

Elektronika I. laboratórium mérési útmutató

Összeállította: Mészáros András, Horváth Márk

2023.10.24.

A foglalkozások megkezdésének követelményei:

Figyelem! A laboratóriumi mérés az előadás anyagára épül. Az ellenőrző kérdésekre a válaszokat, valamint a mérési feladatokhoz szükséges ismereteket is onnan, illetve a rendelkezésre álló tankönyvekből, jegyzetekből kell venni. A mérési útmutató az órákon való részvételt és a tanulást nem helyettesíti! Amennyiben szakmai kérdés merül fel, úgy a tárgyat oktató kollégákat ajánlatos felkeresni.

Javasolt az első mérés előtt újra átnézni a külön megtalálható mérőpanel- és műszerismertetőt!

Jegyzőkönyvvel szembeni formai és tartalmi követelmények:

A jegyzőkönyvekkel szembeni követelményeket a mérésvezető az első órán ismerteti. Ajánlott ellátogatni a Mikroelektronikai és Technológia Tanszék oldalára:

mti.kvk.uni-obuda.hu

és áttekinteni az ott található jegyzőkönyvi ajánlásokat, valamint az ajánlott előlapot használni.

A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

- Minden egyes mérési feladat rövid ismertetését (kapcsolási rajz adatokkal, mérendő mennyiségek, beállított paraméterek),
- Ahol lehetséges, a várható eredmények kiszámítása (házi feladatok megoldása),
- Az egyes mérési eredmények számszerű megadása (adott esetben táblázatban),
- Ahol lehetséges, a mérési eredmények grafikonon való megadása (jelalak, karakterisztika),
- A mért eredmények összehasonlítása a számított ill. elméletből kapott értékekkel, a mérés kiértékelése.

A jegyzőkönyv értékelésénél figyelembe vesszük a fenti szempontokat; valamint azt, hogy minden mérési pont megvan-e, továbbá az áttekinthetőséget és a mérnökhöz méltó külalakat.

1. Mérés

Diódák és egyenirányítók

A mérés kezdetekor a beugró zárthelyivel egyidőben a laborvezető ellenőrzi az előkészítendő feladatok meglétét!

Az elkövetkezendő mérés során megismerkedünk a diódák nyitó- és záróirányú karakterisztikáinak mérési módszerével, illetve az egy- és kétutas egyenirányító működésével. Utóbbi, vagyis a kétutas egyenirányító jelen foglalkozás során Graetz-típusú híd-egyenirányító (megjegyzendő, hogy a középki-csatolt szekunder-tekerceslésű transzformátort alkalmazó kétutas egyenirányító is ugyanúgy használatos napjainkban, túlnyomórészt kapcsolóüzemű tápegységekben).

A foglalkozás első feléhez 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 használt **1N4007** típusú egyenirányító dióda, valamint a **BZX5V1** típusú, 5,1V letörési feszültségű Zener-dióda bekötései:



1.1 ábra: 1N4007 normál Si dióda (bal) és Zener-dióda (jobb) bekötése

Mint az ábrán is látható, a diódák katódját rendszerint a tokozás (*package*) egyik végén található csík jelöli. A Z-diódák típus jelölésében általában a végén megtalálható a letörési feszültség - így pl. a fenti diódánál 5V1 értelmezése 5,1V (vagy ZPD5.1 típusnál az 5.1).

Megjegyzés: előfordulhat, hogy nem pont a leírt típusú alkatrészt tudjuk biztosítani, ilyenkor a helyettesítő eszköz az itt szükséges szempontokból megfelel az eredetinek, és általában a tokozása, jelölése is hasonló. A laboratórium faliújságján érdemes még tájékozódni a lábkiosztásokról, jelölésekről, illetve a mérésvezető a táblára felírja, ha komolyabb változás van.

Megjegyzés 2: A tokozás önmagában nem határozza meg a dióda típusát! A fenti ábrán a bal oldalon az ún. DO-41 tokozás, a jobb oldalon a DO-35 tokozás látható. Ugyanolyan fajta dióda készülhet mindkettő (és sok egyéb) kivitelben is! A különbség a maximális paraméterekben (áram, feszültség, teljesítmény) van. Találjuk ki, hogy a két tokozás közül melyik visel el nagyobb áramot és teljesítményt!

1.0 Otthoni kötelezően előre elkészítendő feladatok:

1. Számítsa ki közelítően a **1.1 feladatban** várható áramértéket a következő tápfeszültségek mellett: 2V, 6V, 12V, 18V. A dióda nyitófeszültségét a tanultaknak megfelelően válassza meg!
2. Határozza meg hozzávetőlegesen a **1.2 feladatban** várható áramértéket a következő tápfeszültségek mellett: 1V, 8V, 12V, 18V.
3. Számítsa ki közelítően a **1.4 feladatban** szereplő Graetz-egyenirányító várható kimeneti feszültségét $8V_{\text{eff}}$ szekunderfeszültség mellett. A diódák nyitófeszültségét a tanultaknak megfelelően válassza meg!

Házi feladat:

(tételelesen kidolgozva)

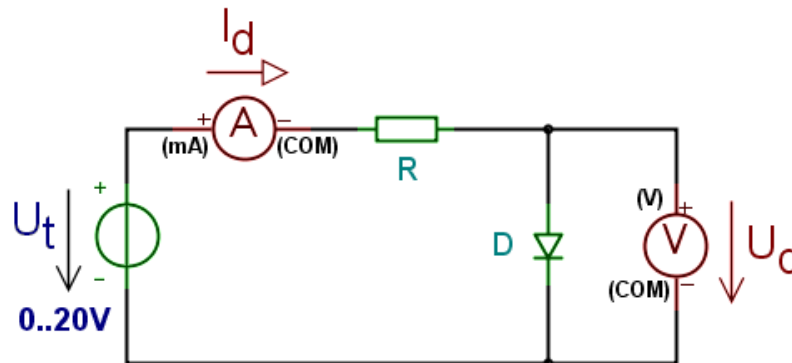
1.

2.

3.

1.1 Szilícium dióda nyitóirányú karakterisztikájának felvétele:

Az 1.2 ábra szerint az **1N4007** típusú normál szilícium egyenirányító dióda felhasználásával valósítuk meg a nyitóirányú karakterisztika felvételére alkalmas kapcsolást. A záróirányú karakterisztikáját több okból sem mérjük, egyfelől több száz voltos tápfeszültség kellene hozzá, másfelől pedig a dióda károsodásával, tönkremenetelével járhat, és a hallgató számára sem biztonságos. Az **R** előtét-ellenállás értéke **1k Ω** .



1.2 ábra: Dióda karakterisztika felvételéhez használt mérési elrendezés

1.1.1 Mérjük meg és ábrázoljuk a dióda nyitóirányú karakterisztikáját!

Az árammérő és feszültségmérő szerepet betöltő digitális multimétereket egyaránt **három tizedes mérési pontosság** mellett használjuk (**mA és V-mérés, utóbbi nem mV állásban!**¹).

A kapcsolat helyes összerakása úgy tesztelhető, hogy a tápfeszültséget egy tetszőleges néhány voltos kimeneti feszültségűre állítjuk és a diódával párhuzamosan kapcsolt feszültségmérőn meg kell jelennie az elméletben tanult körülbelüli nyitófeszültségnek.

Az **R** előtét-ellenállás a diódaáram megfutását gátolja, továbbá lehetővé teszi a diódára jutó feszültség finomabb beállítását, mint amit önmagában a tápegységgel létre tudnánk hozni.

Készítsünk egy táblázatot az alábbi adatokkal (csak nagyobb méretben az olvashatóság érdekében) és abba írjuk bele a mérési eredményeket!

U_t [V]	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
U_D [mV]																		
I_D [mA]																		

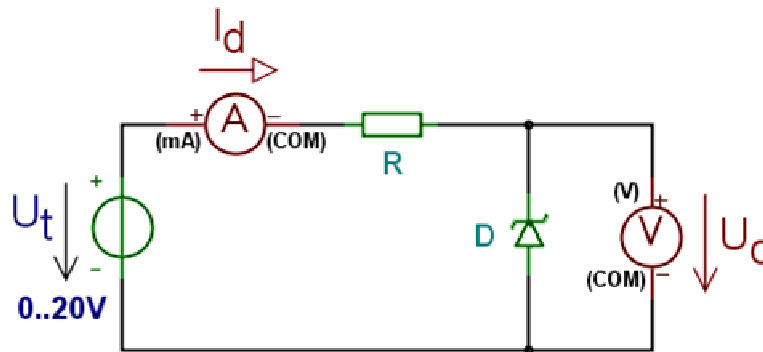
A mérési jegyzőkönyvben lineáris léptékkel és az első síknegyedben ábrázoljuk a dióda nyitóirányú (U_D - I_D) karakterisztikáját!

1.1.2 Számítsuk ki a dióda visszáramát (I_0). Ehhez használjuk fel a dióda áramának egyenletét. A dióda feszültségét és áramát a nyitószakaszban vegyük fel egy pontban (ahol $I_D > 1\text{mA}$). Pontosabb mérésekhez több pontban vett értékekből számolt I_0 értékek átlagát lehet venni a mérési hiba csökkentése érdekében.

¹ Ugyanis a voltmérő belső ellenállása mV méréshatárban olyan nagy, hogy a mindenütt (de főleg a laborban) jelenlévő elektromágneses zavarok hatására akkor is mér valamit, ha nincs rendesen bekötve az áramkörbe, vagy az nincs tápfeszültség alatt.

1.2 Zener-dióda záróirányú karakterisztikájának felvétele:

1.2.1 A 1.3 ábra szerint a **BZX5V1** típusú Zener-dióda felhasználásával valósítsuk meg a záróirányú karakterisztika felvételére alkalmas kapcsolást. A típusmegnevezésből kiderül, hogy 5,1V a dióda névleges letörési feszültsége, ezért a korábbival ellentétben ebben a tartományban kell sűrűbben mérési pontokat felvenni. Mint látható, a kapcsolás az előző mérési ponthoz képest szinte változatlan, de ne feledjük, hogy a Zener-dióda záróirányban működik, ezért a hagyományos egyenirányító diódához képest fordítva kell bekötni! Az **R** előtét-ellenállás értéke változatlanul **1kΩ**.



1.3 ábra: Zener-dióda karakterisztikájának mérőáramköre

A Zener-dióda „fordítva” (helyesen szólva záróirányban) van bekötve, ezért a műszerek pozitív feszültség- és áramértékeket mutatnak, de a dióda hagyományos referencia iránya szerint ezek az értékek negatívak.

U_t [V]	1	2	3	4	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	6	7	8	10	12	14	16	18	
$-U_D$ [V]																				
$-I_D$ [mA]																				

A mérési jegyzőkönyvben a Zener-dióda záróirányú karakterisztikáját lineárisan, a koordináta-rendszer harmadik síknegyedében ábrázoljuk!

2.2.2 A Zener-diódát fordítsuk meg, azaz kössük be nyitóirányba! Gyors méréssel igazoljuk, hogy a nyitóirányú karakterisztikájának jellege lényegében megegyezik a korábban mért normál Si-diódáéval!

U_t [V]	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U_D [V]						
I_D [mA]						

A jegyzőkönyvben az itt mért értékeket a záróirányú karakterisztikával közös koordináta-rendszerben, de az első síknegyedben ábrázoljuk!

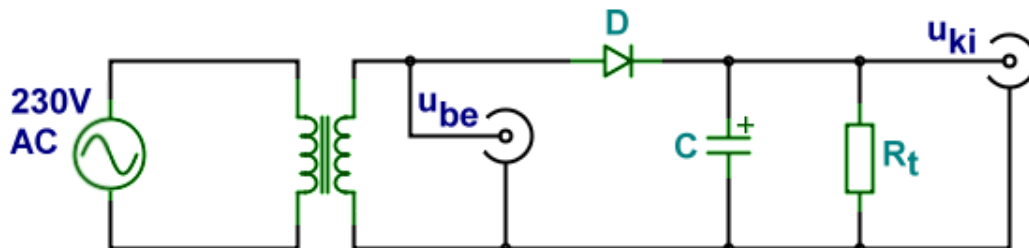
1.3 Egyutas egyenirányító vizsgálata:

A továbbiakban nincs szükség az eddig használt két digitális multiméterre, sem a tápegységre, ugyanis hálózati transzformátor fogja szolgáltatni az egyenirányítandó váltakozó áramú jelet, és ezt oszcilloszkópon vizsgáljuk. Mivel a transzformátor nem rendelkezik ki-be kapcsoló gombbal, mint a laboratóriumi tápegység, ezért **az áramkörben történő bármely módosítás esetén húzzuk ki a transzformátor kimenetének legalább egyik vezetékét a zárlat elkerülése érdekében!** Csak teljesen megépített áramkört kössünk be a transzformátorra, feszültség alatt ne végezzünk módosításokat! (Ezt a tanácsot egyéb esetekben is érdemes megfogadni.)

A transzformátor jelalakja nem feltétlenül lesz szinuszos – a vasmag telítésbe mehet, ilyenkor a kimenő jel „levág”, torzul (félharmonikusok jelennek meg). Egyenirányítóknál ez nem probléma, hiszen úgyis egyenfeszültséget akarunk a kimeneten előállítani.

Az **abszolút hullámosság** a (kondenzátorral pufferelt) kimenő jel maximális és minimális értékének különbsége. A **relatív hullámosság** ugyanez a maximális értékkel osztva (normálva), százalékban kifejezve. Ne felejtsük el, hogy a váltakozó áramnál jellemzően a feszültség effektív értékét adjuk meg, egyenirányítóknál viszont a csúcserték a fontos. A transzformátor feszültsége némileg eltérhet a névleges feszültségtől (és terhelésfüggő), ez a mérést nem befolyásolja.

A kapcsolás **D** jelzésű diódája természetesen az első pontban mért **1N4007** egyenirányító dióda. *Figyelmesen olvassuk el az útmutató 1.6-os pontját a koaxiális csatlakozó jelöléséről (a fejezet utolsó oldalán)!*



1.4 ábra: Egyutas egyenirányító alapkapsolás

1.3.1 Az egyenirányító **kapcsolás megépítése előtt** BNC-banán vezetékkel kössük a transzformátor kimenetét az oszcilloszkóp CH1 csatornájára, majd ábrázoljuk és értékeljük ki a jelalakot (periódusidő, frekvencia, csúcstól-csúcsig vett érték, effektív érték, stb.)!

1.3.2 Az egyutas, más néven félhullámú egyenirányító alapkapsolást valósítsuk meg az 1.4 ábra szerint. Galvanikusan független transzformátor fogja szolgáltatni a bemeneti jelet, amit egyúttal vezessünk az oszcilloszkóp CH1 csatornájára, a kimenetet pedig az oszcilloszkóp CH2 csatornájára. (Digitális oszcilloszkópnál javasolt a trigger a CH1-re állítani.) Először a C pufferkondenzátort ne iktassuk be a körbe, csak az **R_t=3,6kΩ** értékű terhelőellenállást!

1.3.3 Az oszcilloszkóp sec/div és V/div kezelőszerveit a transzformátoron feltüntetett kimeneti paramétereknek megfelelően állítsuk be (a hálózati frekvencia 50Hz). Emlékeztetőül: célszerű az időalapot a várható jel periódusidejének negyedére megválasztani. CH1 és CH2 is legyen DC csatolt és nulla szintjük legyen közös (GND állásban fedje egymást a két csatorna által kirajzolt vízszintes vonal). Az így kapott u_{be} és u_{ki} jelalakokat lépték- és fázishelyesen rögzítsük, a látottakat magyarázzuk! Mérjük meg a bemenő és kimenő jel csúcsertékekének különbségét és magyarázzuk!



1.5 ábra: elektrolit kondenzátorok

1.3.4 Ismételjük meg a jelalakok rögzítését és kiértékelését, de ezúttal $C=2,2\mu\text{F}$ pufferkondenzátor beiktatásával! Ügyeljünk az elektrolit kondenzátor polaritására (a dióda katódja az egyenirányító pozitív potenciálú kimenete), ellenkező esetben pukkanás/robbanásveszélyes! A kondenzátor burkolatán a negatív elektródát csíkkal jelölik (1.5 ábra). Mérjük meg a kimenő jel minimális és maximális értékeit, határozzuk meg az abszolút és relatív hullámosságot!

1.3.5 Ismételjük meg az 1.3.4 feladatot $C=10\mu\text{F}$ értékű kondenzátorral! A hullámosság értékeket vessük össze (jegyzőkönyvi feladat)!

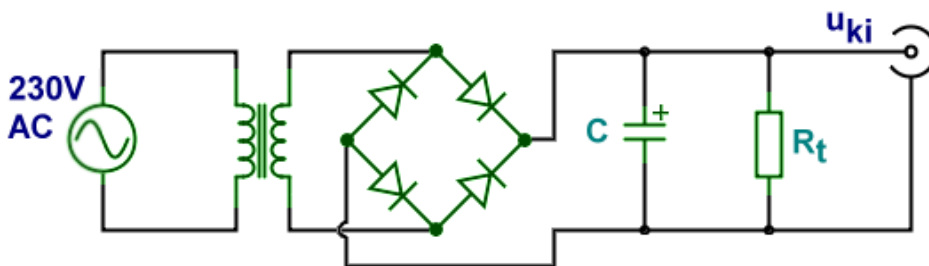
Az elektrolit kondenzátorok felépítésükből adódóan polaritásfüggők; a tokozáson túlnyomórészt a negatív elektródát jelölik csíkkal, benne mínusz jelekkel vagy nyilakkal. Az "elkók" tipikusan néhány μF kapacitásértéktől felfelé fordulnak elő. A kondenzátor fém háza az egyik (a negatív) kivezetéssel össze van kötve.

2.4 Graetz-féle teljes hullámú egyenirányító vizsgálata:



1.6 ábra: Integrált Graetz-egyenirányító

A Graetz-híd bemenete és kimenete nincs közvetlen összeköttetésben, ezért nem lehet őket közös referenciapontra kötni. Ezért **nem tudjuk a bemenetet és a kimenetet egyszerre megjeleníteni** olyan **oszilloszkópon**, amelynek a bemenetei közös földponton vannak (a BNC csatlakozóinak a külső része – az árnyékolás – a hálózati földpotenciálon van), ilyenkor egyenként kell őket megvizsgálni. Erre azonban most nincs szükség, mivel a transzformátor ugyanazt a kimeneti jelet szolgáltatja, amit az előző pontokban már mértünk; így csak az egyenirányító kimeneti jelét mérjük.



1.7 ábra: Graetz-féle teljes hullámú egyenirányító

1.4.1 Építsük meg az 1.7 ábrán található kapcsolást, kimeneti jelét vezessük oszcilloszkópra! A gyorsaság kedvéért a hídegyenirányító négy diódája közös tokozású alkatrészként rendelkezésre áll, melynek négy kimenete a Graetz-kapcsolás körüli négy csomópontnak felel meg. A tokozás tetején egymás mellett helyezkednek el a váltakozóáramú bemenetek, valamint az egyenáramú kimenetek. A mérési összeállításba először még ne tegyük be a C pufferkondenzátort, csupán az $R_t=3,6k\Omega$ értékű terhelőellenállást!

1.4.2 Oszilloszkópon vizsgáljuk meg az egyenirányító kimeneti jelét DC csatolásban! Különös figyelemmel mérjük meg a periódusidőt, a látottakat magyarázzuk! Mennyivel lesz kisebb a kimeneti jel csúcserőértéke a bemenetinél és miért?

1.4.3 Ismételjük meg a kimeneti jel analízisét a $C=2,2\mu F$ pufferkondenzátor polaritáshelyes beiktatását követően! Határozzuk meg az abszolút és relatív hullámosságot!

A jegyzőkönyvben hasonlítsuk össze az egyutas és kétutas egyenirányítók kimeneti jelének hullámosságát, magyarázzuk meg az eltérés okát!

1.4.4 $C=10\mu F$ értékű pufferkondenzátorral is határozzuk meg a hullámossági paramétereket, a jegyzőkönyvben hasonlítsuk össze az előzőekben mértekkel!

1.5 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzolja fel az egyenirányító dióda nyitóirányú karakterisztikáját!
2. Rajzolja fel a Zener-dióda záróirányú karakterisztikáját!
3. Írja fel a dióda áramának egyenletét és nevezze meg a benne szereplő mennyiségeket!
4. Rajzoljon fel egy egyutas egyenirányító kapcsolást!
5. Rajzolja fel az egyutas egyenirányító időfüggvényeit kimeneti pufferkondenzátor használatával és anélkül is (szinuszos bemenet esetén)!
6. Rajzolja fel a Graetz-féle kétutas egyenirányító kapcsolást transzformátorral!
7. Rajzolja fel a Graetz-féle teljes hullámú egyenirányító kimeneti jelalakjait pufferkondenzátor használatával és anélkül is (szinuszos bemenet esetén)!
8. Miért kisebb az egyenirányítók kimeneti csúcsfeszültsége a bemeneténél?
9. Mit értünk az egyenirányítók kimeneti jelének abszolút és relatív hullámosságán?
10. Milyen módokon csökkenthető egy tetszőleges egyenirányító kimeneti jelének hullámossága?
11. * Mit értünk a dióda áramának folyási szöge alatt? Miért kell tervezéskor tisztában lenni vele?
12. * Hogyan mérjük/számoljuk a folyási szöget az egyenirányító kapcsolatban?

1.6 Megjegyzés:

A kapcsolási rajzokban találunk egy új szimbólumot (**1.8 ábra**). Ez eredetileg koaxiális kábelek csatlakozóira utal; ilyen pl. a laboratóriumban a függvénygenerátorokon és oszcilloszkópokon található BNC típusú csatlakozó.

Az útmutatóban a szimbólum jelzi, hogy váltakozóáramú (AC) jelet mérünk, amihez *koaxiális kábellel* kell csatlakozni azokra a pontokra. A szimbólumban a külső kör (körív – „hidegvezeték”) az árnyékolásra utal, amit a közös nullpontra ill. földpontra kell kötni - az egyes műszerek BNC csatlakozóinak az árnyékolása mind a hálózati földön van, ezért a mérőkábelek másik végén is csak közös pontra lehet (kell) az árnyékolást kötni! A belső kis körhöz csatlakozó vezeték („melegvezeték”) kerül a mérendő pontra, mely a gyakorlatban a számunkra hasznos (mérendő) jelet hivatott továbbítani.

A jelenleg használt paneleken van BNC csatlakozó, amiknek a mellettük lévő legközelebbi (szigetetlen) banánhüvely a földelése.



1.8 ábra: A koaxiális kábel csatlakozójának szimbóluma

2. Mérés

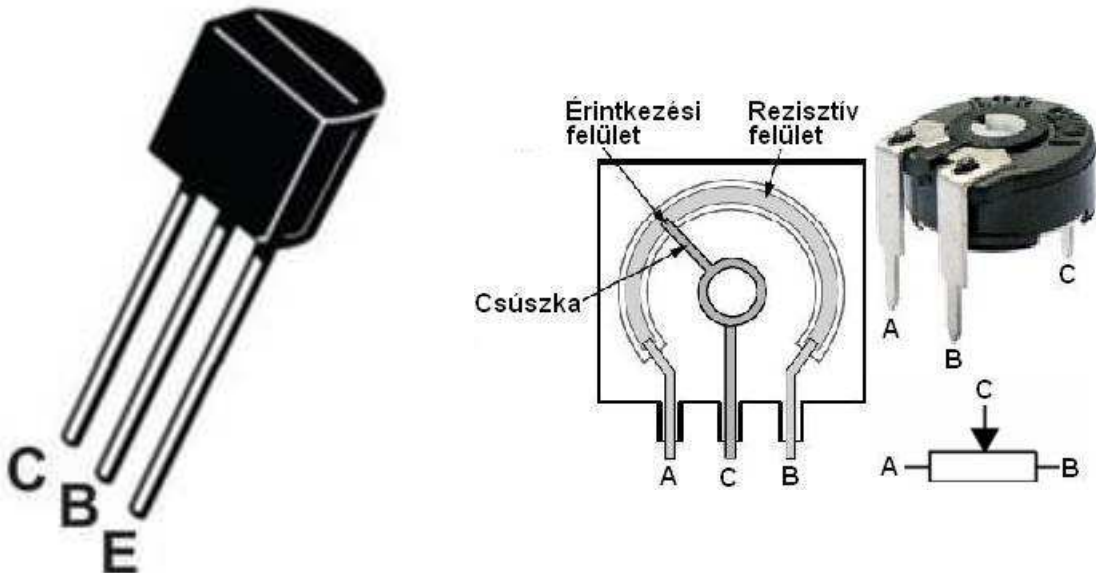
Tranzisztoros áramgenerátor és erősítők

A mérés kezdetekor a beugró zárthelyivel egyidőben a laborvezető ellenőrzi az előkészítendő feladatok meglétét!

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.

2.0 Otthoni kötelezően előkészítendő feladatok:

- 1/a.** Számítsuk ki a **2.1 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 **2.2 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)!

Házi feladat:

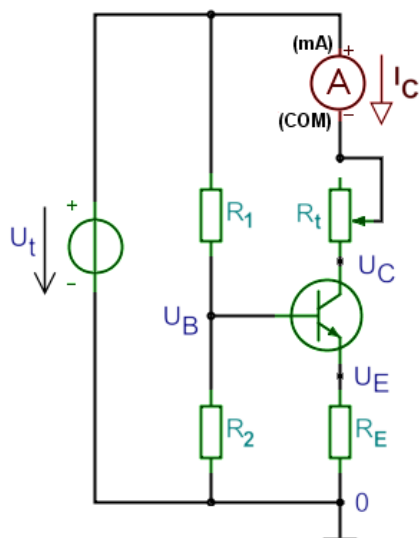
(tétélesen kidolgozva)

1.

2.

2.1 Áramgenerátor bipoláris tranzisztorral:

2.1.1 Valósítsuk meg a bipoláris tranzisztorral felépített áramgenerátort a 2.2 *ábra* alapján!



2.2 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).

2.1.2 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).**

2.1.3 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.)

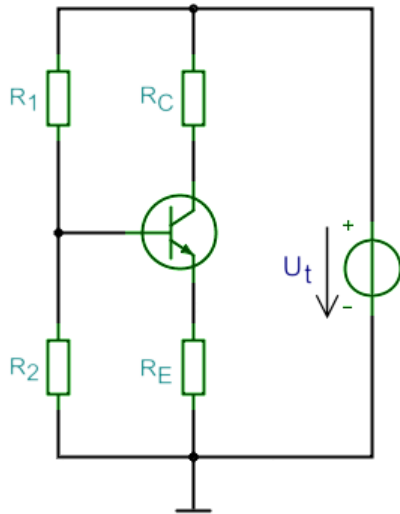
2.1.4 Tegyük be ezúttal a potenciométer helyére a $2k\Omega$ ellenállást (mivel ez R_{tmax} -nál kisebb érték, ezért a kapcsolás áramgenerátoros üzemben van). Mérjük meg az U_B , U_C , U_E csomóponti potenciálokat (a referenciaponthoz képesti feszültségeket), majd vessük össze az előkészítendő feladatban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

2.1.5 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!

U_{Rt}	R_t	R_{t2}
I_C	mA	mA

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

2.2 Földelt emitteres erősítő vizsgálata:



A megépítéshez szükséges adatok:

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

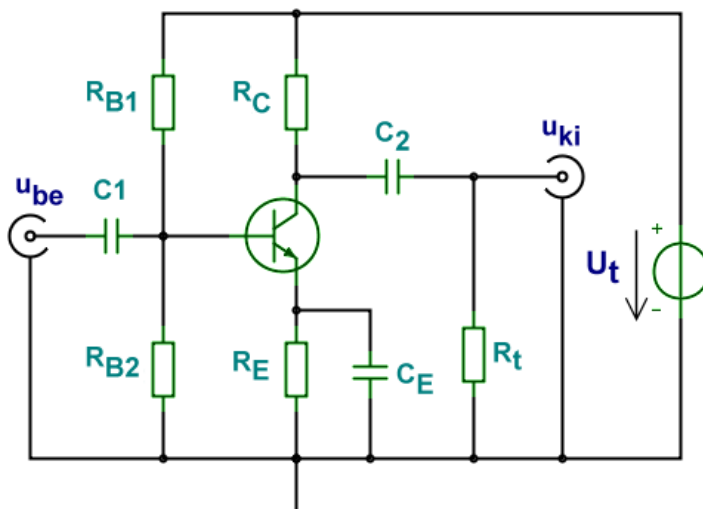
A kapcsolásban szereplő összes ellenállást mérjük meg két tizedes pontossággal, majd a jegyzőkönyv elkészítése során ezekkel a pontos értékekkel számoljunk.

2.3 ábra: Földelt emitteres erősítő egyenáramú munkapont beállító része

2.2.1 Az előző mérésben mért áramgenerátort **nem kell teljesen szétbontani** a 2.3 és 2.4 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 csatolókapacitátorokat, 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 $U_t=15\text{V}$.

2.2.2 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 ismertetében 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.)

2.4 ábra: Földelt emitteres erősítő teljes kapcsolása

2.2.3 Egészítsük ki a kapcsolást a három kondenzátorral és a terhelő ellenállással ezúttal a teljes **2.4 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 $R_t=R_C$)! 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.

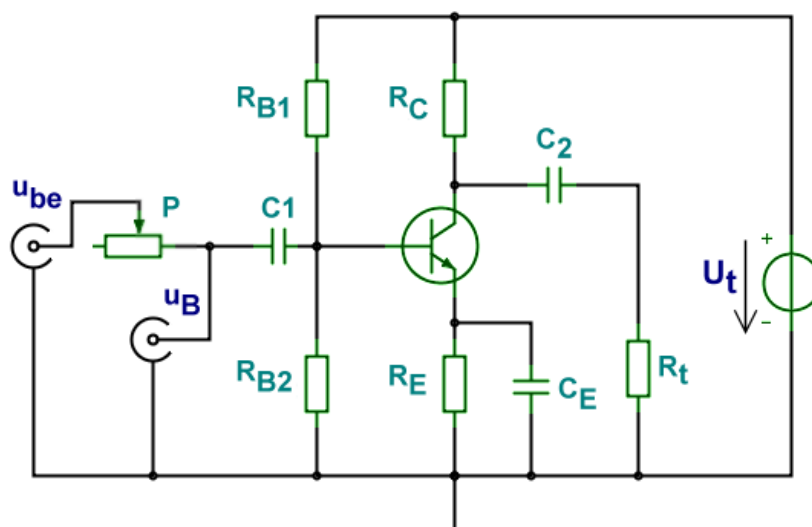
A függvénygenerátor által szolgáltatott bemeneti jelet állítsuk 5kHz-es szinuszra és akkora amplitúdójúra, hogy a kimenő jel még ne torzuljon észrevehetően! Ez a bemeneti érték várhatóan nagyon kicsi, mV nagyságrendű lesz, ezért a kimeneti jelre lesz célszerű triggerelni. Rögzítsük a bemeneti, valamint 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!

2.2.4 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 más!) 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.

Javasolt mérési mód: 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).

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



2.5 ábra: Erősítő bemeneti ellenállásának mérése

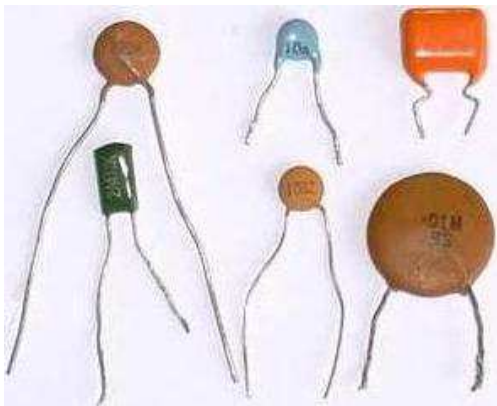
2.2.6 Tegyük vissza C_E kondenzátort (polaritás helyesen), majd mérjük meg az erősítő bemeneti ellenállását! Ehhez C_1 bemeneti csatolókondenzátor elé sorosan iktassuk be a $R_P=10k\Omega$ értékű potenciométert a **2.5 ábrának** megfelelően! Így az erősítő látszólagos bemeneti ellenállása és a potenciométer 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 szinuszjelet! 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.

A kapott értéket vessük össze a számítással, majd határozzuk meg belőle a tranzisztor tényleges béta (β) paraméterét (a bemeneti impedancia képletét rendezzük át β -ra)!

2.3 Megjegyzés:

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



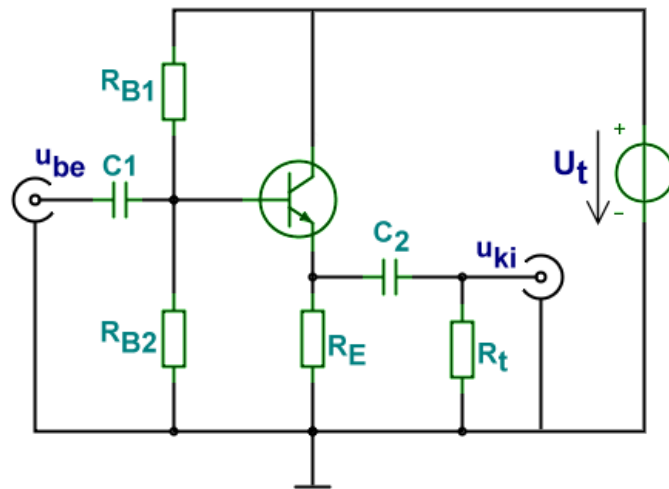
2.6 ábra: példa kerámia-kondenzátorokra

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:

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

2.4 Földelt kollektoros erősítő vizsgálata:



2.7 ábra: Földelt kollektoros erősítő

2.4.1 Az előző mérésben vizsgált FE kapcsolást módosítsuk a **2.7 ábra** szerint, hogy FC kapcsolást kapjunk! R_C ellenállást helyettesítsük rövidzárral, valamint C_E -t távolítsuk el, C_2 kimeneti csatolókapacitárral pedig ezúttal az emitterről vegyük le a kimeneti feszültséget ($R_L=5,1k\Omega$ opcionális, nem szükséges)!

2.4.2 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.)

2.4.3 Mérjük meg az alsó és felső határfrekvenciát!

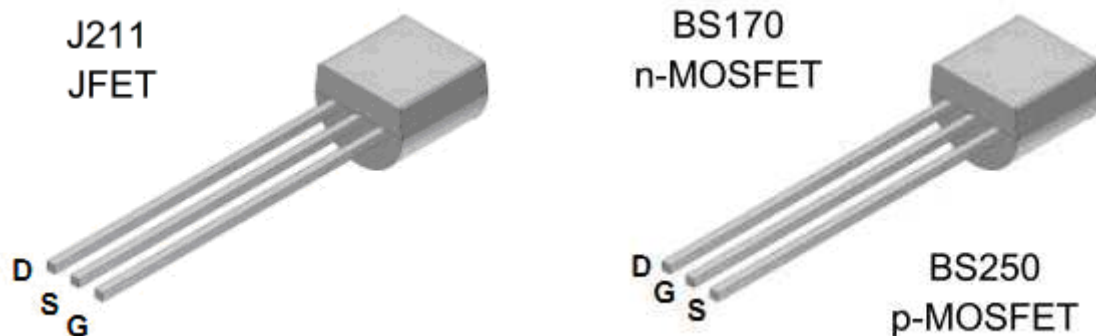
2.5 Ellenőrző kérdések:

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 kivesszük?
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!

3. Mérés

FET karakterisztikák, erősítők, inverterek

Az alábbi mérés során megismerkedünk a **J211** típusú N-csatornás JFET-el, valamint a **BS170** és **BS250** típusú N- és P-csatornás MOSFET-el, melyek egymásnak komplementer megfelelői. Az első mérési pontban még mindkét állítható tápegységre, a többiben már csak egyre lesz szükség, ezért mindkettő szabályozható tápegység kimeneten állítsunk be körülbelül **20mA áramkorlátot!**



4.1 ábra: J211 (bal), illetve BS170 és BS250 (jobb) lábkiosztása

3.0 Otton kötelezően előkészítendő feladatok:

1. A **3.2 feladatban** szereplő JFET-es FS kapcsolásban számoljuk ki I_D értékét! (Vegyük figyelembe, hogy U_D -t körülbelül a tápfeszültség felére kell beállítani!)

2. Végezzünk közelítő számítást az FS erősítő paramétereire!

Katalógus alapján (a megadott tartományok közéértékét használva) tegyük fel, hogy a következő paraméterekkel rendelkezik a JFET: $U_0 = -3,5V$; $I_{DSS} = 13mA$.

Számítsuk ki az így várható U_{GS} , g_m , A_u értékeket!

3. A **3.3 mérésben** mekkora lesz a drain áram maximálisan várható értéke $U_{táp} = 5V$ ill. $10V$ mellett?

Házi feladat:

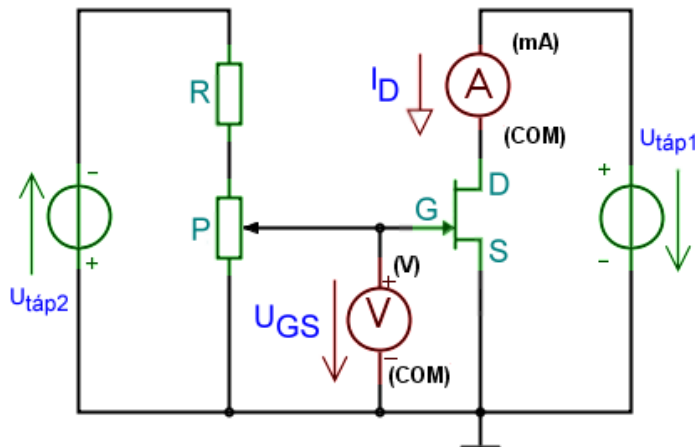
(tétélesen kidolgozva)

1.

2.

3.

3.1 N-JFET karakterisztikái:



A megépítéshez szükséges adatok:

$$U_{\text{táp1}} = 15\text{V}$$

$$U_{\text{táp2}} = 5\text{V}$$

$$R = 330\Omega$$

$$P = 1\text{k}\Omega \text{ potenciométer.}$$

3.2 ábra: NJFET karakterisztika felvétele

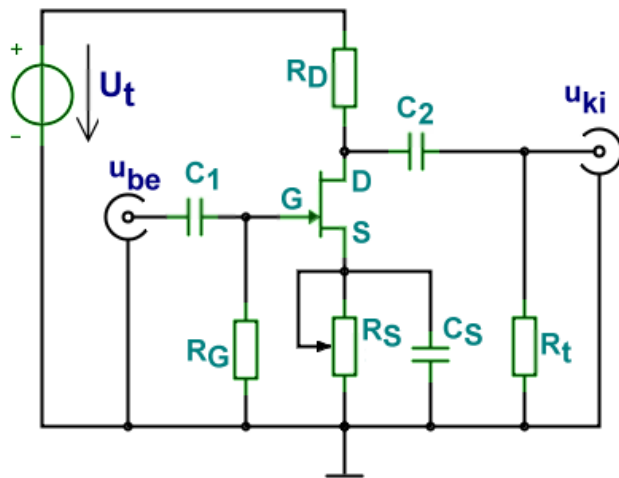
3.1.1 A 3.2 ábrának megfelelően valósítsuk meg az N-csatornás JFET-ek karakterisztikáinak felvételére alkalmas egyszerű áramkört! **Különösen ügyeljünk a tápfeszültségek, főképp $U_{\text{táp2}}$ előjelhelyes bekötésére**, mivel az N-csatornás JFET-ek nem kaphatnak nullánál nagyobb, azaz pozitív előjelű gate-feszültséget! A drain-körbe beiktatott árammérő (mely a drain-áramot méri), valamint a gate-köri feszültségmérő (mely pedig a gate előfeszültséget méri) egyaránt három tizedes pontosságú mérési tartományban üzemeljen (előbbi mA állásban)! Az így kapott mérési elrendezésben a JFET gate feszültsége $P=1\text{k}\Omega$ potenciométer segítségével állítható. $U_{\text{táp1}}=+15\text{V}$, $U_{\text{táp2}}=5\text{V}$ legyen és $R=330\Omega$.

3.1.2 Vegyük fel a JFET transzfer karakterisztikáját ($U_{\text{GS}}-I_{\text{D}}$, $U_{\text{DS}}=\text{konstans}$)! Először keressük meg a karakterisztika két végpontját (U_0 vagy U_{th} elzáródási feszültség, amikor I_{D} áram körülbelül nulla, és I_{DSS} szaturációs áramot, ahol $U_{\text{GS}}=0\text{V}$)! Az így kapott gate feszültség tartományt vegyük fel legalább 10 (inkább 15) mérési pontban! A jegyzőkönyvben történő ábrázolásakor használjunk lineáris léptéket (különösképpen a 3.2.2 feladat miatt)!

3.1.3 Vegyük fel a JFET kimeneti karakterisztikáját ($U_{\text{DS}}-I_{\text{D}}$, $U_{\text{G}}=\text{konstans}$)! A gate feszültséget, azaz U_{GS} -t úgy válasszuk meg, hogy a drain áram körülbelül a szaturációs áram fele legyen! A beállítást követően jegyezzük fel a gate feszültségértéket; ezt követően ez maradjon állandó értéken. Változtassuk U_{DS} ($U_{\text{táp1}}$) feszültséget 0-18V-ig (eleinte sűrűbben, a telítési tartomány elérését követően ritkábban), egyúttal mérjük I_{D} áramot, mindezt körülbelül 20 mérési pontban!

3.2 Földelt-sourceú (FS) JFET erősítő vizsgálata:

3.2.1 Építsük meg a 3.3 ábra alapján az FS erősítő alapkapsolását!



A megépítéshez szükséges adatok:

$$U_t = 15V$$

$$R_G = 1M\Omega$$

$$R_S = 2,2k\Omega \text{ potenciométer}$$

$$R_D = 5,1k\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 100nF$$

$$C_S = 47\mu F$$

$$R_t = R_D$$

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

3.3 ábra: FS JFET erősítő

3.2.2 Vegyük fel a munkaponti paramétereket! A source-ellenállás szerepét betöltő potenciométert úgy állítsuk be, hogy U_D drain-feszültség U_t tápfeszültség fele legyen. A beállítást követően vegyük ki, majd mérjük meg R_S pontos értékét és jegyezzük le, utána természetesen tegyük vissza! Mekkora U_G munkaponti feszültség értéke és miért?

Határozzuk meg az erősítőben valóban létrejött drain-áramot (méréssel, vagy $U_{táp}$, U_D és R_D ismeretében számolással). Határozzuk meg az U_{GS} munkaponti feszültséget!

A 3.1.2 pontban felvett transzfer karakterisztikán keressük meg és jelöljük be U_S feszültséget és határozzuk meg a hozzá tartozó drain-áramot.

Végül, az előzőekben meghatározott U_0 és I_{DSS} értékeket, valamint a mostani feladatban kapott U_{GS} értéket helyettesítsük be a JFET $U_{GS}-I_D$ egyenletébe, és így is számítsuk ki a várható drain áramot!

Hasonlítsuk össze a háromféleképpen megkapott drain áramot!

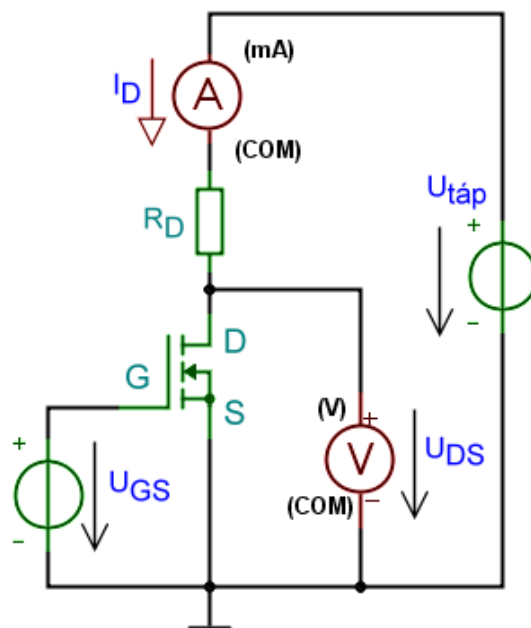
3.2.3 Az u_{be} -ként jelölt bemeneti pontot kössük a függvénygenerátor analóg kimenetére, egyúttal az oszcilloszkóp CH1 csatornájára (T-elosztó és BNC-BNC kábel használatával!), az u_{ki} kimeneti pontot pedig az oszcilloszkóp CH2 csatornájára!

A függvénygenerátor által szolgáltatott bemeneti jelet állítsuk 5kHz-es, $500mV_{pp}$ (csúcstól csúcsig) értékű szinuszra. 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!

3.2.5 Mérjük meg az erősítő alsó és felső határfrekvenciáját!

3.2.4 Vegyük ki C_S kondenzátort, majd mérjük meg újra az erősítést! Indokoljuk és számítással igazoljuk a változást!

3.3 NMOS (N-csatornás MOSFET) transzfer karakterisztikája:



3.4 ábra: NMOS karakterisztika felvétele

3.3.1 Építsük meg a **3.4 ábra** szerinti kapcsolást, mellyel a BS170 N-csatornás növekményes MOSFET transzfer karakterisztikáját (U_{GS} - I_D , $U_{DS}=\text{konstans}$) felvesszük.

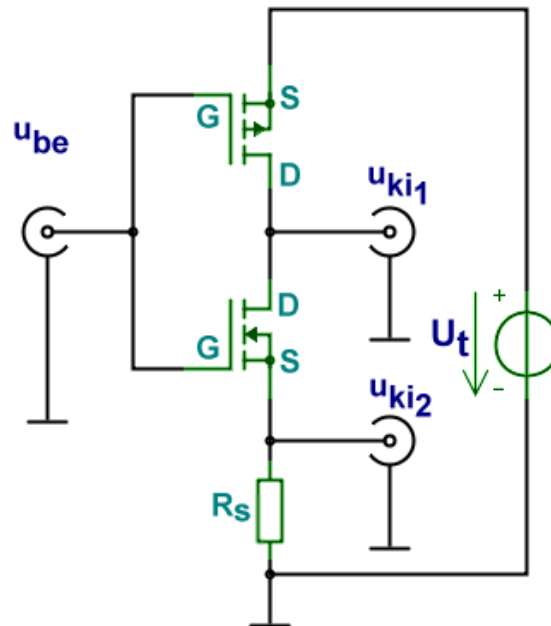
A feszültségmérőt és árammérőt egyaránt **három tizedes** pontosságúra állítsuk be! R_D munkaellenállás értéke **180 Ω** , maximális disszipációja pedig $P_{D\text{max}}=2\text{W}$.

$U_{\text{táp_áramkorlátozása}}$ ezúttal **legyen 100mA!** (A 3.4 feladat előtt állítsuk vissza eredeti értékére!)

3.3.2 A tápfeszültség legyen 5V. Vegyük fel az N-csatornás MOSFET transzfer karakterisztikáját 0-5V U_{GS} értékek között fél voltos léptékekben! $U_{GS}=5\text{V}$ esetén mérjük meg U_{DS} feszültséget, majd számítsuk ki $R_{DS\text{ON}}$ értékét! A jegyzőkönyvben hasonlítsuk össze a katalógus adattal, a transzfer karakterisztikát pedig az elméletben tanultakkal; a különbséget magyarázzuk!

3.3.3 Ismételjük meg a **3.3.2** mérési pontot 10V tápfeszültséggel!

3.4 CMOS inverter vizsgálata:



3.5 ábra: CMOS inverter

Állítsuk vissza az áramkorlátot kb. 20mA értékűre!

3.4.1 Valósítsuk meg a **3.5 ábrának** megfelelő CMOS inverter vizsgáló kapcsolást! A mérőkapcsolás alsó ágában az előző mérési pontokban használt BS170 típusú NMOS-t, a felső ágában pedig ennek komplementer megfelelőjét, a BS250 típusú PMOS-t helyezzük be. Az $R_s=13\Omega$ ellenállás az áram jelalak vizsgálatára szolgál, az inverternek egyébként nem része. $U_{táp}$ tápfeszültség értéke ezúttal 5V legyen.

Csatlakoztassuk u_{be} bemeneti pontra a függvénygenerátor TTL kimenetét, valamint az oszcilloszkóp CH1 csatornáját (ajánlatos a BNC-BNC kábel és T-elosztó használata), az áramkör u_{ki1} kimeneti pontját pedig az oszcilloszkóp CH2 csatornájára!

3.4.2 A funkciógenerátor szolgáltatva vizsgálójel frekvenciáját állítsuk 100kHz-re! Az amplitúdó és egyéb paraméterek állítása felesleges, mivel a TTL (Transistor-Transistor Logic) szabvány szerint a TTL jel 50% kitöltési tényezőjű, 0 és +5V jelszintű négyszögjel, így a TTL kimenet használata esetén a funkciógenerátor kizárólag a frekvencia állítására fog reagálni. Rajzoljuk le a be és kimeneti jelalakokat fázishelyesen (ezzel igazolva az invertáló hatást)!

3.4.3 Az oszcilloszkóp CH2 csatornáját kössük át u_{ki1} -ről u_{ki2} -re, így a sorosan kapcsolt R_s ellenálláson létrejövő feszültségalakot vizsgáljuk. A várható jel nagysága mV nagyságrendű lesz, ennek megfelelően korrigáljuk CH2 V/div beállítását! Ábrázoljuk a jeleket fázishelyesen és magyarázzuk a látottakat! (Igazából mit mértünk, az mivel arányos és miért fontos a gyakorlatban?)

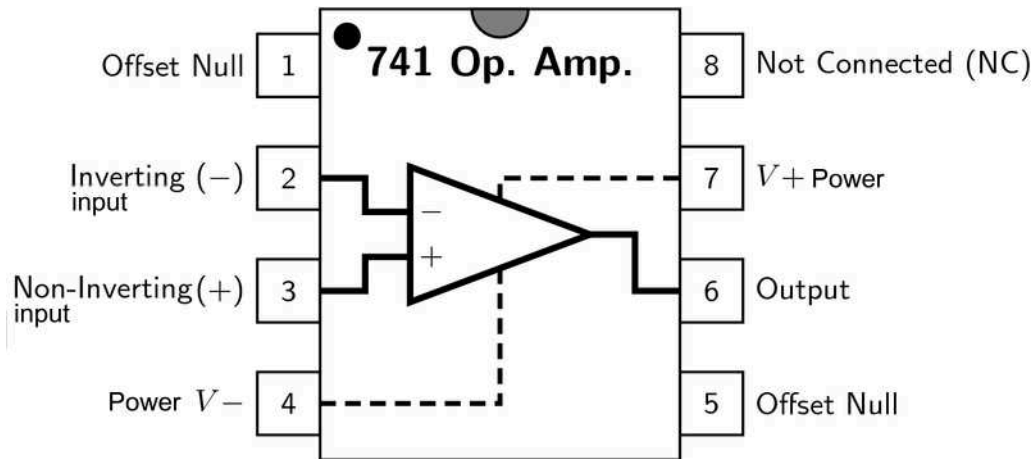
3.5 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzolja le egy N-csatornás JFET földelt Source-ú transzfer és kimeneti karakterisztikáit (utóbbin jelölve a görbesereg tagjainak paraméterét)! Jelölje a nevezetes pontokat!
2. Rajzolja le egy növekményes NMOS transzfer és kimeneti karakterisztikáit!
3. Rajzoljon le egy FS N-JFET erősítőt (alkatrészek megnevezésével)!
4. Adja meg a JFET transzfer karakterisztika egyenletét! Nevezze meg az egyes összetevőket!
5. Ismertesse MOSFET-ek esetén az $R_{DS(on)}$ paramétert, ennek jelentőségét tervezéskor!
6. Rajzolja le az N és P csatornás JFET-ek, növekményes és kiürítéses NMOS- ok és PMOS-ok rajzjeleit! A kivezetéseket nevezze meg!
7. Adja meg a JFET meredekségének egyenletét, definiálja a meredekség fogalmát (mértékegységgel)!
8. Definiálja az erősítő alsó- és felső határfrekvenciáját (ábrával és szövegesen)!
9. Kis frekvencián miért nincs, nagyfrekvencián pedig miért van a FET-eknek Gate-árama? Mitől függ ezen áram nagysága?
10. Mi határozza meg tetszőleges földelt Source-ú JFET erősítő bemenő ellenállását?
11. Mi határozza meg egy tetszőleges földelt Source-ú JFET erősítő kimeneti ellenállását?
12. Mit jelent a CMOS kifejezés és hogyan működik a CMOS inverter?
13. Mi okozza egy terheletlen CMOS inverter áramfelvételét?
14. Hogyan függ a JFET Drain-árama a hőmérséklettől ?
15. Mi az oka annak, hogy egy földelt Source-ú erősítő erősítése számottevően kisebb, mint egy bipoláris tranzisztoros földelt emitteresé ?

4. Mérés

Műveleti erősítő alapkiosztások

A mérés során szükség lesz a laboratóriumi tápegység mindkét szabályozható kimenetére; ügyeljünk ezek előjelhelyes bekötésére! A tápegység két állítható kimenetén a mérés megkezdése előtt állítsunk be körülbelül **20mA áramkorlátot**, és ne módosítsuk a mérés során! A foglalkozás során felhasználásra kerülő **LM741** típusú műveleti erősítő lábkiosztása:



4.1 ábra: LM741 lábkiosztása

Az integrált áramkörök tokozásán egy bevágás található (**4.1 ábra** szerint), vagy egy pötty jelöli az 1-es lábat (olykor mindkettőt alkalmazzák). A számozás óramutató járásával ellentétes irányban történik minden IC-nél.

Sok műveleti erősítő kiosztása a 741-esét követi. A két műveleti erősítőt tartalmazó (duális) IC-k is gyakoriak, lásd LM258/358 típust a laboratórium faliújságján. Elektronikai méréseinkben általában a 741 és a 358 közül valamelyik található meg.

4.0 Otthon kötelezően előkészítendő feladatok:

1. Számítsuk ki az **4.1** és az **4.2 példában** látható kapcsolások erősítését!
2. Számítsuk ki az **4.1 példa** kapcsolásának várható felső határfrekvenciáját!

Katalógus alapján várható értékek: $A_{u0}=2 \cdot 10^5$; $f_0=5\text{Hz}$.

3. Számítsuk ki az **4.4 példa** hiszterézises komparátorának várható billenési szintjeit, ha $U_{k\text{imax}}=\pm 9\text{V}$.

Házi feladat:

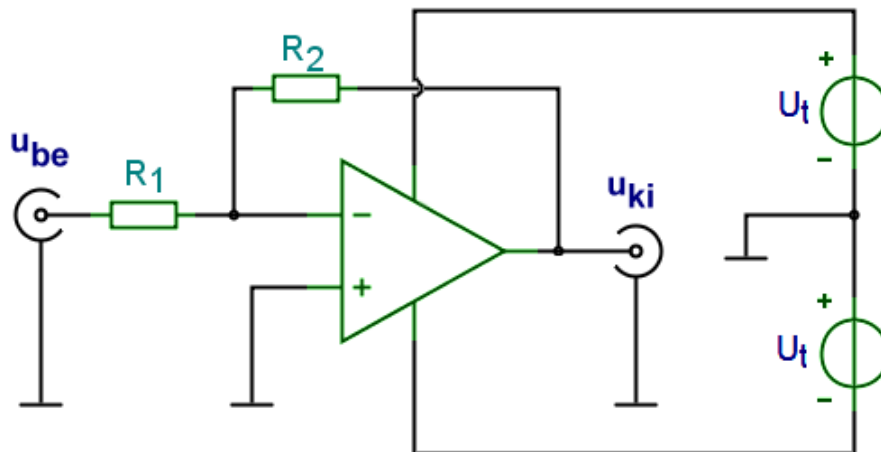
(tétélesen kidolgozva)

1.

2.

3.

4.1 Invertáló erősítő:



4.2 ábra: Invertáló erősítő mérési elrendezése

4.1.1. Állapítsuk meg a kapott műveleti erősítő típusát! Az útmutatóban vagy a faliújságon vagy adatlapon található lábkiosztás alapján rajzoljuk be az összes opampos feladathoz tartozó kapcsolási rajzba (az útmutatóban vagy füzetünkben) az egyes kivezetésekhez az azokhoz tartozó lábkiosztás számokat, így könnyítve meg a későbbi munkánkat! Írjuk be az ellenállás és tápfeszültség értékeket is az útmutató alapján.²

4.1.2 Valósítsuk meg az **4.2 ábrán** látható mérési elrendezést! Adatok: $U_t=10V$; $R_1=1k\Omega$; $R_2=10k\Omega$.

Ügyeljünk a szimmetrikus tápellátás polaritásának helyességére! Mérjük meg a felhasznált ellenállások értékét két tizedes pontossággal; a jegyzőkönyvi számításoknál ezekkel az értékekkel számoljunk és igazoljuk a kapcsolások erősítését (később referencia-feszültségeit)!

4.1.3 u_{be} pontra még ne kössük be a függvénygenerátort, hanem tegyük földpotenciálra azt is, hasonlóan a műveleti erősítő nem-invertáló bemenetéhez. Ekkor $u_{be}=0$, tehát elméletileg $U_{ki}=0$ értéket kellene kapnunk. Mérjük meg u_{ki} ponton az erősítő kapcsolás kimeneti offset feszültségét multiméterrel DCmV állásban! A bemeneti offsetet a kimeneti offset erősítéssel leosztásával kapjuk.

4.1.4 u_{be} ponton ez után szüntessük meg a földzárlatot, majd kössük be a funkciógenerátort és az oszcilloszkóp CH1 csatornáját egyaránt (az elágazáshoz érdemes BNC-BNC kábelt és T-elosztót használni). Ügyeljünk, hogy a függvénygenerátor analóg kimenetét használjuk, ne pedig a TTL-t! U_{ki} pontot vezessük az oszcilloszkóp CH2 csatornájára.

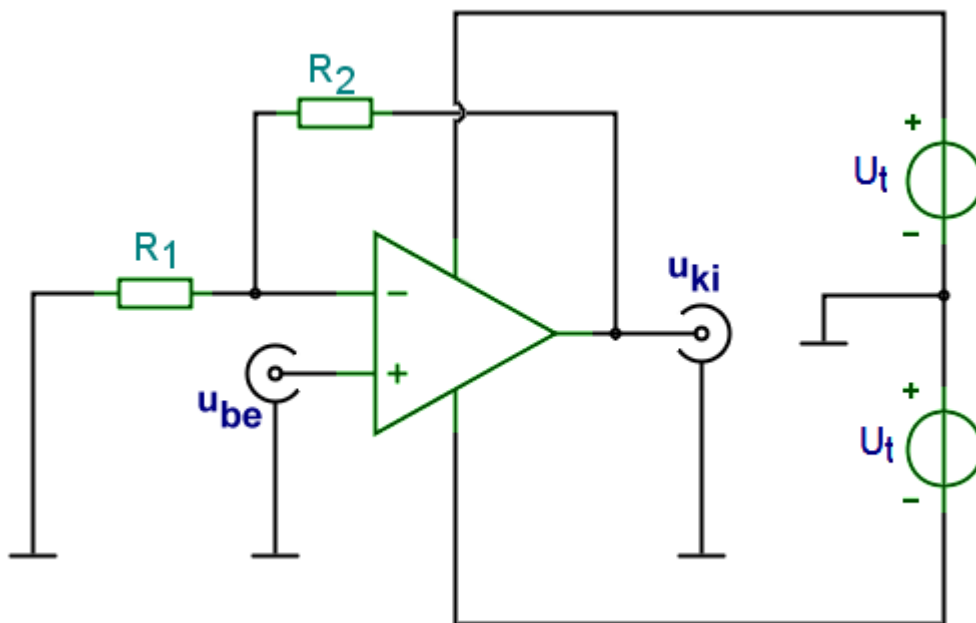
4.1.5 A függvénygenerátor kimenetére állítsunk be 1kHz, 1Vpp (csúcstól-csúcsig vett értékű) szinusz jelet, majd fázishelyesen rögzítsük a bemeneti és kimeneti jelalakokat! Igazoljuk a számított erősítést, valamint az elméletben tanult fázisviszonyokat!

4.1.6 A funkciógenerátoron állítsunk be 40mVpp kimeneti jelszintet, majd a frekvencia emelésével mérjük ki az erősítő felső határfrekvenciáját (-3dB -es pontot, vagyis ahol A_u 70%-ára csökken)!

4.1.7 A függvénygenerátoron ezúttal állítsunk be ismét 1kHz, de akkora amplitúdójú szinusz jelet, mely esetén a kimeneti jel számított csúcserőértéke meghaladja a műveleti erősítő rendelkezésére álló tápfeszültségét. Ekkor a kimeneti jel torzított lesz. Rögzítsük és értékeljük ki a kapott jelalakokat!

² Így az eredeti útmutatónk használható marad akkor is, ha más opamp kerül beszerzésre, vagy módosítani kell az alkatrészek vagy tápfeszültség értékét.

4.2 Nem-invertáló erősítő:



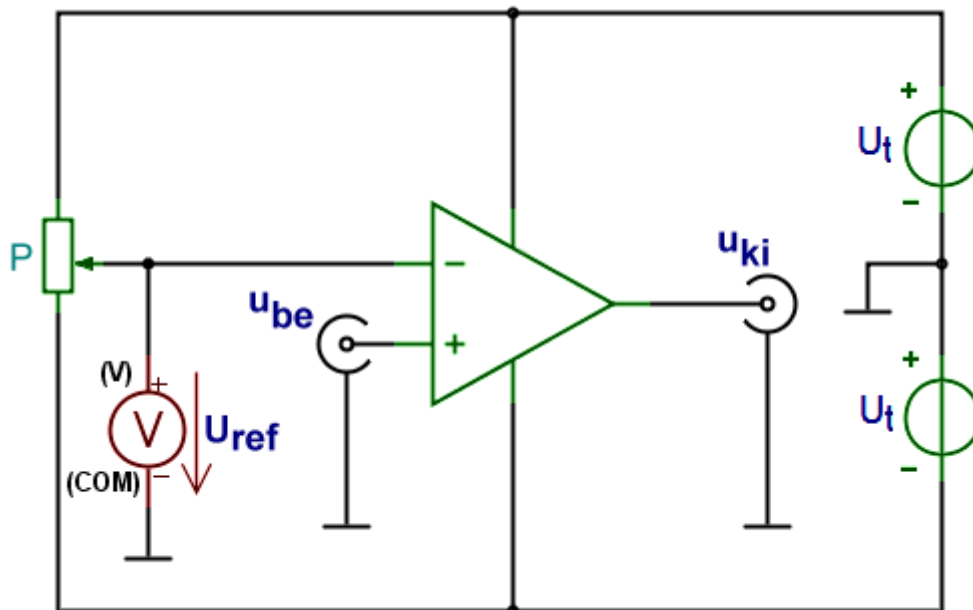
4.3 ábra: Nem-invertáló erősítő mérési elrendezése

4.2.1 Módosítsuk az előző feladat során mért invertáló erősítőt az **4.3 ábra** szerint oly módon, hogy ezúttal a korábbi U_{be} pontot tesszük földpotenciálra és a műveleti erősítő nem-invertáló bemenete lesz a kapcsolás új bemenete. Ez az egyszerű módosítás mindössze két vezeték felcserélését jelenti a panelen. A paraméterek tehát megegyeznek az előző feladatban használtakkal.

4.2.2 A funkciógenerátor kimenetére ismételten állítsunk be 1kHz, $1V_{pp}$ szinusz jelet, majd fázishelyesen rögzítsük a bemeneti és kimeneti jelalakokat! Igazoljuk a számított erősítést, valamint az elméletben tanult fázisviszonyokat!

4.2.3 A funkciógenerátoron állítsunk be $40mV_{pp}$ kimeneti jelszintet, majd a frekvencia emelésével mérjük ki az erősítő felső határfrekvenciáját ($-3dB$ -es pontot, vagyis ahol A_u 70%-ára csökken)!

4.3 Komparátor:



4.4 ábra: Komparátor mérési elrendezése

4.3.1 Valósítsuk meg az **4.4 ábrán** látható egyszerű komparátor áramkört! U_{ref} referencia feszültséget $P=47k\Omega$ potenciométer szolgáltatja, mely feszültséget mérjük digitális voltmérővel! Javasolt az U_{ref} -et az oszcilloszkóp harmadik csatornájára is kivezetni (ha van ilyen), és az összes csatornát ugyanarra a Volt/div és y-position beállításra tenni (ekkor a bemenő jel és U_{ref} metszéspontjainál fog a kimenet billenni). A tápfeszültség értéke változatlan.

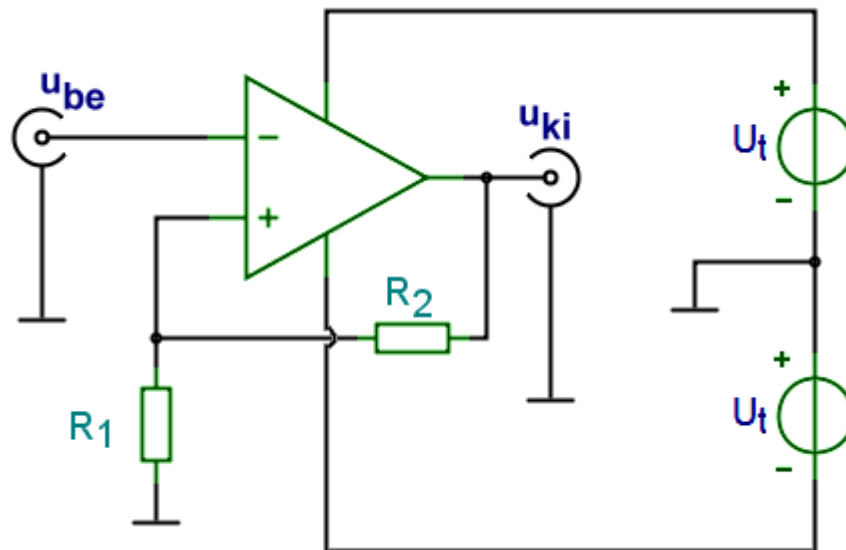
4.3.2 A függvénygenerátoron beállított kimeneti jel 300Hz frekvenciájú, $20V_{pp}$ (maximális) amplitúdójú háromszögjel legyen (nagyobb frekvenciákon a műveleti erősítő véges SR-je meghamisítja a mérést). u_{be} és u_{ki} pontokat az oszcilloszkóp CH1 és CH2 pontjain mérjük úgy, hogy mindkét csatorna DC csatolt legyen azonos V/div állásban és a földpontjuk is egy vonalba essen! A referencia feszültség értéke legyen +5V. Rögzítsük és magyarázzuk a kapott jelalakokat!

4.3.3 Változtassuk a referencia feszültség értékét (kb. 1V léptékben) és vegyük fel az $U_{ref} - d$, vagyis a referencia feszültség – kimeneti kitöltési tényező ($d - \text{duty cycle}$) karakterisztikát!

4.3.4 A kimeneti jelet vizsgáljuk meg külön (tetszőleges U_{ref} érték mellett, a bemeneti jelet nem szükséges megjeleníteni), és a lehető legpontosabb oszcilloszkóp beállítás mellett mérjük meg a műveleti erősítő felfutási meredekségét (**SR – Slew-Rate**), majd vessük össze a katalógus adattal!

4.3.5 Cseréljük fel a műveleti erősítő invertáló és nem-invertáló bemenetét, majd ismét vizsgáljuk meg a jelalakokat (az SR-t nem kell még egyszer megmérni)! (U_{ref} értéke itt is változatlanul +5V.)

4.4 Hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger):



4.5 ábra: Invertáló hiszterézises komparátor mérési elrendezése

4.4.1 Az **4.5 ábra** szerinti hiszterézises komparátort valósítsuk meg!

Adatok: $U_t=10V$; $R_1=2,2k\Omega$; $R_2=10k\Omega$

Ebben az esetben U_{ref} referencia feszültséget az R_1 és R_2 ellenállások alkotta osztó határozza meg. Lépték- és fázishelyesen ábrázoljuk a be- és kimeneti jelalakokat, valamint a bemeneti jelbe V/div módosítással történő belenagyítással minél pontosabban mérjük meg a két referenciafeszültséget! A bemeneti jel változatlanul 300Hz 20V_{pp} háromszögjel legyen.

4.4.2 Mivel a műveleti erősítő nem ideális, ezért annak kimenete nem tudja kihasználni a teljes tápfeszültség tartományt. Mérjük meg a kimeneti jel maximális pozitív és negatív csúcserőértékét is, majd az így kapott értékekkel számítsuk ki a két referenciafeszültséget. A jegyzőkönyvben a mért és számított adatokat vessük össze!

4.4.3 Vegyük fel a Schmitt-trigger transzfer-karakterisztikáját az oszcilloszkóp XY módjának felhasználásával (a vízszintes tengely legyen u_{be} , a függőleges tengely u_{ki}). Célszerű, hogy CH1 és CH2 azonos feszültségállásban legyenek. Jelölje rajta a nevezetes értékeket (referencia feszültségek és maximális kimeneti feszültségek).

4.5 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzoljon fel egy invertáló alapkapsolást és határozza meg az erősítését!
2. Rajzoljon fel egy nem-invertáló kapcsolást és határozza meg az erősítését!
3. Ábrázolja és magyarázza a műveleti erősítő frekvenciafüggését (nyílt hurkú és visszacsatolt)!
4. Mi a Slew-Rate és mi a mértékegysége? Szemléltesse időfüggvényen!
5. Mi a kitöltési tényező (d)? Szemléltesse időfüggvényen!
6. Mi a kimeneti ofszet feszültség?
7. Rajzoljon fel hiszterézises komparátor kapcsolást és határozza meg a billenési szinteket!
8. Rajzolja le a hiszterézises komparátor kimeneti jelalakját háromszög bemenet esetén!
9. Rajzolja fel a hiszterézises komparátor transzfer karakterisztikáját!
10. Milyen előnyei és hátrányai vannak egy hiszterézises komparátor alkalmazásának (a nem hiszteréziseshez képest)?
11. Mi jellemző egy műveleti erősítő be- és kimeneti ellenállására (nagyságrendek)?
12. Mi határozza meg egy műveleti erősítő maximális kimeneti jelszintjeit?