

Horváth Márk – Mihalik Gáspár – Szabó Tamás

Elektronika I.
laboratóriumi segédlet

Lektorálta:
Dr. Lovassy Rita

Tartalomjegyzék

| | |
|---|-----------|
| <u>1 Előszó.....</u> | <u>2</u> |
| <u>2 Laboratóriumi tudnivalók.....</u> | <u>3</u> |
| <u>2.1 Részvétel a laboratóriumi foglalkozásokon.....</u> | <u>3</u> |
| <u>2.2 Foglalkozások menete.....</u> | <u>3</u> |
| <u>2.3 Jegyzőkönyvvel szemben támasztott követelmények.....</u> | <u>4</u> |
| <u>3 Szimulációs program.....</u> | <u>5</u> |
| <u>3.1 Első lépések.....</u> | <u>5</u> |
| <u>3.2 Áramkörök rajzolása.....</u> | <u>6</u> |
| <u>3.3 Szimuláció.....</u> | <u>11</u> |
| <u>3.4 Transient analysis</u> | <u>12</u> |
| <u>3.5 Kiértékelés.....</u> | <u>17</u> |
| <u>3.6 DC analízis</u> | <u>23</u> |
| <u>3.7 AC analízis</u> | <u>24</u> |
| <u>3.8 Stepping</u> | <u>26</u> |
| <u>4 Szimulációs feladatok.....</u> | <u>28</u> |
| <u>4.1 Diódák.....</u> | <u>28</u> |
| <u>4.2 Tranzisztorok.....</u> | <u>32</u> |
| <u>4.3 FET-es szimulációk.....</u> | <u>36</u> |
| <u>4.4 Műveleti erősítők.....</u> | <u>43</u> |
| <u>5 Laboratóriumi mérések.....</u> | <u>51</u> |
| <u>5.1 A mérőpanel leírása.....</u> | <u>51</u> |
| <u>5.2 Diódák mérése.....</u> | <u>53</u> |
| <u>5.3 Bipoláris tranzisztorok.....</u> | <u>61</u> |
| <u>5.4 FET-ek mérései.....</u> | <u>67</u> |
| <u>5.5 Műveleti erősítő mérések.....</u> | <u>74</u> |

1 Előszó

E jegyzet célja, hogy segítséget nyújtson a hallgatóknak és oktatóknak egyaránt az Elektronika I. tárgy laboratóriumi foglalkozásaira való felkészülésben és a gyakorlatok sikeres elvégzésében.

A jelenlegi egy átdolgozott kiadás, melynek módosításait a tárgy oktatásában eltöltött tíz – egyes kollégák részéről még több – év segített kikristályosítani. Fő változtatásoknak a szimulációs program aktuális kiadására való frissítését és a szimulációs ill. gyakorlati mérések arányának megváltoztatását tartom. Fontos leszögezni, hogy bár ez utóbbi a szimulációs mérések „kárára” történt, ezek jelentősége nem csökkent: az óraszámok kedvezőtlen változása és a hallgatók informatikai képzettsége és felszereltsége révén e feladatok most már az otthoni felkészülés tárgyát képezik, segítve ezt a folyamatot.

Mivel ez a tárgy ill. az oktatás során felhasznált eszközök korunk egy nagyon gyorsan fejlődő területét képviselik, igyekszünk lépést tartani változásokkal. Ezen igyekezetünket tükrözi az is, hogy a jelen jegyzetet elektronikus formában adjuk ki, így a módosítások, változások gyorsabban eljuthatnak Önökhöz. Azért, hogy e jelleget meg tudjuk őrizni, a segítségüket kérem: hibák vagy a mérésekben tapasztalt – a jegyzetben nem található – változásokról értesítsenek a mihalik.gaspar@kvk.uni-obuda.hu e-mail címen.

A Szerkesztő

2 Laboratóriumi tudnivalók

Az első laboratóriumi foglalkozáson az itt leírtakat a laborvezetők elmondják, de az esetlegesen hiányzók vagy a nem biztos pontok megerősítése kedvéért az általános tudnivalókat az alábbiakban foglaljuk össze.

2.1 Részvétel a laboratóriumi foglalkozásokon

Azok vehetnek részt a laboratóriumi foglalkozásokon, akik fizikailag, szellemileg, lelki állapotukat tekintve erre alkalmasak és elvégezték az otthoni előkészítési feladatokat ill. legalább elégséges osztályzatot szereztek a foglalkozás kezdetén megírt számonkérésen. Sikertelen beugró, hiányzó feladatok vagy mulasztás miatt pótolni a félév során egyszer lehet a szorgalmi időszakban. Ez alól csak két hétnél hosszabb betegség révén, orvosi igazolás mellett mentesülhetnek. Gyakorlati jegy pótlása címen a vizsgaidőszakban egy további alkalom áll rendelkezésre.

Az otthoni munka abból áll, hogy a hallgató elolvassa a soron következő mérés anyagát, megérti és memorizálja az abban leírtakat, a második méréssel kezdődően pedig elvégzi az előírt szimulációkat melyekről jegyzetet készít a feladatokban megfogalmazottaknak megfelelően és ezeket magával viszi a laboratóriumi foglalkozásra. A harmadik foglalkozástól kezdve ezek mellé még a kidolgozott jegyzőkönyvet is szükséges leadni. A laborokra való készülést érdemes még kiegészíteni az előadáson készült jegyzetek áttekintésével ill. a tanár útmutatásának megfelelő számpéldák megoldásával.

2.2 Foglalkozások menete

1. Szimulációs jegyzetek meglétének ellenőrzése, jegyzőkönyv beszédése
2. Írásbeli számonkérés
3. A méréshez szükséges alkatrészek, panelek előkészítése
4. Mérés elvégzése
5. Mérési eredmények aláírítása a mérésvezetővel
6. Elpakolás

2.3 Jegyzőkönyvvel szemben támasztott követelmények

A jegyzőkönyv a következő adatokkal kezdődik: a mérést végző személy neve, neptunkódja, a mérés száma és neve, a mérés dátuma és helyszíne. Tartalmaznia kell még a méréshez felhasznált műszerek megnevezését, típusát és egyedi azonosítóját (leltári vagy gyári szám).

A mérési feladatok kidolgozása mindig a mérés rövid, szöveges leírásával kezdődik. Ez néhány mondattól max. egy-két oldalig terjedjen. Ezt követi a kapcsolási rajz, majd a konkrét feladat rövid leírása. A kapcsolási rajzokon magyar alkatrész-jelöléseket használjanak! A szimulációk kidolgozásánál a képernyő nyomtatásakor ez a feltétel nem teljesül, mert a szoftver az angol-szász jelölési rendszert használja. Ebben az esetben ez megengedhető, de a műszeres mérések kidolgozásánál nem. Amennyiben a mérési eljárás egyéb ismereteket igényel, úgy ezt is foglalja bele röviden szövegbe (pl. felső törésponti frekvencia mérése: Sávközépi frekvencián megmért kimeneti jelhez viszonyítva kell a bemeneti jel frekvenciáját növelni addig, míg az a korábban mért érték 70,71%-ra nem

csökken. A mérést oszcilloszkóppal végeztem.). A mérési eredmények esetenként csak számok – mértékegységgel kiegészítve –, de pl. sorozatméréseknél (egy adott jellemző valaminek a függvényében mérve) a táblázatos összefoglaláson kívül szükséges a grafikus ábrázolás is. A mérési feladatok elvégzése után szerepelhetnek az értékelés, észrevétel, stb.

A jegyzőkönyvhöz csatolni kell a témához illeszkedő szimulációs jegyzeteket és a mérésvezetővel az előző foglalkozás végén aláíratott jegyzetet, melyen a mérési eredmények szerepelnek. Ezek nélkül a jegyzőkönyv nem adható be.

3 Szimulációs program

Ez a leírás a szimulációs lehetőségeket illetően nem törekszik a teljességre, így az ismertetés rövid, gyakorlati példákon keresztül történik.

Ez talán hozzásegíti az olvasót, a kezdeti sikerek gyors eléréséhez. A szimulációkhoz használt program a MicroCap 10 Evaluation Version, amely a teljes verziótól csupán a kiértékelés terén különbözik; nem érhető el az összes

funkció - mint pl. az eredmények háromdimenziós ábrázolása, bizonyos szimuláció fajták, stb. Jó hír a linux-ot használóknak, hogy a program tökéletesen fut Wine környezetben is.

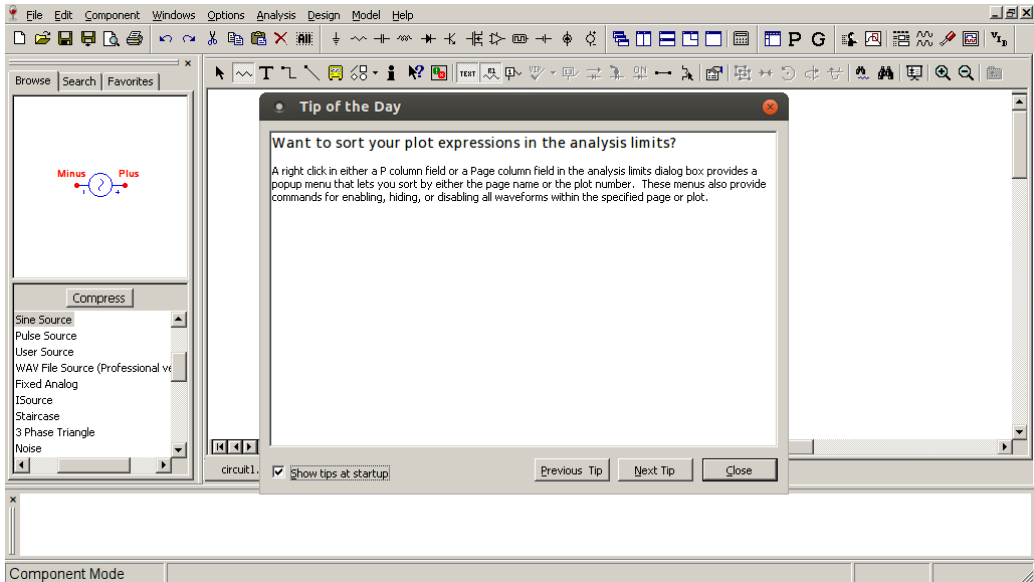


A mindenkori legfrissebb változat ingyenesen letölthető a gyártó honlapjáról (<http://www.spectrum-soft.com>).

A leírásban *dólt betűvel* jelöljük a hivatkozásokat, *fix* szélességűvel pedig a parancsokat, *beírandó* értékeket ill. a mérések során vett konkrét utasításokat.

3.1 Első lépések

Ha a programot elindítva a *Tip of the Day* ablak fogad (l. 3.1. ábra) - melyben egy véletlenszerűen kiválasztott jó tanáccsal lát el a program - győződjünk meg róla, hogy a bal alsó sarokban lévő `Show tips at startup` jelölőnégyzet ne legyen kipipálva. Ezzel elkerüljük azt, hogy a következő indításnál is jelentkezzen az ablak. Amennyiben az ablakot nem látjuk indítás után, akkor valószínű, hogy valaki előttünk már megtette az előző lépést. Ezek után elénk tárul a szer-



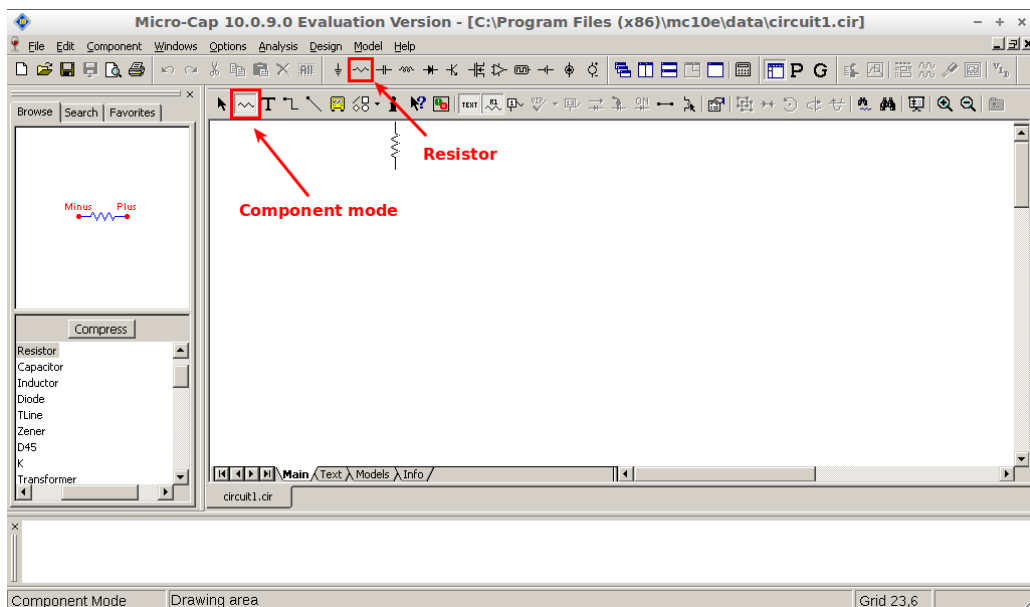
3.1. ábra: Nyitó képernyő

kesztő képernyő. Bal kéz felé az alkatrészkönyvtárakban böngészhetünk, kereshetünk és hozzáférhetünk a leggyakrabban használt alkatrészekhez. Középen láthatjuk a rajzterületet, legfelül a menüket, alatta pedig a program készítői által legfontosabbnak tartott parancsok ikonjai szerepelnek. Az első ikonblokkban a szokásos fájl műveletek érhetők el: *új létrehozása, megnyitás, mentés, nyomtatósi kép megtekintése, nyomtatás*. A következő csoport a szerkesztés parancsait teszi elérhetővé: *visszavonás, újra, kivágás, másolás, beillesztés, törlés, mind kijelölése*. A következő csoport az áramkörök megrajzolását könnyíti meg. Ezt megnézzük kicsit részletesebben a következő részben.

3.2 Áramkörök rajzolása

Ahhoz, hogy a kívánt áramkört szimulálhassuk, először meg kell azt rajzolnunk, és a rajzelemeknek bizonyos értékeket kell adnunk. A rajzelemekkel tu-

lajdonképpen egy-egy matematikai modellt illesztünk be, az értékek megadásával pedig paraméterezzük azokat.



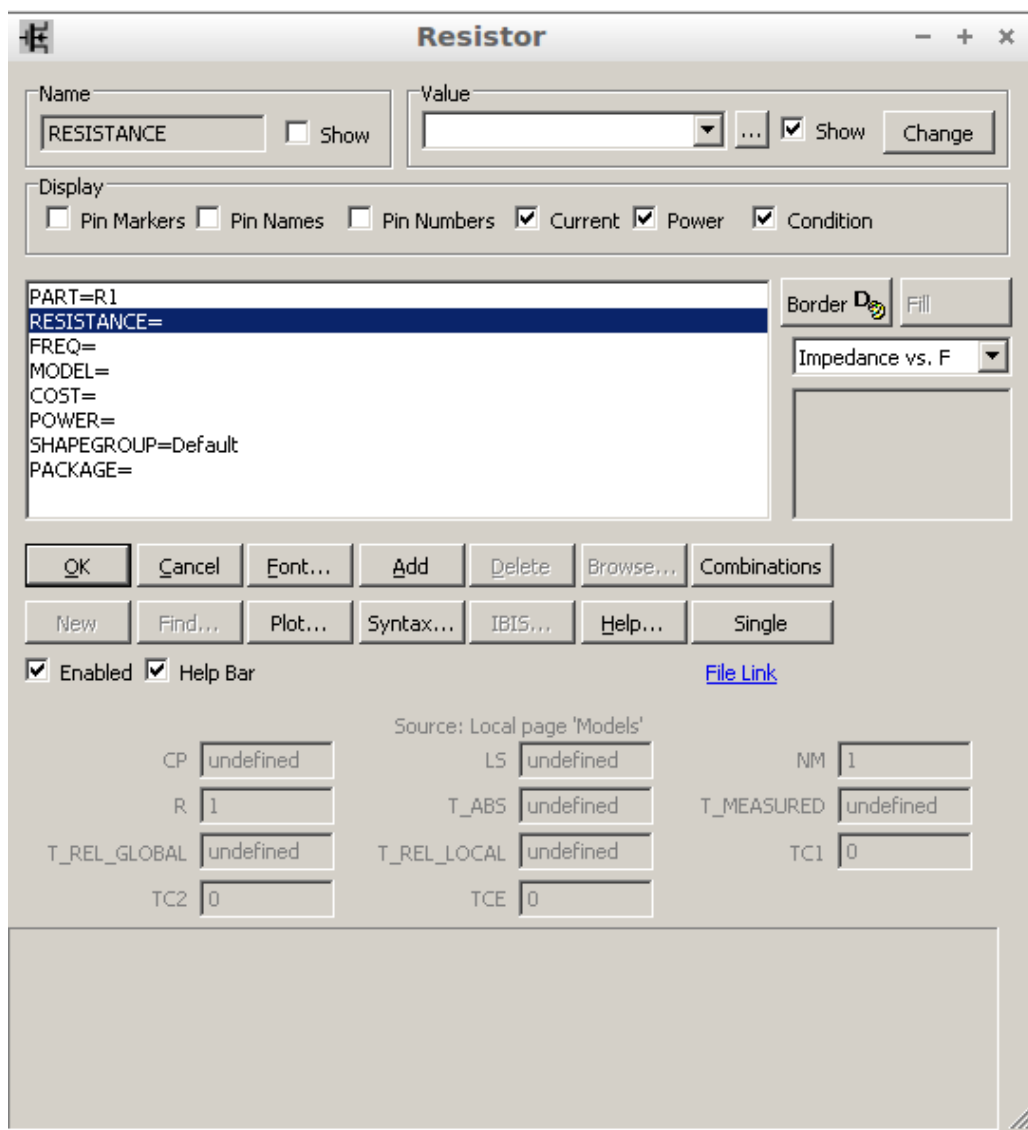
3.2. ábra: Component mode és Resistor

A program használatához meg kell néznünk még egy ikoncsoportot, mely a következő ábrán látható, feketével bekeretezve: ezekkel az ikonokkal a módok között tudunk váltani. Ez azért fontos, mert ahhoz, hogy rajzolni tudjunk, a Component mode-ot kell aktiválni (l. 3.2. ábra).

Egyszerűbb elemek

A megfelelő módba állítás után már csak ki kell választani az alkatrészt, amelyet szeretnénk elhelyezni a képernyőn. Kezdjük az egyik legegyszerűbbel: válasszuk ki az Ellenállást (Resistor) az alkatrészek közül (l. 3.2. ábra). Ezután a rajzterületen bárhol elhelyezhetjük bal egérgattintással.





3.3. ábra: Alkatrész paraméterek megadása

Ha ezt megtettük, egy új ablak jelenik meg (l. 3.3. ábra). Ez az alkatrészek paramétereinek beállítására szolgál, és minden alkatrésznél más paraméterek beállítását teszi lehetővé. Az ellenállásnál viszonylag egyszerű dolgunk van, hiszen

csak annak értékét (*Value*) kell megadnunk. A kurzor eleve abban a mezőben villog, így az érték közvetlenül beírható¹. A kezelt prefixumok listája:

| | | | | | | |
|------|-------|-------|---|------|------|------|
| nano | mikro | milli | - | kilo | mega | giga |
| n | u | m | - | k | meg | g |

Miután megadtuk az értékét, az alkatrész elszíneződik. Ezzel jelzi a program, hogy kijelöltük. A kurzornak ilyenkor még mindig az előzőekben használt alkatrész formája van, így ebből újabbat tudunk lerakni, amennyiben erre szükség van. Ha nem akarunk új alkatrészt lerakni, de nem vagyunk elégedettek az előzőekben létrehozott alkatrésszel, úgy módosíthatjuk a már lerakott alkatrészet, vagy törölhetjük azokat. Ehhez a Kiválasztás eszközt (*Select Tool*) kell használnunk. Tegyük ezt aktívvá, és rákattintva a módosítani kívánt alkatrészt, a program jelzi, az alkatrész kiválasztása megtörtént. Ilyenkor a billentyűzetén lévő *Delete* gomb megnyomásával törölhetjük az alkatrészt. Ha a paramétereket szeretnénk megváltoztatni, erre is van több lehetőség. Az egyik, hogy kétszer kattintunk a módosítani kívánt paraméter feliratán (ez lehet az alkatrész neve, és értéke). A másik lehetőség magán az alkatrészen való kétszeri kattintás, aminek hatására az alkatrész lerakásakor is megjelenő párbeszédpanelhez jutunk, amiben már szerepelnek az előzőekben beállított értékek, amiket módosíthatunk. Az *OK* gomb megnyomásával jóváhagyhatjuk a változtatásokat.

A következő alkatrész, amit használunk a *Dióda (Diode)*. Kattintsunk ennek parancsikonzójára, és helyezzük el a képernyő valamely részén. A paraméter beállító ablakban igen sok lehetséges beállítást találhatók. A legegyszerűbb, ha gyári modellek közül választunk. Ez legyen az *1N4001* típus. Az *OK* gombbal elfogadjuk a beállításokat.

¹ Ha nem egész értéket írunk be, ügyeljünk hogy a program tizedespontot, és nem tizedesvesszőt használ! A prefixumok helyett használható normál alak is (pl.: *11E+2* formában).

Jelgenerátor

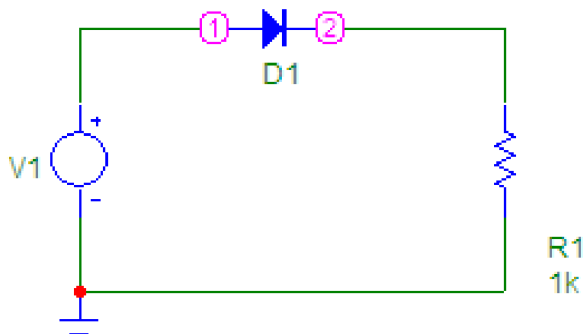
A következő elem, amit beillesztünk a jelgenerátor. Ezt a *Component / Analog Primitives / Waveform Sources / Sine Source* parancs kiadásával tehetjük meg. Ekkor a kurzor a generátor formáját veszi fel: helyezzük el ezt is. A paraméter-beállító ablakban csak a generátor típusának megadása után tudunk bármit számértékkel megadni. Írjunk be `sin50` értéket a *MODELL* paraméterhez. Látható, hogy a típus megadása után az alul lévő paraméter-mezők kitölthetővé váltak (fehérek lettek). Ha a kurzort rávisszük valamelyik paraméter mezőre, alatta rövid, angol nyelvű leírást közöl a program. Az *F* paraméterhez írjuk be `50`. Ezzel a generátor frekvenciáját állítottuk 50 Hz-re. Az *A* értékénél `6`-ot állítunk be. Ezzel a szinuszhullám amplitúdóját 6V-ra állítottuk. A többi paraméter maradhat az alapbeállítás szerint (`DC:0 PH:0 RS:1m RP:0 TAU:0`). A *DC* az egyenáramú összetevőt jelöli, a *PH* a kezdeti fázisszöveget, *RS* a generátor belső ellenállása.

Föld

Minden áramkör szimulációjánál szerepelnie kell a viszonyítási pontnak. Ezt nevezzük föld pontnak. Ehhez képest történik a vezérlés, és a mérések is. Természetesen van lehetőségünk más pontok közötti jelek mérésére is, de ezt majd később nézzük meg. Válasszuk ki a Föld ikont (Ground), és helyezzük el a generátor mínusz jellel (-) ellátott kapcsa közelében. Ennél nem szükséges paramétert beállítanunk.

Huzalozás

Az elhelyezett alkatrészeket össze kell kötnünk. Ezt a Huzalozás ikon huzaloz. (Wire mode) segítségével tehetjük meg. Kössük össze a megfelelő kivezetéseket: a bal egérgombot lenyomva és nyomva tartva húzhatjuk az összeköttetést. A huzalozás alkatrész kivezetéstől alkatrész kivezetésig történjen. A program a vezetéket csak egyszer (90°-ban) töri meg. Ha ez nem elegendő, akkor részekből kell építkezni. Ehhez megrajzoljuk az első szakaszt, majd ennek végpontjából indítjuk a következőt. Ha mindent jól csináltunk, a 3.4. ábrához hasonlóan kell kapnunk.



3.4. ábra: Az összeállított áramkör

A sikeres rajzolást követően mentjük el rajzunkat a *File / Save As* paranccsal a további felhasználás végett, vagy esetleges lefagyás esetére.

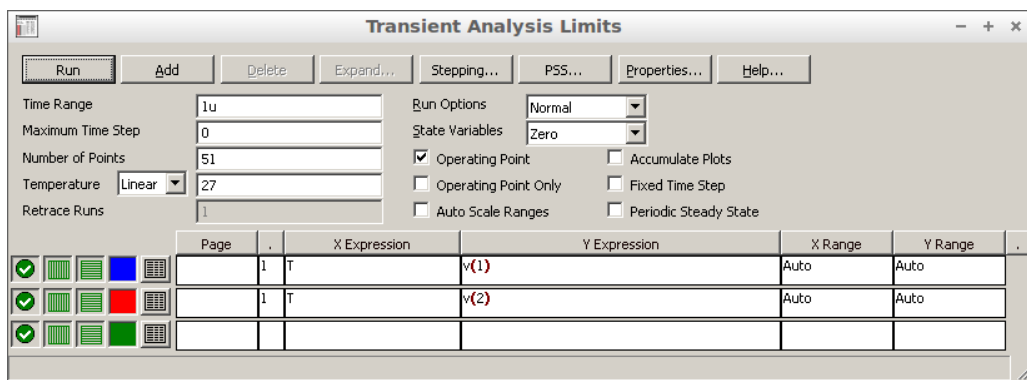
3.3 Szimuláció

Az előzőekben megrajzolt áramkör szimulációját fogjuk most áttekinteni. A mérések során mi háromféle szimulációt fogunk alkalmazni: Transient, AC, DC. A



Transient szimulációval jelalakok időbeli lefutását tekinthetjük meg, az AC frekvenciatartománybeli vizsgálatot tesz lehetővé, DC vizsgálattal pedig többek között áramkörök transzfer tulajdonságait jeleníthetjük meg. Mielőtt elkezdénénk részletesen tárgyalni a szimulációt, meg kell ismerkednünk a Csomópontok számának megjelenítése (Show node numbers) ikonnal, amelyet megnyomva a kapcsolási rajzon feltünteti a program a csomópontok azonosítószámait. Erre azért van szükség, mert a későbbiekben ezen számok segítségével tudunk hivatkozni a csomópontokra. Nyomjuk meg a Show Node Numbers ikont, és jegyezzük fel a számok helyét. Az azonosítást könnyebbé teszi az, hogy a csomópontokat mi is elnevezhetjük. Ehhez az elnevezni kívánt ponton kétszer kell kattintani az egér bal gombjával. Ezek után a nevet kell begépelnünk, és ettől kezdve az adott pontra az általunk megadott néven is hivatkozhatunk.

3.4 Transient analysis



3.5. ábra: Transient Analysis Limits ablak

Válasszuk ki a Analysis / Transient... parancsot. Ekkor belépünk a Transient módba, ami a paraméterek beállításával kezdődik, amit a Transient Analysis Limits ablakban tehetünk meg.

Vizsgálati paraméterek beállítása

Elsőként a *Time Range* mezőt kell kitöltenünk. Alapértelmezésben a mező értéke 1u, ami azt jelenti, hogy 1 mikroszekundum időintervallumot vizsgál a rendszer. Esetünkben érdemes lenne mondjuk két periódust vizsgálni. Azt tudjuk, hogy a generátorunk 50 Hz frekvenciájú. Ebből ki lehet számolni a vizsgálati időt:

$$t_{\text{vizsg}} = T \cdot 2 = \frac{1}{f} \cdot 2 = \frac{2}{50 \text{ Hz}} = 40 \text{ ms} \quad (3.1)$$

Tehát írjuk be a *Time Range* mezőbe a 40m értéket.

A *Maximum Time Step* mezőbe azt az értéket kell beírni, amit a legnagyobb időkülönbség gyanánt szeretnénk két vizsgálati pont között. A szimuláció ugyanis úgy történik, hogy a program az összeállított áramkör matematikai modelljét átviteli függvényeként értelmezi, melynek bemenetét a megadott generátor által szolgáltatott függvénnyel gerjeszti. A válaszfüggvényt (kimeneti jelet) beállított időközönként megvizsgálja a rendszert. A vizsgálat gyakoriságának maximális idejét tudjuk beállítani ezzel a paraméterrel. A *Maximum Time Step* mezőbe a legtöbb esetben megfelelő ha a vizsgált időtartomány egy ezredét írjuk. Ez jelen esetben 40u.

A *Number of Points* mezőbe azt az összeget kell írni, ahány szimulációs pontot szeretnénk számokban való eredménykijelzés (Numeric Output) esetén.

A *Temperature* mezőben a szimuláció hőmérséklete szerepel. Ez maradhat alap beállításon (27° C).

A *Run Options* segítségével tudjuk beállítani a futás mikéntjét: az alapértelmezett Normal esetén lefut a szimuláció. A *Save* értéket beállítva elmenthetjük a

szimuláció eredményeit, míg a *Retrieve* beállítással visszatölthetjük az előzőekben elmentett értékeket. Ezt hagyjuk az alapbeállításon.

A *State Variables* változtatásával lehetőségünk nyílik a kezdeti értékek beállítására. Az alapérték a *Zero*. Ilyenkor az áramkör energiamentes állapotból indul, minden ponton minden mennyiség zérus. A *Read* érték beállításával a program betölti az előzőekben elmentett értékeket, és azokat veszi kezdőértéknek. *Leave* beállítása esetén valahányszor lefuttatjuk a szimulációt, az utóbbi kezdőértékei az előbbi szimuláció utolsó értékei lesznek. Első futtatás esetén az értékek egyenlőek nullával. Ha visszalépünk a szerkesztő képernyőre, az értékek lenulázódnak. A *Retrace* beállításával lehetőség van a szimuláció N ($N \in \mathbb{N} \setminus 0$) számú futtatására, melyet a *Retrace Runs* mezőbe kell írni. Ez hasonló a *Leave* opcióhoz, de ilyenkor előre megadhatjuk a futtatások számát, vagy F2 megnyomásával újra és újra futtathatjuk a szimulációt.

Az *Operating Point* bejelölésével kiszámoltatjuk a DC munkapontot. Ha ezt bejelöljük, akkor a program a kezdeti értékek alapján kiszámolja, hogy a felrajzolt áramkör pontjai milyen aktuális DC értékeket vesznek fel, és így indítja a szimulációt. Ezt érdemes az alapbeállításon hagyni, azaz bekapcsolva.

Az *Operating Point Only* bejelölésével nem fut le az időbeli vizsgálat, hanem csak - az előzőekben említett - munkapont számítást végzi el a program. Ez arra jó, hogy a végrehajtás után visszatérve a szerkesztő képernyőre kiírathatjuk a csomópontok DC feszültségértékeit. Ezt célszerű nem bekapcsolni időbeli vizsgálatok esetén.

Az *Auto Scale Ranges* bekapcsolásával nem kell bajlódni a tengelyek értékeinek megadásával. Célszerű bekapcsolni, kivéve abban az esetben, ha saját magunk szeretnénk ezeket a beállításokat megtenni. Most ezt ne kapcsoljuk be.

Az *Accumulate Plots* jelölőnégyzet bekapcsolásával az előző szimulációs görbék megmaradnak, az eredményeket minden egyes futtatás után rárajzolja a program az előző képernyőre. Ennek segítségével egy képernyőn követhetjük nyomon a változásokat.

A program az ábrázolt pontok sűrűségét bizonyos határok között változtatja. E működésen változtat a *Fixed Time Step* jelölőnégyzet bepipálása, mellyel a Maximum Time Step mezőben beállított időnként veszi csak fel a program a pontokat.

A *Periodic Steady State* jelölőnégyzet beállításával lehetőség nyílik arra, hogy az áramkört stabil állapotában vizsgáljuk: így a Periodic Steady State (PSS...) gomb alatt található beállítások alapján a program többször futtatja a szimulációt egészen addig, míg az előírt nagyságú eltérést tapasztalja már csak a szimulációs eredményekben. Az eredmény folyamatában is nyomon követhető, nem csak a végeredmény látszik, hanem a köztes állapotok is kiválaszthatók. Így jól vizsgálhatóak a harmonikus és intermodulációs torzítások, a kapcsolóüzemű és rádiófrekvenciás áramkörök.

Vizsgálandó mennyiségek beállítása

Itt tudjuk beállítani a mért mennyiségeket, és azok tulajdonságait. Nézzük sorban. A legfontosabb része a táblázatnak a *Y Expression*. Ebben az oszlopban tudjuk megadni, mit vizsgálunk. A megadás formája - egyszerűbb esetben - olyan, hogy egy betű, mögötte zárójelben egy szám szerepel. A betű utal a mennyiségre (v - voltage, vagyis feszültség; i - current, vagyis áram, stb.), a zárójelben lévő kifejezés pedig a csomópontra vagy eszközre (1, 2, D1) vonatkozik. Mivel megnéztük a *Show Node Numbers* ikon segítségével a csomópontok

számait, tudjuk értelmezni a $v(1)$ és $v(2)$ kifejezéseket: $v(1)$ a kimeneti feszültséget, $v(2)$ a bemeneti feszültséget jelenti. Egy bonyolult áramkörnél azért ennél nehezebb dolgunk lenne - a sok csomópont miatt, de a program ebben is segít. Lehetőség van arra, hogy egy menüből kiválasszuk a vizsgálni kívánt mennyiséget, és annak mérési helyét. Vigyük az egérkurzort az *Y Expression* oszlop harmadik sorára, és nyomjuk meg a jobb egérgombot. Adjuk ki a `Variables / Device Currents / I(D1)` parancsot. Ezzel megmondtuk a programnak, hogy a dióda áramának időbeli lefolyását is szeretnénk vizsgálni a bemeneti és a kimeneti feszültség mellett. Az *X Expression* oszlopban az x tengely kifejezését adjuk meg, ami - lévén időbeli vizsgálatról szó - legyen most az idő (T). A *P* oszlopban a görbe csoportját adjuk meg. Ahány csoportra bontjuk a görbéinket, a kiértékelésnél a képernyőt annyi részre osztja a program. Az azonos sorszámúakat azonos koordináta-rendszerben ábrázolja. A diódaáramunknak állítsuk be az 1-es csoportot. A *Page* cellában beállítható, hogy a görbe mely fülön jelenjen meg.

A táblázat sorai előtt lévő négyzetek jelentése a következő: a függőleges vonallal ellátott négyzet a függőleges segédvonalakat kapcsolja ki/be, a vízszintes a vízszintes vonalakat. A színes négyzet a jelalak vonalának színét adja meg. Ha az utolsó négyzetet benyomjuk a szimulált adatokat szövegesen is megkapjuk. A táblázat utolsó két oszlopa az X és az Y tartomány: *X Range* és *Y Range*. Ezeknél maximum, minimum és a segédháló osztását tudjuk megadni. A „10,-10,1” érték megadása esetén a skála 10-től -10-ig terjed, és minden egész számnál segédvonalat húz a program. Most állítsuk be az első két sor *Y Expression* oszlopát a 8, -8, 4, a harmadik sor ugyanezen oszlopát $0.008, -0.002, 0.002$ értékekre.

Utolsó simítások

Kattintsunk a *Properties* gombra. A feljövő *Properties* ablak tetején válasszuk ki a *Scales and Formats* fület. Szüntessük meg - illetve győződjünk meg róla, hogy nincs kipipálva - a *Same Y Scales for Each Plot Group* opció. Kattintsunk a *OK* gombra. Ezzel elvégeztük a szükséges beállításokat. Az *F2* gomb lenyomásával, illetve a *Futtatás* ikonra (*Run*) való kattintással indítsuk el a szimulációt.

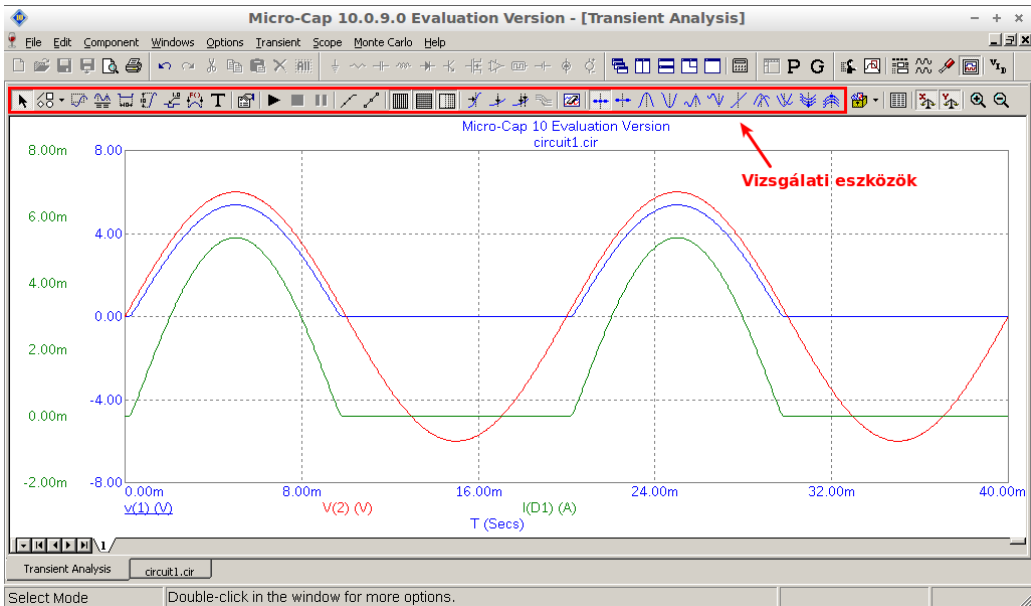


3.5 Kiértékelés

A megjelenő képernyőn a különböző jelalakokat láthatjuk. A 6. ábrán vörös vonallal a bemeneti, kék vonallal a kimeneti feszültség, zöld vonallal jelölve pedig a körben folyó áram jelennek meg.

A kapott eredményeket részletes vizsgálatoknak vethetjük alá. Ehhez nézzük végig a megjelölt ikonsort. Az első ikon a *Kiválasztás Mód* (*Select mode*). Erre kattintva, bal gombot lenyomva tartva kijelölhetjük a kapott jelalak és közvetlen környezetének tetszőleges részét. Ezután az *Edit / Copy to Clipboard / Copy the Select Box Part in BMP Format* paranccsal a kijelölt részt kiírhatjuk közvetlenül bitmap fájlba. Másik használata ennek a módnak az, hogy segítségével tudjuk átméretezni, áthelyezni a - későbbiekben leírt - előzetesen elhelyezett objektumokat.





3.6. ábra: Jelalakok és a vizsgálati eszközök



A Nagyítás mód (*Scale mode*) segítségével tetszőlegesen ránagyíthatunk a vizsgálni kívánt részre. Ennek használata hasonló az előző eszközhöz: bal egérgombot lenyomva és nyomva tartva kijelöljük a nagyítani kívánt részt. Az előző nézethez visszatérni vagy a *Windows / Zoom Out* paranccsal, vagy a szimuláció újbóli futtatásával tudunk.



A Jelölő mód (*Cursor mode*) a legtöbbször használt funkció. Ha ezt aktiváljuk, a jobb és bal egérgombokkal jelölőket húzhatunk az ábrán. A jelölők sűrűn és kevésbé sűrűn szaggatott vonalak. Ahol ezek metszik a kijelölt görbét, ott sárga mezőbe írva láthatjuk az aktuális Y és X értékeket. Ugyanezeket az értékeket megtaláljuk táblázatba foglalva is a képernyő alján. A táblázatban elsőként a jel szerepel - $v(1)(V)$, $v(2)(V)$, $I(D1)(A)$. A mögötte lévő mező (*Left*) a bal jelölő által metszett pontban az adott görbe értékét mutatja. A következő mező (*Right*) a jobb jelölő által metszett értékeket mutatja. A *Delta* mező a két jelölő által met-

szett érték különbségét mutatja (a jobb oldali jelölő értéke - a baloldali jelölő értéke). A *Slope mező* a két jelölő metszéspontját összekötő képzeletbeli egyenes meredeksége. A T-vel jelölt sor a jelölők idő szerinti elhelyezkedését tartalmazza a megfelelő oszlopokban. A különböző jelalakokat úgy tudjuk vizsgálni, hogy e táblázat elején lévő mennyiségekre kattintunk. Az aktuális mennyiséget aláhúzással jelzi a program. Ilyenkor a jobb és bal jelölő egyaránt e görbe mentén mozgatható. Ha a mennyiségek felirata előtti négyzetre kattintunk jobb vagy bal egér gombbal, akkor az adott jelölőt hozzárendelhetjük az adott görbéhez.


A Vízszintes felirat (*Horizontal tag mode*) ikonnal szemléltetni tudjuk két pont közötti vízszintes távolságot. Ehhez le kell nyomnunk, és nyomva kell tartanunk a bal egérgombot, majd elmozdítani az egeret a kívánt pontba. A megfelelő helyen fölengedhetjük az egérgombot, és a program az egyenest kettébontva kiírja a két pont távolságát az X tengely léptékét fölhasználva.


Hasonló funkciót valósít meg a Függőleges felirat (*Vertical tag mode*) ikon. Itt azonban függőleges távolságot tudunk szemléltetni az aktuális jelalakhoz tartozó tengelyléptékkel. A kezdőponthoz legközelebb eső görbe alkotóponthoz csatolja a méretnyíl kezdőpontját, és az ehhez a görbéhez tartozó Y tengely léptéket veszi alapul az érték kiírásánál.


A Megjegyzés (*Tag mode*) ikonnal adott pontnak az értékét és az időben vett 0-tól mért távolságát tüntethetjük fel. Ehhez a bal egérgombot kell lenyomva tartani, és a feliratot a megfelelő pozícióba mozgatni.


A következő parancs (*Performance Tag mode*) csak a program teljes változatában érhető el.







 Tetszőleges szöveget helyezhetünk el a képernyőn a Szöveg mód (*Text mode*) ikon megnyomásával. A gomb megnyomásával egy párbeszédablakba írhatjuk be a megjeleníteni kívánt szöveget, és itt állíthatjuk be a szöveg tulajdonságait: színek, szövegméret, szövegirány, stb.


 A következő ikonnal a Tulajdonságok (*Properties*) beállítására nyílik lehetőség, mely a billentyűzet *F10* gombjának megnyomásával is elérhető. Itt rengeteg lehetőség adódik, de ezek részletezése nem képezi tárgyát ennek a leírásnak, kivéve a korábban (19. oldalon) már említett *Same Y Scales for Each Plot Group* parancsot.

 Ezen a helyen néztük a Futtatás (*Run*) parancsot is, mellyel a szimulációt újból tudjuk futtatni. Ugyanezt érhetjük el a billentyűzeten lévő *F2* billentyű megnyomásával is.

 Az Adatpontok (*Data Points*) ikon aktiválásával megjelennek a ténylegesen számított pontok. Ezen pontokat köti össze a program, így kapjuk meg a görbéket.

 A Jelölés (*Tokens*) szimbólumokkal látja el a görbéket, amelyek a jobb jelölés megkülönböztethetőséget szolgálják. Ilyenkor a program a görbék néhány pontját szimbólummá (teli négyszög, üres négyszög, stb.) bővíti.



 A következő két ikonnal (*Horizontal / Vertical Axis Grid*) a függőleges és vízszintes segédvonalakat tudjuk ki / be kapcsolni. A soron következő gomb (*Minor Log Grids*) csak logaritmikus *X* tengely esetén használható: ki és bekapcsolja a köztes értékekhez tartozó segédvonalakat.

 Az *X* értelmezési pontba ugrás (*Go To X*) ikonra kattintva egy párbeszéd-ugrás *X* panel jelenik meg, ahol a Value fül Value mezőbe írhatjuk a kívánt értéket

pontba prefixummal együtt. A Left és Right gombokkal az jobb, ill. a bal jelölőt állíthatjuk az adott pontba. Ez az eszköz olyan esetekben használható eredményesen, mikor tudjuk azt, hogy adott időpillanatban kell felvennie a szimulált görbének valamilyen értéket, de ennek kézzel való beállítása nehézkes.

Az Y értékre való ugrás (*Go To Y*) működése hasonló az előzőekben ugrás Y leírtakhoz, csak itt a görbe adott értékét keresi meg a program. Bármely függvénynél előfordulhat, hogy adott értéket több értelmezési ponton is felvesz.

A következő gomb (*Go To Performance*) csak a program teljes változatában érhető el.

A *Go To Branch* gombbal kiválaszthatjuk, hogy az Accumulated Plots funkció bekapcsolása során kiszámolt eredmények közül melyiket szeretnénk látni.

A *Clear Accumulated Plots* gombbal a hasonló nevű funkció révén kapott eredményeket törölhetjük a jelenlegi kivételével.

A Következő szimulációs adatpont (*Next Simulation Data Point*) segítségével a következő ténylegesen szimulált pontra ugorhatunk. Újra rákattintva az azt követő pontra ugrik a program. Az ikon aktiválása után, ha megnyomjuk a billentyűzetben a jobbra, vagy a balra gombot, akkor a következő, ill. az előző adatpontra ugrik.

A Következő interpolált adatpont (*Next Interpolated Data Point*) hasonlóan működik az előző funkcióhoz, de itt nem a szimuláció számokban kifejezhető eredményei, hanem a kapott pontok összekötéséhez használt, - a megjelenítést segítő - interpolált pontok között mozoghatunk.

A most következő ikonokat párban tárgyalom, mivel hasonló funkciókat látnak el, csupán abban különböznek, hogy minimum illetve maximum értékre vonat-





kozik az általuk megvalósított funkció. A Csúcs (Peak) ikont aktiválva a billentyűzet jobb és bal gombjaival közlekedhetünk a lokális maximumok között. A Völgy (Valley) módban a lokális minimumok között lépkedhetünk a jobb és a bal gombbal.



A Maximum (High) segítségével a görbe maximumát kereshetjük a vizsgálati tartományban. Ehhez az ikonra kell kattintani, majd megnyomni a billentyűzeten a jobbra, vagy a balra gombot. Minimum (Low) módban a függvény minimumát kereshetjük meg.



A Inflexiós pontok (Inflection) ikonnal és a billentyűzet jobb és bal gombjainak segítségével az inflexiós pontok között lépkedhetünk.



A Globális csúcs (Global High) az adott görbeseregéből választja ki a legnagyobb értéket. Erre akkor van szükség, mikor léptetéssel (l. később) egyszerre több jelalak jelenik meg. Ilyenkor egy gombnyomással elintézhető ez, nem kell a görbékből kiválasztani azt, amelyik szemre a legnagyobb értékkel rendelkezik. A Globális minimum (Global Low) ugyanaz, mint a Globális csúcs, csak itt a minimum értéket kapjuk.



A Teteje (Top) ikon megnyomásával a görbe-csoport legnagyobb értékére áll az aktuális X pontban – ennek léptetés (stepping) üzemmódban van értelme. Az



Alja (Bottom) ikon ugyanezt csinálja, csak a legkisebb értéket keresi meg adott X pontban.



A Eredmény számokban (Numeric Output) segítségével elő tudjuk hívni a számadatokat, amennyiben a szimuláció indítása előtt beállítottuk, hogy az adatokat ilyen formában is mentse.

3.6 DC analízis

A DC analízissel lehetőségünk van arra, hogy transzfer karakterisztikákat rajzoltassunk. Ez azt jelenti, hogy - többnyire - a bemeneti feszültség függvényében ábrázoljuk a kimeneti feszültséget. Ehhez adjuk ki a `Analysis / DC...` parancsot.

Paraméterek beállítása

A parancs végrehajtása után a Transient Analysis -nél már megismert Analysis Limits ablak jelenik meg. A paraméterek természetesen mások. A legfontosabb dolog annak a mennyiségnek a beállítása, aminek függvényében vizsgálunk. Ehhez nézzük meg a *Sweep* mező *Variable 1* sorát. A mód (*Method*) értékét hagyjuk az alapbeállításon (Auto). Ezt a legtöbb esetben a „Linear” értékkel helyettesíti a program. E beállítással a vizsgálati pontok helyét adhatjuk meg: lehetnek lineárisan egymást követők, logaritmikusan egymást követők, ill. lista szerint írhatjuk elő a vizsgálati helyeket. A *Név (Name)* mezőbe azt a mennyiséget kell megadni, aminek függvényében nézzük a kimenetet. Ezt állítsuk most V1 értékre. Ezzel azt mondtuk a programnak, hogy a bemeneten lévő V1 feszültségforrás értékének változását vesszük alapul. A *Range* mezőbe be kell írni a végső, a kezdő feszültség értékét, majd a lépésközt. Írjuk be a 6, -6, 0.5 értékeket. A *Variable 2* sorban a következő változó paramétert adhatnánk meg. Erre akkor lehet szükség, ha egy koordináta-rendszerben egy további paraméter függvényében is szeretnénk vizsgálandni. A *Maximum Change %* értékét állítsuk 1-re.

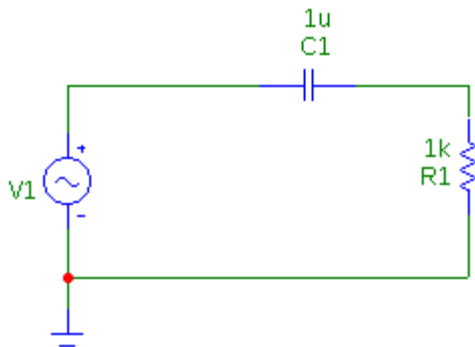
Most, hogy beállítottuk azt a mennyiséget, aminek függvényében vizsgálunk, következő teendőnk a vizsgált mennyiség(ek) beállítása. Ezt a korábbiakban

már megismert táblázatban (l. 17. oldal) követhetjük nyomon. Eltérés az időbeli vizsgálatokhoz képest, hogy itt az *X Expression* mezőben nem az idő, hanem az alapbeállítás szerint megtalálható DCINPUT1 szerepeljen. Ez tulajdonképpen azt jelenti, hogy az általunk beállított Variable 1 paraméter szerint nézzük a változásokat. Az *Y Expression* a vizsgálandó mennyiség. Jelen esetben ezt most állítjuk az ellenállás és a dióda közös pontján lévő feszültségre. *X Range* és *Y Range* értékeinél az Auto érték szerepeljen. A Run gomb megnyomásával indíthatjuk a szimulációt.

Ezzel a módszerrel vizsgálhatók a különböző eszközök jellemző karakterisztikái is pl. bipoláris tranzisztorok $U_{CE} - I_C$ vagy unipoláris tranzisztorok $U_D - I_D$ karakterisztikái.

3.7 AC analízis

AC analízis segítségével az áramköröket a frekvencia függvényében tudjuk vizsgálni. Ezzel vehetjük fel egy-egy erősítő karakterisztikáját-fázisfordítását, vagy egy egyszerű RC tag Bode-diagramját.



3.7. ábra: Soros R-C áramkör

Cseréljük ki a D1 diódát egy kondenzátorra, melynek kapacitása legyen 1 μ F (ld. 3.7. ábra). Ha a módosítással megvagyunk, adjuk ki a *Analysis / AC...* parancsot.

Paraméterek beállítása

A parancs végrehajtása után a már megismert *Analysis Limits* ablak fogad. Elsőként itt is azt kell megadnunk, hogy minek függvényében vizsgálunk. Ennél a vizsgálati módnál - az időtartománybeli vizsgálatokhoz hasonlóan - a bemeneti paraméter kötött, ezért a tartományt kell rögzítenünk, amiben a vizsgálatot szeretnénk elvégezni.

A *Frequency Range* után következő mező értékét hagyjuk *Auto* értéken. Ez most logaritmikus beosztást fog eredményezni. Maga a tartomány a következő mezőben állítható be. Elsőként a frekvenciatartomány felső, utána - vesszővel elválasztva - az alsó határát kell megadni. Ez esetünkben legyen 10k, 1. Ez azt jelenti, hogy 1 Hz-től 10 kHz-ig vizsgálunk. A *Maximum Change %* értékét állítsuk 1-re. Zajvizsgálatot nem végzünk, így a *Noise Input* értéke maradhat *NONE*. A már szokásosnak tekinthető táblázatba ismét a vizsgálni kívánt mennyiségeket írhatjuk. Alapértelmezésben az *Y Expression* mezőben lévő kifejezés - ami a „db(v(1))” - azt jelenti, hogy az 1-es ponton mérhető átviteli jellemzőt kapjuk eredményül a bemenetre vonatkoztatva, vagyis:

$$db(v(1)) = 20 \cdot \lg \left(\frac{v(1)}{v(2)} \right) \quad (3.2)$$

A második sorban lévő kifejezés: a „ph(v(1))” a fázis karakterisztikát adja eredményül. A *Run* gomb megnyomásával elindíthatjuk a szimulációt.

3.8 Stepping

A léptetés ad lehetőséget arra, hogy ugyanazt a szimulációt elvégezhessük bizonyos paraméterek változtatásával. Példaképpen nézzük meg az előző vizsgálatunkat. Ugyanúgy adjuk ki a főképernyőn az *Analysis / AC...* parancsot. Keressük meg az *Analysis Limits* ablakban a *Stepping* feliratú gombot, és kattintsunk rá. A megjelenő párbeszéd panelben a *Step What* mezőbe tüntessük fel azt az alkatrészt, aminek paraméterét változtatni szeretnénk. Esetünkben választjuk ki a C1 elemet. A következő mezőben a változtatni kívánt paraméter nevét kell kiválasztani, ami a kondenzátor esetében a *Value* -ra korlátozódik - vagyis a kondenzátornak csak az értékét tudjuk változtatni. A *From* mezőbe írjuk be az 1u értéket. A *To* mezőbe 29u kerüljön. A *Step Value* értékét 7u-ra állítsuk be. A paraméter értéke így 1 μF -tól 29 μF -ig fog változni, 7 μF -os lépésekkel. Ezután a *Step It* mezőben kell átállítani a jelölőt No-ról, Yes-re. Most már csak az OK gombot kell megnyomni. Ekkor egy üres képernyő fogad, amin a Run gomb megnyomásával tudunk továbbjutni. Ekkor egyszerre 5 görbét kapunk ami az 5-féle kondenzátorérték esetén adódik: 1, 8, 15, 22 és 29 μF értékeknél. Figyeljünk oda, hogy a megjelenített görbék száma maximálisan 5 legyen, mert ennél több információ nyomon követése már nehézkes! A Stepping funkció bekapcsolásával a jelölőkkel szintén mérhetünk. Ehhez azonban meg kell adnunk, melyik paraméterértéknél vizsgálunk. Aktiváljuk a *Cursor Mode*-ot! Látható, hogy az egyik görbe szürke színű lett. Ezzel jelzi a program, melyik görbét vizsgáljuk. A paraméter értéke leolvasható a fejlécnél: $C1=1u$. A billentyűzeten lévő fel és le kurzorgombok megnyomásával váltogathatunk a görbék között. Ezek után már a szokásos módon vizsgálhatjuk az áramkört.

4 Szimulációs feladatok

A szimulációs feladatokat korábban már kidolgoztuk. Ezek letölthetők az Intézeti honlap megfelelő részéről (Letöltések / ... / Elektronika I. labor) a szimulációs program 10-es változatával együtt – a jegyzet kiadásakor ez a legfrissebb változat. A feladatokat kitömörítés után másolják be a program DATA könyvtárába. Így az adott szimulációs feladatok kidolgozásához csak be kell tölteni az előre elkészített összeállítást. A betöltendő fájl neve közvetlenül a szimulációs feladat címe alatt a *Fájl* feliratnál található.

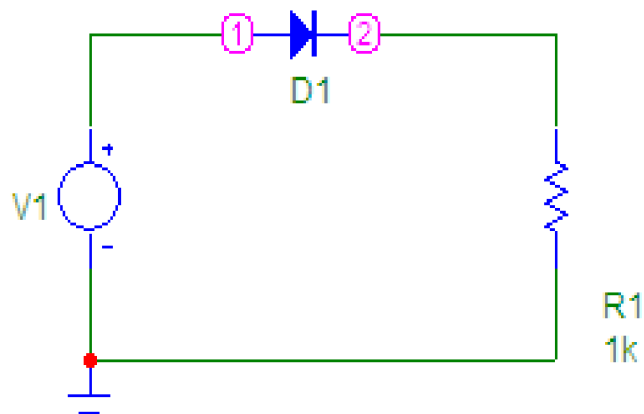
4.1 Diódák

E szimulációs feladatok célja, hogy megismertesse a diódák működésének alapjait, kezdve a nyitó irányú karakterisztikától az egyenirányító funkción át a zener diódás stabilizátorokig. A szimuláció eredményeit vesse majd össze a műszeres mérésen kapott eredményekkel, így könnyen kiszűrheti, ha valahol hibázott! A vizsgált kapcsolások széleskörűen alkalmazhatók főleg a váltakozófeszültség egyenfeszültséggé való alakítása során. Mivel ez a feladat napjainkban szinte minden elektronikai eszköz esetében felmerül, nem győzzük hangsúlyozni a működési alapok megértésének fontosságát.

Fél-hullámú egyenirányítók

Fájl: fhegyen.cir

Szimuláció: tranziens



4.1. ábra: Fél hullámú egyenirányító

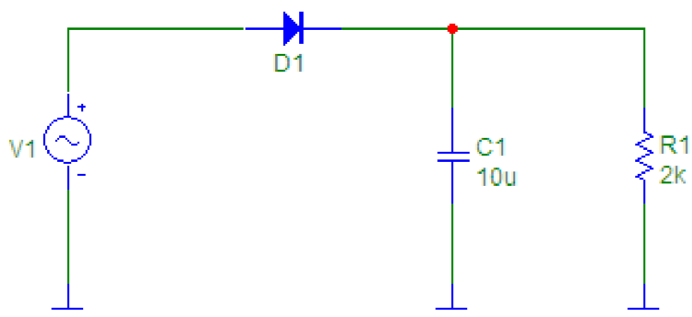
A szimuláció alapján vizsgálja meg:

- Mekkora U_{be} értéknél indul 0-tól jól elkülöníthetően I_d ?
- Mekkora az $I_d > 0$ mA-es áramrész szögtartománya ($\omega \cdot t$)?
- Mekkora a diódaáram csúcserőke?
- Mekkora feszültséggel kisebb U_{kip} mint U_{bep} ?

Soros diódás csúcs-egyenirányító

Fájl: fh_kapac_egyen.cir

Szimuláció: tranziens



4.2. ábra: Kondenzátoros bővítéssel

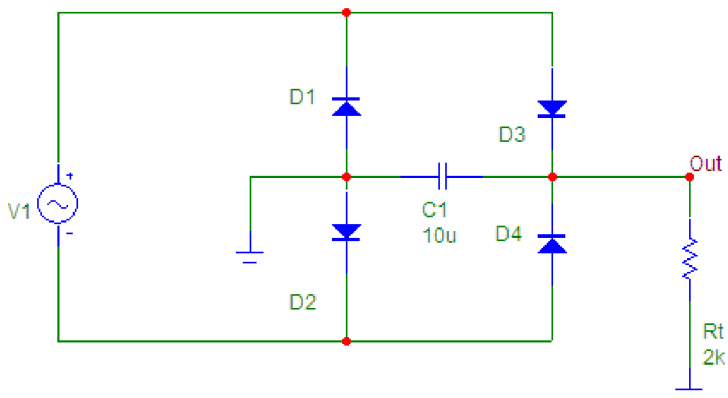
A jelek vizsgálatánál figyelje meg, és rajzolja le:

- A kondenzátor energiamentes állapota utáni első diódaáram-”lökés” csúcsértékét és időtartamát (ez utóbbit a periódusidőre vonatkoztatva - az előző feladatban megismert módon: $\omega \cdot t$),
- az állandósult állapothoz tartozó diódaáram csúcsértékét, és annak időtartamát a periódusidőre vonatkoztatva,
- a kimeneti feszültség hullámosságát (hullámosság = $U_{\text{kimax}} - U_{\text{kimin}}$), és ennek C1 értékétől való függését. Ehhez hívjuk be a Stepping párbeszédpanel, és kapcsoljuk be a funkciót, ami az előre beállított értékek szerint le fog futni.

Graetz kapcsolású csúcsegyenirányító

Fájl: graetz.cir

Szimuláció: tranziens



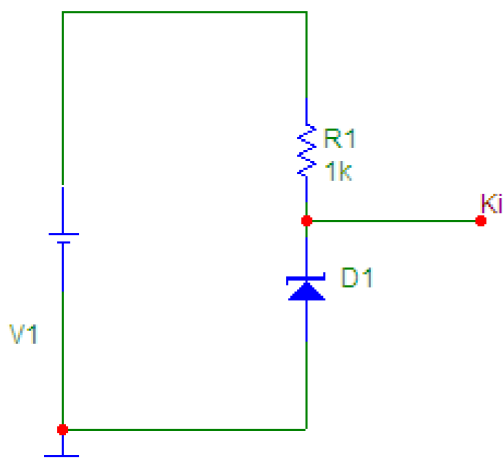
4.3. ábra: Graetz kapcsolás

- Vizsgálja meg, hány-szor kap töltést a C1 jelű puffer-kondenzátor a bemenő jel egy periódusa alatt?
- Mennyivel kisebb a kimeneti egyenfeszültség csúcsértéke a bementi jel pozitív csúcsértékénél? Miért?
- Figyelje meg az energiamentes kondenzátor első töltőáramának csúcsértékét! A példa-áramkörben ezt az 5 Ω -os generátor ellenállás korlátozza. Dióda típusonként adott határértéket nem léphet túl ez az áram. Gondolni kell itt a diódák esetleges túlmelegedésére is. A gyakori ki-be kapcsolgatás kerülendő!
- Készítsen ábrát a szimuláció jelalakjai alapján, és számolja ki a töltőáramok folyási szögét ($\omega \cdot t$) és csúcsértékét!

Zener diódás stabilizátor

Fájl: zener.cir

Szimuláció: tranziens



4.4. ábra: Zener diódás stabilizátor

A számítási feladat elvégzéséhez a tranziens analízis eredményeit Numeric Output formában célszerű behívni.

Számítsa ki, a kimeneti feszültség változását a bemeneti feszültség-változásra vonatkoztatva, és az eredményt adja meg százalékosan:

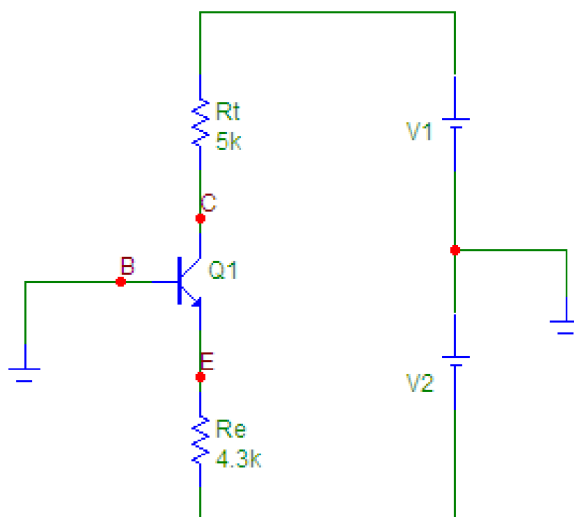
$$\text{százalékos változás} = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

4.2 Tranzisztorok

Tranzisztoros áramgenerátor

Fájl: bip_tr_aramg.cir

Szimuláció: tranziens



4.5. ábra: Áramgenerátor bipoláris tranzisztorral

A számítási feladat elvégzéséhez a tranziens analízis eredményeit Numeric Output formában célszerű behívni.

Adja meg indoklással R_{\min} és R_{\max} értékhatárokat, amely tartományon belül még áramgenerátorként üzemel az áramkör!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

1. I_{ki} legyen 1 mA, ez a terhelés árama
2. $I_{ki} = I_C \sim I_E$

$$3. U_{RE} = R_E$$

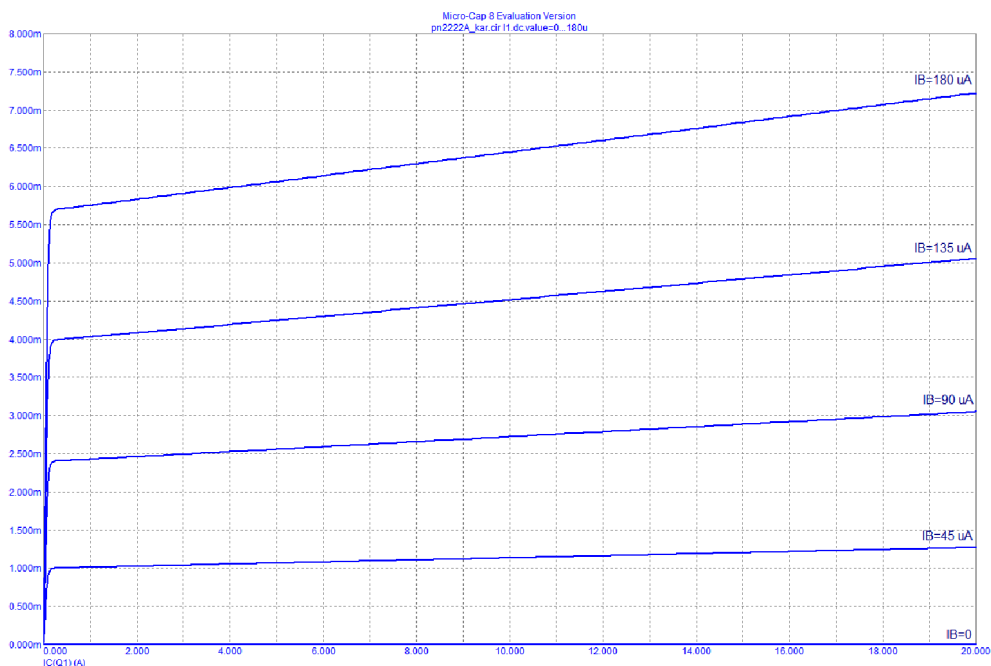
$$4. U_{E0} = U_{RE} + U_{I2}, U_{I2} = -5 \text{ V}$$

$$5. U_{CE} = U_{I1} - U_{E0} - U_{Rt}$$

Ha a terhelő áram (I_{ki}) értékét 1 mA-nek vesszük, akkor U_{CE} csak U_{Rt} -től függ, ami a fix áramérték miatt R_t függvénye.

$$6. P_d = U_{CEmp} \cdot I_{cmp}$$

7. $U_{CEmp} < U_{CE(BR)}$ - ezen pontok előírásait mindig kötelező betartani!



4.6. ábra: A PN2222A bipoláris tranzisztor kimeneti karakterisztikája

A szimulációban PN2222A tranzisztort használunk. Ennek működését korlátozó adatok a tranzisztor adatlapja szerint: $P_d = 625 \text{ mW}$, $U_{CE(BR)} = 40 \text{ V}$, $U_{Csat} = 0,3 \text{ V}$. Az inverz aktív tartományban való működéshez - a tranzisztor itt működik áramgenerátorként - ezen feltételek mindegyikének teljesülnie kell. A ábra se-

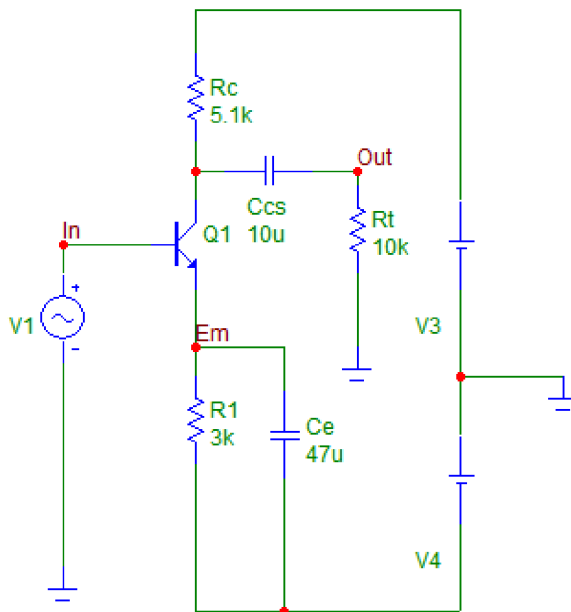
gítségével idézzük fel az előadáson tanultakat! Nézzük meg, mely feltételek jelentenek valóban határt a működésnek! Ha ezek megvannak, a terhelő ellenállás maximális és minimális értéke könnyen számolható.

P_d és $U_{CE(BR)}$ a legkisebb, míg a U_{CEsat} feszültség ismeretében a legnagyobb ellenállás értéke határozható meg.

Földelt emitteres erősítőkapcsolás

Fájl: fe_eros.cir

Szimuláció: tranziens, AC



4.7. ábra: Földelt emitteres erősítőkapcsolás

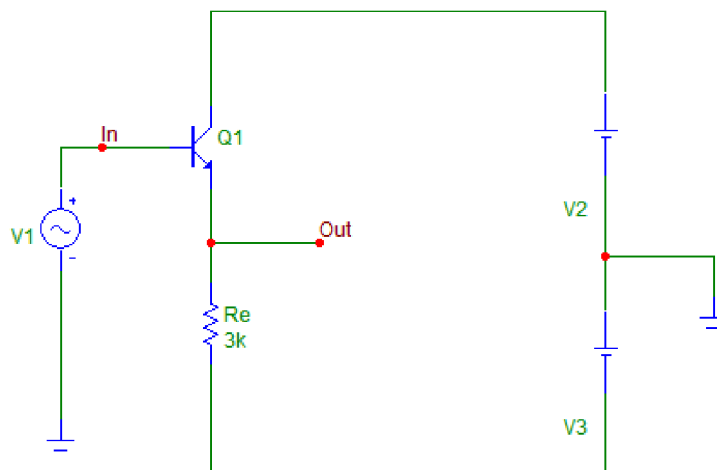
A C_e hidegítő kondenzátor váltakozó áram szempontjából az R_e ellenállást rövidre zárja, a tranzisztor emitterét pedig földpotenciálra kapcsolja. Feladatok:

- Rajzolja le az $U_{in}(t)$, az $U_{em}(t)$ és az $U_{out}(t)$ függvényeket (Transient Analysis)! Számítsa ki a feszültségerősítés értékét ($A_u = U_{be} / U_{ki}$)!
- Vegye fel az amplitúdó- és fázis-karakterisztikát! Határozza meg az alsó (f_a) és a felső (f_f) törésponti frekvenciát (AC Analysis; keresse azokat a pontokat, ahol $A_u = A_{u_{max}} - 3\text{dB}$)!
- Rajzolja le a jegyzőkönyvbe a fenti karakterisztikákat!
- A Stepping funkció bekapcsolásával ismét futtassa le a szimulációt! Ekkor C_e 1 és 47 μF közötti értékeket vesz fel. Vizsgálja meg, hogyan változik ennek hatására az alsó törésponti frekvencia (AC Analysis)!

Földelt kollektoros erősítőkapcsolás

Fájl: fc_eros.cir

Szimuláció: DC, tranziens



4.8. ábra: Földelt kollektoros kapcsolás

Földelt kollektoros kapcsolásnál a tranzisztor kollektor kivezetése váltakozójel szempontjából földpotenciálon van. Az R_e ellenállás, V2 és V3 feszültségforrások határozzák meg a tranzisztor munkapontját. A kimeneti feszültséget most az emitterről vesszük.

Feladatok:

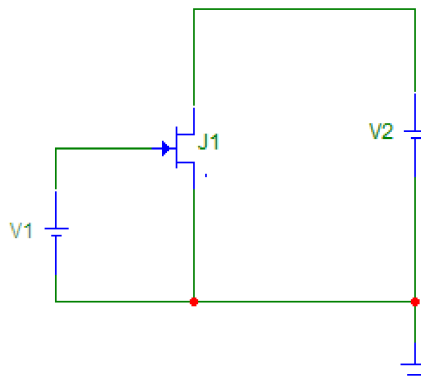
- Vegye fel, és rajzolja le az áramkör transzferkarakterisztikáját, és értelmezze (DC Analysis)!
- Rajzolja le az $U_{in}(t)$ és az $U_{out}(t)$ függvényeket! Határozza meg az A_{u_i} üres-járási feszültségerősítés értékét (Transient Analysis)!

4.3 FET-es szimulációk

JFET karakterisztika

Fájl: jfet_kar.cir

Szimuláció: DC



4.9. ábra: JFET karakterisztikájának elvi mérési összeállítás

Ezt a kapcsolást a gyakorlatban nem használjuk. Nagy a veszélye annak, hogy a FET-et túlterheljük. Ezért mindig munkapontbeállító ellenállásokkal építünk csak hasonló kapcsolást! Olvassa le a karakterisztikából I_{DSs} és U_0 értékeket!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggés melynek lényege, hogy a FET I_{DS} - U_{GS} karakterisztikája másodfokú függvényvel egyszerűen kezelhető formában megadható:

$$I_{DS} = I_{DSs} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2 \quad (4.2)$$

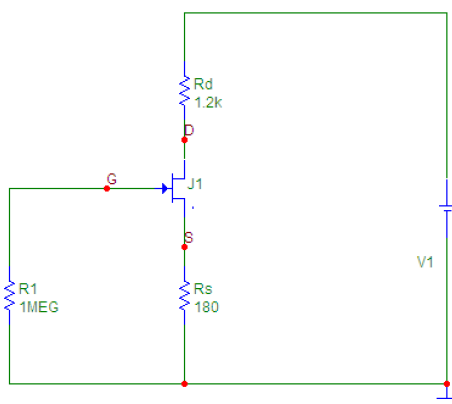
(U_0 az elzáródási feszültség, ha $U_{GS} = U_0$, ott $I_{DS} = 0$ mA; I_{DSs} a telítési áram, az $U_{GS} = 0$ V-hoz tartozó drain-áram.)

A jegyzőkönyvbe készítsen ábrát, és jelölje rajta I_{DSs} és U_0 értékeket!

JFET munkapont-beállítás

Fájl: jfet_mp.cir

Szimuláció: tranziens



4.10. ábra: JFET munkapont-beállítása

A számítási feladat elvégzéséhez a tranziens analízis eredményeit Numeric Output formában célszerű behívni.

Rajzoljon DC feszültség-térképet $R_s = 180 \Omega$ értéknél! Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

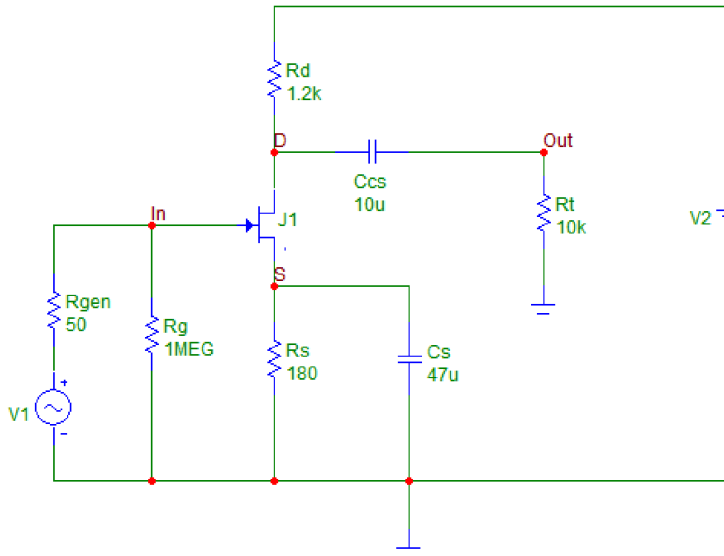
1. $I_{GS} \sim 0$, ezért $U_{G0} = 0$ V
2. $U_{GS} = - (I_{DS} \cdot R_s)$

3. $I_{DS} = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2$ (a mennyiségek értelmezését l. az előző szimulációs feladatnál.)
4. $U_{s0} = I_{DS} \cdot R_s$
5. $U_{Rd} = I_{DS} \cdot R_d$
6. $U_{D0} = U_t - U_{Rd}$
7. $U_t = U_{Rd} + U_{DS} + U_{rs}$

Földelt source-ú erősítőkapcsolás

Fájl: fs_eros.cir

Szimuláció: tranziens, AC



4.11. ábra: Földelt source-ú erősítőkapcsolás

Térvezérlésű tranzisztorokkal (FET) is hasonló erősítő alapkapcsolások építhetők fel, mint a bipoláris tranzisztorokkal. A példában n-csatornás záróréteges térvezérlésű tranzisztort használunk. A 4.11. ábra a teljes áramkört mutatja a csatoló, és a hidegítő kondenzátorokkal, munkapont-beállító és terhelő ellenállásokkal.

Feladatok:

- Rajzolja le az $U_{in}(t)$, az $U_{out}(t)$, az $U_{drain}(t)$ és az $U_{source}(t)$ függvényeket. Határozza meg az A_u értékét (Transient Analysis)!
- Rajzolja le az amplitúdó és fázis karakterisztikát (AC Analysis)!
- Kapcsolja be a Stepping funkciót, aminek hatására R_t 100 és 1 k Ω közötti értékeket vesz fel. Hogyan változik az A_u és az f_f az R_t ellenállás függvényében (AC Analysis)?
- Kapcsolja ki a Stepping funkciót, és C_S -t helyettesítse szakadással. Mekkora lesz az A_u értéke (AC Analysis)?

MOS FET-es szimulációk

A MOS (Metal-Oxid-Semiconductor) tranzisztor négy kivezetéses eszköz: Drain, Gate, Source, Bulk (Substrat). A Gate elektródát 50-200 nm vastagságú szigetelőréteg (pl. szilícium-dioxid) választja el a félvezető felülettől, így a Gate árama sztatikus állapotban elhanyagolható. A mozgó töltéshordozók alapján megkülönböztetünk N-csatornás (elektronvezetéses) és P-csatornás (lyukvezetéses) tranzisztorokat. N-csatornás eszközöknél a Bulk kivezetést általában a legnegatívabb, P-csatornás eszközöknél pedig az áramkör legpozitívabb pontjára kell kötni. Diszkrét (tokozott) eszközöknél a Bulk kivezetés a Source-ra van kötve. A működési elv alapján van növekményes (enhancement) és kiürítéses

(depletion) tranzisztor. Technológiai okokból kifolyólag a növekményes tranzisztor terjedt el.

Ennek feszültség-áram karakterisztikája:

$$I_D = 0 \quad , \quad (4.3)$$

ha $U_{GS} < V_T$ és $U_{GD} < V_T$

$$I_D = K \cdot (U_{GS} - V_T)^2 \quad , \quad (4.4)$$

ha $U_{GS} > V_T$ és $U_{DS} > U_{GS} - V_T$,

ahol: I_D - a Drain árama,

K - a tranzisztor méretétől és a technológiától függő állandó,

U_{GS} - a Gate-Source feszültség,

U_{DS} - a Drain-Source feszültség,

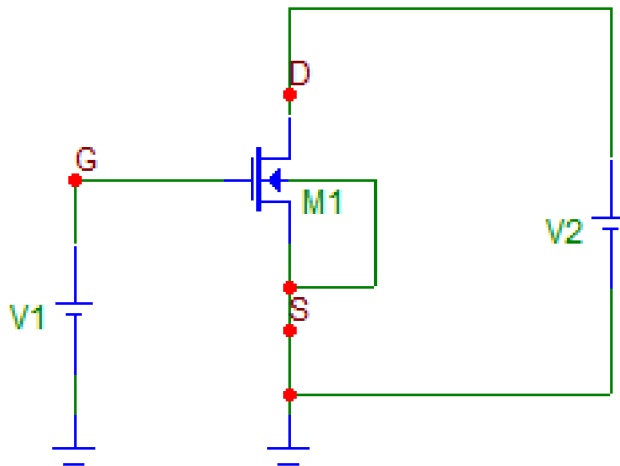
V_T - a tranzisztor küszöbfeszültsége, ami szintén függ a technológiától, valamint UBS -től (a Bulk feszültségtől).

A (4.4) egyenletben leírt karakterisztika az úgynevezett telítési karakterisztika, itt a Drain árama adott határokon belül független U_{DS} -től. A Gate-be és a Bulk-ba normális esetben nem folyik áram, ezért a Source árama megegyezik I_D -vel.

Az NMOS karakterisztikája

Fájl: nmos_kar.cir

Szimuláció: DC



4.12. ábra. Az NMOS karakterisztikájának felvételéhez használt összeállítás

Az áramkör egy $V_T = 1,6$ V küszöbfeszültségű NMOS tranzisztor karakterisztikájának megjelenítésére szolgál.

Indítsa el a DC Analysis parancsot! A Gate feszültség 1 V-tól 3 V-ig növekszik 0,5 V-os lépésekben. Az egyes karakterisztika-vonalak U_{GS} növekvő értékeinek sorrendjében jelennek meg, ami a képernyő tetején ellenőrizhető. Figyelje meg, hogy I_D értéke bizonyos U_{DS} feszültség felett már állandó (ha $U_{DS} > U_{GS} - V_T$).

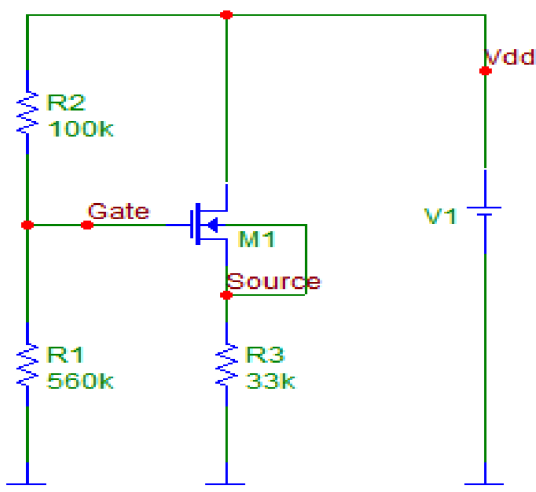
Ezen állandó szakaszon a (4.4) egyenlet alapján határozza meg K értékét. (A javasolt karakterisztikagörbe a legfelső, ahol $U_{GS} = 3$ V)

Az NMOS munkapontja

Fájl: nmos_munk.cir

Szimuláció: tranziens

Az előző feladatban vizsgált tranzisztor most a telítési szakaszban üzemel.



4.13. ábra. Az NMOS munkapontjának vizsgálata

Feladatok:

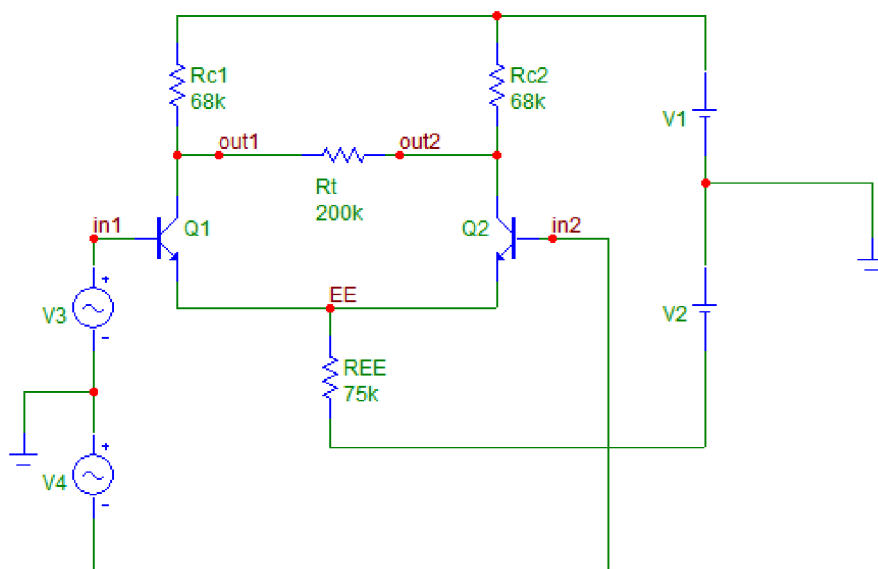
- Határozza meg az előző feladatban kapott K érték alapján azt az U_G feszültséget, aminél a tranzisztor I_D árama $100 \mu\text{A}$ (vagy az oktató által megadott érték)! Vigyázzon, mert a munkaponti áram a Source-szal sorba-kötött $33 \text{ k}\Omega$ -os ellenálláson is átfolyik, így a Source feszültsége a földhöz képest nem 0 V .
- Állítsa be ezt a feszültséget a Gate feszültségosztóján a felső ($100 \text{ k}\Omega$ -os R jelű) ellenállás változtatásával!
- Állítsa be a kapott ellenállásértéket! Ellenőrizze tranziens analízissel!

4.4 Műveleti erősítők

Differencia-erősítő szimmetrikus vezérléssel

Fájl: diff_eros_szimm.cir

Szimuláció: transient, DC



4.14. ábra. Szimmetrikus vezérlés

Feladatok:

- Tanulmányozza a jelalakok alapján a fizikai működést (Transient Analysis)!
- Számítsa ki A_{us} értékét a jelalak vizsgálata alapján!
- Számítsa ki A_{us} értékét a transzferkarakterisztikából (DC Analysis)!
- Rajzolja le a két bemeneti feszültség, és a kimeneti feszültség idődiagramjait!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

$$1. \quad Au_s = -40 \cdot I_{Cmp} \cdot R_C \times \frac{R_t}{2} \quad ,$$

$$2. \quad I_{Cmp} = \frac{I_{EE}}{2}$$

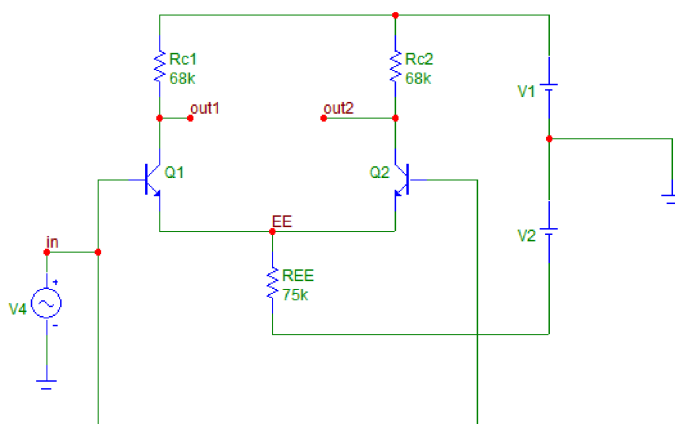
Differencia-erősítő közös módusú vezérléssel

Fájl: diff_eros_km.cir

Szimuláció: transient

Számítsa ki $R_{c1} = R_{c2} = 68 \text{ k}\Omega$ -mal $Au_{k1} = -2R_{EE}$ és Au_{k2} értékét! Számítsa ki az előző feltételnél $u_{kis} = u_{c2} - u_{c1}$ értékét!

A jelalak vizsgálatot két R_{c2} értéknél végzi a szimuláció: $R_{c2} = 75 \text{ k}\Omega$ -nál paraméter illesztetlenség, $R_{c2} = 68 \text{ k}\Omega$ -nál paraméter illesztettség van.



4.15. ábra. Differencia erősítő közös módusú vezérléssel

Neminvertáló DC erősítő vizsgálata

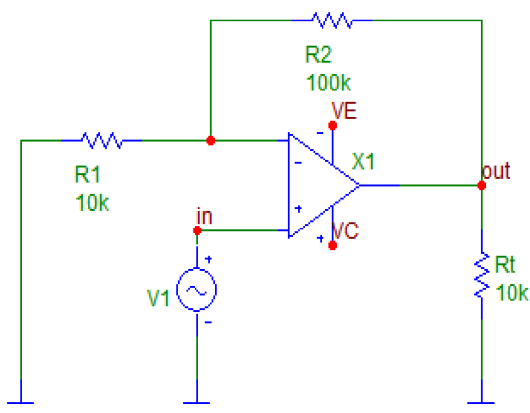
Fájl: ninv_eros.cir

Szimuláció: transient, DC, AC

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

1. $Au = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)$, $R_{beV} \approx 2 \cdot R_{bek}^2$,
2. $R_{kiv} = \frac{R_{ki}}{1+H}$ „H” a hurokerősítés: $H = \frac{A_0}{Au_v}$
3. $Au_v(j\omega)$ felső határfrekvenciája számítható a $f_f = f_{p1} \cdot (1+H)$ összefüggésből, az egység erősítés határfrekvencia és Au_v hányadosaként (egység erősítés határfrekvencia = tranzitfrekvencia).

f_{p1} a műveleti erősítő első pólus-frekvenciája, amely az erősítő paramétereinél a Plot segítségével olvasható le ($A_0 - 3$ dB).



4.16. ábra. Neminvertáló alapkapcsolás

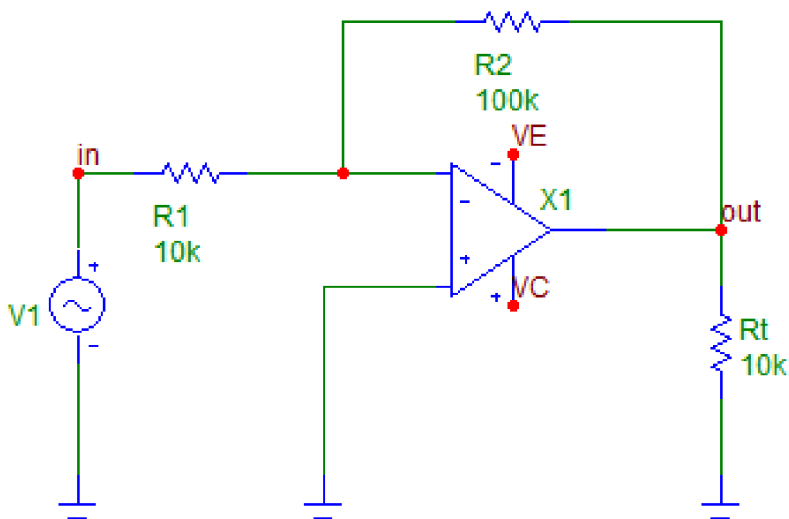
2 R_{bek} értéke katalógus-adat, tipikus értéke néhány $M\Omega$

Készítsen ábrát a jegyzőkönyvbe a mérések alapján (tr., AC)! Invertáló DC erősítő vizsgálata

Invertáló DC erősítő vizsgálata

Fájl: inv_eros.cir

Szimuláció: transient, DC, AC



4.17. ábra. Invertáló alapkapcsolás

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

1.
$$Au = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right),$$

2.
$$R_{kiv} = \frac{R_{ki}}{1+H} \text{ „H” a hurokerősítés: } H = \frac{A_0}{Au_v}$$

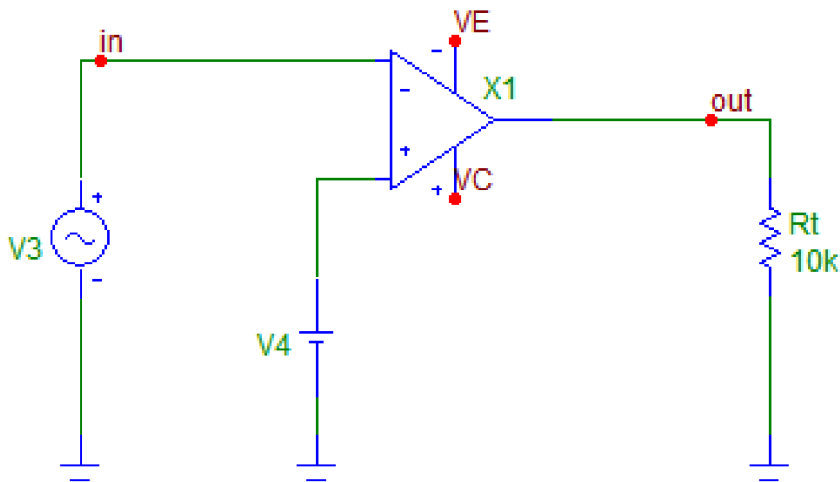
3. $Au_v(j\omega)$ felső határfrekvenciája számítható a $f_f = f_{p1} \cdot (1+H)$ összefüggésből, az egységgyorsítás határfrekvencia és Auv hányadosaként (egységgyorsítás határfrekvencia = tranzitfrekvencia). f_{p1} a műveleti erősítő első pólus-frekvenciája, amely az erősítő paramétereinél a Plot segítségével olvasható le ($A_0 - 3$ dB).

Az AC és a traziens szimulációk alapján rajzoljon ábrákat a jegyzőkönyvbe!

Referenciával eltolt billenési szintű komparátor vizsgálata

Fájl: ref_elt_komp.cir

Szimuláció: tranziens, DC



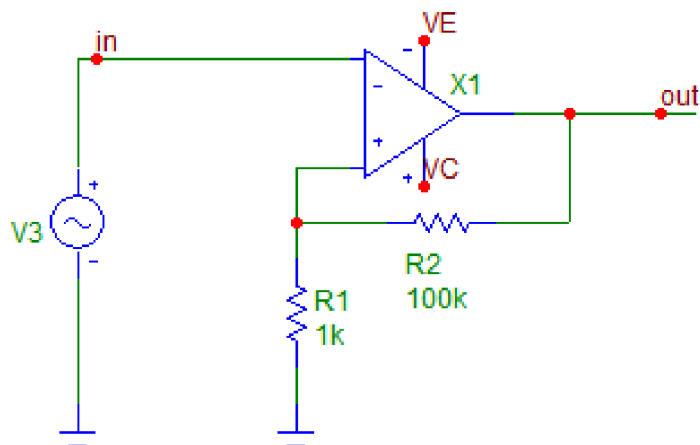
4.18. ábra. Referenciával eltolt billenési szintű komparátor

Készítsen ábrákat a jegyzőkönyvbe a szimulációk alapján!

Invertáló hiszterézises komparátor

Fájl: ref_elt_komp_z.cir

Szimuláció: tranziens



4.19. ábra. Hiszterézises komparátor

Az előző mérésben megismert fix feszültségű komparátor működése nem ideális körülmények között más. Ez az áttekintő mérés ezt mutatja be. Kapcsolási rajzot nem mutatunk, mivel a szimulációhoz nem tartozik lejegyzendő feladat. Hajtsa végre a szimulációt és értelmezze a kapott eredményt a leírás alapján!

A bemeneten két generátort helyeztünk el. A lejjebb elhelyezkedő szinuszos generátor feladata, hogy zajt vigyen a rendszerbe, amivel a valós működés közben megjelenő jelingadozást szimuláljuk.

Ez a komparálási feszültség közelében problémát jelent. A transient analysis futtatása után nagyítsunk rá az átmeneti szakaszokra! Nézzük meg,

hogy a bemeneti jelre szuperponálódott „zaj” milyen hatással van a kimeneti feszültségre.

A kapcsolók pergéséhez - a prelhez - hasonló jelenséget tapasztalunk. Ez bizonyos esetekben problémát okozhat, ezért ennek kiküszöbölését is megnézzük a következő fájl segítségével.

Fájl: hiszter_komp.cir

Szimuláció: tranziens, DC

Nézzük meg az előző „zajos” vezérléssel a következő áramkört!

Az U_{ki} (U_{be}) transzferkarakterisztikát két DC analízissel kell vizsgálnunk:

Az első **Limits** beállításnál 3 V-tól -3 V-ig, a második Limits beállításnál -3 V-tól 3 V-ig.

A karakterisztika a két analízis eredményéből szerkeszthető.

Számítás: a műveleti erősítő akkor billen, ha a két bemenete közötti feszültség

0 V ($A_0 = \infty$ feltételezéssel) a felső billenési szint, $U_{bf} = \frac{U_{kimax+} \cdot R_1}{R_1 + R_2}$ az alsó

billenési szint, $U_{ba} = \frac{U_{kimax-} \cdot R_1}{R_1 + R_2}$ a hiszterézis tartomány,

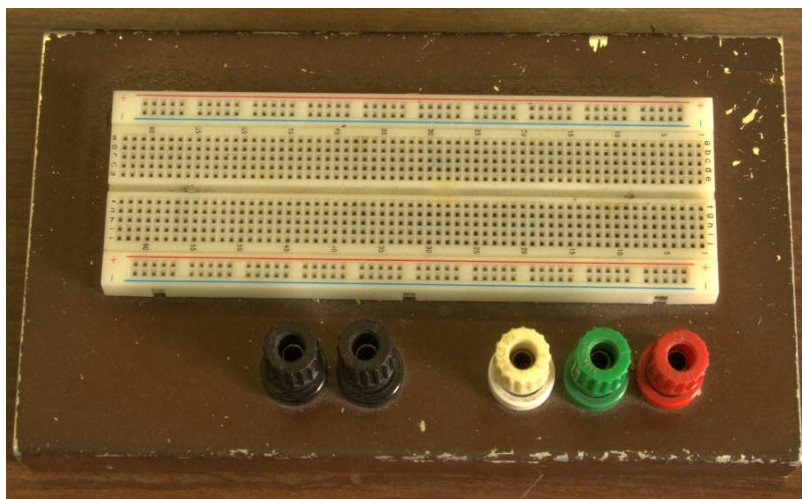
$$U_{ht} = U_{bf} - U_{ba} = \frac{(U_{kimax+} - U_{kimax-}) \cdot R_1}{R_1 + R_2} .$$

A jegyzőkönyvbe készítse el a tranziens szimuláció ábráját, és a két határral vizsgálta, de egy koordináta-rendszerben ábrázolt DC szimuláció eredményeit!

5 Laboratóriumi mérések

A laboratóriumi mérések kivitelezése jelentősen különbözik a szimulációkétól. Emiatt ennek leírása sem követi teljes mértékben az utóbbiét. Áttekintéssel kezd, és segítséget ad a leírásokban található feladatok elvégzéséhez, a feladatok konkrét kivitelezésének részletezésével ill. a felhasználandó alkatrészek bemutatásával. Ezt azonban formailag másként teszi: a leírásokban található dőlt betűs részek itt megjegyzéseket, tanácsokat, a jobban haladók számára pedig további feladatokat tartalmaznak. Ezért elolvasásuk és megértésük **KÖTELEZŐ**, az itt található feladatok viszont csak kellő haladási ütem esetén javasoltak. Ezt mindenki maga dönti el saját belátása alapján. Természetesen indokolt esetben a hozott döntést a labor vezetője felülbíráhatja.

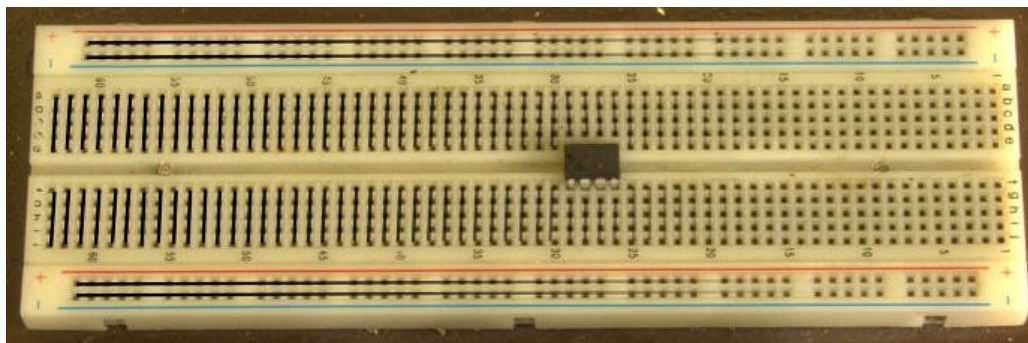
5.1 A mérőpanel leírása



5.1. ábra. Strip panel

Az elektronika tantárgy laboratóriumi mérésein a vizsgált áramköröket a hallgatók maguk építik meg, és mérik. Az áramkör építést dugaszolható Super Strip

néven forgalmazott panelen végzi a mérő személy. Ezen megfelelő kivezetésű alkatrész készlettel és max. 0,5 mm huzalátmérőjű, végükön csupasztított bekötőhuzalokkal viszonylag bonyolult áramköröket is építhetünk forrasztás nélkül, könnyen bontható, áttekinthető formában. Az építést és a bontást is türelemmel, gondos munkával végezzük!



5.2. ábra. Strip panel huzalozása és IC behelyezése

Röviden ismertetjük a panel csatlakozó pontjainak elrendezését és azok belső összeköttetéseit.

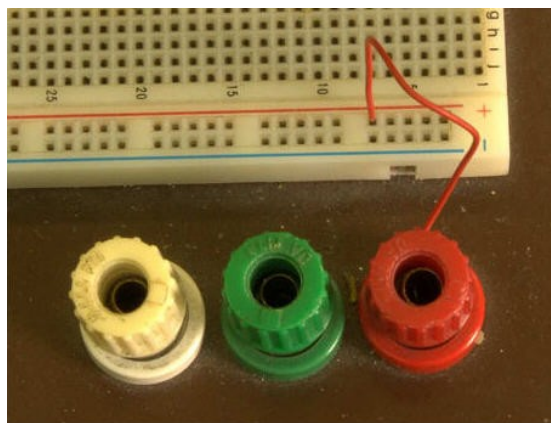
A hosszanti oldalak mentén lévő felső két sor illetve alsó két sor azonos elrendezésű és összeköttetésű: a kézzel jelölt 50 pont össze van kötve, hasonlóan a pirossal jelölt 50 pont is. Ezeket a sorokat tápfeszültség ellátásra célszerű használni. A két oldalon lévő azonos színű sínek függetlenek, így akár



5.3. ábra. Csavar meglazítása

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.

Természetesen gondoskodni kell a műszerek megfelelő csatlakozási lehetőségéről, melyet a panel mellé szerelt banánhüvelyek tesznek lehetővé. Ezeket a csavaroknál megszokott módon nyitó irányba tekerve a bekötő vezeték egyik szára beszorítható a csavar alá. A legtöbb panelen a menetes részen lyuk található, amibe a vezetéket bedugva, majd ráhúzva a csavart biztosabb kötést kapunk. A vezeték másik csupaszolt felét össze kell kötni a panel megfelelő pontjával.



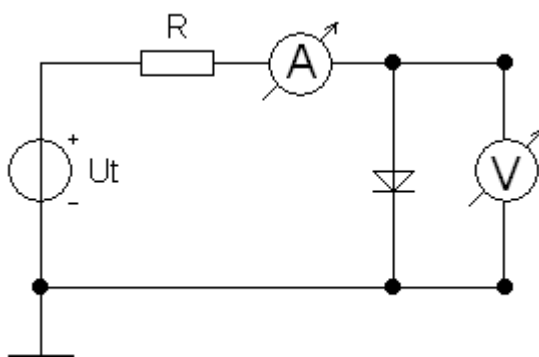
5.4. ábra. Vezeték bekötése

5.2 Diódák mérése

Dióda karakterisztika

- Vegye fel egy „hagyományos” 1N4148 vagy 1N4001 (vagy a laborvezető által biztosított) egyenirányító dióda nyitóirányú feszültség-áram karakterisztikáját legalább 10 pontban! A mért értékeket vegye fel táblázatban és ábrázolja grafikonon is! A mért értékek segítségével számolja ki a dióda visszáramát (*a diódaegyenletben szereplő I_0 értéket*)!
- Hasonló módon vegye fel egy világítódióda (LED) nyitóirányú karakterisztikáját is!

Adatok: $R=2\text{ k}\Omega$, tápfeszültség $U_t=0\dots 20\text{ V}$.



5.5. ábra. Dióda karakterisztika felvétele

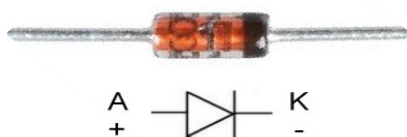
A karakterisztika felvételénél a nyitófeszültség elérése előtt a dióda feszültségét, utána az áramát érdemes figyelni, és annak értékét egyenletes közönként felvenni, hogy jobban látszódjon a karakterisztika jellege. A feszültséget és áramot mV -ban ill. mA -ben adjuk meg! (A feszültségmérőt ennek megfelelően állítsuk be mV -os tartományra – ha a voltos nagyságrendben maradunk, akkor a nyitó-

szakaszon végig 0,7 V lesz a mért eredmény, ami a grafikonon függőleges karakterisztikát jelentene az exponenciális helyett.)

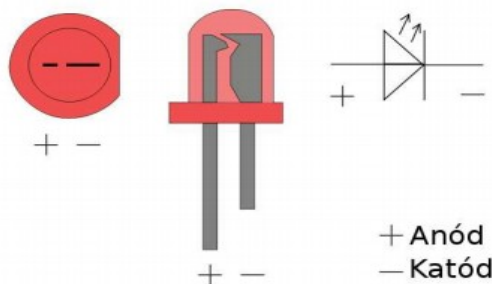
A karakterisztika ábrázolásánál a dióda feszültségét kell a vízszintes tengelyre és az áramát a függőleges tengelyre felvenni. A tápegység feszültségét nem kell ábrázolni.

A visszáram kiszámolásához használja a $I = I_0(e^{\frac{U}{U_{th}}} - 1)$ egyenletet és a dióda feszültségét és áramát a nyitószakaszban vegye fel (pl. $I > 1\text{mA}$). 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.

A diódák katódja meg van jelölve (diódákon általában csíkozással, LED-nél a perem levágásával).



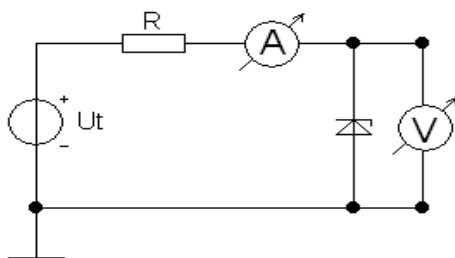
5.6. ábra. Dióda bekötése



5.7. ábra. LED bekötése

Zener-dióda karakterisztika

- a) Vegye fel egy Zener-dióda záróirányú karakterisztikáját (5.8. ábra). A feladat az előzőekhez hasonló, csak a Zener diódát záróirányban (fordítva) kötjük be. Határozza meg a dióda feszültségét 1 mA és 10 mA áram mellett! Adatok: $R=1\text{ k}\Omega$ (1 W).



5.8.ábra Zener-dióda karakterisztika felvétele

- b) Vizsgálja meg a Zener-dióda működését terhelés függvényében is! Kösön be a Zener-diódával párhuzamosan egy $1\text{ k}\Omega$ -os potenciómétert (röviden „potméter”, változtatható ellenállás; ez lesz a „terhelés”). A tápegységen mérje az eredő áramot, a multiméterrel mérje a dióda áramát és a terhelés feszültségét. Állapítsa meg különböző terheléseknél, hogy a bemenő feszültség milyen értékénél éri el a kimenő feszültség a névleges szintjét (a Zener-feszültséget)! (A potméter aktuális értékét a feszültség-áram arányból számíthatja.)



5.9. ábra. Potencióméter bekötése változtatható ellenállásként.

A Zener-dióda önmagában nem túl jól használható feszültség-szabályozóként. Ennek egyik oka, hogy nem jól terhelhető (a nagy terhelés nagy terhelő áramot, vagyis kis terhelő ellenállást jelent), ugyanis kell egy minimális diódaáram ahhoz, hogy benne maradjon a Zener-tartományban; valamint a feszültsége, ha kissé is, de változik a terhelés függvényében. Ezért a gyakorlatban használt feszültség-szabályozók csak feszültség-referenciaként használják a Zener-diódát.

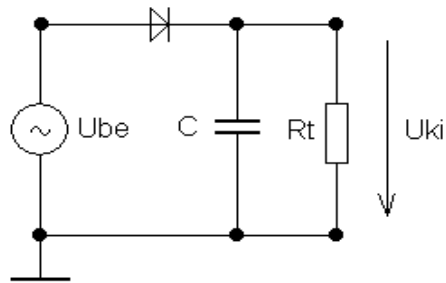
A gyakorlatban ügyeljünk a diódák (és egyéb alkatrészek) maximális megengedett értékeire! Ezek általában az eszköz adatlapjának elején helyezkednek el (Absolute Maximum Ratings). A diódáknál általában az áram maximális értékére kell ügyelni, ezt a soros ellenállás segítségével korlátozzuk.

A kapcsolási rajzoknál a következőkben nem fogjuk a műszereket (feszültségmérő stb.) jelölni.

Egyutas egyenirányító

Állítson össze egy egyutas egyenirányító kapcsolást és állítson be szinuszos bemenő feszültséget. A kapcsolást az 5.10. ábra alapján állíthatja össze. A bemenő feszültséget egy külön transzformátorról kapja. Két mérőhelyenként van egy transzformátor, 12 V névleges feszültséggel (50 Hz), két pár banánhüvellyel és biztosítókkal. Adatok: $R_t=2\text{ k}\Omega$, $C=4,7\text{ ill. }10\text{ }\mu\text{F}$.

Vizsgálja meg és ábrázolja a kimeneti feszültség jelalakját pufferkondenzátor használatával és anélkül is! Mérje meg a kimenő jel maximumát, abszolút és relatív hullámosságát! Mennyivel kisebb a kimenő jel csúcsértéke a bemenő jelenél? Vizsgálja meg a hullámosság függését a kapacitástól!



5.10. ábra. Egyutas egyenirányító

Az abszolút hullámosság a (kondenzátorral puffertelt) kimenő jel maximális és minimális értékének különbsége. A relatív hullámosság ugyanez a maximális értékkel osztva (normálva), százalékban kifejezve. Ne felejtjük el, hogy a váltakozóáramnál jellemzően a feszültség effektív értékét adjuk meg, egyenirányítóknál viszont a csúcserték a fontos. A transzformátor feszültsége némileg eltérhet a névleges 12 V-tól, ez a mérést nem befolyásolja.



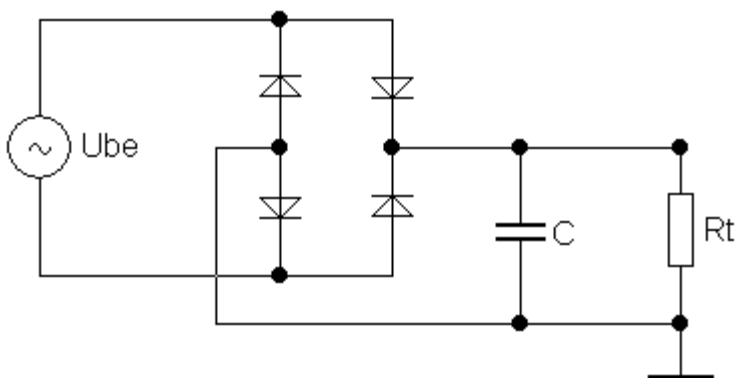
5.11. ábra. Abszolút hullámosság

Pufferkondenzátornak nagy értékű (legalább $10 \mu\text{F}$ nagyságrendben) kondenzátor szükséges a minél nagyobb időállandó érdekében ($\tau=RC$). Ezek többnyire elektrolitkondenzátorok, amelyek érzékenyek a bekötési polaritásra (fordított polaritás esetén tönkremehetnek, nagyobb feszültségnél fel is robbanhatnak). Az elektrolitkondenzátor oldalán általában csíkokkal vagy nyilakkal szokták jelölni a negatív pólust. Mindig ügyeljen a helyes bekötésre!

Graetz kapcsolású kétutas egyenirányító

Állítson össze egy Graetz-féle egyenirányító kapcsolást és állítson be szinuszos bemenő feszültséget. A kapcsolást a 5.12. ábra alapján állíthatja össze. A bemenő feszültséget az előző feladatban használt transzformátor adja. $R_t=2\text{ k}\Omega$, $C=47\text{ }\mu\text{F}$.

Vizsgálja meg és ábrázolja a kimeneti feszültség jelalakját pufferkondenzátor használatával és anélkül is! Mérje meg a kimenő jel maximumát, abszolút és relatív hullámosságát! Mennyivel kisebb a kimenő jel csúcsértéke a bemenő jelénél? Hasonlítsa össze a hullámosságot az egyutas egyenirányítónál tapasztalttal!



5.12. ábra. Graetz-féle egyenirányító kapcsolás

A Graetz-híd bemenete és kimenete független, nem lehet őket közös földpontra kötni. Ezért nem tudjuk a bemenetet és a kimenetet egyszerre megjeleníteni olyan oszcilloszkópon, amelynek a bemenetei közös földponton vannak, ilyenkor egyenként kell őket megvizsgálni. Digitális oszcilloszkópnál lehetőség van elmenteni a jelalakokat és szuperponálni őket.

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

Ellenőrző kérdések

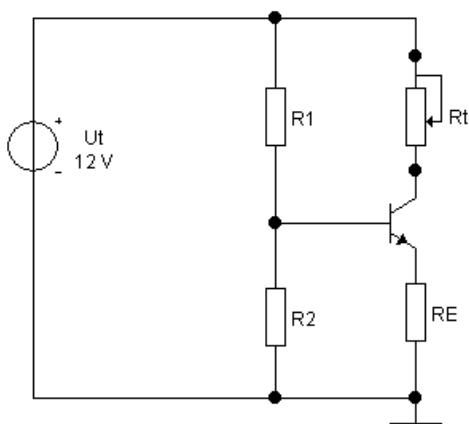
1. Rajzolja le a dióda karakterisztikáját, és jelölje be a nevezetesebb pontokat!
2. Adja meg a dióda nyitóirányú karakterisztikáját leíró egyenletet!
3. Rajzoljon le egy Graetz-kapcsolású egyenirányító kapcsolást!
4. Rajzolja le a kétutas egyenirányító kapcsolás kimeneti jelalakját pufferkondenzátorral és anélkül is! Definiálja a hullámosságot az ábra segítségével!

5.3 Bipoláris tranzisztorok

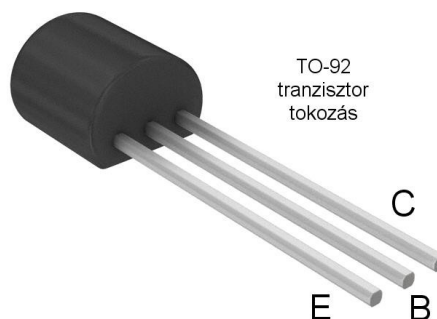
Bipoláris tranzisztoros áramgenerátor

Építsen a 5.13. ábra alapján tranzisztoros áramgenerátort! A megadott ellenállás adatokból számolja ki, majd mérje meg a kollektoráramot, valamint a maximális terhelő ellenállást, amelynél ezt az áramot még le tudja adni. A terhelő ellenállást potencióméterrel valósítjuk meg. Méréssel ellenőrizze a maximális ellenállásra kapott értéket! Mekkora a minimális terhelő ellenállás?

Adatok: $U_1=12\text{ V}$; $R_1=150\text{ k}\Omega$; $R_2=33\text{ k}\Omega$; $R_E=1\text{ k}\Omega$; $R_t=10\text{ k}\Omega$



5.13. ábra. Áramgenerátor



5.14. ábra. TO-92 tokozású tranzisztor

bekötés

A megadott kapcsolásnál fejlettebbek is készíthetők (pontosabban tartják az áramot stb.), ezekkel későbbi tanulmányaink során fogunk találkozni.

Egy hőforrás segítségével a tranzisztor hőfüggését is lehet vizsgálni. A kapcsolatban az emitter ellenállás már jelentős kompenzáló hatást fejt ki, de így is marad valamennyi hőfüggés. Hőforrásnak lehet forrasztópákát használni (ne érintse hozzá a pákát az alkatrészekhez, csak közelítse meg vele), vagy ha lehet-

séges, infralámpát (vagy bármilyen izzólámpát). A kapcsolást emitterellenállás nélkül tervezve sokkal jobban látszik a hatás (ilyenkor a bázisosztót úgy kell méretezni, hogy a bázison kb. 0,6..0,7 V közötti feszültség essen).

Megjegyzés a tranzisztor bekötésével kapcsolatban: nem mindegyik TO-92-es tokozású tranzisztornak ez a bekötése, léteznek fordított láb kiosztású tranzisztorok. A nálunk használtak többnyire az ábrán látható kiosztást követik (így az ilyen tokozású FET-ek is).

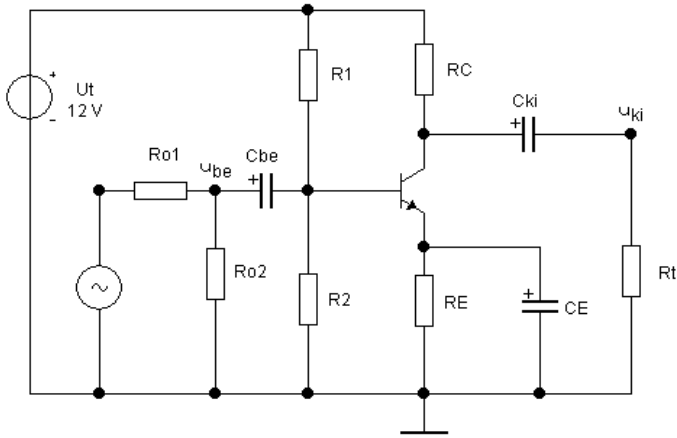
Közös emitterű (FE) erősítő kapcsolás

Építse meg a 5.15. ábra alapján a közös emitteres erősítő kapcsolást! A bemenetre kössön a függvénygenerátorból 4 kHz frekvenciájú szinuszjelet. Adatok: $U_t=12\text{ V}$; $C_{be}=100\text{ nF}$; $C_{ki}=47\text{ nF}$; $C_E=47\text{ }\mu\text{F}$; $R_1=150\text{ k}\Omega$; $R_2=33\text{ k}\Omega$; $R_E=1\text{ k}\Omega$; $R_C=R_t=5,1\text{ k}\Omega$; $R_{o1}=10\text{ k}\Omega$; $R_{o2}=1\text{ k}\Omega$;

- a) Mérje meg a kapcsolás egyenáramú feszültségeit! (U_E , U_B , U_C , U_{BE} , U_{CE}) és a kollektoráramot (I_C)!

Emlékeztető: a két betű a feszültség alsó indexében azt jelenti, hogy a két pont közötti feszültséget mérjük, tehát U_{BE} a bázistól az emitterig mért feszültség (a sorrend fontos). Az egy betűvel jelölt feszültségek csomóponti potenciálok (a kapcsolásban alul „test” szimbólummal jelzett nullához képest) Tehát U_C NEM az R_C ellenálláson esik, hanem a kollektor és a nullapont között.

- b) Vizsgálja meg oszcilloszkópon a bemenő és a kimenő jelet! Mérje meg a feszültségerősítést (A_U) (számszerűen és dB-ben is) és a fázistolást!



5.15. ábra. FE erősítő kapcsolás

Az erősítést megadhatjuk decibelben is. A dB nem egy valódi mértékegység, hanem egy arányszám logaritmikus kifejezése. Az erősítésre (vagy egyéb dB-ben is megadott mennyiségekre) használt képletek általában nem dB-ben jönnek ki, hanem utólag kell dB-re átszámolni őket.

$$A_u(\text{dB}) = 20 \cdot \lg \frac{u_{ki}}{u_{be}} \quad (5.1)$$

A bemeneten lévő ellenállásosztó (R_{o1} és R_{o2}) azért kell, mert a túl kicsi jeleknél a zaj miatt a leolvasás nehézkes és pontatlan – az osztóval így tulajdonképpen a jel-zaj viszonyt javítjuk. (A kis bemenőjelre pedig a torzítás elkerülése érdekében van szükség.) Ennek kivédésére nagyobb jelet adunk ki a függvénygenerátorral, ezt jelenítjük meg az oszcilloszkópon (vagy mérjük millivoltmérővel), és ennek a leosztottját adjuk az erősítő bemenetére. Az erősítés számolásakor ezért az oszcilloszkópon mért bemenő jelet ossza le a feszültségosztó osztásaránya szerint! (A pontos osztásarányt az osztó ellenállásainak megméréseivel állapíthatja meg - a villamosságtanból tanultak szerint -, az egyes ellenállások ui. eltérhetnek a névértéküktől.) A függvénygenerátoron szükség lehet egy vagy két

20 dB csillapító bekapcsolására (20 dB felirattal jelzett gombok) a kellően kis bemenő jel előállításához.

c) Mérje meg az erősítő alsó és felső határfrekvenciáját!

A határfrekvenciát a sávközéphez (ahol az erősítés maximális) képest mérjük. A határfrekvencián a feszültségerősítés abszolút értéke a maximálisnak a kb. 70%-ára (3 dB-lel) csökken. (Ugyanis teljesítményben nézve a -3 dB fele teljesítményt jelent. A -3 dB szint egy általánosan használt megállapodás, előfordulhat más szint is, de ezzel a legkönnyebb számolni.) Az alsó határfrekvenciát a jel útjában lévő soros kapacitások határozzák meg (csatolókondenzátor), különösen a C_E , a felső határfrekvenciát a tranzisztor belső működése (a pontosabb helyettesítőképekben szereplő kapacitások).

d) Állapítsa meg az erősítő maximális kivezérelhetőségét (mekkora a legnagyobb kivehető jel csúcserőértéke). Ilyenkor a kimenő jel már erősen torzul, már azelőtt is, hogy a tápfeszültség által állított korlát miatt levágna. Állapítsa meg, hogy „szemre” körülbelül mekkora kimenő (és bemenő) jel esetén nem látszik még a torzítás! Ábrázolja a torzult jelet!

A szinuszejelen a torzítás egyik jele az lehet, hogy a szinusz alsó hulláma laposabb, a felső csúcsosabb, vagy fordítva. A torzítást számszerűen torzításmérő műszerrel, vagy spektrumanalizátorral lehetne megállapítani. A torzult jel ugyanis felharmonikusokat tartalmaz (a tiszta szinuszjel csak egy frekvencia komponenset tartalmaz). A felharmonikusok jelenléte (illetve összetett jelnél a spektrum megváltozása) zenei jelnél érezhető jól, a hangszerek hangszínét ugyanis a felharmonikusok adják.

e) Mérje meg a kapcsolás bemeneti és kimeneti (kisjelű váltakozóáramú) ellenállását! Ehhez használjon 10k Ω -os potenciómétert.

(A kimeneti ellenállást a terhelés nézőpontjából mérjük, vagyis abba a terhelés nem számít bele! Ugyanígy a bemenő ellenállásba a bemeneti osztó és a generátor ellenállása nem számít.) A kimeneti ellenállás méréséhez a terhelést egy potencióméterrel valósítjuk meg. Tudjuk, hogy (a Thevenin helyettesítőkép alapján) ha a terhelő ellenállás egyenlő a kimenő ellenállással, a kimenő feszültség feleződik az üresjáráshoz képest, ezt tudjuk mérni. Mérje meg a kimeneti üresjárási feszültséget (vegye ki a terhelést). Majd tegye be a terhelő potmétert, és állítsa addig, amíg a rajta mért feszültség az üresjárási feszültség fele lesz (váltakozóáramú módban mérjük). Ekkor a potencióméter ellenállása megegyezik a kimenő ellenállással. (A potméter ellenállását megmérhetjük multiméterrel, kössük ki előtte a potmétert az áramkörből. Ügyeljünk rá, hogy ugyanazon két kapcsa között mérjük, mint amelyek a terhelést alkották...)

A bemenő ellenállást hasonlóképpen mérhetjük. Távolítsuk el a bemeneti feszültségosztót. Kössünk egy potmétert a függvénygenerátor és a bemenő kondenzátor közé. Amikor az erősítő bemenetére jutó váltakozóáramú jel a fele lesz a függvénygenerátorból kijövőnek (mérje mindkét feszültséget egyidejűleg), akkor a potméter értéke adja a bemenő ellenállás értékét. A függvénygenerátornak is van egyébként kimenő ellenállása (jellemzően 50Ω), de ez itt nem zavar. Ügyeljünk arra, hogy ne a határfrekvenciák közelében mérjük, hanem sávközépen, kb. néhány kHz-en, hogy a kondenzátorok impedanciája ne legyen számottevő.

Emitterkörben visszacsatolt FE erősítő

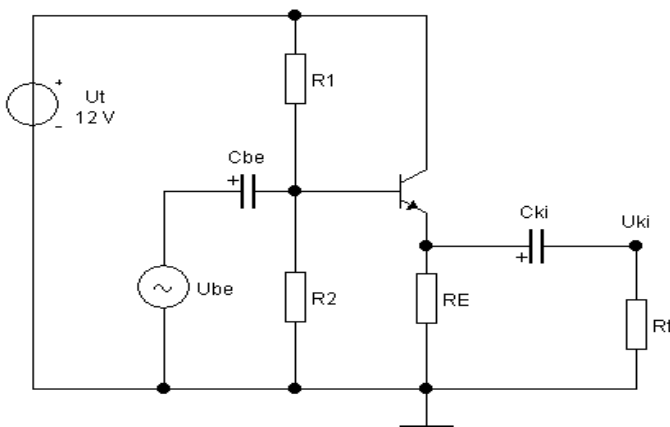
Az előző kapcsolásból vegye ki az emitterkondenzátort! Ekkor az emitterellenállás nemcsak egyenáramúlag, de váltakozóáramúlag is negatív visszacsatolást eredményez, így lecsökken az erősítés.

- Mérje meg, valamint számolja ki az erősítést!
- Mérje meg a határfrekvenciákat! Van-e változás és miért?

Közös kollektorú (FC) erősítő

Az előző kapcsolás módosításával előállítható az FC alapkapcsolás (5.16. ábra). Ennek feszültségerősítése közel egységnyi, kimeneti ellenállása kicsi. Mérje meg, illetve számolja ki a kapcsolás erősítését és fázistolását!

Adatok: $U_t=12\text{ V}$; $C_{be}=C_{ki}=47\text{ }\mu\text{F}$; $R_1=150\text{ k}\Omega$; $R_2=33\text{ k}\Omega$; $R_E=R_t=1\text{ k}\Omega$;



5.16. ábra. FC kapcsolás

Az FC kapcsolás határfrekvenciáit és kimeneti ellenállását nehezebb kimérni, mint az FE kapcsolásét, ezért ezzel jelen mérésben nem foglalkozunk.

Az FE kapcsolásnál az R_C „kötelező” (azon keletkezik a kimenő jel), az R_E opcionális (visszacsatolásként működik). Az FC kapcsolásnál fordítva van, itt az R_E kötelező, az R_C opcionális. Az emitterkörben visszacsatolt kapcsolás erősítése megfelelő ellenállás választással egységnyire is beállítható. Ha ilyenkor a kollektort és az emittert is kivezetjük, az ún. fázishasító kapcsolást kapjuk. Ennek mindkét kimenetén ugyanakkora a jel abszolút értéke, de a fázisuk ellentétes. A tanultak alapján kiszámolhatja és megépítheti ezt a kapcsolást.

Ellenőrző kérdések

1. Rajzolja le egy NPN bipoláris tranzisztor közös emitterű bemeneti és kimeneti karakterisztikáit!
2. Mi határozza meg egy tranzisztoros áramgenerátor kapcsolásnál a maximális terhelő ellenállás értékét?
3. Rajzoljon egy közös emitteres (FE) erősítő kapcsolást bázisosztóval!
4. Mi jellemző az FE kapcsolás feszültségerősítésére, áramerősítésére, bemeneti és kimeneti ellenállására?
5. Mi jellemző az FC kapcsolás feszültségerősítésére, áramerősítésére, bemeneti és kimeneti ellenállására?
6. Hogyan mérné meg az erősítő bemeneti ellenállását?
7. Adja meg az FE kapcsolás meredekségét!
8. Mi történik, ha az FE kapcsolásból kivesszük az emitterkondenzátort?

5.4 FET-ek mérései

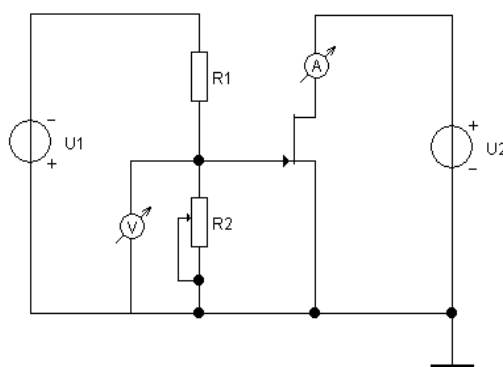
JFET karakterisztika

A 5.17. ábra alapján összeállított kapcsolással mérje meg egy n-csatornás JFET transzfer (U_{GS} - I_D) és kimeneti (U_{DS} - I_D) karakterisztikáit legalább 10 pontban, beleértve az elzáródási feszültséget (U_0) és a telítési áramot (I_{DSS}). A kapott eredményt ábrázolja grafikonon.

Adatok: $R_1=330\ \Omega$; $R_2=1\ k\Omega$ potencióméter; tranzisztor: 2N3819 (a korábban ismertetett TO-92 bekötéssel)

A transzfer karakterisztika felvételéhez állítson be $U_1=5\ V$ és $U_2=15\ V$ feszültséget. (Ügyeljen arra, hogy az U_1 feszültség fordított polaritású!) A potenciómétert nullára állítva a gate feszültség nulla lesz, ilyenkor a maximális a drain áram (ez az I_{DSS}). Innen a potmétert finoman állítva vegye fel a karakterisztikát. Jegyezze fel az elzáródási feszültséget (az az U_{GS} , ahol a drain áram gyakorlatilag nulla lesz).

Jelen mérésben – a rendelkezésre álló idő miatt – a kimeneti karakterisztikának csak az egyik U_{GS} értékhez tartozó görbét vesszük fel. A feladat tehát U_{DS} (ez itt most egyenlő az U_2 -vel) függvényében az I_D felvétele ($U_{DS} = 0..15\ V$).



5.17. ábra. JFET karakterisztika felvétele

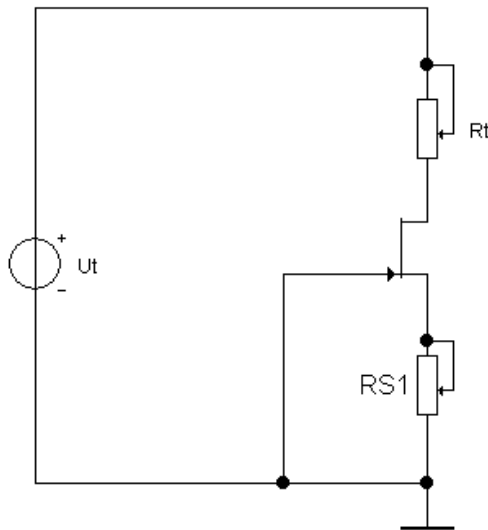
A JFET transzfer karakterisztikáját az

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2 \quad (4.2)$$

egyenlettel lehet leírni az $U_{GS}=U_0$ és $U_{GS}=0$ pontok között. Az I_{DSS} az $U_{GS}=0$ -hoz tartozó áramérték, az U_0 pedig az elzáródási feszültség.

JFET áramgenerátor

Állítsa össze a 5.18. ábra alapján az áramgenerátor kapcsolást! Ez a bipoláris tranzisztoros kapcsoláshoz hasonlóan működik. Állítson be kb. 2 mA drain áramot az R_{S1} potméterrel! Mérje meg a maximális terhelő ellenállást! Adatok: $R_{S1}=2,5 \text{ k}\Omega$, $R_t=10 \text{ k}\Omega$; $U_t=15 \text{ V}$



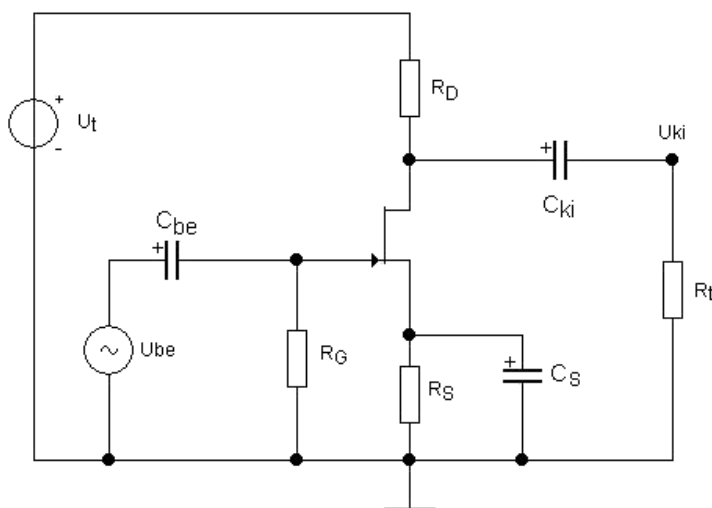
5.18. ábra. JFET áramgenerátor

JFET erősítő

Építsen közös source-ú (FS) erősítőt n-csatornás JFET-ből a 5.19.ábra alapján. A mérést végezze a FE kapcsoláshoz hasonlóan.

- Mérje meg a munkaponti U_s , U_D potenciálokat és az I_D áramot!
- Vegye fel a kimeneti és bemeneti jelalakot, mérje meg az erősítést és fázistolást!
- Mérje meg a határfrekvenciákat!

Adatok: tranzisztor: 1N3819 ; $U_t = 15$ V; $R_G = 1$ M Ω ; $R_S = 680$ Ω ; $R_D = 5,1$ k Ω ; $R_t = 5,1$ k Ω ; $C_{be} = 100$ nF; $C_{ki} = 100$ nF; $C_S = 47$ μ F



5.19. ábra. JFET FS kapcsolás

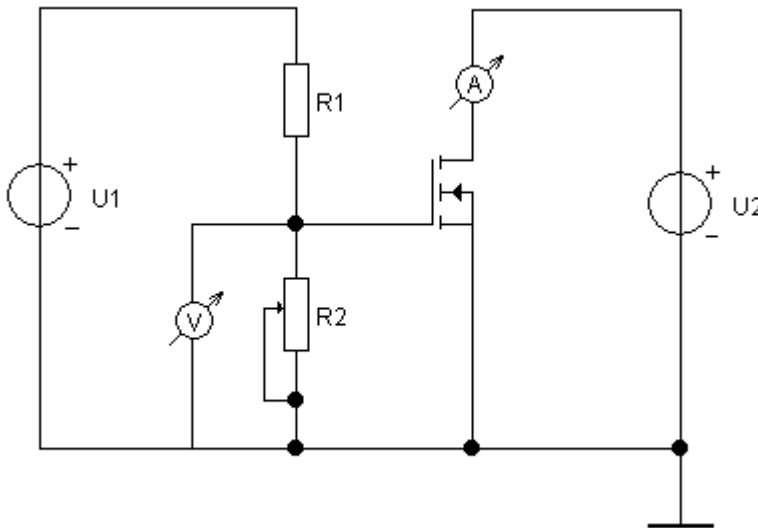
Ez a kapcsolás jóval kisebb erősítésű, mint az FE, így itt a bemenő jel nagyobb lehet, nincs szükség a bemeneti osztóra.

A JFET elzáródásos üzemmódban dolgozik. A gate-source PN-átmenetet zárva kell tartani. Az n-csatornás JFET-et ezért úgy kell vezérelni, hogy a gate negatív-

vabb potenciálon legyen, mint a source. Ezt általában úgy érzük el, hogy a gate földpotenciálon van (az R_G ellenálláson ugyanis szinte nulla áram folyik), a source potenciálját pedig az R_S ellenállás emeli meg. A növekményes n-csatornás MOSFET-tel készült hasonló kapcsolásnál azonban a gate pozitívabb kell, hogy legyen, mint a source; ezt általában az FE kapcsolásból megismert bázisosztóval érzük el.

MOSFET karakterisztika

A 5.20. ábra alapján összeállított kapcsolással mérje meg egy n-csatornás növekményes MOSFET U_{GS} - I_D karakterisztikáját legalább 10 pontban, beleértve az elzáródási feszültséget (U_0) és az I_0 áramot. A kapott eredményt ábrázolja grafikonon.



5.20. ábra. N-MOSFET karakterisztika felvétele

A növekményes MOSFET karakterisztikáját kétféleképp is le szokták írni. Egyrészt a többi FET-nél megismert egyenlettel:

$$I_D = I_0 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2 \quad (4.2)$$

másrészt pedig az

$$I_D = K (U_{GS} - U_0)^2 \quad (4.4)$$

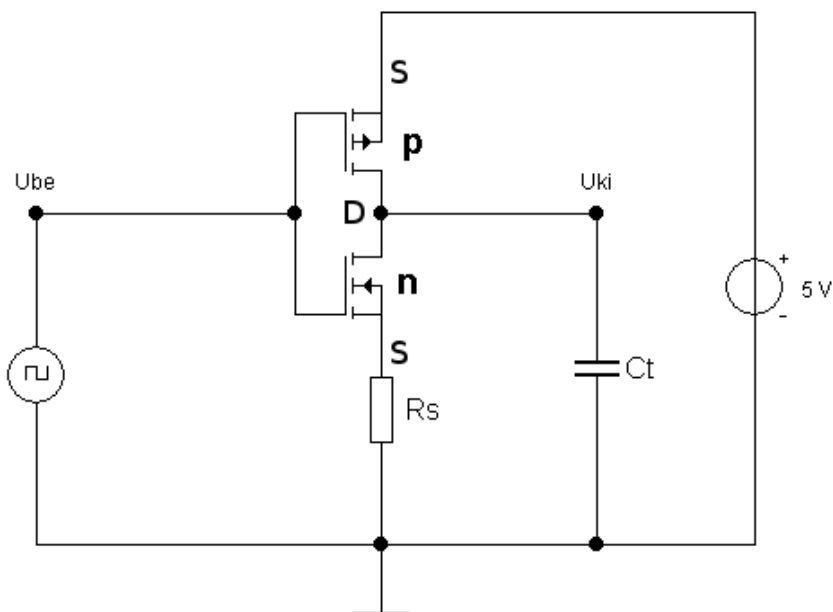
egyenlettel. A két egyenlet természetesen ugyanazt a görbét eredményezi, csak más paraméterezéssel. Az első egyenletnél a különbség a JFET-hez képest az, hogy itt I_{DSS} helyett I_0 van, ugyanis itt nincs telítési áram. Az egyenletet megvizsgálva kiderül, hogy az I_0 értékét $U_{GS}=2U_0$ mellett kell felvenni ahhoz, hogy a karakterisztikát megkapjuk. (Ezek az egyenletek csak közelítő jellegűek, de a legtöbb célra alkalmasak.) A mostani méréshez használjuk az első egyenletet.

CMOS inverter

Építse meg a CMOS (komplementer MOS) inverter kapcsolást (l. 5.21. ábra)! Ehhez egy n-csatornás (...) és egy p-csatornás (...) MOS-FET-re lesz szüksége. A jelen mérésben használt FET-ek szintén TO-92 tokozásúak, lábkiosztásuk is megfeleltethető (bázis->gate ; kollektor->drain; emitter->source).

Adatok: $R_S=15 \Omega$; $C_t=47 \text{ pF}$

- Vegye fel a kapcsolat transzfer karakterisztikáját! Ehhez kapcsoljon háromszögjelet (függvénygenerátorból) a bemenetre, és rajzolja le a kimeneti jelalakot.
- Kapcsoljon négyszögjelet a bemenetre! Vegye fel a kimeneti jelalakot!



5.21. ábra. CMOS inverter

Az R_S soros ellenállás áramkorlátozó szerepet tölt be (enélkül a kapcsolási tranziens nagy lenne). A C_t kondenzátor a terhelés kapacitását modellezi. A gyakorlatban a CMOS kapcsolásokat integrált áramkörökben valósítják meg, ezen kapcsolásunk egy ilyent modellez. A CMOS IC-k a mai digitális technika fontos építőelemei.

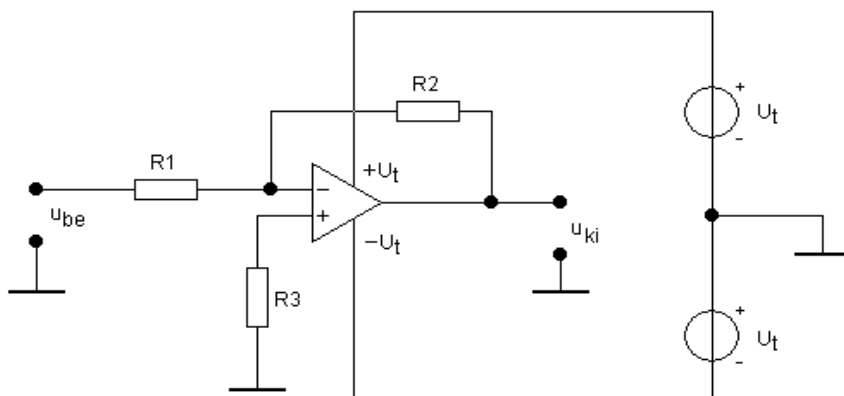
A MOSFET-ekről azt tanultuk, hogy a gate-jük gyakorlatilag szigetelő (ellenállása $>10^{12..14}\Omega$). Azonban két vezető között egy vékony szigetelő sáv kapacitásként működik. Nagyfrekvenciás működésnél (pl. számítástechnikai hardver) ezt a kapacitást már figyelembe kell venni, itt már nem lesz igaz, hogy nem folyik áram a gate-n. Ezt a hatást ebben a mérésben nem vizsgáljuk, ugyanis ez az áram a milliárdnyi tranzisztort tartalmazó integrált áramköröknél lesz jelentős.

Ellenőrző kérdések

1. Rajzolja le egy n csatornás JFET közös source-ú transzfer és kimeneti karakterisztikáit!
2. Rajzolja le egy növekményes n-MOSFET közös source-ú transzfer és kimeneti karakterisztikáit!
3. Adja meg a JFET transzfer karakterisztika egyenletét!
4. Adja meg a JFET egyenlete alapján a g_m meredekség képletét!
5. Rajzolja le az n-csatornás JFET, növekményes MOSFET és kiürítéses MOSFET rajzjelét!
6. Definiálja az erősítő alsó és felső határfrekvenciáját!

5.5 Műveleti erősítők mérések

Invertáló műveleti erősítő alapkapcsolás



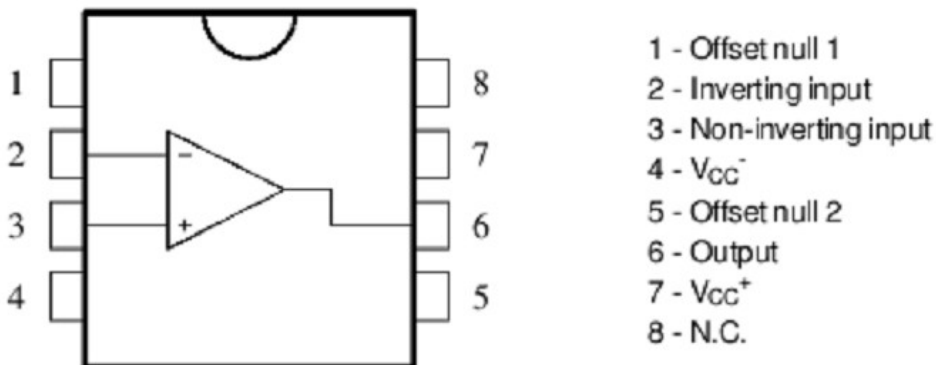
5.22. ábra. Invertáló alapkapcsolás

Állítsa össze a 5.22. ábra alapján az invertáló alapkapcsolást! Adatok: $U_t=15\text{ V}$; $R_1=1\text{ k}\Omega$; $R_2=10\text{ k}\Omega$; $R_3=1\text{ k}\Omega$

- Számítsa ki, majd mérje meg az erősítést és a fázistolást, ábrázolja a bemenő és kimenő jelalakokat!
- Mérje meg a felső határfrekvenciát! Van-e alsó határfrekvencia?

Az analóg integrált áramkörök, különösen a műveleti erősítők, gyakran kettős tápfeszültségről üzemelnek (újabbban kezdenek egyre több egy tápfeszültségű, illetve alacsony tápfeszültségű erősítőt gyártani). A kettős tápfeszültségnél $+x$ voltot kapcsolunk az pozitív tápfeszültség lábra, és $-x$ voltot a negatív tápfeszültség lábra. Ezt a kettős (vagy hármas) tápegységekkel könnyedén előállíthatjuk. A tápegység egyik felének pozitív kimenetét kössük össze a másik felének negatív kimenetével, ez lesz a közös (nulla pont) (az ábrákon föld vagy test

szimbólummal jelölve). Ehhez képest lesz egy pozitív és egy negatív feszültségünk. A bemenetet és a kimenetet a nullához képest fogjuk mérni.



5.23. ábra. uA741 műveleti erősítő bekötése

A műveleti erősítőnek jellemzően a következő lábai vannak:

- invertáló bemenet (inverting input)
- nem-invertáló bemenet (non-inverting input)
- pozitív tápfeszültség (V_{CC}^+ vagy V_{DD}^+)
- negatív tápfeszültség (V_{CC}^- vagy V_{DD}^-)
- offset nullázó bemenetek (offset null)

(N.C. = not connected, nincs bekötve)

A műveleti erősítő invertáló és nem-invertáló bemeneteit + - szimbólumokkal szoktuk jelölni. Ezeket NE keverjük össze a pozitív és negatív tápfeszültség lábakkal! Az áramkörökben „bemenetnek” az információ tartalommal bíró (jellemzően kis szintű váltakozóáramú) jeleket illetve azokhoz tartozó pólusokat nevezünk, a tápfeszültséget általában nem nevezünk bemenetnek. A tápfeszültséget a bemenetre kötve tönkretesszük az integrált áramkört. Ezt – azon túl, hogy nem

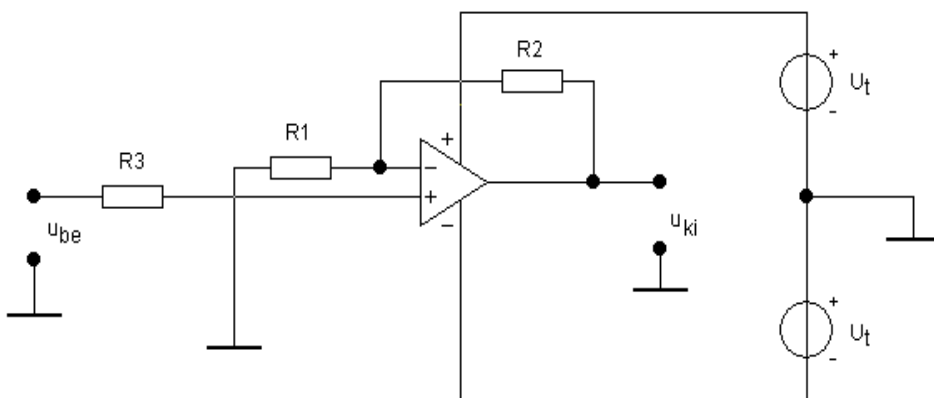
megfelelően működik – gyakran az IC melegedésében (akár füstjeleken) is tetten érhetjük. (A félvezető eszközökről pedig tudjuk, hogy füsttel működnek, hiszen ha kijön belőlük a füst, akkor nem működnek tovább.)

Az offszet nullázó bemenetek közé kapcsolt potméterrel (amelynek csúszkája a műveleti erősítő típusától függően az áramkör egy fix feszültségű pontjára kapcsolódik) lehet a bemeneti offszetet (feszültségkülönbséget) csökkenteni. Modern műveleti erősítőkhöz gyakran automatikus offszet-nullázó („auto-zero” stb. nevű) áramkört építenek, ezeknél nincs nullázó bemenet.

Nem invertáló műveleti erősítő alapkapsolás

Állítsa össze a 5.24. ábra alapján a nem invertáló alapkapsolást! Adatok: $U_t=15\text{ V}$; $R_1=1\text{ k}\Omega$; $R_2=10\text{ k}\Omega$; $R_3=1\text{ k}\Omega$

- Számítsa ki, majd mérje meg az erősítést és a fázistolást, ábrázolja a bemenő és kimenő jelalakokat!
- Mérje meg a felső határfrekvenciát!



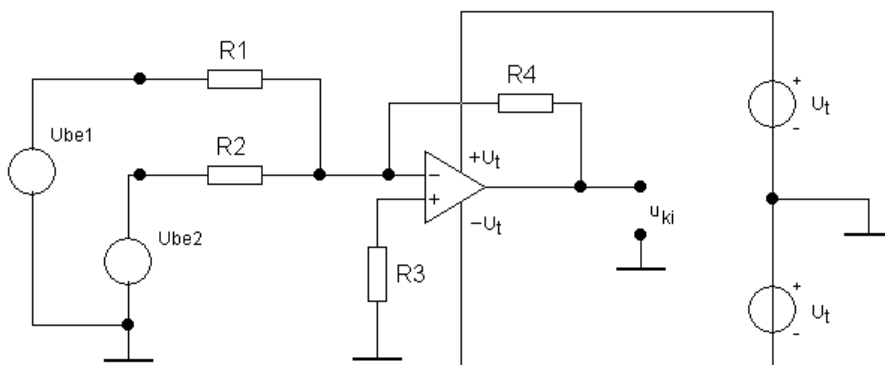
5.24. ábra. Nem invertáló alapkapsolás

- c) Vegye fel a kapcsolás transzfer ($U_{be}-U_{ki}$) karakterisztikáját! Ehhez az oszcilloszkóp XY üzemmódját kell használni. Ilyenkor az oszcilloszkóp vízszintes tengelyre az egyik, a függőleges tengelyre a másik bemeneti csatornát kapcsolja és a képernyőn közvetlenül a karakterisztika jelenik meg. Kapcsolja a bemenő feszültséget az egyes csatornára, a kimenő jelet a második csatornára és állítsa be az oszcilloszkópon az XY módot.

Összegző erősítő

A kapcsolás kis módosításával összegző erősítőt építhetünk (5.25. ábra). Ez (jelen esetben) két bejövő áram összegét állítja elő a csomópontban, illetve az árammal arányos feszültséget a kimeneten. A mérés során a bemeneti ellenállások alakítják a bemenő feszültségeket áramokká. Az ellenállások megfelelő megválasztásától függ, hogy a kapcsolás erősít-e, vagy követő (azaz egységnyi erősítésű).

Adatok: $R_1=R_2=R_3=R_4=1\text{ k}\Omega$; $U_t=15\text{ V}$



5.25. ábra. Összegző erősítő

- a) Kössön az egyik bemenetre 1 V 1 kHz négyzögjelet, a másikra 2 V 100 Hz szinuszjelet. Vizsgálja meg a kimenő jelet.
- b) Kapcsoljon az egyes bemenetekre tetszés szerinti, néhány voltos egyenfeszültséget. Mérje meg a két bemenő ellenállás, illetve a visszacsatoló ellenállás áramát, és ellenőrizze, hogy teljesül-e az összegzés.

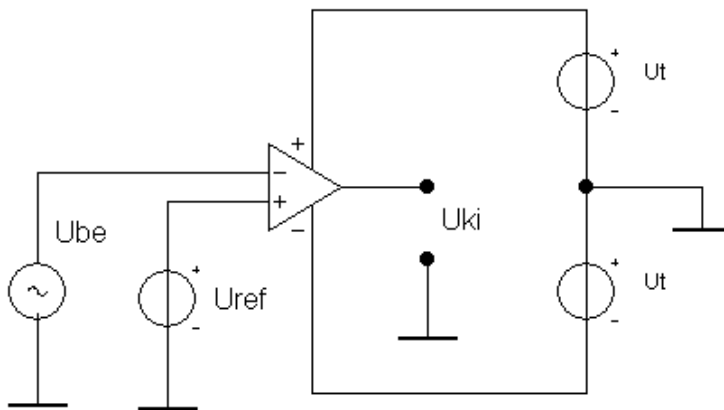
A műveleti erősítő bemeneti árama ideális esetben nulla, a valóságban is elég kicsi, ezért a bejövő áramok összege a csomóponti törvény szerint a visszacsatoló ágban folyik.

A műveleti erősítők nevüket onnan kapták, hogy különböző matematikai műveleteket is lehet velük végezni analóg jeleken (összegzés, kivonás, differenciálás, integrálás), ezeket analóg számítógépekben hasznosították régebben.

Komparátor

Építse meg a 5.26. ábra alapján a komparátor kapcsolást! A referencia-feszültséget állítsa elő az állítható tápegységgel.

- a) A bemenő jel legyen háromszög alakú, 5V csúcserértékű. Referenciafeszültségnek állítson be kb. 2V egyenfeszültséget! Rajzolja le a kimenő jelet! Mérje meg a kimenő jel szélsőértékeit!
- b) Figyelje meg, hogy a kimeneti négyzögjel kitöltési tényező hogyan változik a referencia-feszültség függvényében! (Változtassa a referenciafeszültséget.)
- c) Vizsgálja meg a kimenő jel függését a tápfeszültségtől! (Ehhez a tápfeszültséget állítsa el néhány volttal. Ha csak az egyik tápfeszültséget állítja, akkor a kimenő jel szintjei aszimmetrikusak lesznek, vizsgálja meg ezt a jelenséget is.)



5.26. ábra. Komparátor

Ha a referencia-feszültség meghaladja a bemenő jel abszolútértékét, akkor a kimenet kiül valamelyik szélsőértékére. A kapcsolást meg lehet építeni invertáló és nem-invertáló módban is.

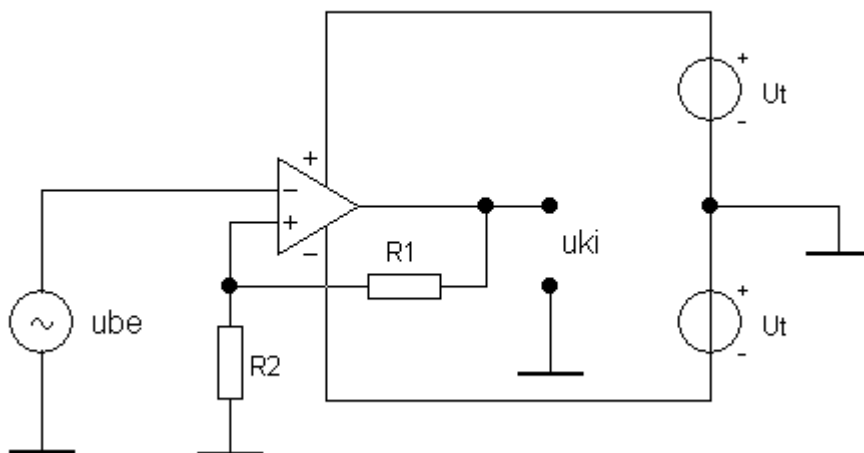
A kitöltési tényező a négyszögjel két állapotának az időtartamának az aránya.

$$D = \frac{T_{max}}{T_{teljes}} 100\% = \frac{T_{max}}{T_{max} + T_{min}} 100\% \quad (5.2)$$

- d) Mérje meg a műveleti erősítő felfutási meredekségét (Slew Rate, SR) V/ μ s mértékegységben! Ehhez állítson be 1 kHz frekvenciájú négyszögjelet a függvénygenerátoron. A kimeneti jelet az oszcilloszkópon vizsgálva mérje meg annak felfutási meredekségét az x.ábra szerinti módon. Mivel a függvénygenerátor felfutási meredeksége nagyobb a műveleti erősítőnkénél, ezért a kimeneten mért meredekség megegyezik a SR-tel.

Hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger)

A szimulációs mérésből megtudhattuk, hogy a komparátor érzékeny a zajos jelekre. A komparálási szint széthúzásának árán csökkenthetjük ezt a hatást. A visszacsatoló ellenállásosztó a kimeneti jel (amely telítésben van) leosztottját adja a referencia-bemenetre. A működés jellegéből következik, hogy ez a kapcsolás csak invertáló üzemmódban működik.



5.27. ábra. Hiszterézises komparátor

Állítson be háromszögjelet a bemenetre és jelenítse meg, illetve mérje meg oszcilloszkópon a bemenő és kimenő jeleket! A jeleket ábrázolja a jegyzőkönyvben, az ábrán jelölje be a két komparálási szintet! A szinteket számolja is ki a kimenő jel feszültségének és az ellenállás-osztónak az ismeretében!

A kimeneti jel maximuma (mindkét irányban) a tápfeszültségtől függ, annál valamivel kisebb. Erre mondjuk, hogy az erősítő telítésben van (hiszen a jel nem tud tovább nőni).

Hiszterézises komparátort nem csak műveleti erősítőtől lehet készíteni, az eredeti Schmitt-triggert még a műveleti erősítő feltalálása előtt készítették. A műveleti erősítő azonban jelentősen megkönnyíti a dolgunkat. Kaphatóak kifejezetten komparátor céljára készített integrált áramkörök is.

Ellenőrző kérdések

1. Rajzoljon fel egy nem-invertáló / invertáló műveleti erősítő kapcsolást!
2. Adja meg a nem-invertáló / invertáló kapcsolat erősítésének képletét!
3. Rajzoljon le egy hiszterézises komparátor kapcsolást műveleti erősítővel!
4. Vázolja fel a műveleti erősítő frekvencia-függését!
5. Rajzolja le a hiszterézises komparátor kimeneti jelalakját háromszög bemenet esetén!
6. Definiálja a kitöltési tényezőt!