

Elektronika I.

3. Mérés

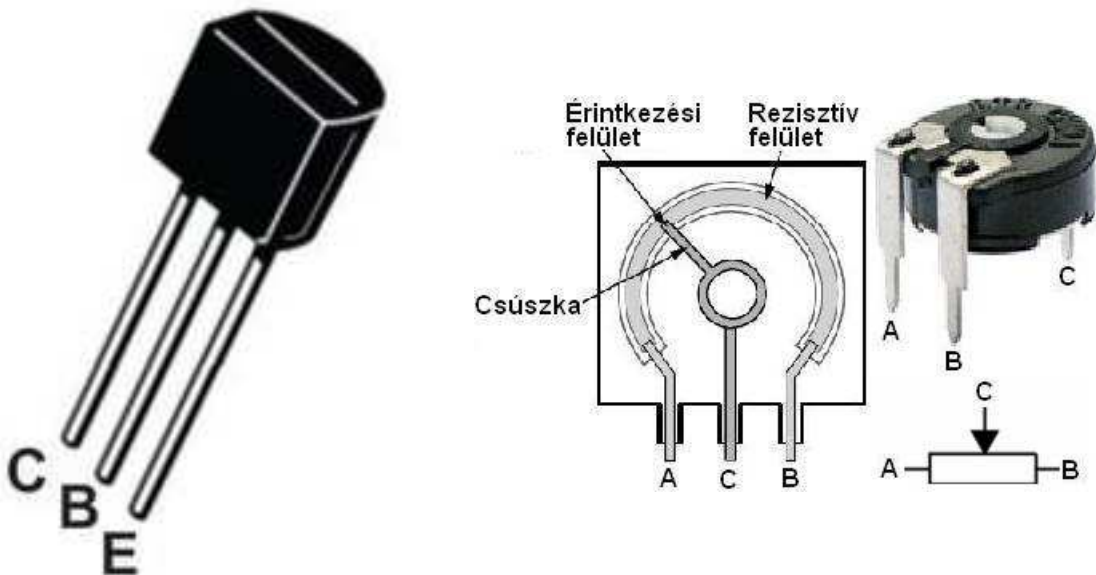
Bipoláris tranzisztorok

2025.8.29.

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 (röviden potméter).



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

Sok ilyen tokozású (ún. TO-92 tokozás) bipoláris tranzisztornak ugyanez a lábkiosztása (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 , I_C , U_B , U_C , U_E) $R_t=2k\Omega$ mellett!

1/c. Számítsuk ki a maximális terhelő ellenállás értékét (R_{tmax}). Ehhez vegyük U_{CEsat} értékét 0,1 volttnak. Próbáljunk meg adatlapban is keresni kb. 1mA-hez tartozó V_{CEsat} értéket (szerencsés esetben számszerűen megadják vagy grafikonról le lehet olvasni). *(Később a mérés során állapítsuk meg U_{CEsat} értékét a konkrét esetben!)*

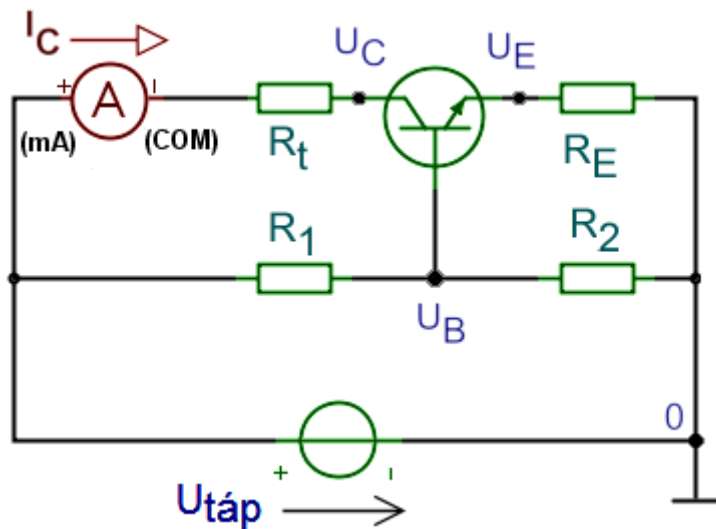
2/a. Számítsuk ki a **3.2 pontban** mérésre kerülő FE (földelt emitteres) erősítő DC (egyenáramú) munkaponti paramétereit (I_E , U_B , U_C , U_E , U_{CE} , U_{BE})! A tranzisztor β áramerősítési tényezőjét kezeljük kellően nagyként.

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 kapcsolás 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)! Később a mérésben ettől eltérő értéket mérhetünk, ebből kiszámolhatjuk majd béta közelítő értékét a valóságban.

3.1 Áramgenerátor bipoláris tranzisztorral



3.2 ábra: Tranzisztoros áramgenerátor fix terheléssel

A megépítéshez szükséges adatok:

$U_{\text{táp}} = 15\text{V}$
 $R_1 = 120\text{k}\Omega$
 $R_2 = 33\text{k}\Omega$
 $R_E = 1\text{k}\Omega$
 $R_t = 2\text{k}\Omega$

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

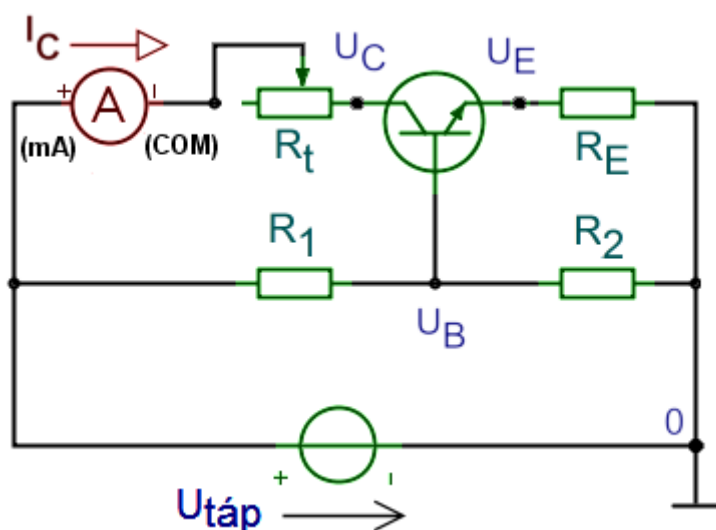
Mivel az áramgenerátor esetében a kollektorellenállás jelenti a terhelést/fogyasztót, így az árammérő által mért mennyiség az áramgenerátor árama ($I_{\text{ki}}=I_{\text{C}}$, vagyis a kollektoráram).

Az árammérőt használjuk minimum három tizedes pontosságú állásban (0,001mA) (kivéve a kimeneti ellenállás mérésnél, ahol a lehető legpontosabb állásba tesszük).

3.1.1 Építsük meg a kapcsolást, terhelésként először használjunk egy **2kΩ** ellenállást a 3.2 ábra szerint (mivel ez R_{imax} -nál kisebb érték, ezért a kapcsolás áramgenerátoros üzemben van).

Mérjük meg az U_{B} , U_{C} , U_{E} csomóponti potenciálokat (a referenciaponthoz képesti feszültségeket), $U_{\text{táp}}$ tápfeszültséget és az I_{C} áramot, majd vessük össze az előkészítendő feladatban számított értékekkel! Mekkora az eltérés és mi okozza?

3.1.2 Vegyük ki az $R_t=2\text{k}\Omega$ ellenállást és helyére tesszük $R_t=0\Omega$ rövidzárat vezetékből megvalósítva. Mérjük meg az I_{C} áramot!



A megépítéshez szükséges adatok:

$U_{\text{táp}} = 15\text{V}$
 $R_1 = 120\text{k}\Omega$
 $R_2 = 33\text{k}\Omega$
 $R_E = 1\text{k}\Omega$
 $R_t = 10\text{k}\Omega$ maximális értékű potenciométer

3.3 ábra: Áramgenerátor állítható terheléssel

3.1.3 Az $R_t=0\Omega$ rövidzárat vegyük ki és helyére tegyük be a **potenciométert** a 3.3 ábra szerinti kapcsolásban (változtatható ellenállásként bekötve¹)!

Állítsuk be R_t -t nullára, ez akkor van, amikor a mért I_C áram a legnagyobb (elvileg megegyezik az előbb mért rövidzárási árammal).

Kezdjük növelni R_t értékét (csavarhúzóval) mindaddig, amíg I_{ki} értéke 10%-kal nem csökken a rövidzárásihoz (3.1.2 feladat) képest.

Ekkor először mérjük meg U_{CE} értékét. Vegyük ezt U_{CEsat} közelítő értékének. Ezt vessük össze adatlapi adattal (ha találtunk ilyen).

Ezután 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. A számított érték így várható, hogy kissé el fog térni a mértől, amiatt is, hogy U_{CEsat} értékét nem tudjuk előre.)

3.1.4 Mérjük meg az áramgenerátor kimeneti ellenállását!

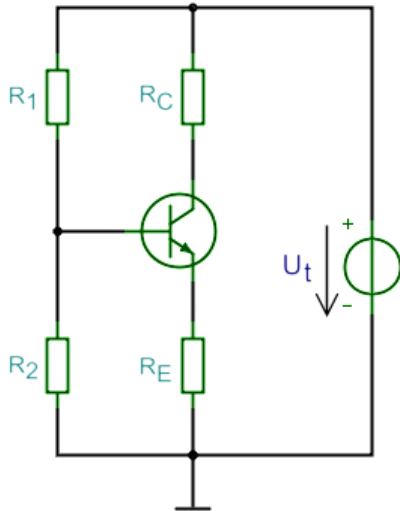
Tegyük vissza a **potmétert** R_t -nek. Kapcsoljunk egy feszültségmérőt **párhuzamosan** az R_t terhelő ellenállással. melynek értékét először úgy válasszuk meg, hogy a rajta eső U_{Rt} feszültség nagyon kicsi (pl. nulla) legyen, majd pedig úgy, hogy kb. 6-7V legyen (tehát még az áramgenerátoros szakaszon belül). **Az áramot a lehető legpontosabban mérjük!** A jegyzőkönyv elkészítése során számítsuk ki R_{t1} és R_{t2} értékét, illetve az áramgenerátor kimeneti ellenállását! Ügyeljünk a nagyságrendek (prefixumok) helyes kezelésére!

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

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

¹ A gyakorlatban célszerű a szabadon maradt kivezetést a csúszkával összekötni. Itt most ez nem lényeges.

3.2 Földelt emitteres erősítő vizsgálata:



A megépítéshez szükséges adatok:

$U_{\text{táp}} = 15\text{V}$
 $R_1 = 120\text{k}\Omega$
 $R_2 = 33\text{k}\Omega$
 $R_E = 2\text{k}\Omega$
 $R_C = 5,1\text{k}\Omega$

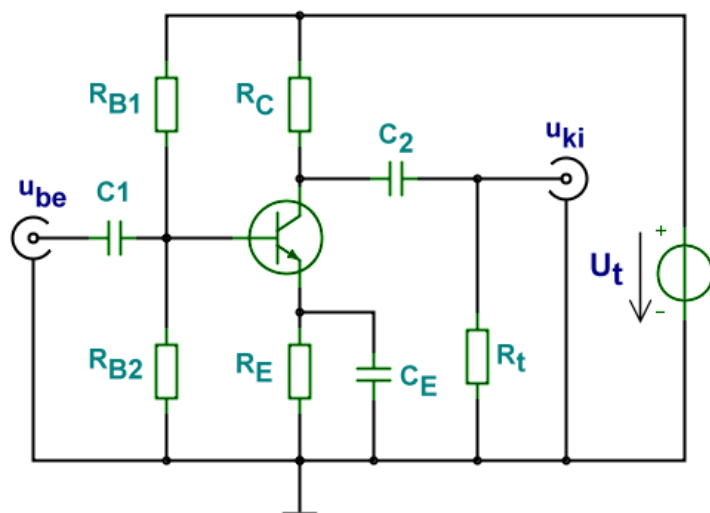
A kapcsolásban szereplő összes ellenállást mérjük meg két tizedes pontossággal, majd a jegyzőkönyv elkészítése során ezekkel a pontos értékekkel számoljunk.

3.4 ábra: Földelt emitteres erősítő egyenáramú munkapont beállító része

3.2.1 Az előző mérésben mért áramgenerátort **nem kell teljesen szétbontani** a 3.4 és 3.5 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 a **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 (3.4 ábra szerint). A tápfeszültség változatlanul maradjon $U_{\text{táp}}=15\text{V}$.

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



A megépítéshez szükséges adatok:

$$U_{\text{táp}} = 15\text{V}$$

$$R_1 = 120\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 33\text{k}\Omega$$

$$R_E = 2\text{k}\Omega$$

$$R_C = 5,1\text{k}\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 100\text{nF}$$

$$C_E = 47\mu\text{F}$$

$$R_t = 5,1\text{k}\Omega$$

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

$$u_{\text{be}}: 5\text{kHz}, 30\text{mVpp} \text{ szinusz}$$

3.5 ábra: Földelt emitteres erősítő teljes kapcsolása

3.2.3 Egészítsük ki a kapcsolást a három kondenzátorral és a terhelő ellenállással ezúttal a teljes **3.5 ábrának** megfelelően! A kondenzátorok értékei: $C_E = 47\mu\text{F}/35\text{V}$ elektrolit-kondenzátor (ELKO, polaritás függő), $C_1 = C_2 = 100\text{nF}$ kerámia- vagy fóliakondenzátor (polaritás független).

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! Ehhez várhatóan kb. 30mVpp (*peak-to-peak*, csúctól csúcsig) jelet kell beállítanunk. A kis jelen relatíve nagy a zaj, ezért a kimeneti jelre lesz célszerű triggerelni az oszcilloszkópot.

Rögzítsük a bemeneti, valamint a kimeneti jelet fázishelyesen, értékeljük ki őket (periódusidő, frekvencia, csúctól-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) *Itt most nem javasolt:* 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. Az Uni-T multiméter felső határfrekvenciája még rosszabb, 400Hz körüli.

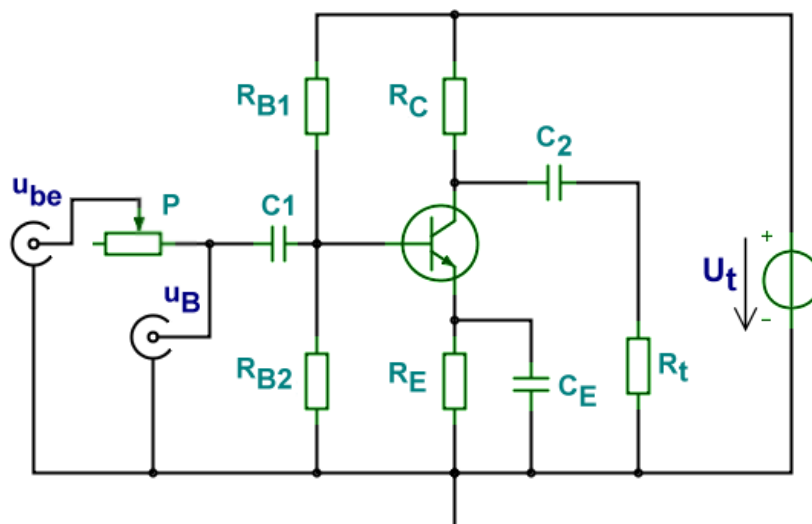
2) **Javasolt:** Használjuk az oszcilloszkópot. Ilyenkor több lehetőségünk is van:

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 Vpp mérési üzemmódját. A kimeneti csatornát kiválasztva a szkóp bal oldalán lévő gombsorral kiválaszthatjuk a Vertical menüből a Vpp 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.) Ez az üzemmód nem feltétlen a legpontosabb, de jelen mérési feladathoz elegendő és a leggyorsabb és legkényelmesebb.

Mindegyik mérési módnál ügyeljünk rá, hogy a frekvencia változtatása közben a bemenő jel amplitúdója változatlan maradjon! (Régebbi műszereknél szükséges lehet menet közben utánállítani az amplitúdót ennek érdekében.)

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!)



3.6 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 $R_P=10k\Omega$ értékű² potenciómétert a **3.6 ábrának** megfelelően! Így az erősítő látszólagos bemeneti ellenállása és a potencióméter egy osztót képeznek. A mérés során ezúttal nem kell az oszcilloszkóp az u_{be} pontra, hanem csak a függvénygenerátor.

Állítsunk be a függvénygenerátoron kb. 20mV, 5kHz szinuszjelet u_{be} -nek.

Mérjük meg u_B potenciált vagy egy digitális multiméterrel (Hameg) AC mV állásban (COM bemenete a referenciaponton) vagy az oszcilloszkópon!

Állítsuk a potmétert nulla állásba. Ezt onnan vehetjük észre, hogy a mért feszültség a legnagyobb lesz. Jegyezzük fel a feszültség pontos értékét.

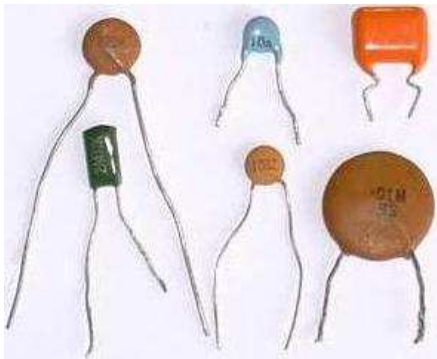
Változtassuk a potencióméter értékét mindaddig, amíg a bázison mérhető AC feszültség az előbb beállított és mért érték fele lesz, hiszen ilyenkor a potencióméter és az erősítő bemeneti impedanciája egy fele-fele osztásarányú feszültségosztót képeznek; vagyis a bemeneti ellenállás és a potencióméter ellenállása megegyeznek. Ezt követően a potenciómétert távolítsuk el a körből és a mérés során használt két lába közötti ellenállását mérjük meg; az így kapott érték egyenlő az erősítő bemeneti ellenállásával. (A bemeneti impedanciát most valós ellenállásként közelítjük.)

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

² A potméter értéke alatt itt (és a labor útmutatókban máshol is) a maximális névleges értékét értjük! Nem a beállítandó értéket! A maximális értéknek egyébként akár 10-20% szórása is lehet, ne lepődjünk meg. A potméteren előfordul, hogy a következő formában van a felirat: 103, ahol a harmadik számjegy tíz hatványkitevőjeként értendő, így 103 jelentése $10 \cdot 10^3$ azaz 10000 ohm. (Lásd még kondenzátor felírata.)

3.3 Megjegyzés:

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



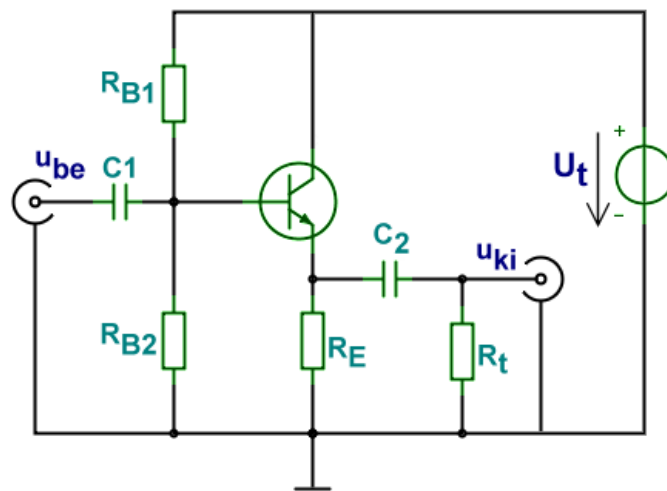
3.7 ábra: példa kerámiakondenzátorokra

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:

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

3.4 Földelt kollektoros erősítő vizsgálata:



3.8 ábra: Földelt kollektoros erősítő

3.4.1 Az előző mérésben vizsgált FE kapcsolást módosítsuk a **3.8 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 ($R_t=5,1\text{k}\Omega$) !

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.)

Ha azt tapasztaljuk, hogy a bemeneti és kimeneti jelek a szkópon nagyon zajosak, akkor érdemes lehet az áramkörben a pozitív és negatív tápcsatlakozás közé betenni a $47\mu\text{F}$ kondenzátort.

3.4.3 Mérjük meg az alsó és felső határfrekvenciát! (Használjuk a Rigol függvénygenerátort, mert a Hameg maximális frekvenciája itt nem lesz elég. Még így is előfordulhat, hogy a felső határfrekvencia nagyobb, mint amit meg tudunk mérni.)

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 alapkapsolást 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 kapcsolás alsó határfrekvenciáját?
11. FE kapcsolatban mi a szerepe az emitterkörüi 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)