

Elektronika I. laboratórium mérési útmutató

Összeállította: Mészáros András, Horváth Márk

2018.02.12.

A laboratóriumi foglalkozásokkal kapcsolatos általános tudnivalók:

E.1 A foglalkozások megkezdésének követelményei:

Figyelem! A laboratóriumi mérés az előadás és táblás gyakorlat anyagára épül! Az ellenőrző kérdésekre a válaszokat, valamint a mérési feladatokhoz szükséges ismereteket is onnan 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.

E.2 Jegyzőkönyvvel szembeni formai és tartalmi követelmények:

A jegyzőkönyvekkel szembeni követelményeket a mérésvezető az első órán ismerteti. Ajánlott ellátogatni a Mikroelektronikai és Technológia Intézet (MTI) oldalára:

mti.kvk.uni-obuda.hu

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

A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

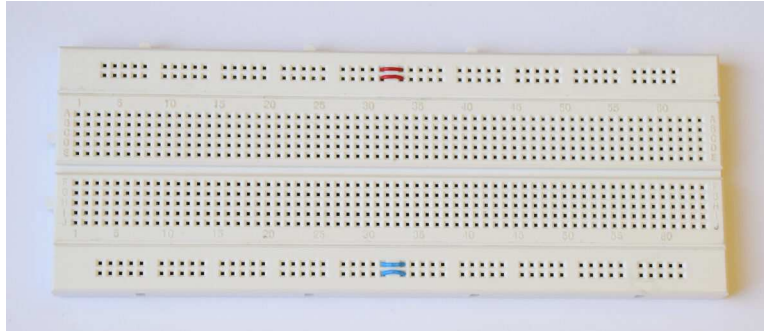
- Minden egyes mérési feladat rövid ismertetését (kapcsolási rajz adatokkal, mérendő mennyiségek, beállított paraméterek),
- Ahol lehetséges, a várható eredmények kiszámítása (házi feladatok megoldása),
- Az egyes mérési eredmények számszerű megadása (adott esetben táblázatban),
- Ahol lehetséges, a 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 külalakot.

E.3 A próbapanel ismertetése:

Az elektronika tantárgy laboratóriumi mérésein a vizsgált áramköröket a hallgatók maguk építik meg, és mérik. Az áramkörépítést dugaszolható „breadboard”, azaz próbapanel néven forgalmazott eszközön végzi a hallgató. Ezen megfelelő kivezetésű alkatrészkészlettel és maximum 0,5 mm huzalátmérőjű, végükön csupaszított bekötőhuzalokkal viszonylag bonyolult áramköröket is építhetünk forrasztás nélkül, könnyen bontható, áttekinthető formában. Az építést és a bontást is türelemmel, gondos munkával végezzük!

Röviden ismertetjük a próbapanel csatlakozó pontjainak elrendezését és azok belső összeköttetéseit:



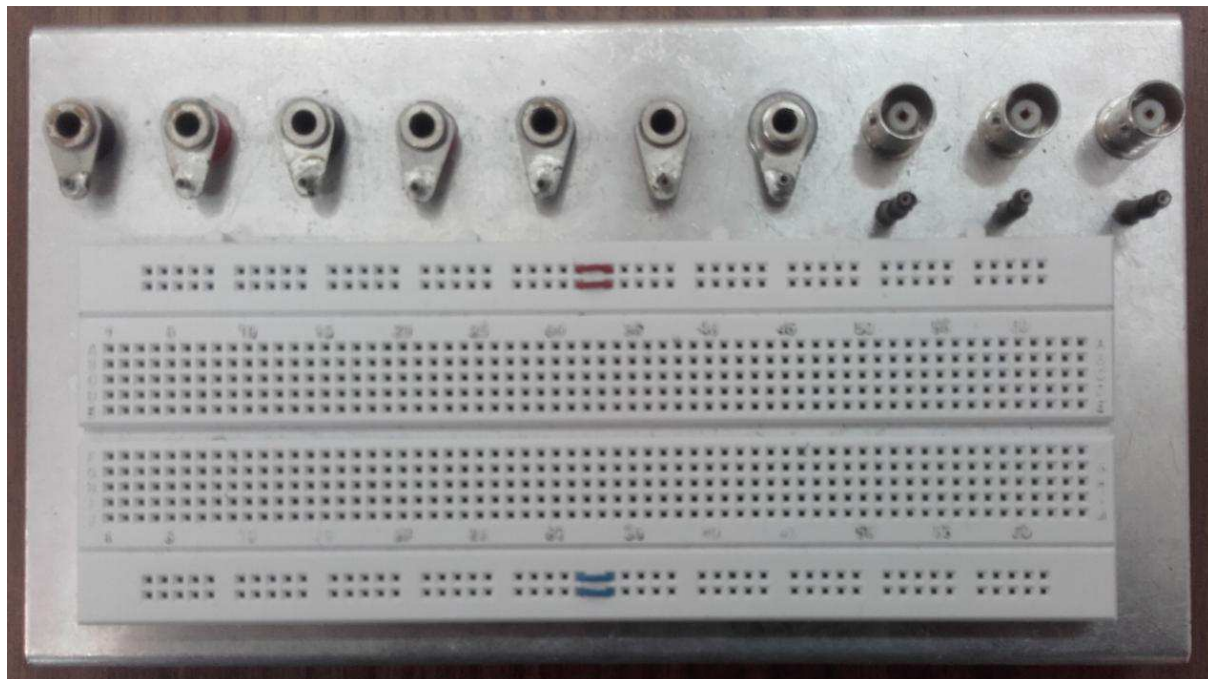
1. ábra: A mérés során használt próbapanel



2. ábra: A mérés során használt próbapanel belső összeköttetése

A hosszanti oldalak mentén lévő felső két sor illetve alsó két sor azonos elrendezésű és összeköttetésű: a kézzel jelölt 50 pont össze van kötve, hasonlóan a pirossal jelölt 50 pont is. Ezeket a sorokat tápfeszültség ellátásra célszerű használni. A két oldalon lévő azonos színű sávok függetlenek, így akár négy tápfeszültség sín is kialakítható (ez kettős táp alkalmazásánál lehet előnyös, ahol kell két tápfeszültség és egy nulla). A belső mező pontjai a középső részen el vannak választva, a vezetősávok a rövidebb oldallal párhuzamosan 5-5 pontot fognak össze (vagyis A-E-ig és F-J-ig). Ezekből az ötpontos vezetősávokból 2×64 db van a panelen. Az integrált áramköröket (IC-eket) a hosszabb szimmetria-tengely mentén kell elhelyezni, így az IC minden kivezetéséhez 4-4 csatlakozóponton férhetünk hozzá.

A mérések során az imént ismertetett breadboard kiegészítésre került; egy alumínium hordozó lemezre lett felszerelve, és a BNC- illetve banándugós vezetékek számára egyaránt elhelyezésre kerültek csatlakozási pontok.



3. ábra: A mérőpanel

A hét banándugós csatlakozó hüvely segítségével a breadboardon összeépített mérőáramkörök tápegységre, illetve multiméterekre csatlakoztathatók.

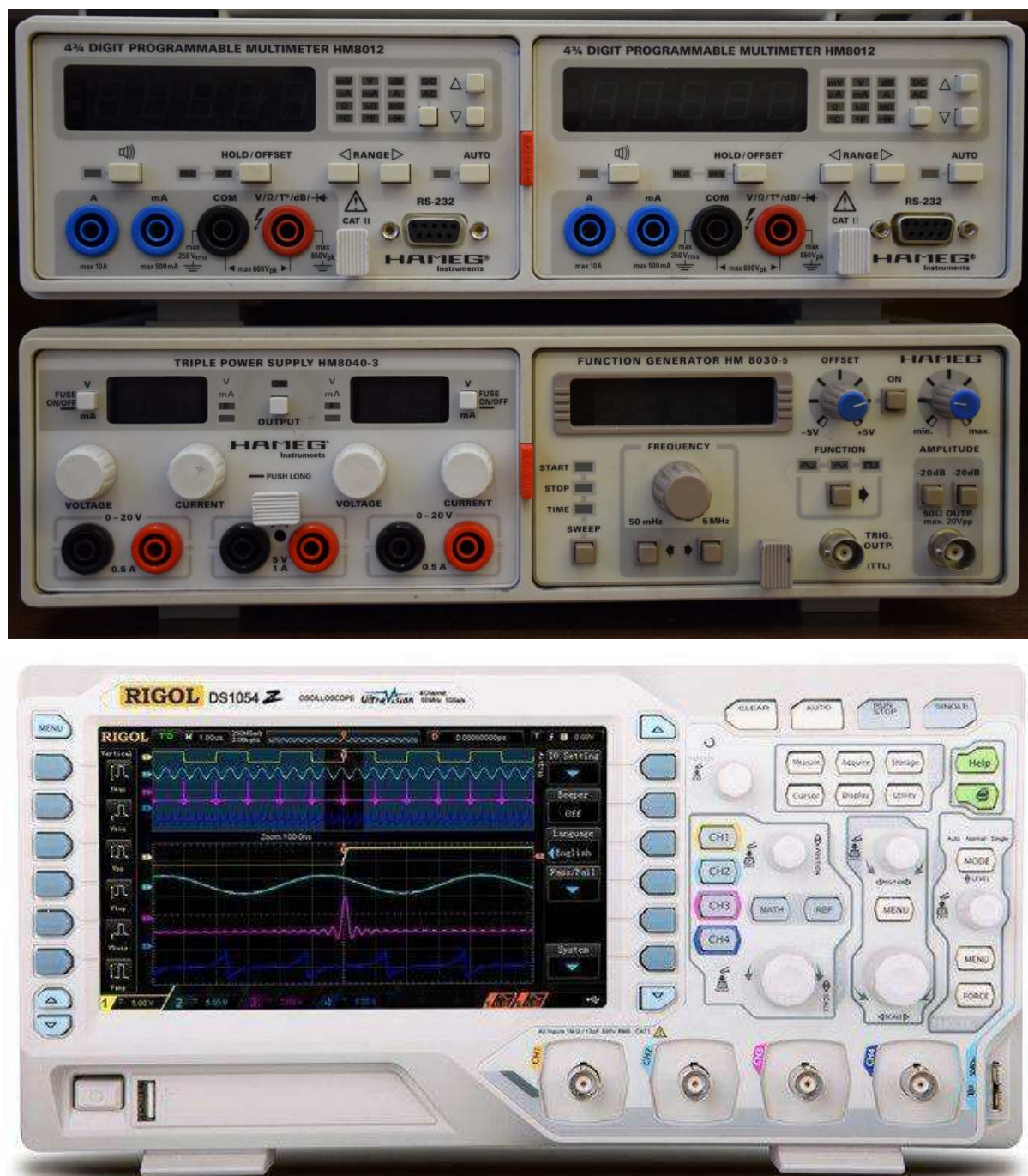
A mérőegység jobb oldalán található három BNC csatlakozó; Ezek hengeres kivitelezése abból adódik, hogy az ide csatlakozó, koaxiális vezeték belső ere („melegvezeték”) szállítja a hasznos jelet, melyet a zavarvédelem érdekében hengerszerűen körbevesz egy árnyékoló vezeték (a rugalmasság érdekében „harisnya” szerűen szőtt, vékony rézhuzalok összessége). Az árnyékoló vezetéket („hidegvezetéket”) mindig a vizsgálni kívánt áramkör földpotenciáljára („hidegpontra”) kötjük! Az ilyen csatlakozók, valamint a hozzájuk tartozó vezetékek villamos teljesítmény szállítására nem alkalmasak, ezeken a vizsgálójelet vezetjük be a mérni kívánt áramkörökbe (függvénygenerátorról), majd a válaszul kapott kimeneti jelet oszcilloszkópon vizsgáljuk, vagy mérjük.

Összegezve tehát a koaxiális vezetékek, egyúttal a BNC csatlakozások is két vezetékből állnak. A breadboard szélén első ránézésre azonban csak a belső, a hasznos jelet szállító vezeték került kivezetésre. Az áram természetesen egy vezetéken nem tud folyni; a BNC csatlakozók árnyékolása közvetlen kapcsolatban áll az alumínium hordozó lemezzel, melyből következik, hogy árnyékolásuk közös. Ez a kivitel csökkenti a mérendő jelek esetleges zaját. Ugyanakkor a mérőáramkör felől is hozzáférhetővé kell tenni valahogy a BNC csatlakozások árnyékolását; erre szolgál a három BNC csatlakozó melletti legelső banándugós aljzat, amely szintén közvetlen összeköttetésben van a fém hordozóval.

Olyan áramkörök vizsgálatakor tehát, melynél használjuk a BNC csatlakozókat (szinte az összesnél), ott mindig a kép szerint legjobb oldali banándugós aljzat legyen a tápegység, a jelgenerátor és az oszcilloszkóp közös földpontja (referenciapont)!

A műszerek BNC- és banándugós vezetékekkel történő bekötése után a panel szélén elhelyezett csatlakozóktól megfelelően vékony vezetékekkel („tyúkbél”) lehet a mérendő áramköröket becsatlakoztatni.

E4. Az A.1.105 MTI Elektronika Laboratórium termék műszerparkja:



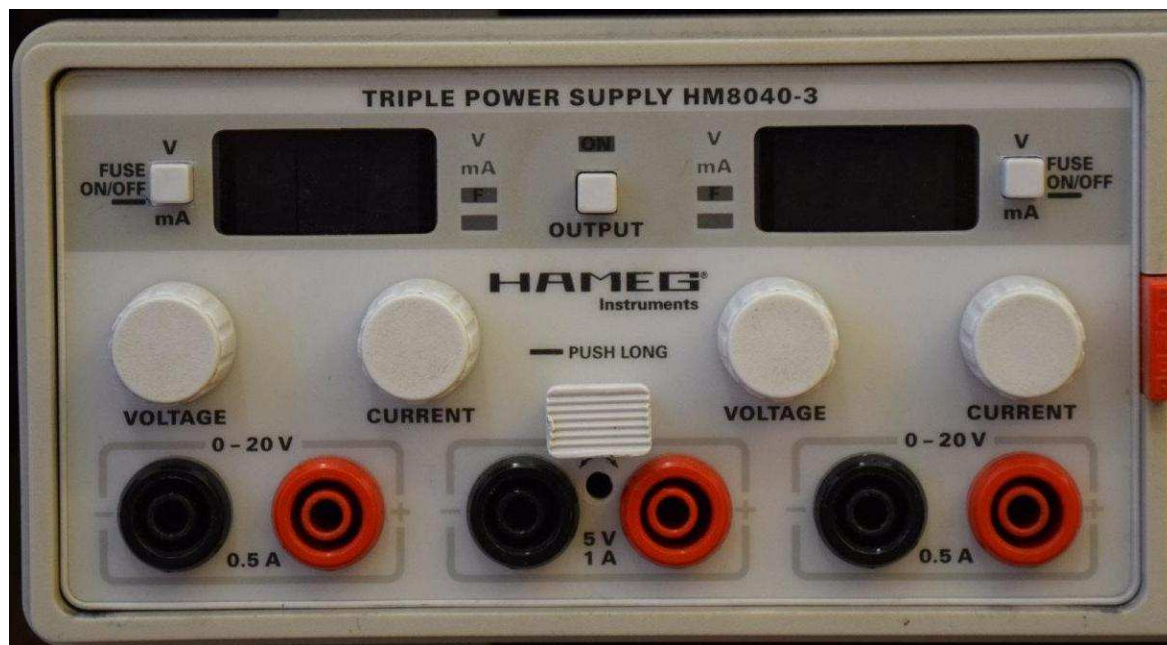
4. ábra: Az A.1.105 tanterem mérőhelyeinek műszerparkja

Minden mérőhelyen megtalálhatók az alábbi műszerek:

- HM8040-3 laboratóriumi tápegység,
- HM8012 digitális multiméter (2db),
- HM8030-5 funkció generátor,
- Rigol DS1054 digitális oszcilloszkóp.

E.5 A HM8040-3 laboratóriumi tápegység ismertetése:

A laboratóriumi mérések legalapvetőbb eszközei közé tartozik a tápegység, amely a vizsgálni kívánt áramkörök, kapcsolások, mérési elrendezések tápfeszültségét szolgáltatja. A foglalkozások során erre a célra a HM8040-3 típusú szabályozható tápegységet használjuk.



5. ábra: Hameg HM8040-3 tápegység

Ahogy az **5. ábrán** is látszik, hármas tápegységről van szó; két állítható és egy fix kimenettel rendelkeznek. A középső fix kimenet 5V-os feszültséggenerátor, maximálisan 1A terhelhetőséggel – kifejezetten digitális alkalmazások számára (ennek használatakor azonban ügyeljünk arra, hogy itt az áramkorlát fix 1A, nem állítható, ekkora áram pedig már tönkretelhet egyes eszközöket, azaz hibás bekötés esetén nem védi meg az áramkorlát).

A bal és jobb oldali szabályozható kimenete a tápegységnek teljesen egyforma. Mindkét kimenet 0...20V-ig állítható 0,1V pontossággal fokozatmentesen a „VOLTAGE” forgatógomb segítségével, míg a kimenetekhez tartozó maximális áramérték (áramkorlát, határáram, generátoráram /áramgenerátoros üzem esetén/) 0...500mA-ig állítható szintén fokozatmentesen a „CURRENT” nevű kezelőszervvel.

Mind a három kimenet galvanikusan független egymástól, azaz nincsenek fémes összeköttetésben; lehetőség van közös földpont kialakítására, aszimmetrikus és szimmetrikus tápfeszültségek létrehozására egyaránt. A galvánfüggetlenség miatt a két szabályozható kimenet sorba köthető, így 40V/0,5A aszimmetrikus, illetve 0-tól $\pm 20V/0,5A$ szimmetrikus tápfeszültségre is szert tehetünk (utóbbit használni fogjuk a műveleti erősítő megtáplálására).

Mindkét kimenet kapott egy-egy digitális kijelzőt, amely az adott oldal kimeneti feszültség VAGY áramértékét képes megjeleníteni; e kettő között a mellette található „V/mA” feliratú nyomógomb biztosít választási lehetőséget.

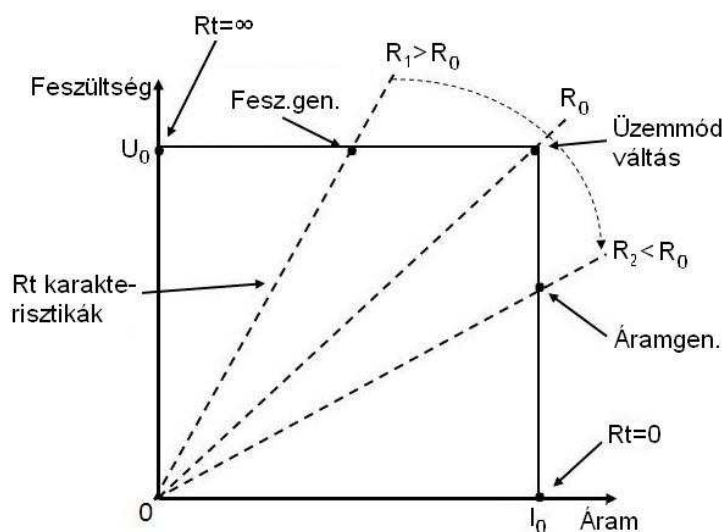
Figyelem: az említett nyomógomb hosszú idejű nyomva tartása esetén a „FUSE” funkció bekapcsol, minek hatására a határáram elérésekor a tápegység leoldja a kimeneteit, ezért a kijelzendő érték váltásakor rövid ideig nyomjuk meg a gombot!

A tápegység kimenetein nem jelenik meg azonnal a beállított feszültség és áramérték, erre ugyanis egy, a felhasználó általi engedélyezés szükséges; erre szolgál az „OUTPUT” nevű nyomógomb a készülék közepén.

A kimeneti feszültség beállítása tehát a „VOLTAGE” forgatógombbal történik, ehhez nem szükséges az „OUTPUT” engedélyezése (ennél a tápegység típusnál). Az áramkorlát beállításához azonban az összetartozó kimeneteket rövidre kell zárni (pl. egy rendelkezésre álló mérővezetékkel), és engedélyezni kell a kimenetet, ugyanis a kijelző a kifolyó áramértéket mutatja. Határáram beállításakor a generátor feszültségét 0-nál nagyobbra kell választani (0V-os generátor árama is 0), szintúgy a feszültség beállítása esetén az áramkorlát értéke 0-nál nagyobb kell, hogy legyen!

A laboratóriumi tápegységek tehát a kimeneti feszültség (U_0) és határáram (I_0) beállításának megfelelően képesek egyaránt feszültség- és áramgenerátoros üzemmódra is.

Ezen tulajdonságukat az alábbi karakterisztika szemlélteti:



6. ábra: Laboratóriumi tápegységek jelleggörbéje

Az **6. ábrán** az U_0 és I_0 értékek tehát igényeink szerint általunk megválasztható, a kezelőszervek segítségével pedig beállítható értékek.

A karakterisztika vízszintes szakaszán látható, hogy a terhelőáramtól függetlenül a kimeneti feszültség értéke mindig az U_0 érték, tehát ebben az esetben feszültséggenerátoros üzemmódról beszélhetünk (Constant Voltage - **CV**). A függőleges szakasznál a tápegység által szolgáltatott I_0 áramérték az állandó, a feszültség pedig a terheléstől függően változik; ekkor áramgenerátoros üzemmódról (Constant Current – **CC**) beszélünk.

A feszültség- és áramgenerátoros üzemmód közötti átmenet a karakterisztika sarkában található. Az üzemmód váltás R_0 terhelés esetén következik be, mely U_0 és I_0 hányadosából számítható. Ennél az ellenállásnál kisebb értékkel történő terhelés esetén a tápegység áramgenerátoros üzemmódba (R_2), nagyobb terhelés esetén pedig feszültséggenerátorosba (R_1) vált.

E.6 A HM8012 típusú digitális multiméter (DMM):

A másik, bármilyen módon elektronikával foglalkozó személyek számára elengedhetetlen alapszintű berendezés a multiméter. Manapság a digitálisak az elterjedtek, de az analóg mérőeszközöknek is vannak előnyei, melyek miatt nem szorultak ki teljesen.

A multiméterek olyan többfunkciós mérőeszközök, melyek alapvető villamos mennyiségek (feszültség, áram, ellenállás, esetleg dióda nyitófeszültség, vezetés, frekvencia) mérésére alkalmasak. A laboratórium mérőhelyein HM8012 típusú Hameg gyártmányú digitális multiméterek találhatók.



7. ábra: Hameg HM8012 digitális multiméter

Az általános célú (minőségű, árkategóriájú) multiméterek négy bemenettel rendelkeznek; egy „közös” (COMMON, kép szerint fekete), két árammérővel (amper és milliamper, kép szerint kék), valamint egy „feszültség/ ellenállás/ frekvencia/ hőmérséklet/ diódavizsgáló/ stb...” bemenettel (piros). A berendezés kétvezetékes mérésre alkalmas kizárólag, mely során az egyik mérővezeték mindig a COM pontba csatlakozik be!

A multiméterek rendszerint szintén galvanikusan függetlenek, ami egyúttal a hálózati földeléstől való függetlenséget is jelenti.

A digitális kijelző mindig az aktuális mérési adatokat közli, ha meg akarjuk tartani a mért mennyiséget a kijelzőn, akkor használatos a „HOLD” gomb.

A kijelzőtől jobbra található egy 3x4-es LED-es kijelző mátrix, mely mindig megvilágítja az adott mérendő mennyiséget (feszültség, áram, ellenállás, stb...). Ettől jobbra található fel-le nyilakkal választhatjuk ki, mit szeretnénk mérni. Az egyedülálló gomb a hozzátartozó két LED-del pedig feszültség- és árammérés estén megválasztható, hogy AC („Alternate Current” – váltakozó áram, azaz a jel AC összetevőjének effektív értéke), DC („Direct Current” – egyenáram, azaz a jel egyenáramú összetevőjének értéke), vagy pedig „AC-DC” („true RMS”, valódi effektívérték) az, amit mérni szeretnénk. A HM8012 valódi effektívértéket (true RMS) mér, azonban vannak olyan multiméterek, amelyek szinuszos jelre vonatkozó effektívértéket mérnek (azaz a csúcsértékből számolnak vissza).

A „RANGE” gombokkal állítható a méréshatár; kisebb méréshatár esetén növekszik a mérés pontossága (a tizedesjegyek száma), ám egyúttal csökken a maximális mérhető villamos mennyiség az adott méréshatárban. Az „AUTO” gomb automatikus méréshatár váltást tesz lehetővé (ezen funkció csak a mérésvezető engedélyével használható!). Amennyiben túl nagy pontosságot szeretnénk elérni és a mérendő mennyiség nagyobb, mint a méréshatár, úgy a multiméter kijelzőjén „OFL” felirat jelenik meg, jelezvén a túlcusordulást (OVERFLOW); ebben az esetben növelni kell a méréshatárt. Nagy értékű ellenállások mérésénél különösen ügyeljünk erre!

A multiméterek további nagyon fontos jellemzője a bemeneti ellenállás. Általános multiméterek esetében a feszültségmérő bemeneti ellenállása 10-12M Ω (A jelenleg tárgyalt típusé 10M Ω , legkisebb két méréshatárban /L1 és L2/ pedig 1G Ω). A gyakorlatban az egyszerűség kedvéért a legtöbb esetben hanyagolható a bemeneti ellenállásnak a mérendő áramkörre gyakorolt hatása, ezért sok esetben -főleg ideális esetben- a feszültségmérő bemeneti ellenállása végtelen nagyként kezelhető. Az árammérő funkció esetén azok a jó mérőeszközök, ahol a belső ellenállás minél kisebb, azaz tart a nullához; ideális esetben az árammérő belső ellenállása zérus. (A valódi műszeren a kisebb (nagyobb felbontású) méréshatárhoz nagyobb belső ellenállás tartozik, így bizonyos méréseknél a nagyobb felbontás nagyobb hibát eredményezhet.)

Feszültség mérésekor két lehetőség közül lehet választani; egyik, hogy a mérni kívánt feszültséget -mely az áramkörünk két pontja, pl. egy ellenállás két végpontja közötti érték-közvetlenül megmérjük a két pont között, vagyis párhuzamosan a mérendő feszültségértékkel. Másik lehetőség, a csomóponti potenciálok módszerét kihasználva, hogy az ismeretlen feszültség két pontját a referenciaponthoz képest megmérjük, majd az így kapott két feszültségértéket egymásból kivonjuk. Ez utóbbi gyakrabban használatos, mivel a gyakorlatban az áramkörökben számos csomópont található és rendszerint rendelkezésre áll egy referenciapont. A „COM” bemenetet ilyen esetben természetesen az áramkör „COM”, mint közös pontjára kell kötni. (Ilyen feszültségmérést fogunk alkalmazni például a tranzistor és FET mérések során is DC-feszültségértékp felvételekor.)

Árammérésnél nincs ilyen jellegű választási lehetőség. Az árammérőt minden esetben a mérendő mennyiséggel sorosan kötjük (hasonlóan, mint a vízórát, csak itt nem víz, hanem áram folyik)! Ügyeljünk mindig, hogy a megfelelő árammérő bemenetet használjuk, és hozzá a megfelelő árammérő funkció legyen kiválasztva („A” bemeneten ne „mA” állásban legyen a műszer és fordítva)!

A harmadik legtipikusabb funkciója egy multiméternek az ellenállásmérés. Ellenállásértékek meghatározására több kapcsolási eljárás is létezik, ezeket most nem tárgyaljuk. Az ellenállás mérése mindig az ellenállás, mint alkatrész két végpontja (vagy változtatható értékű ellenállás esetén a csúszka és egy végpont) között történik. A mérés során ügyelni kell arra, hogy valóban csak az általunk megmérni kívánt ellenállást mérjük meg, oda se sorosan, sem pedig párhuzamosan ne kapcsolódjon be semmilyen parazita-ellenállás, ami meghamisítja a mérést! Ilyen jellegű hiba például: egy kapcsolásban szereplő ellenállást előbb el kell távolítani az áramkörből, hiszen ellenkező esetben az áramkör többi eleme is párhuzamos tagként bekapcsolódik; különösen nagy értékű ellenállások esetén ügyeljünk arra, hogy ne érjünk hozzá az ellenállás kivezetéseihez, mivel ilyenkor a testünk belső ellenállása (100k Ω nagyságrendjében) kerül képbe párhuzamosan kapcsolt tagként. Ellenállásmérést soha ne végezzünk feszültség alatt lévő áramkörben, mivel a mérőeszköz meghibásodását, tönkremenetelét okozhatjuk!

E.7 A HM8030-5 típusú funkciógenerátor kezelése:



8. ábra: Hameg HM8030-5 függvénygenerátor

A laboratórium minden műszerparkja tartalmaz egy funkció-/ függvény-/ generátort. Ezen eszköz célja az, hogy a megépített áramkörök számára vizsgálójelet biztosítson. A gyakorlatban például szinuszos bemenő jelet tudunk szolgáltatni hangfrekvenciás erősítő számára, esetleg TTL szintű digitális négyszögjel sorozatot logikai áramkörök órajeleként vagy bemeneteként, összehasonító áramkörök számára háromszögjelet, stb. A mérőhelyeken a **6. ábra** szerinti HM8030-5 típusú függvénygenerátorok kaptak helyet.

A függvénygenerátor, mint váltakozó áramú villamos jeleket előállító berendezés legfontosabb kezelőszerve a frekvencia beállítására alkalmas „FREQUENCY” forgatógomb. A rendelkezésre álló műszer 50mHz-től 5MHz-ig képes váltakozó áramú jelet szolgáltatni oly módon, hogy a balra és jobbra mutató nyilakkal megjelölt gombok az úgynevezett „dekádválasztó” gombok, melyekkel kijelölhető a kívánt frekvencia nagyságrendje, vagyis megnyomásuk a tizedespont helyzetét csúsztatja balra-jobbra. A nagyságrend kiválasztását követően a forgatógomb biztosít fokozatmentes és pontos frekvenciaérték-beállítást. (A készülék bal oldalán található START-STOP-TIME és SWEEP kezelőszerveket, és ezen üzemmódot a leírás nem tárgyalja.)

A frekvenciabeállító szervek felett található a digitális kijelző, mely az aktuális kimeneti frekvenciát mutatja.

A frekvenciabeállító szervektől jobbra található gomb és a hozzá tartozó három (néhány típusnál négy) LED jelzi az aktuális kimeneti jel hullámformáját, mely lehet négyszögjel (50%-os kitöltési tényezővel), háromszögjel, és szinusz (az opcionálisan negyedik jelforma az impulzus).

A készülék jobb oldalán állítható be a kimeneti jel amplitúdója, vagyis a jel nagysága (feszültsége). Az „AMPLITUDE” feliratú forgatógomb „MIN” és „MAX” értékek között állítható 270°-os maximális elfordulás mellett. Alatta található két darab -20dB (decibel) jelzésű nyomógomb, melyek egyenként a beállított amplitúdó értéket tizedére csökkentik, együttesen pedig századára. (-20dB tízzel osztást, -40dB százal osztást, -60dB ezerrel osztást

jelent és így tovább.) A kimeneti jel nagyságának maximális értéke $20V_{pp}$, azaz 20V csúcsból-csúcsig (peak-to-peak), minimumértéke pedig néhány mV nagyságrendű.

Az amplitúdó beállításáért felelős kezelőszervektől balra található az „OFFSET” funkció, melyhez tartozik egy „ON” gomb, vagyis szükség esetén kikapcsolható. Az offset (magyarosan ofszet) beállítás lehetővé teszi, hogy a kimeneti váltakozó áramú jel egyenáramú összetevőt (DC-komponenst) is tartalmazzon. Ennek értéke -5V és +5V között fokozatmentesen állítható.

A tápegységekkel ellentétben a funkciógenerátor kimenetén (kimenetein) nincs engedélyező gomb, így állandóan jelen van a beállított villamos jel a kimeneten (kimeneteken). A rendelkezésre álló függvénygenerátor két kimenettel rendelkezik; az egyik az analóg kimenet, amelyen a beállított jel összes általunk megválasztott paramétere szerint megjelenik, míg a másik az úgynevezett TTL szintű kimenet. Ez utóbbi kimenet kizárólag a frekvencia-beállításra reagál!

TTL (Transistor-Transistor-Logic) jelszint előírásban a logikai 0-nak 0V, valamint a logikai 1-nek +5V felel meg. A függvénygenerátor TTL kimenete tehát ennek megfelelő jelszintű, 50% kitöltési tényezőjű négyszögjelet biztosít.

1. Mérés

Bevezető foglalkozás

2018.02.12.

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

Az elkövetkezendő mérés gyakorlásképp szolgál a breadboard, valamint az alapvető laboratóriumi berendezések kezelését és használatát illetően. A foglalkozás során egyszerű, ellenállásokból felépített hálózatok analízise, valamint a tápegység, multiméter, és funkciógenerátor bizonyos alapszintű kezelésének elsajátítása, az elméletben tanultak, gyakorlatban számoltak, és laboron mértek összehasonlítása a cél.

Az egyes kezelőszervek szerepe, illetve használatuk taglalásra kerül az előző elméleti fejezetben, mely tartalmazza a méréshez szükséges műszerek részletes ismertetését.

1.1 Tápegység jelleggörbéjének felvétele:

A méréshez a tápegységre, az egyik multiméterre, valamint a méréshez mellékelt huzal potenciométerre lesz szükség. A potenciométer háromkivezetéses ellenállás; ebből kettő az úgynevezett végállás – ezek között mérhető a potenciométer névleges értéke -, a harmadik (tokozástól függően rend szerint a középső) kivezetés pedig a csúszka. A csúszka pozíciójának megváltoztatásával változtatható a csúszka és valamely (illetve mindkettő) végállás közötti ellenállás értéke. Minden potenciométer értéke 0Ω és a körülbelüli névleges érték között változtatható (elméletileg fokozatmentesen). A két végállás között mérhető ellenállásérték független a csúszka pozíciójától. Ily módon a potenciométer felhasználható változtatható értékű ellenállásként, valamint szintén változtatható feszültségosztóként egyaránt. (Felépítését szemlélteti a **3.1 ábra** a **3. mérés** leírásában.)

Jelen mérési feladat során a mellékelt potenciométer három kivezetése közül csak kettőt használunk fel, természetesen ezek az egyik végállást és a csúszkát jelentik, tehát az előbb említettek közül csak a változtatható ellenállás jellegét hasznosítjuk.

A rendelkezésre álló potenciométer értéke $470\Omega \pm 20\%$, vagyis a névleges érték 470Ω , az ettől való maximális (gyártásból adódó) megengedett eltérés pedig 20%.

1.1.1 Első lépésként határozzuk meg a potenciométer pontos értékét. Ehhez az egyik rendelkezésre álló Hameg multimétert állítsuk ellenállásmérő üzemmódba.

A potenciométer két kivezetését csatlakoztassuk a multiméter megfelelő bemeneteire - COM és V-mérő (fekete és piros) -, majd a lehető legpontosabb méréshatár megválasztását követően mérjük meg az ellenállását MAX, azaz maximális ellenállásérték állás esetén. Jegyzőkönyv készítésekor határozzuk meg az eltérést a névleges értékhez képest abszolút értékben és százalékban is.

1.1.2 A laboratóriumi tápegység egyik változtatható kimenetét (bal vagy jobb, teljesen mindegy) állítsuk $U_0=15V$ feszültségűre. Ehhez a tápegység kimenetét még hagyjuk üresen, valamint a kimenet engedélyezésére sincs szükség. Ezt követően egy mérővezeték segítségével zárjuk rövidre (kössük össze) a kimenet pozitív és negatív kapcsait. A kimenet engedélyezését követően a tápegység piros LED felvillanásával jelzi a zárlatot. A rövidre zárt kimenethez tartozó digitális kijelzőt állítsuk át árammérésre, majd az áramkorlátot állítsuk be $I_0=70mA$ értékűre. A beállítást követően megszüntethetjük a rövidzárát.

1.1.3 Az előbb beállított kimenetre csatlakoztassuk a potenciométert. Engedélyezzük ismét a tápegység kimenetét. A potenciométer értékét csökkentjük maximálistól egészen addig az értékig, amíg a zárjelző LED éppen felvillan. Jegyezzük a tápegység kijelzője által kiírt feszültség- és áramértéket. Kapcsoljuk le a tápegység kimenetét, majd a potenciométert kössük vissza multiméterre, és mérjük meg a pontos értékét. Az így kapott érték lesz a tápegység terhelési karakterisztikájából ismeretes R_0 határérték, melyet a jegyzőkönyvben számítással igazoljunk.

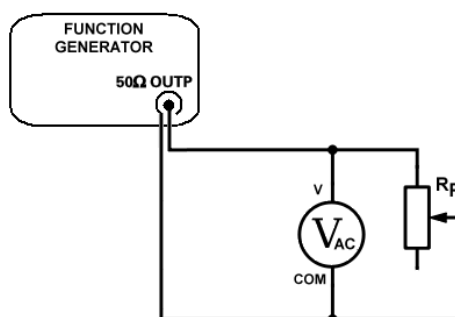
1.1.4 R_0 érték feljegyzését követően állítsunk be a potenciométeren körülbelül 350Ω ellenállásértéket; a pontos értéket természetesen jegyezzük. A potenciométert csatlakoztassuk ismét a tápegységre. Engedélyezzük a kimenetet, majd ismételtén olvassuk le a tápegység által kiírt feszültség- és áramértékeket. Mivel ez a terhelőellenállás érték nagyobb, mint R_0 , így a tápegység feszültséggenerátoros üzemmódba kerül.

1.1.5 Ismételjük meg az **1.1.4**-ben foglaltakat, csak ezúttal 150Ω értéket állítsunk be. Ez az érték kisebb, mint R_0 , ezért áramgenerátorosan fog viselkedni a tápegység.

A jegyzőkönyvben szerkesszük meg az általunk mért tápegység jelleggörbáját, tüntessük fel rajta egyúttal a három terhelő ellenállás munkaegyenését.

1.2 Thévenin-helyettesítőkép felvétele:

A feladathoz az egyik multiméterre és a függvénygenerátorra lesz szükség. A mérés célja a Thévenin-féle helyettesítőkép meghatározása, a gyakorlatban történő használhatóságának igazolása. A méréshez eddig használt banándugós vezetékeken túl egy BNC-banándugós vezetékre is szükség lesz, mivel csak az csatlakoztatható a funkciógenerátor kimentére.



1.1 ábra: Thévenin-hk. felvételének mérési elrendezése

1.2.1 Első lépésként BNC-banándugós vezetékekkel kössük össze a függvénygenerátor analóg (nem TTL) kimenetét a multiméterrel, melyet előzetesen állítsunk váltakozó feszültségmérő (AC) üzemmódba (**1.1 ábra** R_p nélkül). A generátoron állítsunk be 1kHz-es szinuszelet, értéke pedig legyen $5V_{eff}$. Ez utóbbi leolvasásához már a multimétert használjuk a lehető legpontosabb méréshatár megválasztása mellett, a pontos értéket jegyezzük. Mivel a feszültségmérő belső ellenállása nagyon nagy, így a leolvasott feszültségértéket tekinthetjük a generátor üresjárási feszültségének.

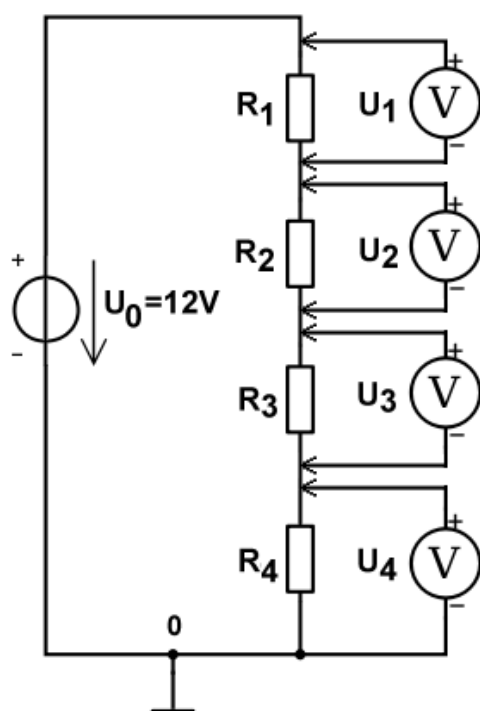
1.2.2 A BNC-banán vezeték banándugós végére (mely a multiméter feszültségmérő bemeneteire csatlakozik) párhuzamosan csatlakoztassuk be a potenciométert. A potenciométer így a függvénygenerátor változtatható értékű terheléseként fog szolgálni. Változtassuk a potenciométer értékét mindaddig, amíg a multiméteren mért feszültség az üresjárási érték fele nem lesz; ezt kíséreljük meg a lehető legpontosabban elvégezni. Az így mért feszültségértéket is jegyezzük.

1.2.3 A Thévenin-helyettesítőképből tudni, hogy amennyiben olyan terhelést választunk meg, mely az üresjárási feszültséget a felére csökkenti, úgy a terhelőellenállás értéke megegyezik a helyettesítőképben szereplő belső ellenállással, mivel fele-fele osztásarányú feszültségosztót alkotnak. Ennek értelmében bontsuk szét a mérőkört, majd mérjük meg a potenciométer pontos értékét. A funkciógenerátor analóg kimeneténél a gyártó által feltüntetésre került az eszköz kimeneti (belső) ellenállása, melyet szintén jegyezzünk és vessünk össze az általunk mért értékkel.

1.3 Soros ellenállás-hálózat vizsgálata:

A további mérések során már szükségeltetik az **Elméleti összefoglaló E3.** pontjában ismertetett **breadboard**, melyen megépíthetők a mérési elrendezések. A soron következő feladatban egy egyszerű, négy ellenállásból álló feszültségosztón végezzünk egyszerű feszültségméréseket. Az áramkör megvalósítása előtt állítsunk be a tápegységen **50mA** áramkorlátot, melyet a mérés hátralevő részében ne módosítsunk!

(Az ábra szerinti + és – jelölések a feszültségmérőkön a V és COM bemeneteket, egyúttal előjel-helyességüket jelölik.)



A mérőkör megépítéséhez szükséges adatok:

$U_0 = 12V$
 $R_1 = 2,2k\Omega \pm 1\%$
 $R_2 = 1k\Omega \pm 1\%$
 $R_3 = 620\Omega \pm 1\%$
 $R_4 = 390\Omega \pm 1\%$

1.2 ábra: Soros ellenállás-hálózat I.

1.3.1 Az áramkorlát beállítását követően állítsunk be a tápegységen 12V kimeneti feszültséget. A mellékelt négy ellenállás értékét Ohm-mérővel pontosan mérjük, rögzítjük.

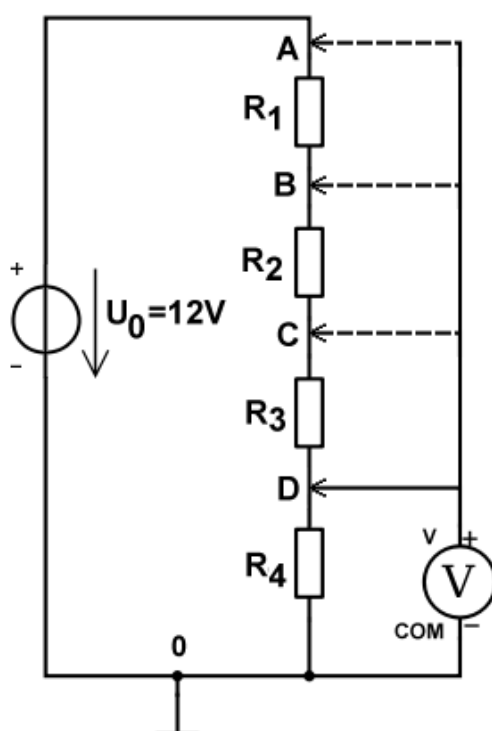
$R_1 =$	$R_2 =$	$R_3 =$	$R_4 =$
---------	---------	---------	---------

1.3.2 Kössük sorba a négy ellenállást az **1.2 ábrának** megfelelően. A mérés során csak egy feszültségmérő elegendő lesz, ezért az ellenállások közötti összeköttetéseket úgy vezetékeljük ki a breadboard szélén található banándugós aljzatokhoz, hogy a feszültségmérő átdugdosásával könnyedén végighaladhassunk a mérőkörön.

	Számított érték	Számított érték (1.3.1)	Mért érték
U_1			
U_2			
U_3			
U_4			

A táblázat első oszlopát az előzetesen megadott, a középső oszlopát pedig az **1.3.1**-ben rögzített pontos ellenállásértékek alapján töltjük ki. A mérés helyes elvégzése esetén természetesen a négy feszültségérték összege U_0 tápfeszültséget kell, hogy adjon.

1.3.3 Az előző mérőkört változatlanul hagyva a feszültségmérő COM bemenetét ezúttal hagyjuk végig az áramkör nullával jelölt referenciapontján, azaz U_0 tápegység negatív sarkán (**1.3 ábrának** megfelelően).



1.3 ábra: Soros ellenállás-hálózat II.

A feszültségmérő V-mérő bemenetét arrébb rakosgatva sorra mérjük meg a négy csomóponti potenciált.

$(U_A=U_0)$	Számított érték	Számított érték (1.3.1)	Mért érték
U_A	-	-	
U_B			
U_C			
U_D			

A táblázat első oszlopát az előzetesen megadott, a középső oszlopát pedig az **1.3.1**-ben rögzített pontos ellenállásértékek alapján töltjük ki. Jegyzőkönyv készítésekor ellenőrizzük az egyes feszültségértékek helyességét (pl: $U_C=U_3+U_4$ stb.), valamint szerepeljenek az egyes számítások (formula + behelyettesítés).

1.4 Árammérő belső ellenállásának meghatározása:

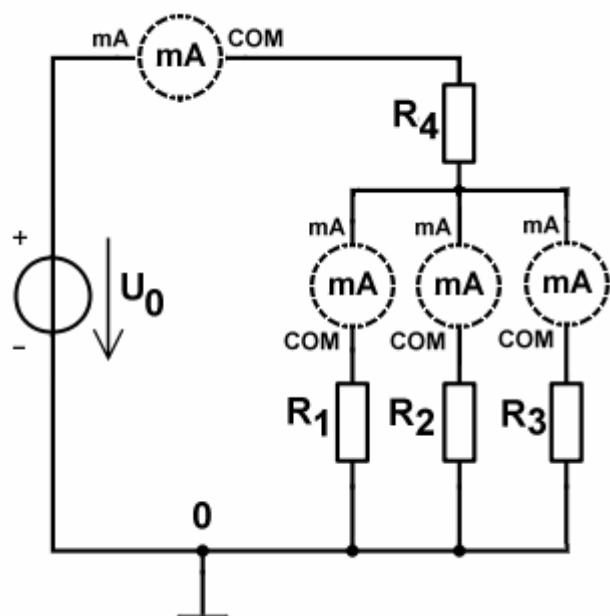
Az 1.5.1 pontban soron következő vegyes kapcsolású hálózat vizsgálatához ismerni kell az árammérő belső ellenállását, mely függ annak előzetesen beállított méréshatárától. Ennek értelmében a két rendelkezésre álló multiméter egyikét ellenállásmérőként fogjuk használni, mellyel megmérjük a másik, árammérésre beállított multiméter belső/bemeneti ellenállását (R_{be}). Ehhez kössük össze az ohmmérő és az ampermérő megfelelő csatlakozási pontjait, tehát a COM-COM és Ω -mA kivezetéseket. Az ellenállásmérőn igyekezzünk mindig a lehető legpontosabb méréshatárt használni.

Mivel kis értékű ellenállások méréséről beszélünk, ezért megjegyzendő, hogy a mérés ilyenkor áramgenerátoros meghajtás mellett történik, ezáltal ez az áramérték kijelzésre is kerül az ampermérőn. Fontos továbbá megjegyezni, hogy a csatlakozási pontok, és a mérővezetékek ellenállása is már szerepet játszik, ezért a táblázat kitöltése előtt az ellenállásmérőt a két mérővezeték végének összekötésével zárjuk rövidre, majd a kapott ellenállás-értékkel kompenzáljuk a későbbi mért eredményeket (legkisebb méréshatár mellett).

Méréshatár:	L1	L2	L3	L4
R_{be} :				
Mérőáram:				

1.5 Párhuzamos ellenállás-hálózat vizsgálata:

1.5.1 A továbbiakban áramosztót fogunk vizsgálni, ezért valósítsuk meg az 1.4 ábra szerinti mérőkört. Elegendő lesz az egyik multiméter használata. A mérés során tehát az árammérőt mindig az egyik ellenállással kössük sorba, majd a mérés ideje alatt a többi 3 ellenállásnál az árammérő helyét rövidzárral helyettesítsük. A tápfeszültség értéke $U_0=1V$!



A mérőkör megépítéséhez szükséges adatok:

$U_0 = 1V$
 $R_1 = 2,2k\Omega \pm 1\%$
 $R_2 = 1k\Omega \pm 1\%$
 $R_3 = 620\Omega \pm 1\%$
 $R_4 = 390\Omega \pm 1\%$

1.4 Ábra: Vegyes kapcsolású ellenállás-hálózat

	Számított érték	Számított érték (1.3.1)
I₁		
I₂		
I₃		
I₄		

A táblázat első oszlopát az előzetesen megadott, a második oszlopát pedig az **1.3.1**-ben rögzített pontos ellenállásértékek alapján töltjük ki. A számítások során az árammérőt (és annak belső ellenállását) tekintjük ideálisnak. Helyes megépítés esetén természetesen a három részáram összege ki kell, hogy adja a tápegység által szolgáltatott I_0 áramot. Vizsgáljuk meg egyúttal, hogy az árammérő egyes méréshatárai esetén mekkora mért értékeket kapunk, és ezek hogyan viszonyulnak egymáshoz, illetve a számított értékekhez.

	L1	L2	L3	L4
I₁				
I₂				
I₃				
$I_4 = \Sigma I = I_1 + I_2 + I_3$				

1.6 Ellenőrző kérdések:

1. Mi jellemzi az ideális és valós feszültségmérő belső ellenállását (nagyságrendek)?
2. Mi jellemzi az ideális és valós árammérő belső ellenállását (nagyságrendek)?
3. Mi a méréshatár és hogyan kell változtatni ismeretlen nagyságrendű mennyiség mérésekor?
4. Hogyan kötjük be a feszültség- illetve árammérőt a mérendő mennyiséghez képest? Rajzoljon hozzájuk példát!
5. Hogyan állítjuk be az áramkorlátot egy laboratóriumi tápegységen?
6. Rajzolja fel és értelmezze egy laboratóriumi tápegység jelleggörbáját!
7. Adja meg a feszültségosztó képletét, mellyel 3 sorba kapcsolt ellenállás közül egynek a feszültsége meghatározható!
8. Mi a potenciométer és mi a rajzjele?
9. Adja meg az áramosztó képletét két párhuzamosan kapcsolt ellenállásra!
10. Ismertesse a Thevenin-féle helyettesítőképet, belső ellenállásának egy lehetséges mérési módját!
11. Rajzoljon és jellemezzen egy tetszőleges szinuszos időfüggvényt!
12. Definiálja az effektívértéket!
13. Mi az ofszet-feszültség? Adjon meg egy ofszetelt szinuszjel időfüggvényét leíró egyenletet!

Házi feladat:

(tételesen kidolgozva)

1. (1.3.2)

2.(1.3.3)

3. (1.4.1)

2. Mérés

Diódák és egyenirányítók

2018.02.09.

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 alkalmával 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:



2.1 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.

2.0 Otthoni kötelezően előkészítendő feladatok:

1. Számítsa ki közelítően a **2.1 feladatban** várható áramértéket a következő tápfeszültségek mellett: 2V, 6V, 12V, 18V. A dióda nyitófeszültségét a tanultaknak megfelelően válassza meg!

2. Határozza meg hozzávetőlegesen a **2.2 feladatban** várható áramértéket a következő tápfeszültségek mellett: 1V, 8V, 12V, 18V.

3. Számítsa ki közelítően a **2.4 feladatban** szereplő Graetz-egyenirányító várható kimeneti feszültségét $8V_{\text{eff}}$ szekunderfeszültség mellett. A diódák nyitófeszültségét a tanultaknak megfelelően válassza meg!

Házi feladat:

(tétélesen kidolgozva)

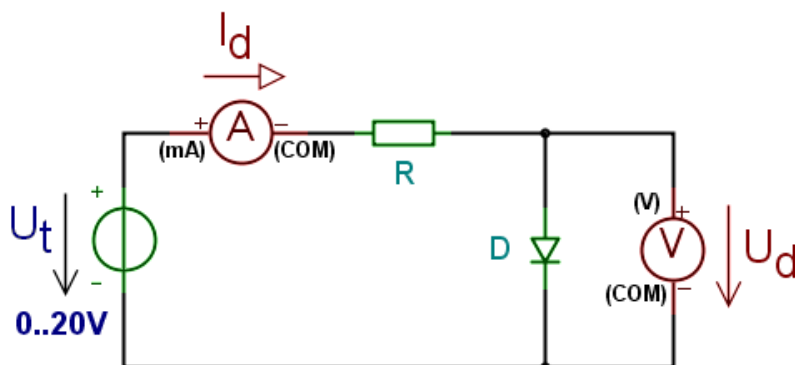
1.

2.

3.

2.1 Szilícium dióda nyitóirányú karakterisztikájának felvétele:

2.1.1 A 2.2 ábra szerint az 1N4007 típusú normál szilícium egyenirányító dióda felhasználásával valósítsuk meg a nyitóirányú karakterisztika felvételére alkalmas kapcsolást. A záróirányú karakterisztikáját két okból sem mérjük, egyfelől több száz voltos tápfeszültség kellene hozzá, másfelől pedig a dióda károsodásával, tönkremenetelével járhat. Az R előtét-ellenállás értéke $1k\Omega$.



2.2 ábra: Dióda karakterisztika felvételéhez használt mérési elrendezés

2.1.2 Az árammérő és a feszültségmérő szerepet betöltő digitális multimétereket egyaránt három tizedes mérési pontosság mellett használjuk (mA és V-mérés, utóbbi nem mV állásban!). Az árammérő a dióda áramát méri (mivel a diódával párhuzamosan kapcsolt feszültségmérő belső ellenállása a dióda statikus ellenállásához képest végtelen nagynak vehető, így nem folyik rajta áram), míg a feszültségmérő a diódával párhuzamosan van kapcsolva, ezért az a diódán eső feszültséget méri. A kapcsolás 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.

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]																			1,0

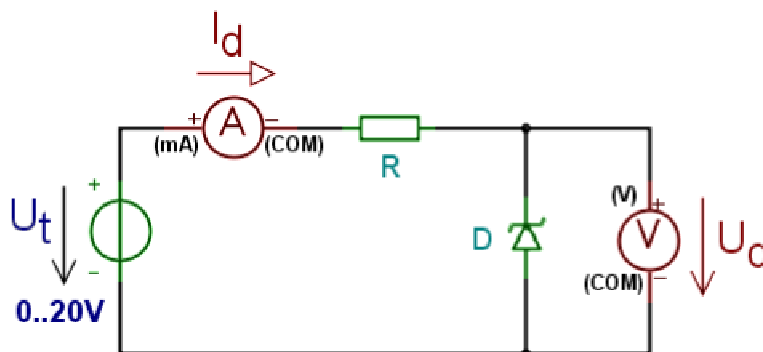
A mérési jegyzőkönyvben lineáris léptékkel és az első síknegyedben ábrázoljuk a dióda nyitóirányú (U_D - I_D) karakterisztikáját!

A dióda visszáramának (I_0) kiszámolásához használjuk a dióda áramának egyenletét, a dióda feszültségét és áramát a nyitószakaszban vegyük fel (ahol $I_D > 1\text{mA}$). Pontosabb méréseknél több pontban vett értékekből számolt I_0 értékek átlagát lehet venni – elvben ugyanannak az I_0 értéknek kellene kijönnie (bár az egyenlet is csak közelítő jellegű, de ez a közelítés elég jó). A gyakorlatban természetesen a mérési hibák miatt lesznek eltérések, ezt lehet csökkenteni a több pontban számolt értékek átlagolásával.

2.1.3 A táblázat utolsó oszlopa esetén a cél a minél pontosabb 1mA katódáram beállítása; határozzuk meg ezen esetben a dióda feszültségét, majd a diódát külön (a mérőkapcsolásból eltávolítva) mérjük meg a multiméter diódavizsgáló funkciójával! (A multiméter 1,00mA áramgenerátorral hajtja meg a mérendő diódát, így közelítőleg meg kell egyeznie az általunk, illetve a multiméter diódavizsgáló üzemmódja által mért értéknek.)

2.2 Zener-dióda záróirányú karakterisztikájának felvétele:

2.2.1 Az 2.3 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 $1k\Omega$.



2.3 ábra: Zener-dióda karakterisztikájának mérőáramköre

Ne feledjük, hogy mivel a Zener-dióda „fordítva” (helyesen szólva záróirányban) van bekötve, ezért a műszerek igaz, hogy pozitív feszültség- és áramértékeket mutatnak, de a dióda szemszögéből 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!

2.3 Egyutas egyenirányító vizsgálata:

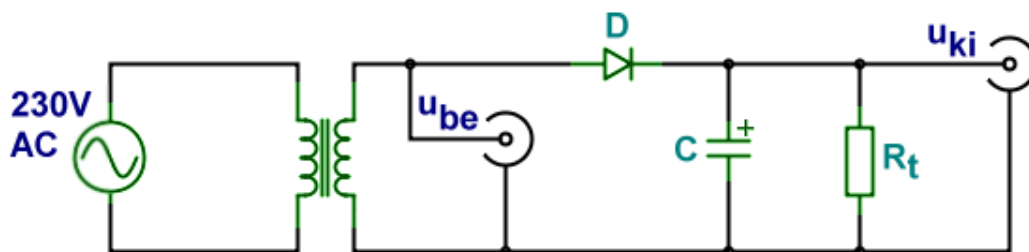
A továbbiakban nincs szükség az eddig használt két digitális multiméterre sem a tápegységre, ugyanis hálózati transzformátor fogja szolgáltatni az egyenirányítandó váltakozó áramú jelet, és ezt oszcilloszkópon vizsgáljuk. Mivel a transzformátor nem rendelkezik ki-be kapcsoló gombbal, mint a laboratóriumi tápegység, ezért az áramkörben történő bármely

módosítás esetén húzzuk ki a transzformátor kimenetének legalább egyik vezetéket a zárlat elkerülése érdekében! Csak teljesen megépített áramkört kössünk be a transzformátorra, feszültség alatt ne végezzünk módosításokat!

A transzformátor jelalakja nem feltétlenül lesz szinuszos – a vasmag telítésbe mehet (ez legtöbb esetben szándékos), ilyenkor a kimenő jel „levág”, torzul (felharmonikusok 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 csúcserő a fontos. A transzformátor feszültsége némileg eltérhet a névleges feszültségtől, ez a mérést nem befolyásolja.

A kapcsolás **D** jelzésű diódája természetesen az első pontban mért **1N4007** egyenirányító dióda. Figyelmesen olvassuk el az útmutató 2.6-os pontját!



2.4 ábra: Egyutas egyenirányító alapkioscsolás

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

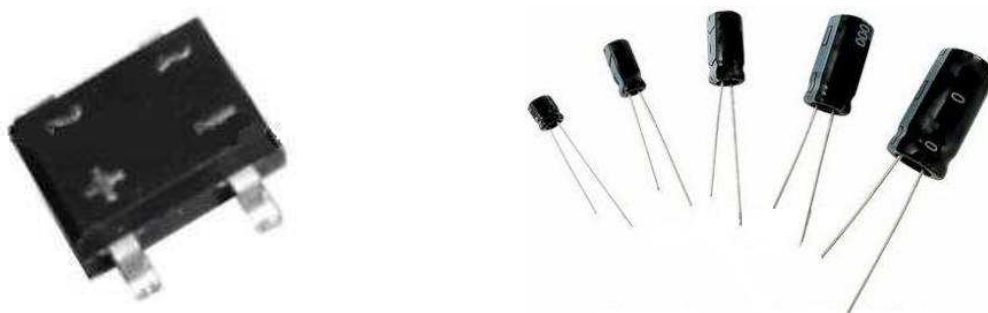
2.3.2 Az egyutas, más néven félhullámú egyenirányító alapkioscsolást valósítsuk meg az **2.4 ábra** szerint. Galvanikusan független transzformátor fogja szolgáltatni a bemeneti jelet, amit egyúttal vezessünk az oszcilloszkóp CH1 csatornájára, a kimenetet pedig az oszcilloszkóp CH2 csatornájára. (Digitális oszcilloszkóp használata esetén ügyeljünk a megfelelő /EDGE/ trigger beállításra!). Először a **C** pufferkondenzátort ne iktassuk be a körbe, csak az **R_t=3,6kΩ** értékű terhelőellenállást!

2.3.3 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! Mennyivel kisebb a kimeneti jel csúcserő és miért?

2.3.4 Ismételjük meg a jelalakok rögzítését és kiértékelését, de ezúttal **C=2,2μF** 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 jelölik! **2.6 ábra**) Határozzuk meg a kimeneti jel abszolút és relatív hullámosságát!

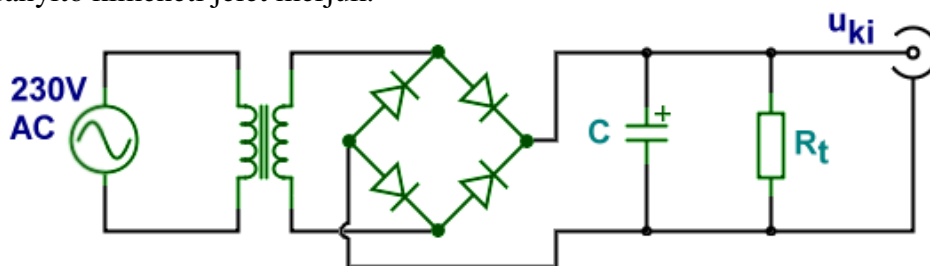
2.3.5 Ismételjük meg az **2.3.4** feladatot **C=10μF** értékű kondenzátorral! A hullámosság értékeket vessük össze (jegyzőkönyvi feladat)!

2.4 Graetz-féle teljes hullámú egyenirányító vizsgálata:



2.5 ábra: Graetz-egyenirányító (bal) és elektrolit-kondenzátor (ELCO, jobb)

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 nincs szükség, mivel a transzformátor ugyanazt a kimeneti jelet szolgáltatja, amit az előző pontokban már mértünk; így csak az egyenirányító kimeneti jelét mérjük.



2.6 ábra: Graetz-féle teljes hullámú egyenirányító

2.4.1 Építsük meg az **2.6 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!

2.4.2 Oszilloszkópon vizsgáljuk meg az egyenirányító kimeneti jelét (DC csatolásban!), különös figyelemmel mérjük meg a periódusidőt, a látottakat magyarázzuk! Mennyivel lesz kisebb a kimeneti jel csúcsértéke a bemenetnél és miért?

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

Az elektrolit kondenzátorok felépítésükből adódóan polaritásfüggőek; a tokozáson túlnyomórészt a negatív elektródát jelölik. ELKO-k tipikusan néhány μF kapacitásértéktől felfelé fordulnak elő.

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

2.4.4 $C=10\mu F$ értékű pufferkondenzátorral is határozzuk meg a hullámossági paramétereket, a jegyzőkönyvben hasonlítsuk össze az előzőekben mértekkel!

2.5 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?

2.6 Megjegyzés:

A kapcsolási rajzokban találunk egy új szimbólumot (**2.4 ábra**). Ez eredetileg koaxiális kábelek csatlakozóira utal; ilyen pl. a laboratóriumban a függvénygenerátorokon és oszcilloszkópokon található BNC típusú csatlakozó. A jelenlegi mérésekben a koaxiális kábeleknek a mérőpanelhez való csatlakozási pontjaira banáncsatlakozókat szereltünk, ennek ellenére megtartottuk a jelölést, utalva arra, hogy 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.



2.7 ábra: A koaxiális kábel csatlakozójának szimbóluma

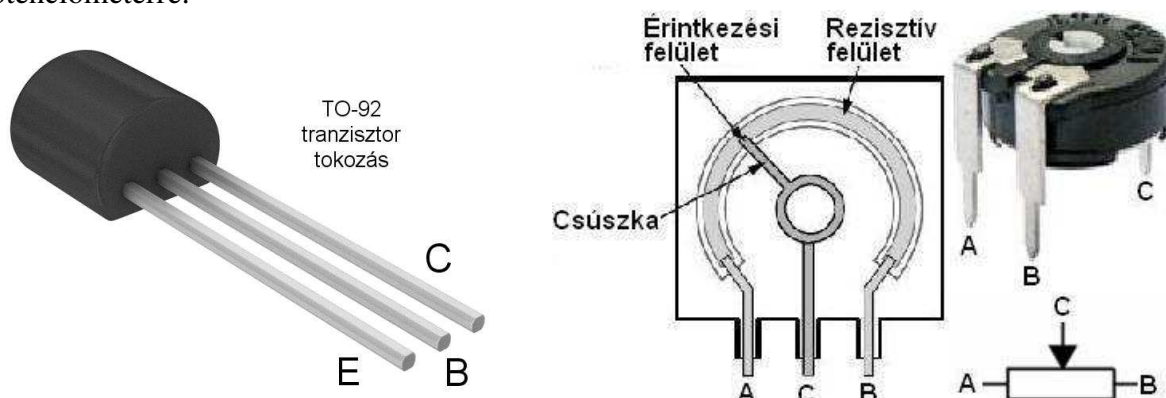
3. Mérés

Tranzisztoros áramgenerátor és erősítők

2018.02.09.

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 lábkiosztása (bal) és a potenciométer bekötése (jobb)

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 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)!

Házi feladat:

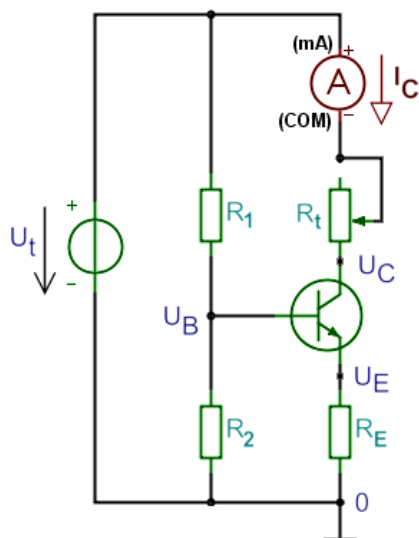
(tételesen kidolgozva)

1.

2.

3.1 Áramgenerátor bipoláris tranzisztorral:

3.1.1 Valósítsuk meg a bipoláris tranzisztorral felépített áramgenerátort a **3.2 ábra** alapján! A terhelés potenciométer legyen! A kapcsolásban szereplő összes ellenállást mérjük meg két tizedes pontossággal, majd a jegyzőkönyv elkészítése során ezekkel a pontos értékekkel számoljunk (az ellenállásoknak gyártási szórásának kiküszöbölése végett)!



A megépítéshez szükséges adatok:

$$U_t = 15V$$

$$R_1 = 120k\Omega$$

$$R_2 = 33k\Omega$$

$$R_E = 1k\Omega$$

$$R_t = 10 k\Omega \text{ potenciométer.}$$

3.2 ábra: Tranzisztoros áramgenerátor

Mivel az áramgenerátor esetében a kollektorellenállás jelenti a terhelést/fogyasztót, így az árammérő (ami három tizedes pontossággal mA mérő állásban legyen) 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!

3.1.3 Kezdjük növelni R_t értékét (csavarhúzóval) mindaddig, amíg I_{ki} értéke 10%-al nem csökken a rövidzárásihoz 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!

3.1.4 Tegyük be ezúttal a potenciométer helyére a $2k\Omega$ ellenállást (mivel ez R_{tmax} -nál kisebb érték, ezért a még 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!

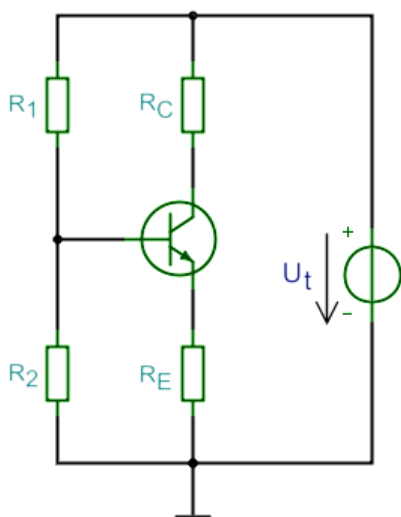
3.1.5 Mérjük meg az áramgenerátor kimeneti ellenállását! Ehhez kapcsoljunk egy feszültségmérőt párhuzamosan R_t terhelő ellenállással, melynek értékét először úgy válasszuk meg, hogy a rajta eső U_{Rt} feszültség néhány száz mV nagyságrendű legyen, majd pedig úgy, hogy 6-7V legyen. Mindkét esetben három tizedes pontossággal mérjük a feszültséget és az áramot is (R_t értékek megmérése nem szükségeses)!

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

A jegyzőkönyv elkészítése során számítsuk ki R_{t1} és R_{t2} értékét, illetve az áramgenerátor kimeneti ellenállását az alábbi képlettel:

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

3.2 Földelt emitteres erősítő vizsgálata:



A megépítéshez szükséges adatok:

$U_t = 15V$
 $R_1 = 120k\Omega$
 $R_2 = 33k\Omega$
 $R_E = 2k\Omega$
 $R_C = 5,1k\Omega$

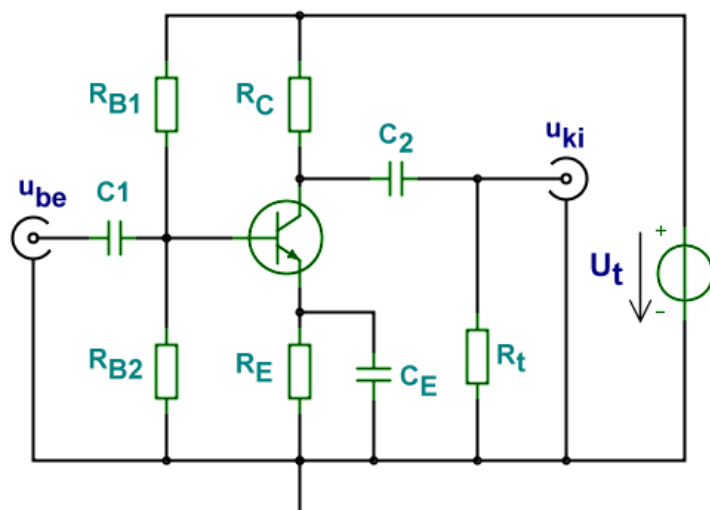
3.3 ábra: Földelt emitteres erősítő egyenáramú munkapont beállító része

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 $R_E=2k\Omega$ a korábbi $1k\Omega$ helyett, a kollektorellenállás pedig potenciométer helyett fixen $R_C=5,1k\Omega$.

A kapcsolásban szereplő összes ellenállást mérjük meg két tizedes pontossággal, majd a jegyzőkönyv elkészítése során ezekkel a pontos értékekkel számoljunk (az ellenállásoknak gyártási szórásának kiküszöbölése végett)!

Első körben még ne tegyük be C_1 , C_2 csatolókonduktorokat, 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 $U_t=15V$.

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 ismertetében határozzuk meg a kollektoráramot! A jegyzőkönyvben a számított és mért értékeket vessük össze, az eltéréseket indokoljuk!



A megépítéshez szükséges adatok:

$U_t = 15V$
 $R_1 = 120k\Omega$
 $R_2 = 33k\Omega$
 $R_E = 2k\Omega$
 $R_C = 5,1k\Omega$
 $C_1 = C_2 = 100nF$
 $C_E = 47\mu F$
 (C_1 és C_2 fólia/kerámia
 kondenzátorok, ezért polaritás-
 függetlenek.)

3.4 ábra: Földelt emitteres erősítő teljes alapkapcsolása

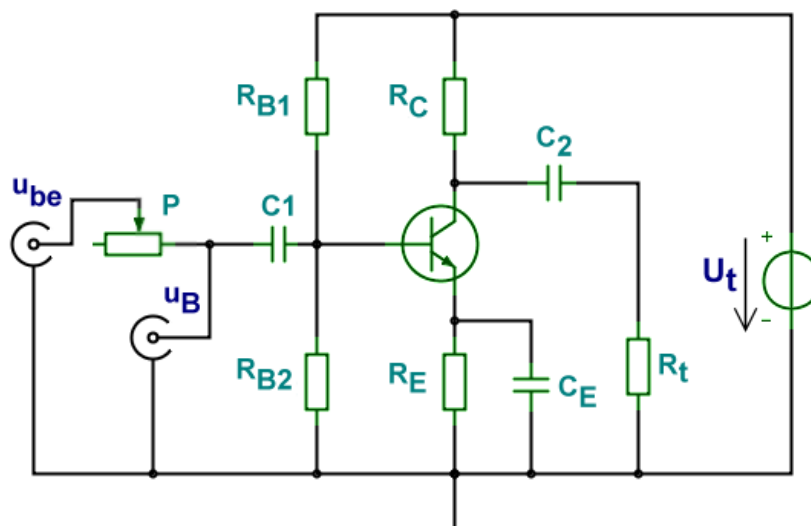
3.2.3 Egészítsük ki a kapcsolást a három kondenzátorral és a terhelő ellenállással ezúttal a teljes **3.4 ábrának** megfelelően! A kondenzátorok értékei: $C_E = 47\mu F/35V$ elektrolit-kondenzátor (ELKO, polaritás függő), $C_1 = C_2 = 100nF$ kerámia- vagy fóliakondenzátor (polaritás független). Illesztett 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; javasolt, hogy mindkettő AC állásban legyen! A továbbiakban ügyeljünk az oszcilloszkóp megfelelő trigger-beállítására (EDGE üzemmód).

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! Javasolt mérési mód: állítsuk az oszcilloszkópot XY üzemmódba (Digitális oszcilloszkópon Horizontal menüben YT » XY), majd húzzuk le u_{be} bemeneti jelet az oszcilloszkópról. A képen ilyenkor egy vonalat, szakaszt kell látnunk, melynek hossza megegyezik u_{ki} kimeneti jel csúcstól-csúcsig vett értékével (igyekezzünk a hozzá tartozó V/div forgatógommbal a lehető legjobban felnagyítani). A függvénygenerátor frekvenciáját (semmi mást!) változtassuk lefelé és felfelé egyaránt mindaddig, amíg a szakasz hossza 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.

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

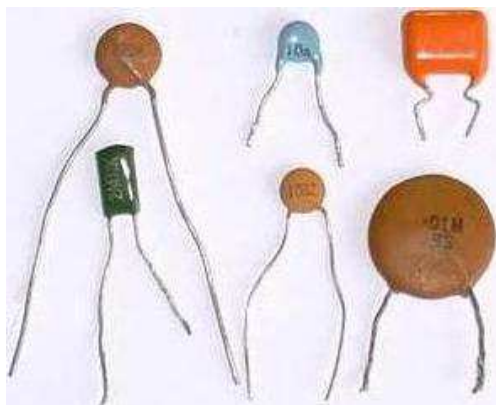
3.2.6 Tegyük vissza C_E kondenzátort (polaritás helyesen), majd mérjük meg az erősítő bemeneti ellenállását! Ehhez C_1 bemeneti csatolókondenzátor elé sorosan iktassuk be a $R_P=10k\Omega$ értékű potenciométert a **3.5 ábrának** megfelelően! Így az erősítő látszólagos bemeneti ellenállása és a potenciométer 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 szinuszjelet! Ezt követően a multiméter feszültségmérő bemenetét a függvénygenerátorról vegyük le és tegyük át a tranzistor 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 számítottal, majd határozzuk meg belőle a tranzistor tényleges béta (β) paraméterét (a bemeneti impedancia képletét rendezzük β -ra)!

3.3 Megjegyzés:

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



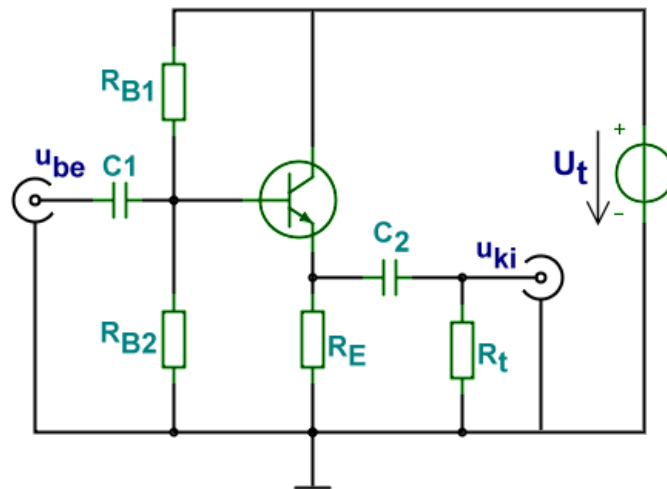
3.6 ábra: példa kerámiakondenzátorokra

Kis kapacitásértékű kondenzátorokon rend szerint egy háromjegyű számot tüntetnek fel, melyek közül az első kettő egy kétjegyű szám, a harmadik pedig a tízzel való szorzás hatványkitevőjét jelöli; mértékegysége pF.

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!

3.4.3 Mérjük meg az alsó és felső határfrekvenciát!

3.5 Ellenőrző kérdések:

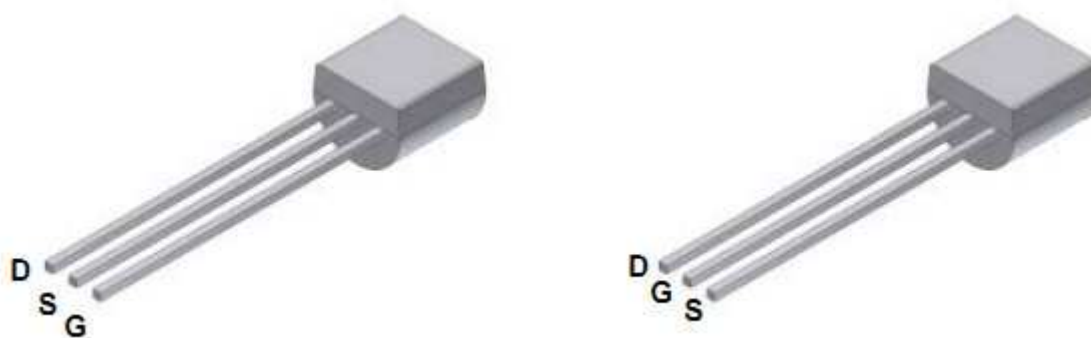
1. Rajzolja le egy NPN tranzisztor földelt emitteres transzfer és kimeneti karakterisztikáit (utóbbin jelölve a görbesereg tagjainak paraméterét)!
2. Rajzoljon fel egy földelt emitteres erősítő alapkapcsolást bázisosztóval (alkatrészek megnevezésével)!
3. Hogyan mérjük meg egy tetszőleges erősítő feszültségerősítését?
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 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!

4. Mérés

FET karakterisztikák, erősítők, inverterek

2018.02.09.

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

4.0 Otton kötelezően előkészítendő feladatok:

1. A **4.2 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 **4.3 mérésben** mekkora lesz a drain áram maximálisan várható értéke $U_{táp} = 5V$ ill. $10V$ mellett?

Házi feladat:

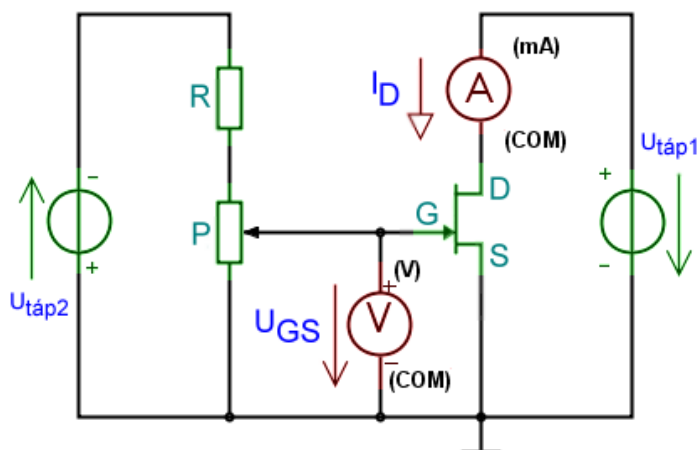
(tétélesen kidolgozva)

1.

2.

3.

4.1 N-JFET karakterisztikái:



A megépítéshez szükséges adatok:

$$U_{\text{táp1}} = 15\text{V}$$

$$U_{\text{táp2}} = -5\text{V}$$

$$R = 330\Omega$$

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

4.2 ábra: NJFET karakterisztika felvétele

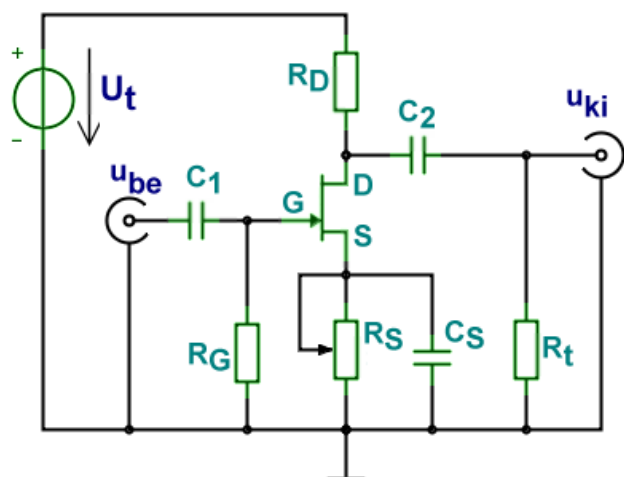
4.1.1 A **4.2 ábrának** megfelelően valósítsuk meg az N-csatornás JFET-ek karakterisztikáinak felvételére alkalmas egyszerű áramkört! Különösen ügyeljünk a tápfeszültségek, főképp $U_{\text{táp2}}$ előjelhelyes bekötésére, mivel az N-csatornás JFET-ek nem kaphatnak nullánál nagyobb, azaz pozitív előjelű 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 $R=330\Omega$.

4.1.2 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 ábrázoláskor használjunk lineáris léptéket (különösképpen **4.2.2** feladat miatt)!

4.1.3 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!

4.2 Földelt-sourceú (FS) JFET erősítő vizsgálata:

4.2.1 Építsük meg a 4.3 ábra alapján az FS erősítő alapkioscsolását!



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.)

4.3 ábra: FS JFET erősítő

4.2.2 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 4.1.2 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 áramokat!

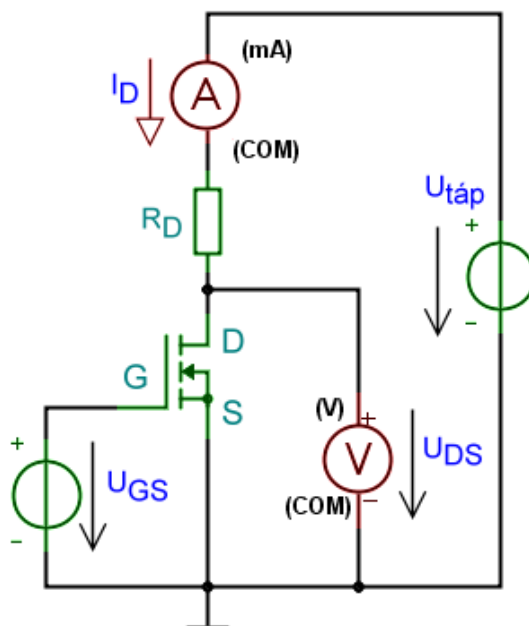
4.2.3 Az u_{be} -ként jelölt bemeneti pontot kössük a függvénygenerátor analóg kimenetére, egyúttal az oszcilloszkóp CH1 csatornájára (T-elosztó és BNC-BNC kábel használatával!), az u_{ki} kimeneti pontot pedig az oszcilloszkóp CH2 csatornájára! A továbbiakban ügyeljünk az oszcilloszkóp megfelelő trigger-beállítására (EDGE üzemmód).

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!

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

4.2.5 MÉRJÜK MEG AZ ERŐSÍTŐ ALSÓ ÉS FELSŐ HATÁRFREKVENCIÁJÁT! Tegyük vissza a Source-körbe C_S kondenzátort! Javasolt mérési mód: állítsuk az oszcilloszkópot XY üzemmódba (Digitális oszcilloszkópon Horizontal menüben YT » XY), majd húzzuk le u_{be} bemeneti jelet az oszcilloszkópról. A képen ilyenkor egy vonalat, szakaszt kell látnunk, melynek hossza megegyezik u_{ki} kimeneti jel csúctól-csúcsig értékével (igyekezzünk a hozzá tartozó V/div forgatógombbal a lehető legjobban felnagyítani). A függvénygenerátor frekvenciáját (semmi más!) változtassuk lefelé és felfelé egyaránt mindaddig, amíg a szakasz hossza a 70%-ára, azaz -3dB értékre nem csökken a sávközépi erősítéshez képest; ezek a frekvenciaértékek lesznek f_a és f_f alsó- és felső határfrekvenciák.

4.3 NMOS (N-csatornás MOSFET) transzfer karakterisztikája:



4.4 ábra: NMOS karakterisztika felvétele

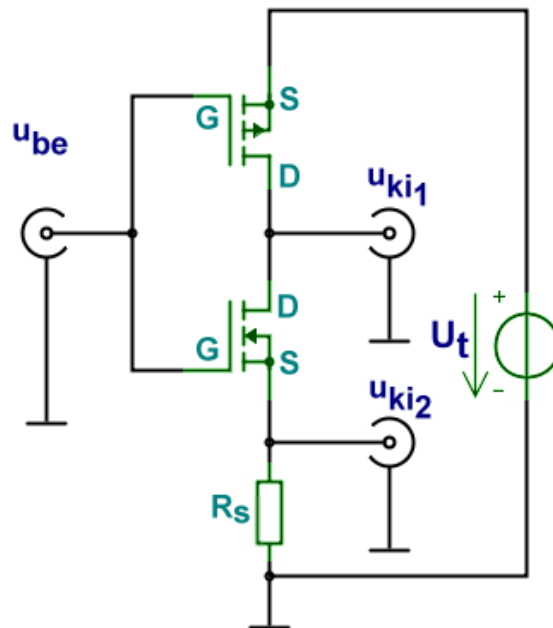
4.3.1 Építsük meg a **4.4 ábra** szerinti kapcsolást, mellyel a BS170 N-csatornás növekményes MOSFET transzfer karakterisztikáját (U_{GS} - I_D , U_{DS} =konstans) felvesszük.

A feszültségmérőt és árammérőt egyaránt három tizedes pontosságra állítsuk be! R_D munkaellenállás értéke **180Ω**, maximális disszipációja pedig $P_{Dmax}=2W$. $U_{táp}$ (mely előbb 5, majd 10V értékű lesz) áramkorlátozása ezúttal legyen 100mA!

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

4.3.3 Ismételjük meg a **4.3.2** mérési pontot 10V tápfeszültséggel!

4.4 CMOS inverter vizsgálata:



4.5 ábra: CMOS inverter

4.4.1 Valósítsuk meg a **4.5 ábrának** megfelelő CMOS invertert! Az áramkorlátot előzetesen állítsuk vissza 20mA értékűre! 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! $R_s=13\Omega$. $U_{táp}$ 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!

4.4.2 A funkciógenerátor szolgáltatja 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)!

4.4.3 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!

4.5 Ellenőrző kérdések:

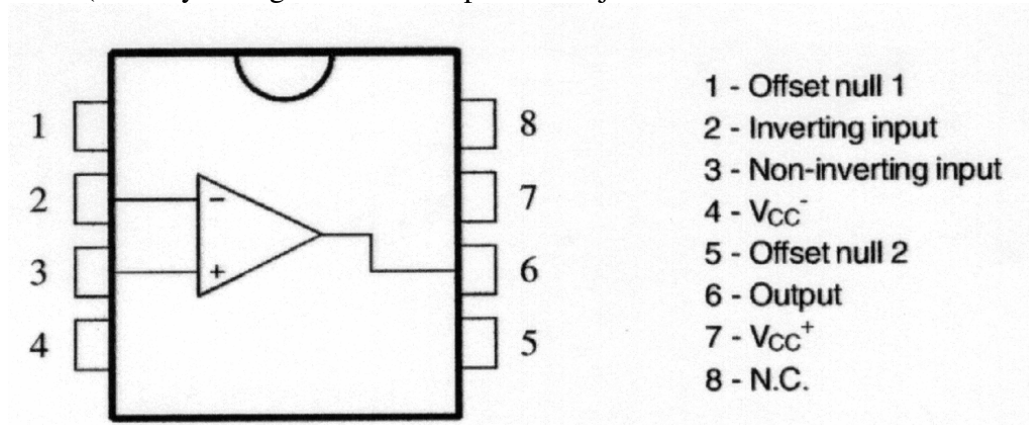
1. Rajzolja le egy N-csatornás JFET földelt Source-ú transzfer és kimeneti karakterisztikáit (utóbbin jelölve a görbesereg tagjainak paraméterét)! Jelölje a nevezetes pontokat!
2. Rajzolja le egy növekményes NMOS transzfer és kimeneti karakterisztikáit!
3. Rajzoljon le egy FS N-JFET erősítőt (alkatrészek 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 ?

5. Mérés

Műveleti erősítő alapkapsolások

2017.02.02.

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 20-20mA áramkorlátot, és ne módosítsuk a mérés során! A foglalkozás során felhasználásra kerülő **LM741** típusú műveleti erősítő lábkiosztása (a könnyebbség kedvéért a kapcsolási rajzokon is feltüntettük a lábszámozást):



5.0 ábra: LM741 lábkiosztása

Az integrált áramkörök tokozásán egy bevágás (**5.0 ábra** szerint) jelöli a lábszámozást, vagy egy pötty az 1-es lábat (olykor mindkettőt alkalmazzák).

5.0 Otthon kötelezően előkészítendő feladatok:

1. Számítsuk ki az **5.1** és az **5.2 példában** látható kapcsolások erősítését!
2. Számítsuk ki az **5.1 példa** kapcsolásának várható felső határfrekvenciáját!

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

3. Számítsuk ki az **5.4 példa** hiszterézises komparátorának várható billenési szintjeit, ha $U_{kimax}=\pm 9\text{V}$.

Házi feladat:

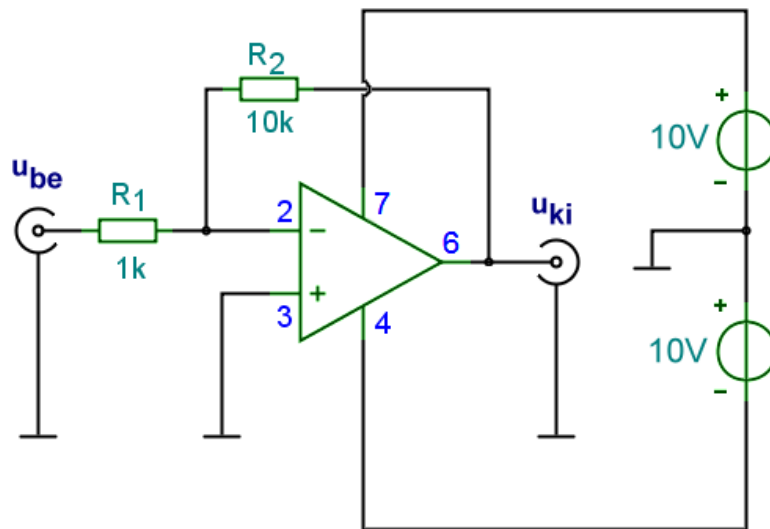
(tételesen kidolgozva)

1.

2.

3.

5.1 Invertáló erősítő:



5.1 ábra: Invertáló erősítő mérési elrendezése

5.1.1 Valósítsuk meg az **5.1 ábrán** látható mérési elrendezést! Ügyeljünk a szimmetrikus tápellátás előjelének 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)!

5.1.2 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 kapocsolás kimeneti offset feszültségét HM8012 multiméterrel DCmV állásban!

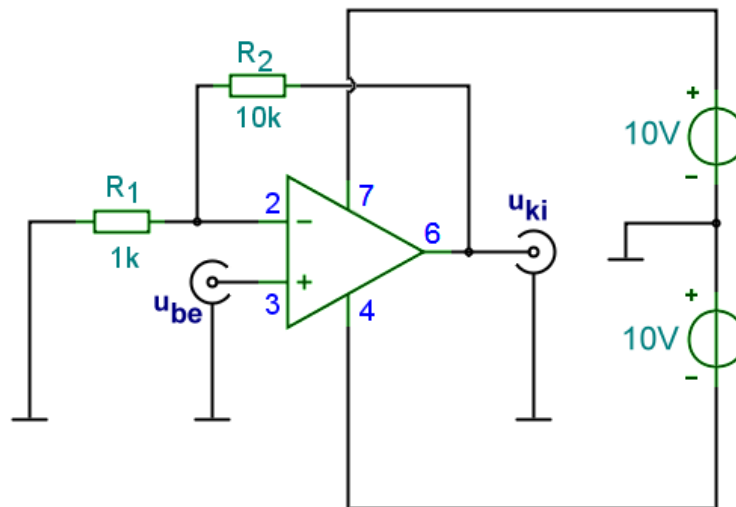
5.1.3 u_{be} ponton ez után szüntessük meg a földzárlatot, majd kössük be a funkciógenerátort és az oszcilloszkóp CH1 csatornáját egyaránt (az elágazáshoz érdemes BNC-BNC kábelt és T-elosztót használni). Ügyeljünk, hogy a funkció generátor analóg kimenetét használjuk, ne pedig a TTL-t! U_{ki} pontot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

5.1.4 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!

5.1.5 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)!

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

5.2 Nem-invertáló erősítő:



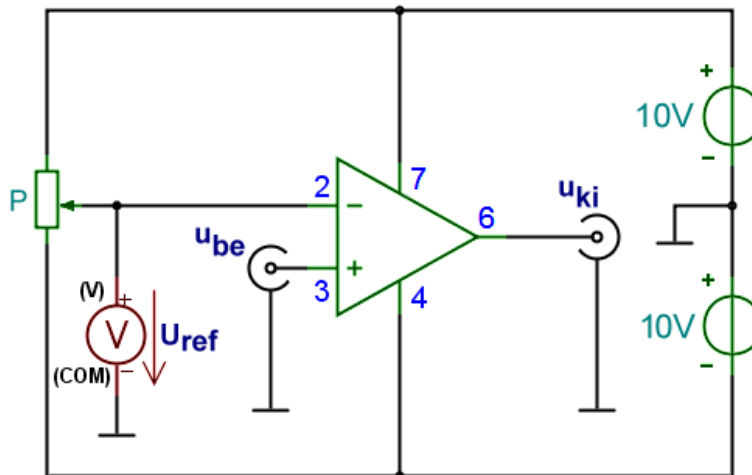
5.2 ábra: Nem-invertáló erősítő mérési elrendezése

5.2.1 Módosítsuk az előző feladat során mért invertáló erősítőt az **5.2 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 breadboard-on (próbapanelon).

5.2.2 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!

5.2.3 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)!

5.3 Komparátor:



5.3 ábra: Komparátor mérési elrendezése

5.3.1 Valósítsuk meg az **5.3 ábrán** látható egyszerű komparátor áramkört! U_{ref} referencia feszültséget $P=47k\Omega$ potenciométer szolgáltatassa, mely feszültséget egyúttal mérjük digitális voltmérővel!

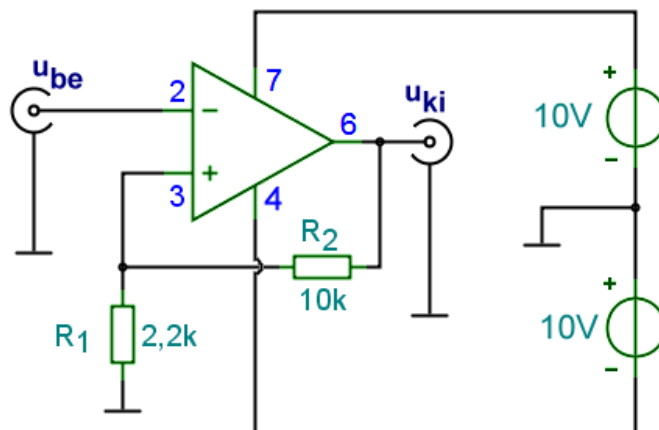
5.3.2 A függvénygenerátoron beállított kimeneti jel 300Hz frekvenciájú, $20V_{pp}$ (maximális) amplitúdójú háromszögjel legyen (nagyobb frekvenciákon a műveleti erősítő véges SR-je meghamisítja a mérést). u_{be} és u_{ki} pontokat az oszcilloszkóp CH1 és CH2 pontjain mérjük úgy, hogy mindkét csatorna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

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

5.3.4 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!

5.3.5 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.)

5.4 Hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger):



5.4 ábra: Invertáló hiszterézises komparátor mérési elrendezése

5.4.1 Az 5.4 ábra szerinti hiszterézises komparátort valósítsuk meg! Ebben az esetben U_{ref} referencia feszültséget 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.

5.4.2 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!

5.4.3 Vegyük fel a Schmitt-trigger transzfer-karakterisztikáját az oszcilloszkóp XY módjának felhasználásával (Digitális oszcilloszkópon Display menüben YT » XY)! Célszerű, hogy CH1 és CH2 azonos feszültségállásban legyenek.

5.5 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzoljon fel egy invertáló alapkiosztást és határozza meg az erősítését!
2. Rajzoljon fel egy nem-invertáló kiosztást 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 kiosztást 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?