunk be 20mV effektív (ezt méri a multiméter) feszültségű 5kHz-es bemeneti szinuszelet! Ezt követően a multiméter feszültségmérő bemenetét a függvénygenerátorról vegyük le és tegyük át a tranzisztor bázisára!

Változtassuk a potenciométer értékét mindaddig, amíg a bázison mérhető váltakozó feszültség 10mV effektív nem lesz, hiszen ilyenkor a potenciométer és az erősítő bemeneti impedanciája egy fele-fele osztásarányú feszültségosztót képeznek; vagyis a bemeneti ellenállás és a potenciométer ellenállása megegyeznek. Ezt követően a potenciométert távolítsuk el a körből és a mérés során használt két lába közötti ellenállását mérjük meg; az így kapott érték egyenlő az erősítő bemeneti impedanciájával.

3.2.7. Az előzőben kapott r_{be} értéket vessük össze a számítottal, majd határozzuk meg belőle a tranzisztor tényleges béta (β) paraméterét (a bemeneti impedancia képletét rendezzük át β -ra)!

3.3 Megjegyzés:

Alacsonyabb kapacitásértékű (nF és pF nagyságrend) kondenzátorok a gyakorlatban tipikusan kerámia- vagy fóliakondenzátorok, melyek polaritásfüggetlenek.



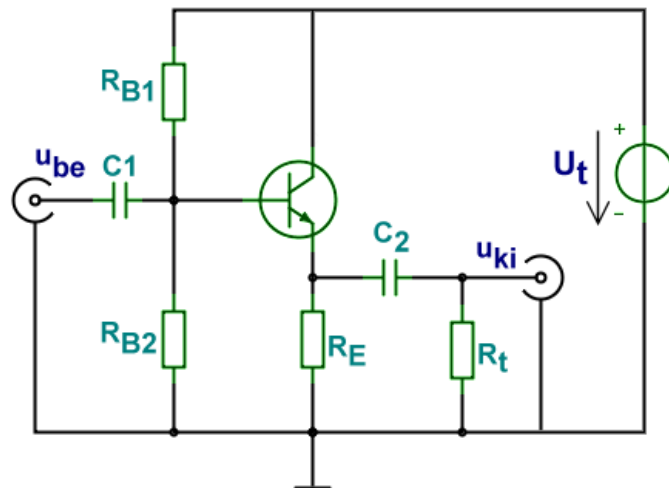
3.6 ábra: példa kerámiakondenzátorokra

Kis kapacitásértékű kondenzátorokon rendszerint egy háromjegyű számot tüntetnek fel, melyek közül az első kettő egy kétjegyű szám, a harmadik pedig a tízzel való szorzás hatványkitevőjét jelöli; mértékegysége általában pF. Előfordul, hogy n betűvel jelölik, hogy nF-ban értendő (pl. 22n).

Például:

$$562 = 56pF \cdot 10^2 = 5600pF = 5,6nF$$

3.4 Földelt kollektoros erősítő vizsgálata:



3.7 ábra: Földelt kollektoros erősítő

3.4.1 Az előző mérésben vizsgált FE kapcsolást módosítsuk a **3.7 ábra** szerint, hogy FC kapcsolást kapjunk! R_C ellenállást helyettesítsük rövidzárral, valamint C_E -t távolítsuk el, C_2 kimeneti csatolókondenzátorral pedig ezúttal az emitterről vegyük le a kimeneti feszültséget ($R_t=5,1k\Omega$ opcionális, nem szükséges)!

3.4.2 A bemeneti jel 5kHz, $1V_{pp}$ (csúcstól-csúcsig értékű) szinuszjel legyen. Ábrázoljuk a be- és kimeneti jelalakokat, majd értékeljük ki: mérjük meg az erősítést, valamint a fázistolást és igazoljuk az elméletben tanultakkal! (Megjegyzés: a gyakorlatban az FC erősítőket kis ellenállású terheléssel (illetve nagyobb teljesítményen) használjuk, ilyenkor a feszültségerősítésük kisebb lesz az itt mértnél. Ezzel az Elektronika II laboratóriumban fogunk foglalkozni, ahol nagyobb teljesítményű erősítőt fogunk vizsgálni.)

3.4.3 Mérjük meg az alsó és felső határfrekvenciát!

3.5 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzolja le egy NPN tranzisztor földelt emitteres transzfer és kimeneti karakterisztikáit (utóbbin jelölve a görbesereg tagjainak paraméterét)!
2. Rajzoljon fel egy földelt emitteres erősítő alapkapcsolást bázisosztóval (alkatrészek megnevezésével)!
3. Hogyan mérjük meg egy tetszőleges erősítő feszültségerősítését?
4. FE erősítő esetén mekkora terhelőellenállás esetén maximális a kimeneti feszültség?
5. Hogyan számoljuk a dB-ben vett feszültség- és teljesítményerősítést?
6. Hogyan mérjük meg egy tetszőleges erősítő bemeneti ellenállását?
7. Definiálja a tranzisztor béta áramerősítési tényezőjét!
8. Mit értünk a tranzisztor szaturációs feszültsége alatt?
9. Mit értünk egy erősítő alsó- és felső határfrekvenciája alatt (ábrával is)?
10. Mi határozza meg egy erősítő kapcsolat alsó határfrekvenciáját?
11. FE kapcsolatban mi a szerepe az emitterkörü kondenzátornak és mi történik, ha kivessz?
12. Mi jellemző a földelt emitteres erősítő kapcsolat feszültségerősítésére, áramerősítésére, bemeneti és kimeneti ellenállására (nagyságrendek)?
13. Mi jellemző a földelt kollektoros erősítő kapcsolat feszültségerősítésére, áramerősítésére, bemeneti és kimeneti ellenállására (nagyságrendek)?
14. *Rajzoljon fel egy PNP tranzisztorral megvalósított áramgenerátort! (szorgalmi feladat)