

# Elektronika labor

Molnár Ferenc – Szabó Tamás – Mihalik Gáspár

2006. december 18.

# Tartalomjegyzék

<b>1. A szimulációs program ismertetése</b>	<b>6</b>
1.1. A mérés összeállítása . . . . .	6
1.1.1. Első lépések . . . . .	6
1.1.2. Áramkörök rajzolása . . . . .	6
1.2. Szimuláció . . . . .	10
1.2.1. Transient analysis . . . . .	11
1.2.2. Kiértékelés . . . . .	13
1.2.3. DC analízis . . . . .	16
1.2.4. AC analízis . . . . .	17
1.2.5. Stepping . . . . .	19
<b>2. 1. szimuláció</b>	<b>20</b>
2.1. Fél-hullámú egyenirányító . . . . .	20
2.2. Soros diódás csúcs-egyenirányító . . . . .	21
2.3. Graetz-kapcsolású csúcsegyenirányító . . . . .	22
2.4. Diódás vágó-áramkör . . . . .	23
2.5. Zener diódás stabilizátor . . . . .	24
2.6. Zener diódás határoló . . . . .	25
2.7. DC feszültség-térkép számítása . . . . .	26
2.8. Tranzisztoros DC áramgenerátor . . . . .	27
2.9. JFET karakterisztika . . . . .	29
2.10. JFET munkapont-beállítás . . . . .	30
2.11. FET-es DC áramgenerátor . . . . .	31
<b>3. 2. szimuláció</b>	<b>32</b>
3.1. Az erősítés szemléltetése . . . . .	32
3.2. Földelt emitteres erősítőkapcsolás . . . . .	34
3.3. Földelt kollektoros erősítőkapcsolás . . . . .	35
3.4. Földelt source-ú erősítőkapcsolás . . . . .	36
3.5. Az NMOS karakterisztikája . . . . .	38
3.6. Az NMOS munkapontja . . . . .	38

3.7. CMOS alapok . . . . .	40
<b>4. 1. mérési gyakorlat - Diódák és tranzisztoros erősítők</b>	<b>42</b>
4.1. A mérőpanel leírása . . . . .	42
4.2. Bevezetés . . . . .	43
4.3. Diódák munkapont beállítása . . . . .	44
4.4. Földelt emitterű erősítő . . . . .	45
4.4.1. DC feszültségtérkép . . . . .	45
4.4.2. Kimeneti jelalak vizsgálata . . . . .	46
4.4.3. Belső pontok vizsgálata . . . . .	47
4.4.4. Feszültségerősítés mérése . . . . .	47
4.4.5. Határfrekvenciák mérése . . . . .	48
4.5. Emitterkörben visszacsatolt FE-ű erősítő mérése . . . . .	48
4.6. Földelt kollektorú erősítő mérése . . . . .	49
4.6.1. FC erősítő munkapontja . . . . .	49
4.6.2. Jelalakok, erősítés . . . . .	50
4.6.3. $u_{ki}$ - $u_{be}$ transzfer karakterisztika mérése . . . . .	50
4.6.4. Au felső határfrekvenciája . . . . .	51
<b>5. 3. szimuláció</b>	<b>54</b>
5.1. Differencia-erősítő szimmetrikus vezérléssel . . . . .	54
5.2. Differencia-erősítő aszimmetrikus vezérléssel . . . . .	55
5.3. Műveleti erősítő paramétereinek vizsgálata . . . . .	56
5.4. Neminvertáló DC erősítő vizsgálata . . . . .	57
5.5. Invertáló DC erősítő vizsgálata . . . . .	57
5.6. Referenciával eltolt billenési szintű komparátor vizsgálata . . . . .	58
5.7. Invertáló hiszterézises komparátor . . . . .	59
5.8. Invertáló AC erősítő vizsgálata . . . . .	60
5.9. Áram-feszültség átalakító erősítő bemeneti impedanciájának vizsgálata . . . . .	62
5.10. Nullkomparátor vizsgálata offset-kompenzálás mellett . . . . .	63
<b>6. 2. mérési gyakorlat - Műveleti erősítők alkalmazása</b>	<b>64</b>
6.1. Neminvertáló erősítő mérése . . . . .	65
6.1.1. Jelalakok mérése . . . . .	65
6.1.2. Felső határfrekvencia . . . . .	66
6.1.3. Transzfer karakterisztika . . . . .	66
6.2. Invertáló erősítő mérése . . . . .	67
6.2.1. Jelalakok . . . . .	67
6.2.2. Vezérlés egyenszinttel eltolva . . . . .	67
6.2.3. Jelváltozási sebesség . . . . .	67

6.3.	Összegző erősítő . . . . .	68
6.4.	Null-komparátor . . . . .	69
6.4.1.	Invertáló null-komparátor . . . . .	69
6.4.2.	Jelalakok . . . . .	69
6.4.3.	Transzfer karakterisztika . . . . .	69

# Bevezetés

Az *elektronika* tantárgy előadásain és táblagyakorlatain megtanult anyag gyakorlati elsajátítása a laborfoglalkozásokon történik. Mivel fontosnak tartjuk, hogy hallgatónk a mindenkori technikai lehetőségeket fel tudják használni, ezért újítottuk meg a jelen írást.

A legtöbb változás a mérések szimulációs részén történt, mivel újabb szoftverek/operációs rendszerek jelentek meg. 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 8 Evaluation Version, amely a teljes verziótól csupán a kiértékelés terén különbözik; nem érhető el az összes funkció – mint pl. a háromdimenziós értékábrázolás, stb. A mindenkori legfrissebb változat ingyenesen letölthető a gyártó honlapjáról (<http://www.spectrum-soft.com>).

A leírásban *dőlt betűvel* jelöljük a hivatkozásokat. **Fix szélességű betűvel** jelöljük a parancsokat, beírandó értékeket ill. a mérések során vett konkrét utasításokat. A szimulációs programban néhány helyen az utasítások egyszerűen, ikonok segítségével is elérhetők, melyeket széljegyzetben szerepeltetünk. A leírás teljes egészében a L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X rendszerrel készült.

# 1. fejezet

## A szimulációs program ismertetése

### 1.1. A mérés összeállítása

#### 1.1.1. Első lépések

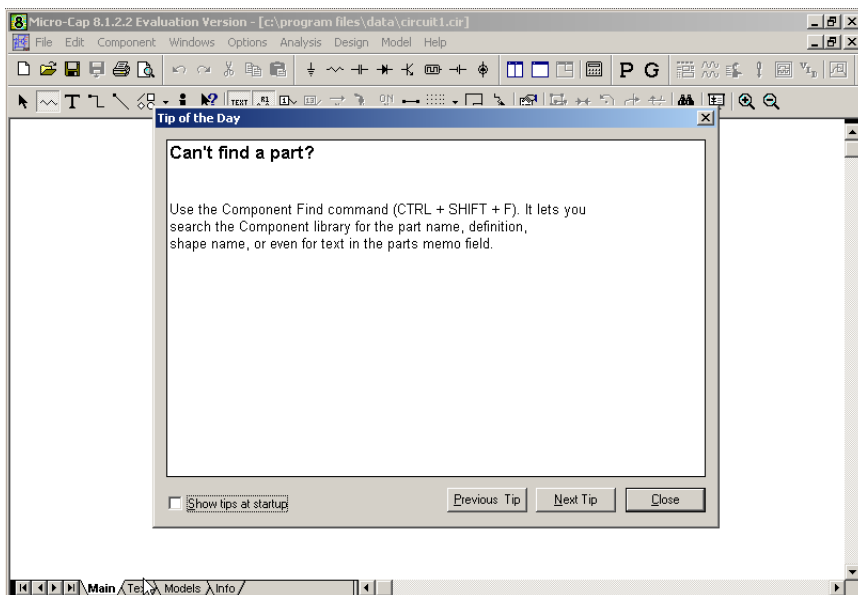
Ha a programot elindítva a *Tip of the Day* ablak fogad – melyben egy véletlenszerűen kiválasztott jó tanáccsal lát el a program – győződjünk meg róla, hogy a bal alsó sarokban lévő **Show tips at startup** jelölőnégyzet ne legyen kipipálva. Ezzel elkerüljük azt, hogy a következő indításnál is jelentkezzen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

Ezek után elénk tárul a szerkesztő képernyő. Középen láthatjuk a rajzterületet, legfelül a menüket, alatta a leggyakrabban használt parancsok ikonjai szerepelnek. Az első ikonblokkban a szokásos fájl műveletek érhetőek el: *új létrehozása, megnyitás, mentés, nyomtatás, nyomtatási kép megtekintése*. A következő csoport a szerkesztés parancsait teszi elérhetővé: *visszavonás, újra, kivágás, másolás, beillesztés*. A következő csoport az áramkörök megrajzolását könnyíti meg. Ezt megnézzük kicsit részletesebben a következő részben.

#### 1.1.2. Áramkörök rajzolása

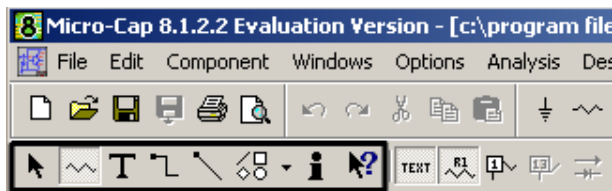
Ahhoz, hogy a kívánt áramkört szimulálhassuk, először meg kell azt rajzolnunk, és a rajzelemeknek bizonyos értékeket kell adnunk. A rajzelemekkel tulajdonképpen egy-egy matematikai modellt illesztünk be, az értékek megadásával pedig paraméterezzük azokat.

A program használatához meg kell néznünk még egy ikoncsoportot, mely a következő ábrán látható, feketével bekeretezve: ezekkel az ikonokkal a módok



1.1. ábra. Nyitó képernyő

között tudunk váltani. Ez azért fontos, mert ahhoz, hogy rajzolni tudjunk, a Component mode-ot kell aktiválni.



1.2. ábra. Mód ikonok

## Egyszerűbb elemek

A megfelelő módba állítás után már csak ki kell választani az alkatrészt, amelyet szeretnénk elhelyezni a képernyőn. Kezdjük az egyik legegyszerűbbel: válasszunk ki az Ellenállást (Resistor) az alkatrészek közül (3. ikoncsoport). Ezután a rajzterületen bárhol elhelyezhetjük bal egérgattintással.

Ha ezt megtettük, egy új ablak jelenik meg. 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

ell.áll. 

villog, így az érték közvetlenül beírható <sup>1</sup>. Miután megadtuk az értékét, az alkatrész elszíneződik, ezzel jelzi a program, hogy ez van kijelölve. A kurzornak ilyenkor még mindig az előzőekben használt alkatrész formája van, így ebből újabbat tudunk lerakni, amennyiben erre szükség van.

kivál. 

Ha nem akarunk új alkatrészt lerakni, de nem vagyunk elégedettek az előzőekben létrehozott alkatrésszel, úgy módosíthatjuk a már lerakott alkatrészeket, 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 billentyűzetben 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.

dióda 

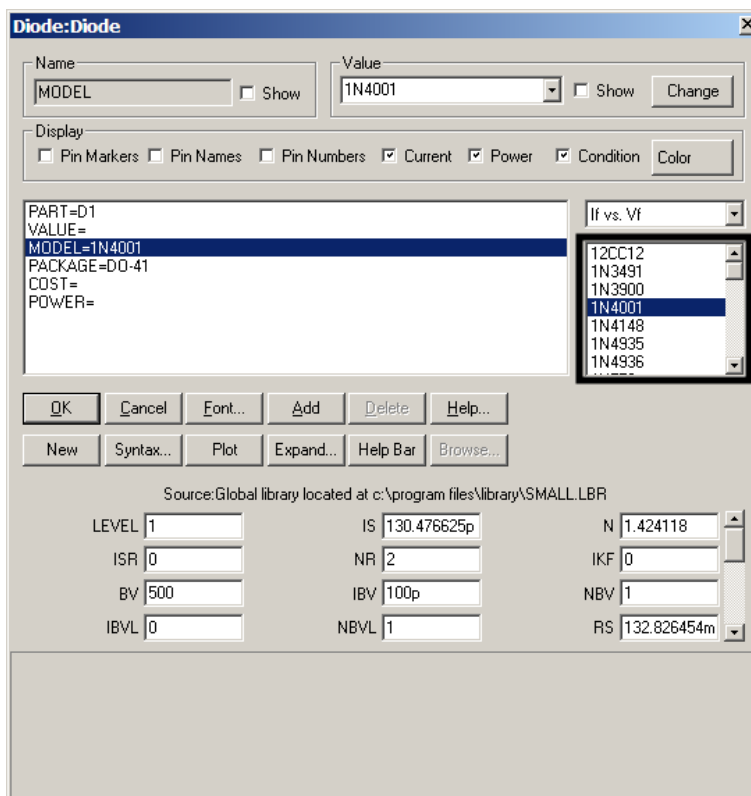
A következő alkatrész, amit használunk a **Dióda** (Diode). Kattintsunk ennek parancsikonzájára, és helyezzük el a képernyő valamely részén. A paraméter beállító ablakban igen sok lehetséges beállítást található. A legegyszerűbb, ha gyári modellek közül választunk. Ez legyen az **1N4001** típus. Az **OK**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

## 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 állítsunk 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. Az *RP*

<sup>1</sup>A program kezeli a prefixumokat is, így elfogadja a 10k, 1M, stb. értékeket. Ha nem egész értéket írunk be, ügyeljünk hogy a program tizedespontot, és nem tizedesvesszőt használ!





1.3. ábra. Modell kiválasztása

és a TAU paraméterek beállításával a szinusz feszültségre szuperponálódó exponenciális rész gyakoriságát és idejét határozhatjuk meg.

## 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 ikon** (Ground), és helyezzük el a generátor mínusz jellel (-) ellátott kapcsa közelében. Ennél nem szükséges paramétert beállítanunk.



föld

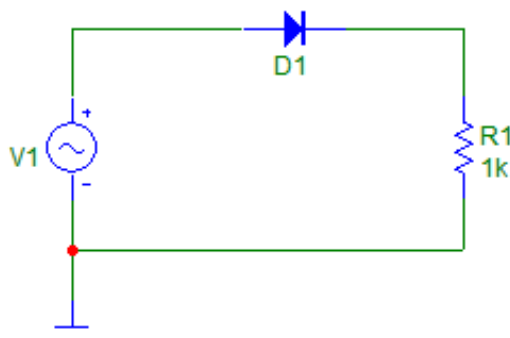
## Huzalozás

Az elhelyezett alkatrészeket össze kell kötnünk. Ezt a **Huzalozás ikon** (Wire mode) segítségével tehetjük meg. Kössük össze a megfelelő kivezetéseket: a bal egérgombot lenyomva és nyomva tartva húzhatjuk az összekötést. A program a vezetéket csak egyszer (90°-ban) törí meg. Ha ez nem



huzaloz.

elegendő, akkor részekből kell építkezni. Ehhez megrajzoljuk az első szakaszt, majd ennek végpontjából indítjuk a következőt. Ha mindent jól csináltunk, az 1.4 ábrához hasonlókat kell kapnunk.



1.4. ábra. A kész áramkör

A sikeres rajzolást követően mentjük el rajzunkat a **File / Save As** paranccsal.

## 1.2. Szimuláció

Az előzőekben megrajzolt áramkör szimulációját fogjuk most áttekinteni. A mérések során mi három féle szimulációt fogunk alkalmazni: *Transient*, *AC*, *DC*. A *Transient* szimuláció a jelalakok időbeli lefutásával foglalkozik, az *AC* frekvenciatartomány belüli vizsgálatot tesz lehetővé, *DC* vizsgálattal például az áramkör transzfer tulajdonságait jeleníthetjük meg. Mielőtt elkezdenénk 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 teszi könnyebbé 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.

csomóp.



### 1.2.1. Transient analysis

Válasszuk ki a *Analysis / Transient...* parancsot. Ekkor belépünk a *Transient* módba, ami a paraméterek beállításával kezdődik. Ezt a *Transient Analysis Limits* ablakban tehetjük 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:

$$t_{vizsg} = T \cdot 2 = \frac{1}{f} \cdot 2 = \frac{1}{50\text{Hz}} \cdot 2 = 20\text{ms} \cdot 2 = 40\text{ms}$$

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 megy, hogy a program bizonyos időközönként megvizsgálja a rendszert. Megnézi a bemenet állapotát, az előző állapotokat, és a matematikai modell alapján kiszámolja a kimeneti értéket. Az így kapott eredményeket összeköti, és ábrázolja. A *Maximum Time Step* mezőbe a legtöbb esetben megfelelő ha a vizsgált időtartomány egy ezredét írjuk. Ez jelen esetben 40u.

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 nem történik semmi érdekes, lefut a szimuláció. A *Save* értéket beállítva elmenthetjük a szimuláció eredményeit, míg a *Retrieve* beállítással visszatölthetjük az előzőekben elmentett értékeket. Ezt hagyjuk az alapbeállításon.

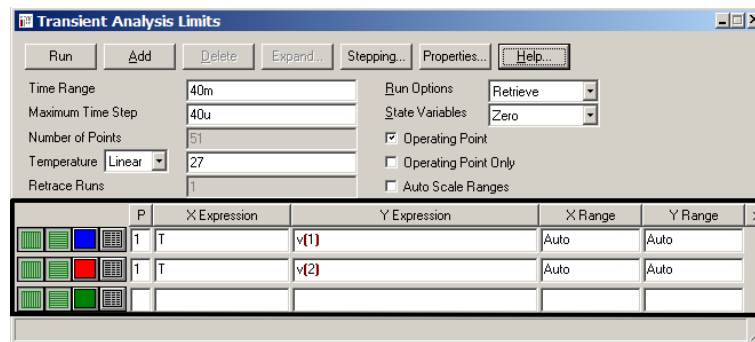
A *State Variables* változtatásával lehetőségünk nyílik a kezdeti értékek beállítására. Az alapérték a *Zero*. Ilyenkor az áramkör energiamentes állapotból indul, minden ponton minden mennyiség zérus. A *Read* érték beállításával a program betölti az előzőekben elmentett értékeket, és azokat veszi kezdőértéknek. A *Leave* 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 lenullázódnak. A *Retrace* beállításával lehetőség van a szimuláció  $N$  ( $N \in \mathbb{N} \subset 0$ ) 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 számítását végzi el a program. Ez arra jó, hogy a végrehajtás után visszatérve a szerkesztő képernyőre kiírat-hatjuk 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 megadni. Most ezt ne kapcsoljuk be.

Az alul lévő részt (1.5 ábra) vizsgálva egy táblázatot láthatunk.



1.5. ábra. Vizsgálandó mennyiségek, és beállításai

## 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 vizsgáljunk. 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 – 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 csoportban lévőket azonos koordinátarendszerben ábrázolja. A diódaáramunknak állítsuk be az **1-es csoportot**. 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 kapjuk meg. 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.

futtat.



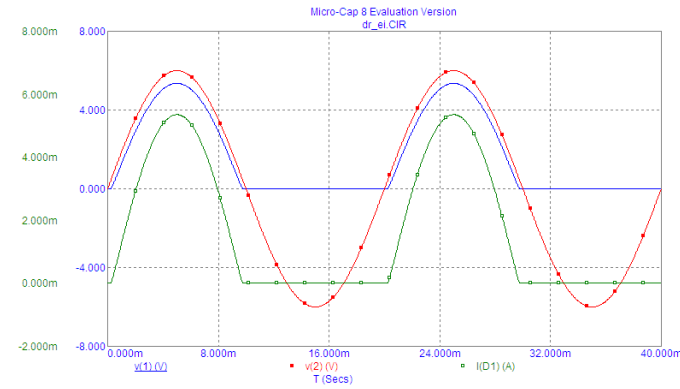
## 1.2.2. Kiértékelés

A megjelenő képernyőn a különböző jelalakokat láthatjuk. Az 1.6 ábrán teli négyszöggel a bemeneti, sima vonallal a kimeneti feszültség, üres négyszöggel jelölve a körben folyó áram jelennek meg.

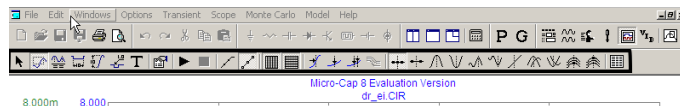
A kapott eredményeket részletes vizsgálatoknak vethetjük alá. Ehhez nézzük végig a 1.7 ábrán megjelölt ikonsort. Az első ikon a *Kiválasztás Mód* (Select mode). Erre kattintva, bal gombot lenyomva tartva kijelölhetjük a kapott jelalak és közvetlen környezetének tetszőleges részét. Ezután az *Edit / Copy to Clipboard / Copy the Select Box Part in BMP Format* paranccsal a kijelölt részt kiírhatjuk közvetlenül bitmap fájlba. Másik használata ennek a módnak

kivál.





1.6. ábra. A szimuláció eredménye



1.7. ábra. Vizsgálati eszközök

az, hogy segítségével tudjuk átméretezni, áthelyezni a – későbbiekben leírt – előzetesen elhelyezett objektumokat.

nagyít.



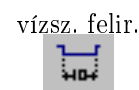
A *Nagyítás mód* (Scale mode) segítségével tetszőlegesen ránagyíthatunk a vizsgálni kívánt részre. Ennek használata hasonló az előző eszközhöz: bal egérgombot lenyomva és nyomva tartva kijelöljük a nagyítani kívánt részt. Az előző nézethez visszatérni vagy a *Windows / Zoom Out* paranccsal, vagy a szimuláció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

jelölő



A *Jelölő mód* (Cursor mode) a legtöbbet 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 metszett 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.

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.



Hasnontól 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 görbealkotóponthoz csatolja a méretnyíl kezdőpontját, és az ehhez a görbéhez tartozó Y tengely léptéket veszi alapul az érték kiírásánál.



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



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. Itt rengeteg lehetőség adódik, de ezeket nem szükséges módosítani – kivéve már az előzőekben (13. oldal) 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 billentyűzetén lévő *F2* billentyű megnyomásával is.



Az *Adatpontok* (Data Points) ikon aktiválásával megjelennek a ténylegesen számított pontok. Ezen pontok összekötésével kapjuk meg a kimeneti görbéket.

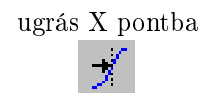


A *Jelölés* (Tokens) szimbólumokkal látja el a görbéket, amelyek a jobb megkülönböztethetőséget szolgálják. Ilyenkor a görbék néhány pontját szimbólumokkal (teli négyszög, üres négyszög, stb.) bővíti.

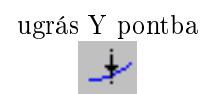


A következő két ikonnal a függőleges és vízszintes segédvonalakat tudjuk ki / be kapcsolni.

Az *X értelmezési pontba ugrás* (Go To X) ikonra kattintva egy párbeszédpanel jelenik meg, ahol a *Value* fül *Value* mezőbe írhatjuk a kívánt értéket – 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 leírtakhoz, csak itt a görbe adott értékét keresi meg a program. Bármely függvényénél előfordulhat, hogy adott értéket több értelmezési ponton is fel-



vesz. Ilyen esetekben a *Left* vagy *Right* gombok ismételt megnyomásával a következő értelmezési pontba ugorhatunk, ahol az adott értéket veszi fel a függvény.

köv. szim. pont



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 billentyűzetten a jobbra, vagy balra gombot, akkor a következő, ill. az előző adatpontra ugrik.

interp. pont



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 vonatkozik 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.

csúcs



völgy



max.



min.



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

A *Inflexió pontok* (Inflection) ikonnal és a billentyűzet jobb és bal gombjainak segítségével az inflexió pontok között lépkedhetünk.

inflexió



globális csúcs



globális minimum



A *Globális csúcs* (Global High) az adott görbeseregéből választja ki a legnagyobb értéket. Erre akkor van szükség, mikor léptetéssel (ld. később) egyszerre több jelalak jelenik meg. Ilyenkor egy gombnyomással elintézhető ez, és nem kell a görbék közül 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. Az *Alja* (Bottom) ikon ugyanezt csinálja, csak a legkisebb értéket keresi meg adott X pontban.

teteje



alja



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

számeredm.



### 1.2.3. DC analízis

A DC analízissel lehetőségünk van arra, hogy transzfer karakterisztikákat rajzoltassunk. Ez azt jelenti, hogy – többnyire – a bemeneti feszültség függ-



vényében 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. Ezzel 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 koordinátarendszerben több mennyiséget szeretnénk vizsgálni más paraméter függvényében. A *Maximum Change %* értékét állítsuk **1**-re.

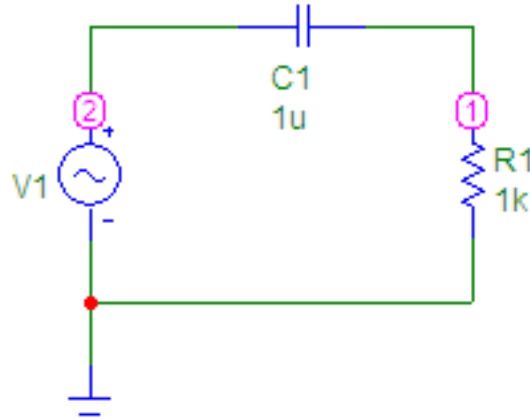
Most, hogy beállítottuk azt a mennyiséget, aminek függvényében vizsgálunk, következő teendőnk a vizsgált mennyiség(ek) beállítása. Ezt a korábbiakban már megismert táblázatban követhetjük nyomon. Eltérés az időbeli vizsgálatokhoz képest, hogy itt az *X Expression* mezőben nem az idő, hanem az alapbeállítás 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 állítsuk 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.:  $U_{CE} - I_C$ , vagy  $U_D - I_D$ , stb.

### 1.2.4. 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.

Cseréljük ki a **D1** diódát egy kondenzátorra, melynek kapacitása legyen  $1\mu\text{F}$  (ld. 1.8 ábra). Ha a módosítással megvagyunk, adjuk ki a **Analysis /**



1.8. ábra. Az áramkör kondenzátorral

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*. Ami 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:

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

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

A *Run* gomb megnyomásával elindíthatjuk a szimulációt.

### 1.2.5. 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 a **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 válasszuk 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  $1\ \mu\text{F}$ -tól  $29\ \mu\text{F}$ -ig fog változni,  $7\ \mu\text{F}$ -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  $29\ \mu\text{F}$  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. Ehhez 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.

## 2. fejezet

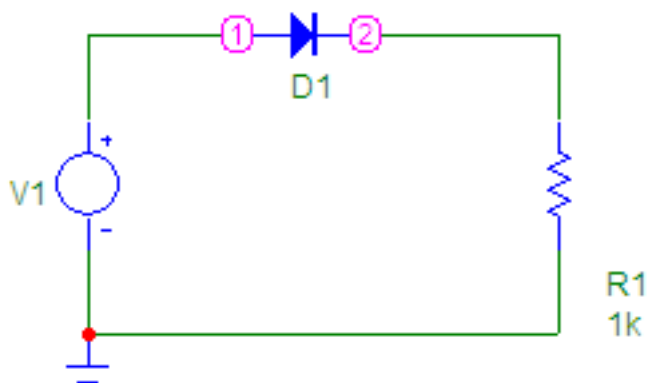
### 1. szimuláció

A feladatokat összeállította: Molnár Ferenc

#### 2.1. Fél-hullámú egyenirányító

Fájl: dr\_ei.cir

Szimuláció: tranziens, DC



2.1. ábra. Fél-hullámú egyenirányító

A szimuláció alapján vizsgálja meg:

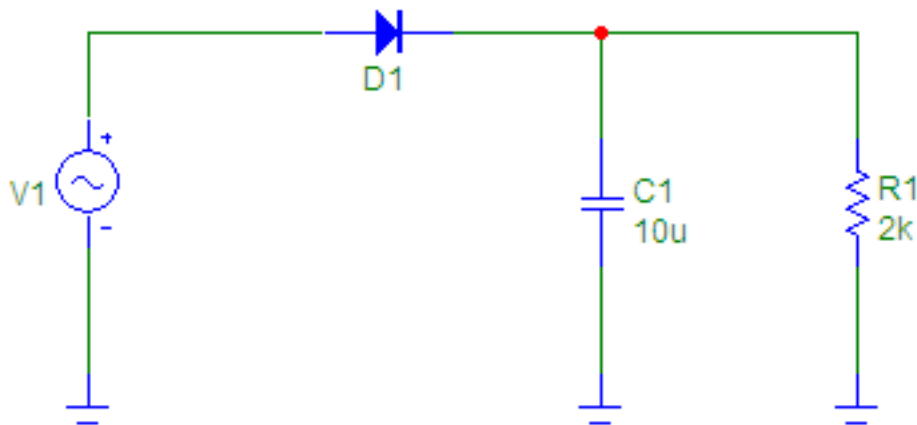
- Mekkora  $U_{be}$  értéknél indul 0-tól jól elkülöníthetően  $I_d$ ?
- Mekkora az  $I_d > 0$  mA-es áramrész szögtartománya ( $\omega \cdot t$ )?

- Mekkora a diódaáram csúcserőértéke?
- Mekkora feszültséggel kisebb  $U_{kip}$  mint  $U_{bep}$ ?
- A feladatok megválaszolását a jegyzőkönyvben indokolja egy-egy ábra segítségével!

## 2.2. Soros diódás csúcs-egyenirányító

Fájl: sdc\_s\_ei.cir

Szimuláció: tranziens



2.2. ábra. Soros diódás csúcs-egyenirányító

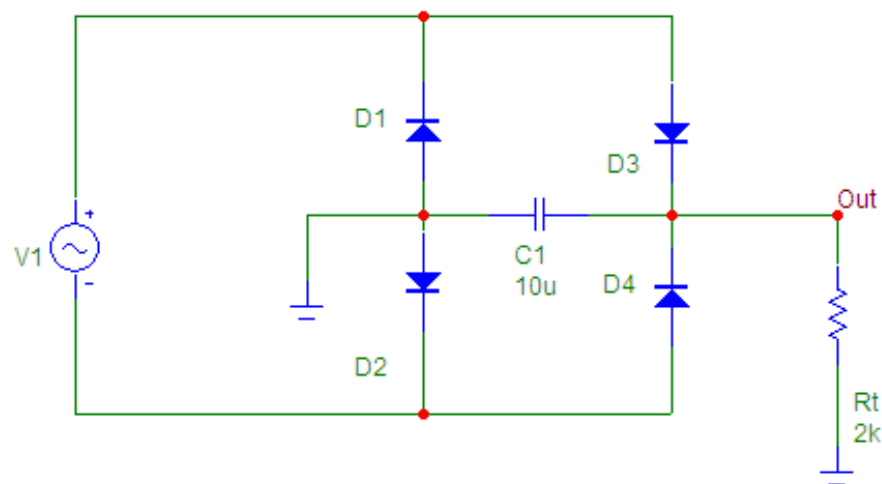
A jelek vizsgálatánál figyelje meg, és rajzolja le:

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

## 2.3. Graetz-kapcsolású csúcsegyenirányító

Fájl: grcs\_ei.cir

Szimuláció: tranziens



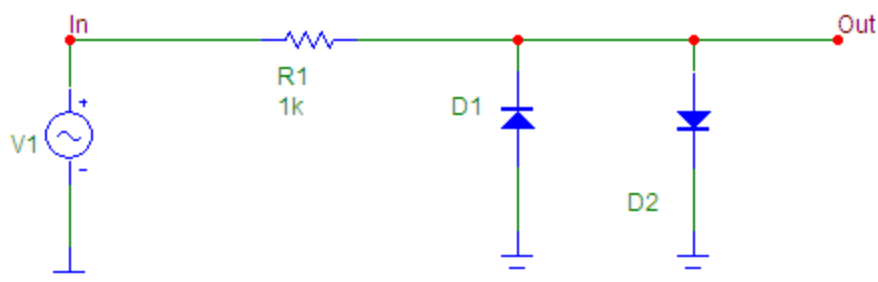
2.3. ábra. Graetz-kapcsolású csúcsegyenirányító

- 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  $5\Omega$ -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!
- Hogyan valósítható meg negatív polaritású kimenő feszültség?

## 2.4. Diódás vágó-áramkör

Fájl: rdvag2.cir

Szimuláció: transient, DC



2.4. ábra. Diódás vágó-áramkör

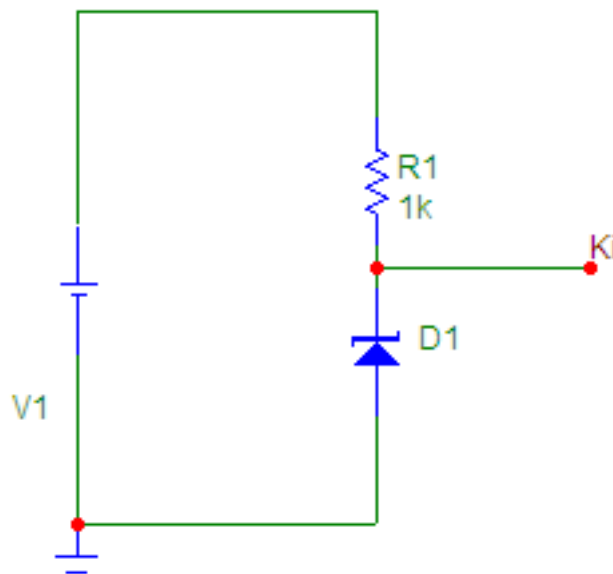
- Olvassa le a vágási szinteket mindkét szimuláció végén!
- Mekkora a dióda áram a bemeneti jel csúcserőértékénél?
- Számítsa ki a 0V bemeneti jel környezetében lévő feszültségerősítést!  
( $Au = \left( \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}} \right)$ )
- A jegyzőkönyvbe készítsen ábrát a tranziens szimuláció alapján!

## 2.5. Zener diódás stabilizátor

Fájl: zener.cir

Szimuláció: transient, DC

Ezt a kapcsolást mindig terheletlenül használják, csak így működik stabilizátorként.



2.5. ábra. Zener diódás stabilizátor

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

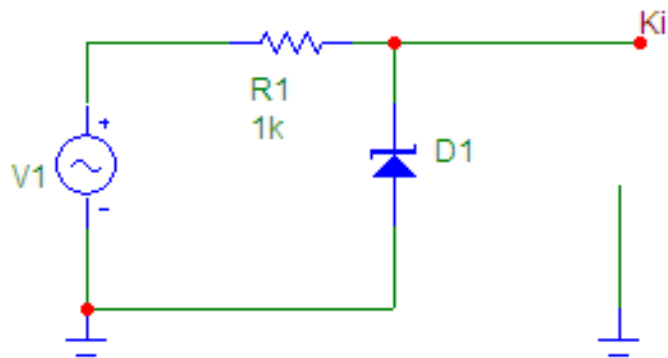
Számítsa ki, a kimeneti feszültség változását a bemeneti feszültség-változásra vonatkoztatva, és az eredményt adja meg százalékosan!



## 2.6. Zener diódás határoló

Fájl: zener\_hatarolo.cir

Szimuláció: tranziens



2.6. ábra. Zener diódás határoló

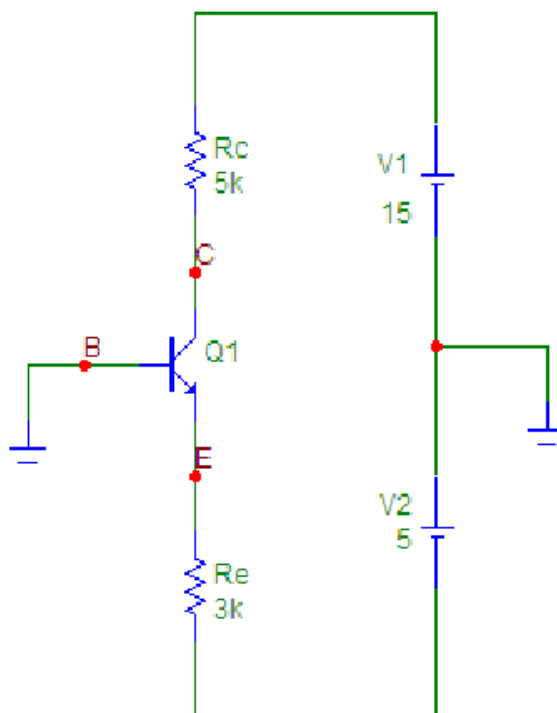
Figyelje meg, és hasonlítsa össze a korábban tanult diódás vágókkal a fenti áramkört!

## 2.7. DC feszültség-térkép számítása

Fájl: btmp1.cir

Szimuláció: tranziens

Paraméter a hőmérséklet.



2.7. ábra. Tranzisztor munkapontbeállítás

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

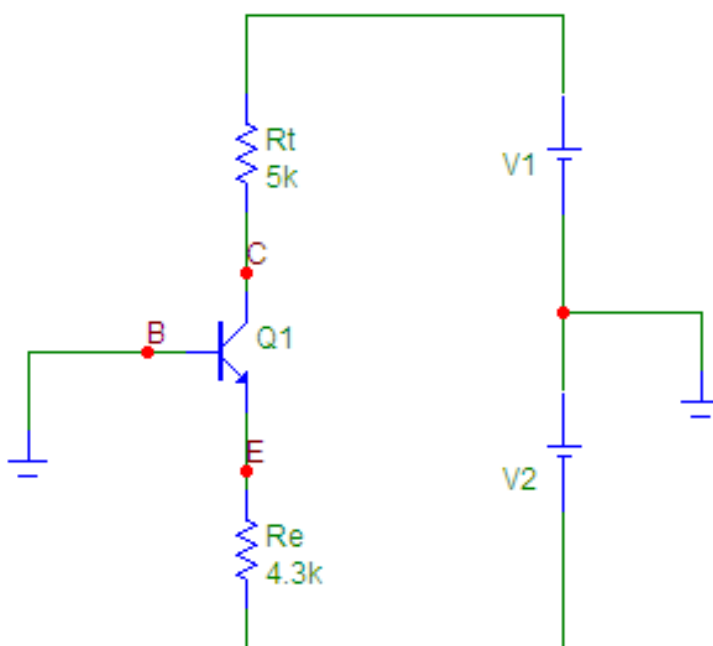
Számítsa ki a munkaponti kollektoráram százalékos változását a hőmérséklet adott értékű változásánál! A kiindulási érték mindig a 25° C-os hőmérsékleten mért adat legyen!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések: **1.**  $U_{B0} = ?$  **2.**  $U_{BE} = 0,6 \dots 0,7$  V, választott érték **3.**  $U_{E0} = U_{B0} - U_{BE}$  **4.**  $U_{Re} = U_{E0} - U_{t2}$ , itt  $U_{t2} = -5$  V **5.**  $I_E = \frac{U_{Re}}{R_e}$  **6.**  $I_E = I_C + I_B$ ,  $I_B = \frac{I_C}{B}$ ,  $B \gg 1$ , ezért  $I_C \gg I_B$ , így  $I_C \sim I_E$  **7.**  $U_{Rc} = I_C \cdot R_C$  **8.**  $U_{C0} = U_{t1} - U_{Rc}$  **9.**  $U_{CE} = U_{C0} - U_{E0}$

## 2.8. Tranzisztoros DC áramgenerátor

Fájl: btigen.cir

Szimuláció: tranziens



2.8. ábra. Tranzisztoros DC áramgenerátor

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

Adja meg indoklással  $R_{tmin}$  és  $R_{tmax}$  értékhatárokat, amely tartományon belül még áramgenerátorként üzemel az áramkör!

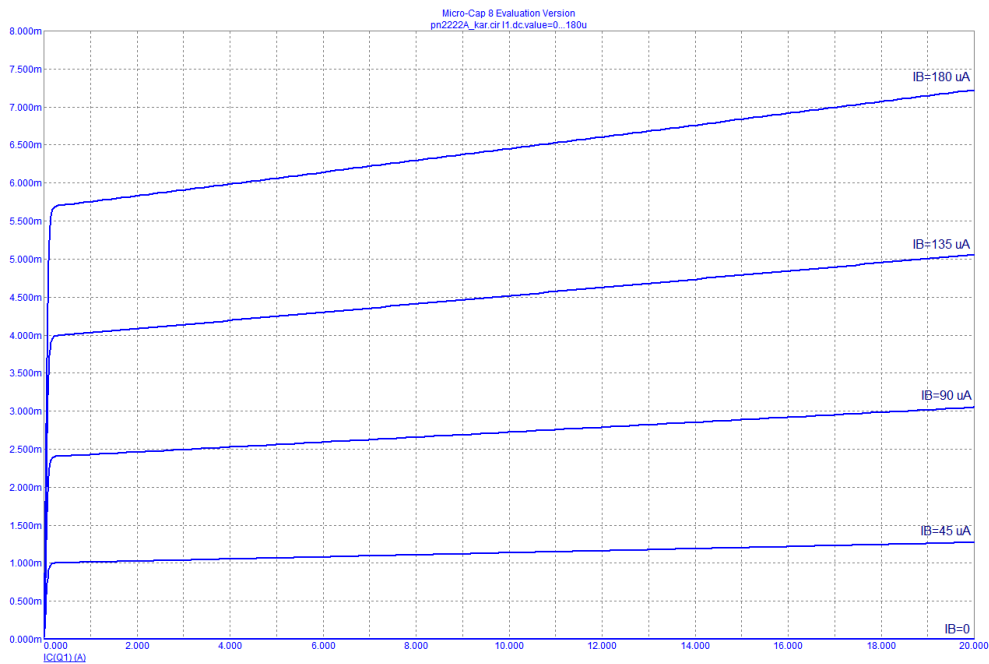
Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések: **1.**  $I_{ki}$  legyen 1 mA, ez a terhelés árama **2.**  $I_{ki} = I_C \sim I_E$  **3.**  $U_{RE} = \frac{I_E}{R_E}$  **4.**  $U_{E0} = U_{RE} + U_{t2}$ ,  $U_{t2} = -5$  V **5.**  $U_{CE} = U_{t1} - U_{E0} - U_{Rt}$

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!

A szimulációban *PN2222A* tranzisztort használunk. Ennek működését korlá-

tozó adatok a tranzisztor adatlapja szerint:  $P_d = 625 \text{ mW}$ ,  $U_{CE(BR)} = 40 \text{ V}$ ,  $U_{CE_{sat}} = 0,3 \text{ V}$ . Az inverz aktív tartományban való működéshez – a tranzisztor itt működik áramgenerátorként – ezen feltételek mindegyikének teljesülnie kell. A 2.9 ábra segítségével 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.



2.9. ábra. A PN2222A tranzisztor  $U_{CE} - I_C$  karakterisztikája

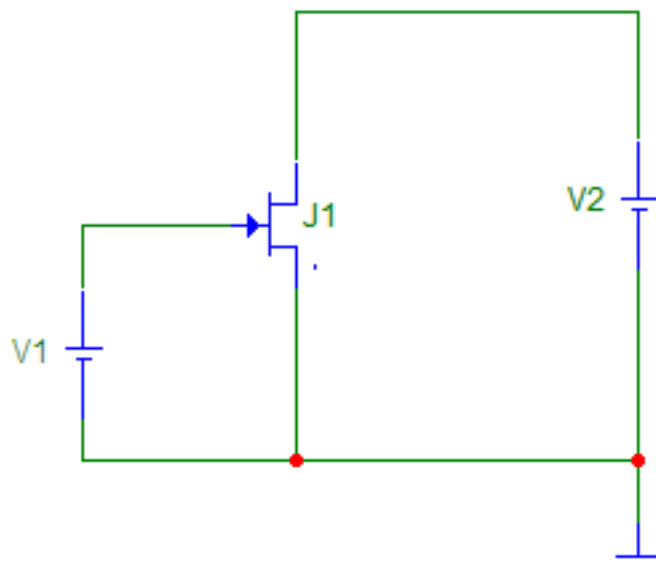
$P_d$  és  $U_{CE(BR)}$  a legkisebb, míg a  $U_{CE_{sat}}$  feszültség ismeretében a legnagyobb ellenállás érték határozható meg.

## 2.9. JFET karakterisztika

Fájl: jfetiuka.cir

Szimuláció: DC

Ezt a kapcsolást a gyakorlatban nem használjuk. Nagy a veszélye annak, hogy a FET-et túlterheljük. Ezért mindig munkapontbeállító ellenállásokkal építsünk csak hasonló kapcsolást!



2.10. ábra. JFET karakterisztika mérésének kapcsolása

Olvassa le a karakterisztikából  $I_{DSs}$  és  $U_0$  értékeket!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések: A FET  $I_{DS}-U_{GS}$  karakterisztikája másodfokú függvénnyel egyszerűen kezelhető formában megadható:

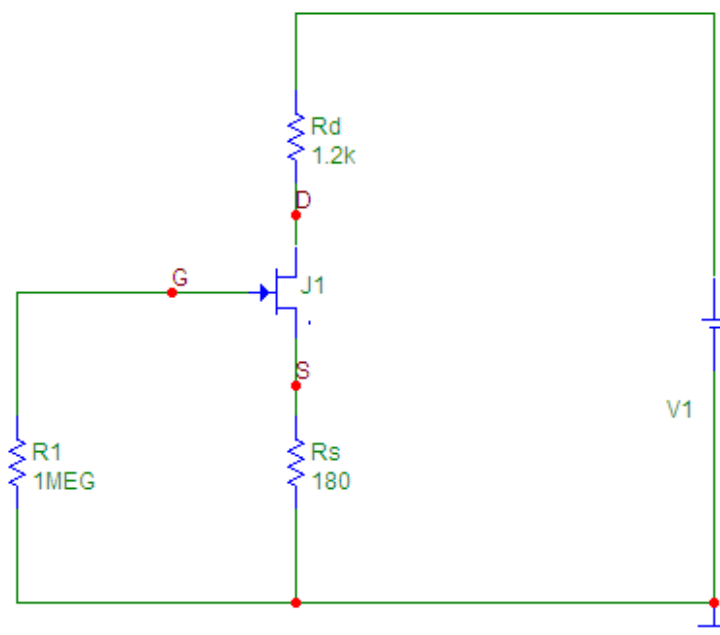
$$I_{DS} = I_{DSs} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2$$

( $U_0$  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!

## 2.10. JFET munkapont-beállítás

Fájl: jfetmp1.cir  
Szimuláció: tranziens



2.11. ábra. JFET munkapontbeállítás

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

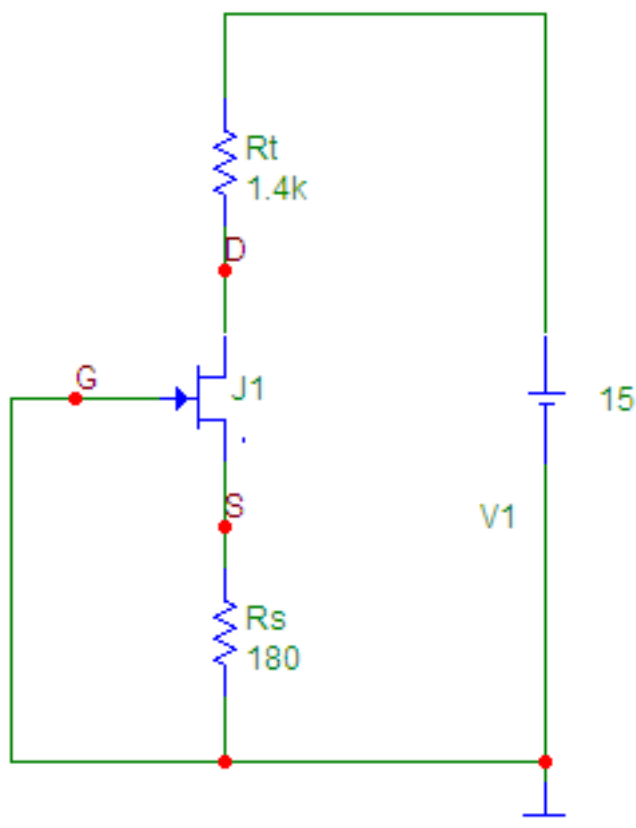
Rajzoljon DC feszültség-térképet  $R_s = 180 \Omega$  értéknél!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések: **1.**  $I_{GS} \sim 0$ , ezért  $U_{G0} = 0 \text{ V}$   
**2.**  $U_{GS} = -(I_{DS} \cdot R_s)$  **3.**  $I_{DS} = I_{DSs} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_0}\right)^2$   
( $U_0$  az elzáródási feszültség, itt  $I_{DS} = 0 \text{ mA}$ ,  $I_{DSs}$  a telítési áram, az  $U_{GS} = 0 \text{ V}$ -hoz tartozó drain-áram)  
**4.**  $U_{s0} = I_{DS} \cdot R_s$  **5.**  $U_{Rd} = I_{DS} \cdot R_d$  **6.**  $U_{D0} = U_t - U_{Rd}$  **7.**  $U_t = U_{Rd} + U_{DS} + U_{Rs}$   
J1 n-csatornás réteg-FET (n-csatornás JFET)

## 2.11. FET-es DC áramgenerátor

Fájl: jfetigen.cir

Szimuláció: tranziens



2.12. ábra. FET-es DC áramgenerátor

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

A szimuláció eredményeiből állapítsa meg  $R_{tmin}$  értékét, és adja meg közelítőleg  $R_{tmax}$  értékét!

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések: Az  $R_t$  értéktartományát felülről a JFET erősítőtartományának határa,  $U_{DS} > U_{GS} - U_0$  (előjel-helyes értékkel), alulról a JFET határadata  $P_{tot} > U_{DS} \cdot I_{DS}$  és  $U_{DSBR} > U_{D0} - U_{S0}$  korlátozzák.

## 3. fejezet

### 2. szimuláció

#### I. rész

A feladatokat összeállította: Dávid Lajos

A lineáris erősítőkapcsolásban a tranzisztor normál aktív tartományban működik. Ekkor a bázis-emitter átmenetre nyitóirányú, a bázis-kollektor átmenetre pedig záróirányú feszültség kerül, ehhez megfelelő egyenfeszültségforrásra és munkapont-beállító hálózatra van szükség.

A munkapont-beállítással már az első szimulációs gyakorlaton foglalkoztunk (ld. BTMP1).

A lineáris erősítőkapcsolásokban kisjelű működést kell biztosítani, hogy a fellépő feszültség- és áramváltozások közötti kapcsolat lineáris maradjon. Kiindulásképpen igen egyszerű alapkapsolást vizsgálunk, amely – bár egyébként nem használatos – jól szemlélteti a működést.

#### 3.1. Az erősítés szemléltetése

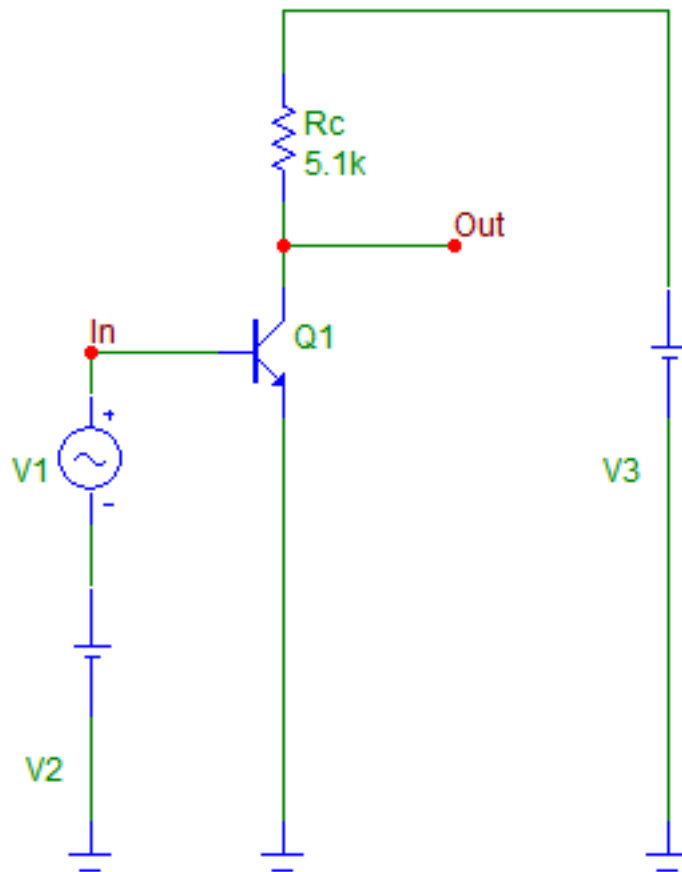
Fájl: fegyak1.cir

Szimuláció: DC, tranziens, AC

A diszkrét tranzisztorokkal felépített erősítőkben leggyakrabban a földelt emitteres kapcsolást alkalmazzák. Az „FE” jelölés földelt emitteres kapcsolást jelent. A tranzisztor emittere földpotenciálon van. A tranzisztor munkapontját a  $V_2$  és a  $V_3$  feszültségforrások, valamint az  $R_c$  ellenállás határozza meg. A kapcsolást a 3.1 ábra szemlélteti. Feladatok:

- Vegye fel a kapcsolás transzferkarakterisztikáját ( $U_{be} - U_{ki}$  jelleggörbét) és határozza meg a lineáris tartomány nagyságát (DC Analysis)!





3.1. ábra. Szemléltető áramkör

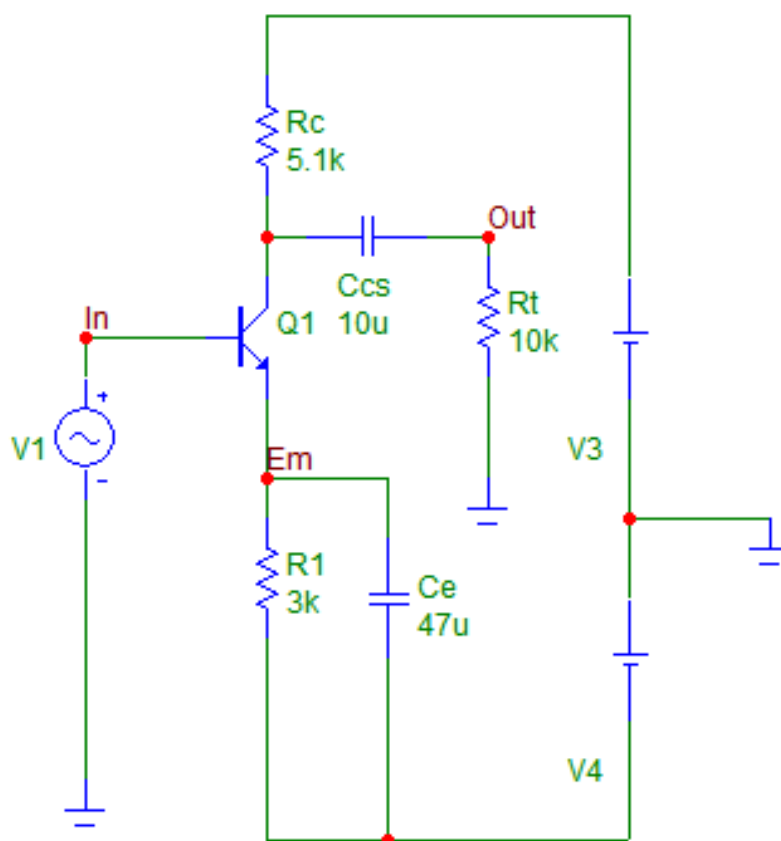
- Határozza meg a bemenő szinuszos jel amplitúdójának azt az értékét, ahol a kimeneti jel már szemmel láthatóan torz (Tranziens Analysis)!
- Vegye fel a kapcsolás amplitúdó és fázis karakterisztikáját(AC Analysis)! Határozza meg a feszültségerősítés és a fázis értékét 4 kHz-en!
- A fenti kérdések megválaszolása után az kérdéses ábrákat szerepeltesse a jegyzőkönyvben!

## 3.2. Földelt emitteres erősítőkapcsolás

Fájl: fegyak2.cir

Szimuláció: tranziens, AC

A  $C_e$  hidegítő kondenzátor váltakozó áram szempontjából az  $R_e$  ellenállást rövidre zárja, a tranzisztor emitterét pedig földpotenciálra kapcsolja. Ez az áramkör az előző feladatban szereplő kapcsolás gyakorlati megvalósítása.



3.2. ábra. Földelt emitteres erősítőkapcsolás

Feladatok:

- Rajzolja le az  $U_{in}(t)$ , az  $U_{em}(t)$  és az  $U_{out}(t)$  függvényeket (Transient Analysis)! Számítsa ki a feszültségerősítés értékét ( $A_u = \frac{U_{ki}}{U_{be}}$ )!
- 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  $Au = Au_{max} - 3dB$ !

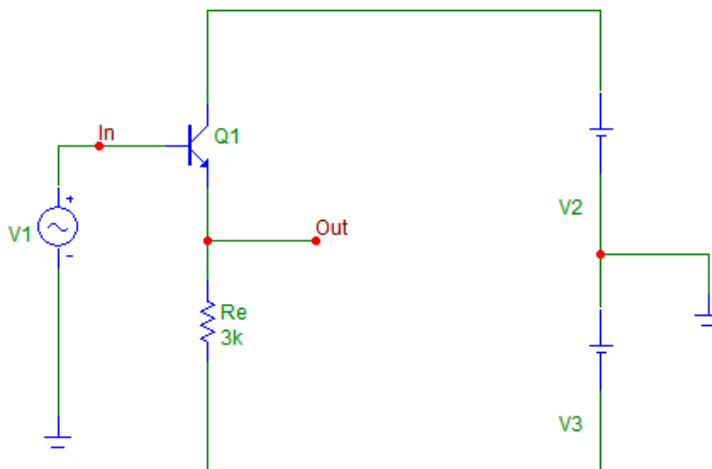
- Rajzolja le a jegyzőkönyvbe a fenti karakterisztikákat!
- A *Stepping* funkció bekapcsolásával ismét futtassa le a szimulációt! Ekkor  $C_e$  1 és  $47 \mu F$  közötti értékeket vesz fel. Vizsgálja meg, hogyan változik ennek hatására az alsó törésponti frekvencia (AC Analysis)!

### 3.3. Földelt kollektoros erősítőkapcsolás

Fájl: fcgyak1.cir

Szimuláció: DC, tranziens

Földelt kollektoros kapcsolásnál a tranzisztor kollektor kivezetése váltakozó-jel szempontjából földpotenciálban van. Az  $R_e$  ellenállás,  $V_2$  és  $V_3$  feszültségforrások határozzák meg a tranzisztor munkapontját. A kimeneti feszültséget most az emitterről vesszük.



3.3. ábra. Földelt kollektoros erősítőkapcsolás

Feladatok:

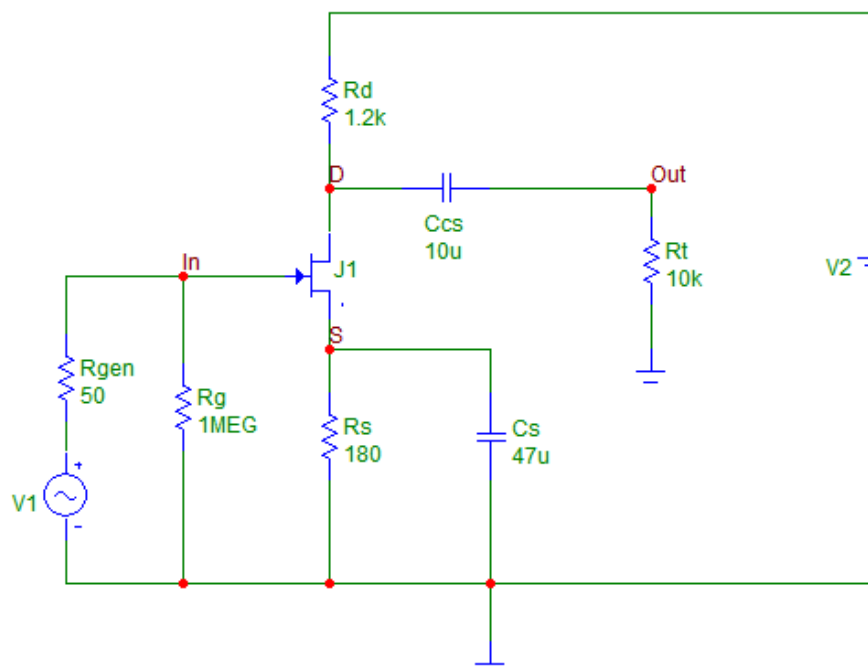
- Vegye fel, és rajzolja le az áramkör transzferkarakterisztikáját, és értelmezze (DC Analysis)!
- Rajzolja le az  $U_{in}(t)$  és az  $U_{out}(t)$  függvényeket! Határozza meg az  $Au_{ii}$  üres-járási feszültségerősítés értékét (Transient Analysis)!

### 3.4. Földelt source-ú erősítőkapcsolás

Fájl: fsgyak.cir

Szimuláció: tranziens, AC

Térvezérlésű tranzisztorokkal (FET) is hasonló erősítő alapkapsolások építhetők fel, mint a bipoláris tranzisztorokkal. A példában n-csatornás záróréteges térvezérlésű tranzisztort használunk. A 3.4 ábra a teljes áramkört mutatja a csatoló, és a hidegítő kondenzátorokkal, munkapontbeállító és terhelő ellenállásokkal.



3.4. ábra. Földelt source-ú erősítőkapcsolás

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  $1k\Omega$  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 rövid-zárral. Mekkora lesz az Au értéke (AC Analysis)?

## II. rész

A feladatokat összeállította: Aggod József

A MOS (Metal-Oxid-Semiconductor) tranzisztor négy kivezetésű eszköz: **D**rain, **G**ate, **S**ource, **B**ulk (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 (elektronvezetésű) és P-csatornás (lyukvezetésű) 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:

$$I_D = 0, \quad (3.1)$$

ha  $U_{GS} < V_T$  és  $U_{GD} < V_T$

$$I_D = K \cdot (U_{GS} - V_T)^2, \quad (3.2)$$

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,

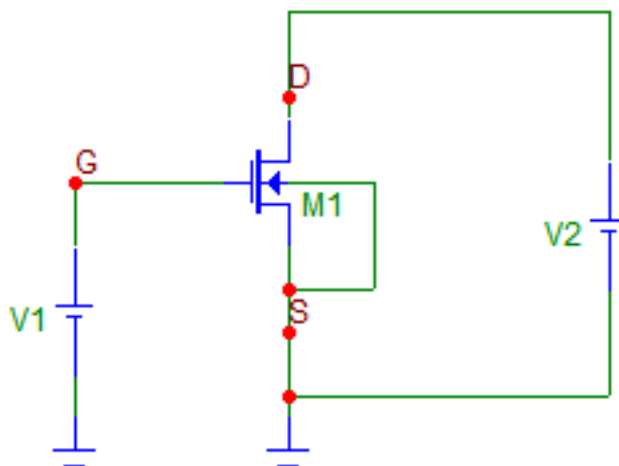
$U_{DS}$  – a Drain-Source feszültség,

$V_T$  – a tranzisztor küszöbfeszültsége, ami szintén függ a technológiától, valamint  $U_{BS}$ -től (a Bulk feszültségtől).

A (3.2) 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.

### 3.5. Az NMOS karakterisztikája

Fájl: nmoskar.cir  
Szimuláció: DC



3.5. ábra. Az NMOS karakterisztikájának felvételéhez használt összeállítás

Az áramkör egy  $V_T = 1,6$  V küszöb feszültségű 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  $U_{DS} > U_{GS} - V_T$ ).

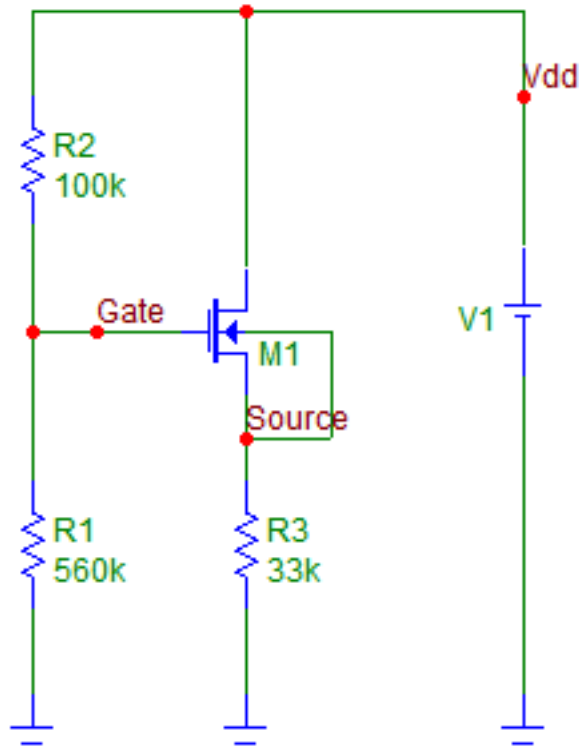
Ezen állandó szakaszon a (3.2) egyenlet alapján határozza meg  $K$  értékét. (A javasolt karakterisztikagörbe a legfelső, ahol  $U_{GS} = 3$  V)

$$K = ? \qquad (V_T = 1,6) \text{ V}$$

### 3.6. Az NMOS munkapontja

Fájl: nmosmunk.cir  
Szimuláció: tranziens

Az előző feladatban vizsgált tranzisztor most a telítési szakaszban üzemel.  
Feladatok:



3.6. ábra. Az NMOS munkapontjának vizsgálata

- Határozza meg a (3.2) egyenlet és 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  $0 \text{ V}$ .

$$U_G = ?$$

$$I_D =$$

- Állítsa be ezt a feszültséget a Gate feszültségosztóján a felső ( $100 \text{ k}\Omega$ -os R jelű) ellenállás változtatásával!

$$R = ?$$

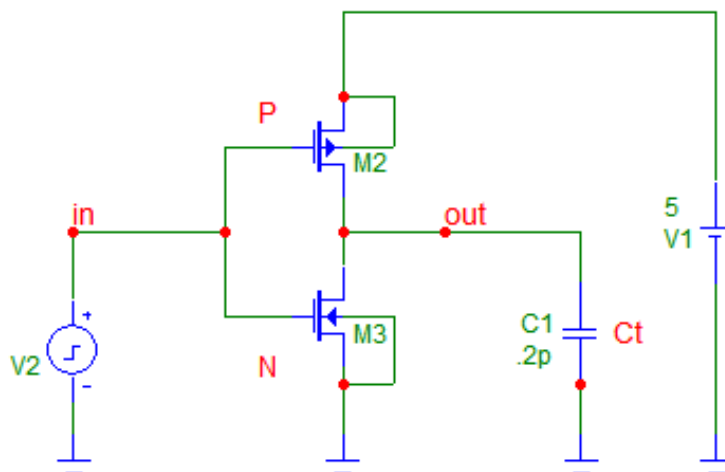
- Állítsa be a kapott ellenállásértéket! Ellenőrizze tranziens analízissel!

### 3.7. CMOS alapok

Fájl: cmosinv.cir

Szimuláció: DC, tranziens

A 3.7 ábrán látható CMOS inverter egy N és egy P csatornás MOS tranzisztorból áll. Az alsó NMOS tranzisztor kinyit, ha  $U_{in} > V_{TN}$  ( $>1,6$  V). A felső PMOS tranzisztor kinyit, ha  $U_{in} < V_{dd} + V_{TP}$  ( $<5$  V- $1,6$  V =  $3,4$  V). Ha a bemeneti feszültség logikai L vagy H (0 vagy 5 V), akkor csak az egyik tranzisztor vezet, tehát nem folyik tápáram az inverterbe. Van egy olyan bemeneti feszültségtáv (1,5 V-3 V), ahol mind a két tranzisztor vezet, ilyenkor tápáram folyik az inverterbe. Az inverter kimenetén található kondenzátor 2 inverternyi terhelést modellez, ami a tranziens késleltetési időket befolyásolja.



3.7. ábra. CMOS inverter

Feladatok:

- Futtassa le a DC analízist! Ekkor megkapja az inverter DC transzfer karakterisztikáját. Határozza meg azt a bemenő feszültséget, aminél a kimenő feszültség a tápfeszültség fele!

$$U_{in} = ?$$

$$(U_{out} = 2,5 \text{ V})$$

- Futtassa le a tranziens analízist! Állapítsa meg az inverter fel- és lefutási idejét (a kimenő feszültség 10%-a és a 90%-a között eltelt időt)

$$t_{LH} = ?$$

$$t_{HL} = ?$$



- Mennyi a fel- és lefutási késleltetés? (A bemenő feszültség 50%-ának elérése után mennyi idővel éri el a kimenő feszültség az 50%-át?)

$$t_{dLH} = ?$$

$$t_{dHL} = ?$$

## 4. fejezet

# 1. mérési gyakorlat - Diódák és tranzisztoros erősítők

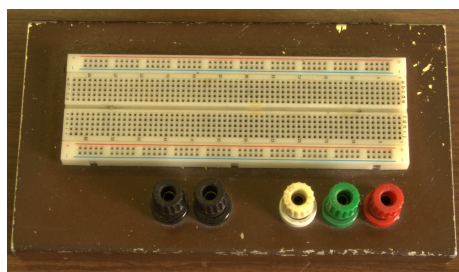
A feladatokat kidolgozta: Molnár Ferenc

### 4.1. A mérőpanel leírása

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 csúszított bekötőhuzalokkal viszonylag bonyolult áramköröket is építhetünk forrasztás nélkül, könnyen bontható, áttekinthető formában.

Az építést és a bontást is türelemmel, gondos munkával végezzük!

Röviden ismertetjük a panel csatlakozó pontjainak elrendezését és azok belső összeköttetéseit. A Super Strip panel dugaszolható felülete a 4.1 és a 4.2 ábrán látható.



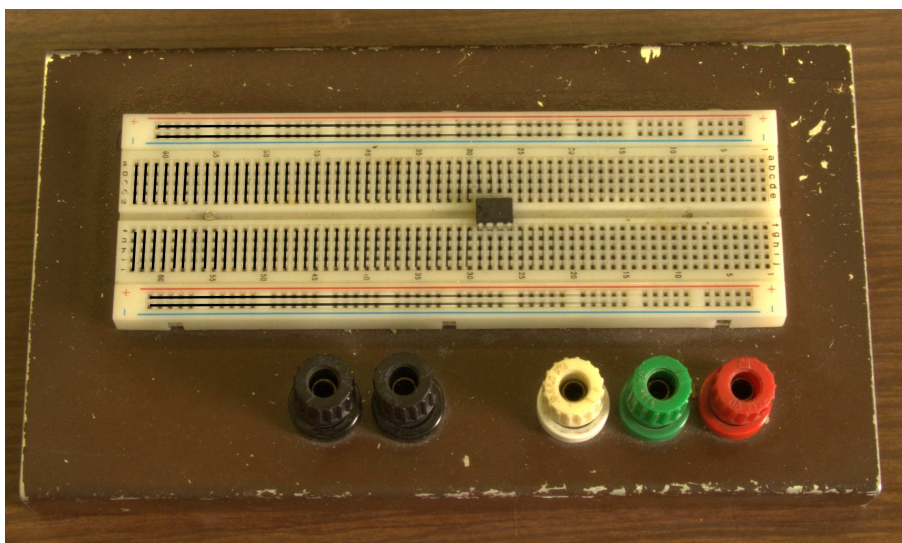
4.1. ábra. Kétsoros panel



4.2. ábra. Egysoros panel

A hosszanti oldalak mentén lévő felső (két) sor illetve alsó (két) sor azonos elrendezésű és összeköttetésű: a bal oldali 25, és a jobb oldali 25 pont össze van kötve. Ezeket a sorokat tápfeszültség ellátásra célszerű használni.

A „belső” mező pontjai a középső részen el vannak választva, a vezetősávok a rövidebb oldallal párhuzamosan 5-5 pontot fognak össze. Ezekből az ötpontos vezetősávokból  $2 \times 64$  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 (ld. 4.3 ábrát).



4.3. ábra. Az összetartozó pontok és az IC behelyezésének módja

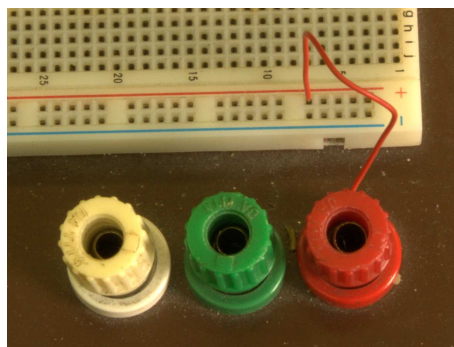
Természetesen gondoskodni kell a műszerek megfelelő csatlakozási lehetőségéről, melyet a panel mellé szerelt banánhüvelyek tesznek lehetővé. Ezeket a csavaroknál megszokott módon nyitó irányba tekerve a bekötő vezeték egyik szára beszorítható a csavar alá. A legtöbb panelen a menetes részen luk található (4.4 ábra), amibe a vezetéket bedugva, majd ráhúzva a csavart biztosabb kötést kapunk. A vezeték másik csupaszolt felét össze kell kötni a panel megfelelő pontjával (4.5 ábra).

## 4.2. Bevezetés

Ezen a mérési gyakorlaton vizsgált erősítő kapcsolásokat a 2. szimulációs gyakorlaton már megismertük. Az ezekkel kapcsolatos ismereteinket érdemes újra átgondolni a mérésre való felkészülés közben. Természetesen az ott kapott számszerű eredmények nem fognak megisméltődni a jelen mérések során, de nagyon jó támpontot adnak arra vonatkozóan, hogy a műszerekkel mért



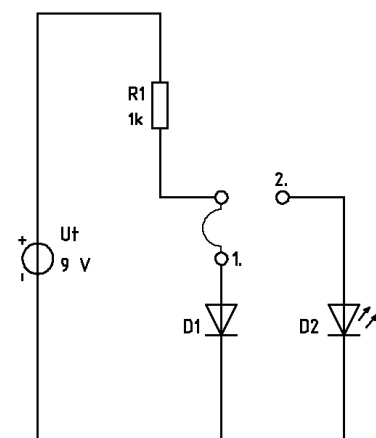
4.4. ábra. A csavar meglazítása



4.5. ábra. Vezeték bekötése

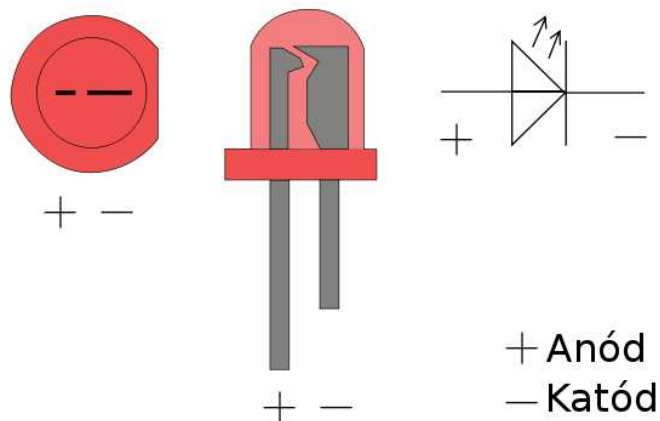
eredmények jók-e, vagy sem. A két módon nyert eredmények eltérései adódhatnak a szimulációs áramkör és a mért áramkör eltérő „környezetéből” is (pl. felső határfrekvencia mérésénél a műszerek, az árnyékolt vezeték kapacitása, stb.). Adódhat eltérés továbbá az aktív eszköz (tranzisztor) paraméterszórásából is. A felkészüléshez, ill. annak ellenőrzéséhez nyújtanak segítséget 53. oldalon található összefoglaló, és az 52. oldalon található kérdések.

### 4.3. Diódák munkapont beállítása



4.6. ábra. Kapcsolási rajz a diódák méréséhez

Állítsa össze és mérje meg egy Si dióda és egy LED munkaponti feszültségét, és lehetőség szerint munkaponti áramát is! A kapcsolást a 4.6 ábra alapján állíthatja össze.



4.7. ábra. LED tokozás

A diódák katódja mindig meg van jelölve. Ezt kell az áramkör negatívabb pontjára kapcsolni. A LED bekötésében a 4.7 ábra nyújt segítséget.

A LED munkapontjának meghatározása után cserélje ki a munkaellenállást 5,1 k $\Omega$  értékűre! Mit tapasztal, és miért?

## 4.4. Földelt emitterű erősítő

A mérésen az  $U_{t1}$  és  $U_{t2}$  tápfeszültséget a 4.9 ábra szerint kell bekötni. Ennek gyakorlati megvalósítását gondolja át! A 4.10 ábrán a mérésekhez használt, – kettős, változtatható értékű, független tápegységeket láthatunk. Valósítsa meg a 4.9 ábrán látható kapcsolást a Super Strip panelen! A tranzisztor kivezetéseit a tok-bekötési ábra alapján tudjuk azonosítani (4.8 ábra).

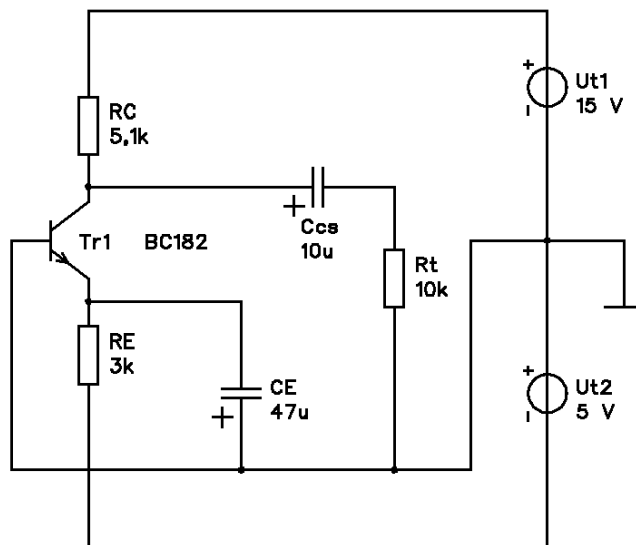


4.8. ábra. TO-92-es tok

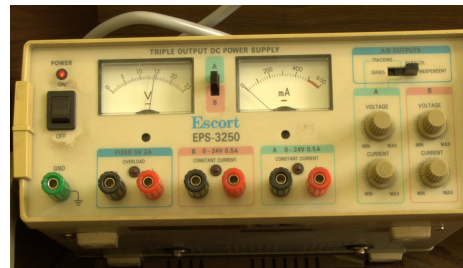
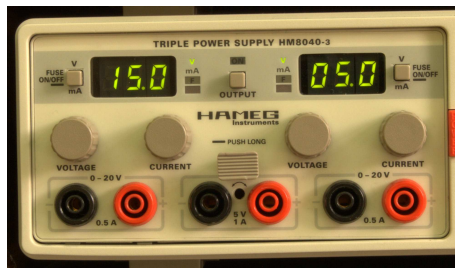
### Mérési feladatok:

#### 4.4.1. DC feszültségtérkép

Mielőtt elkezdené dolgozni, nézze át az 1. szimuláció *BTMP1* kapcsolása alapján számolt értékeket. Ezután vegye fel az áramkör DC feszültség-



4.9. ábra. Kapcsolási rajz a földelt emitterű erősítő méréséhez



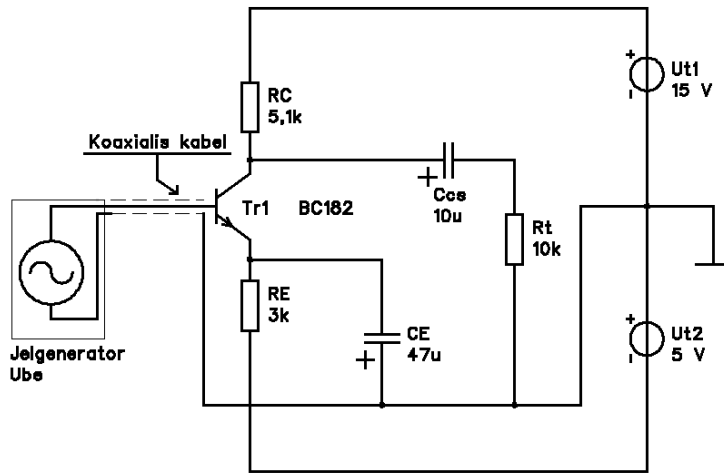
4.10. ábra. Példa a tápegységekre

térképét! A mért adatokat mindig vesse össze a számolt értékekkel! A számított  $I_{Cmp}$  értékhez képest 5-10%-os eltérés megengedett. Miért?

$$\begin{array}{llll}
 U_{t1} = & U_{t2} = & U_{B0} = & U_{E0} = \\
 I_{Cmp} = & \text{(számítással: } U_{RE} \text{ és } R_E \text{ ismeretében)} & & \\
 U_{C0} = & U_{CEmp} = & U_{ki0} = & 
 \end{array}$$

#### 4.4.2. Kimeneti jelalak vizsgálata

Mielőtt ezt a feladatot mérné, alakítsa át minimálisan a kapcsolást a 4.11 ábra alapján! A generátorról a jelvezetés árnyékolt (koaxiális) kábel (BNC-banándugó) segítségével oldható meg. Erre azért van szükség, mert  $u_{be}$  értéke igen kicsiny:  $\sim 10$  mV értékű.



4.11. ábra. A bemeneti jel áramkörre kapcsolása

Vizsgálja oszcilloszkóppal az erősítő kimeneti feszültségének alakját különböző amplitúdójú szinuszos bemenő jeleknél! A mérési frekvencia 4 kHz (vagy 1-2 kHz-cel nagyobb) legyen. A bemeneti jel amplitúdóját úgy válassza meg, hogy tanulmányozhassa

- a lineáris átvitelt (Torzítatlan  $u_{ki}$  jel. Ilyenkor  $u_{be} \sim 10$  mV.)
- a nemlineáris átvitelt (Legyen  $u_{ki}$  erősen torzított, de még nem vágott jel.)

A mért jelalakokról készítsen ábrát!

#### 4.4.3. Belső pontok vizsgálata

Vizsgálja oszcilloszkóppal lineáris tartományban az erősítő belső pontjainak feszültségét! Rajzolja meg DC-, amplitúdó- és fázis-helyesen  $u_{be}$ ,  $u_E$ ,  $u_C$  feszültségeket!

#### 4.4.4. Feszültségerősítés mérése

A mérést a 4.4.2 pontban leírt, lineáris átvitelhez tartozó szinuszos vezérlő jelnél végezze, pl. 4 kHz-en.

**Számítás.**  $|Au| = \frac{U_{ki\text{pp}}}{U_{be\text{pp}}}$ ,  $au^{dB} = 20 \cdot \lg |Au|$ ,  $\varphi_{Au} = ?$

Au fázisszöge  $-180^\circ$ , ha  $u_{ki}$  és  $u_{be}$  ellenfázisúak, vagyis  $u_{ki}$  pozitív csúcserőértékéhez  $u_{be}$  negatív csúcserőértéke tartozik.

A mérést úgy kivitelezhetjük, hogy az oszcilloszkóp egyik csatornáját a kimenetre, másik csatornáját a bemenetre kapcsoljuk. A megfelelő beállítások elvégzése után csupán le kell olvasni a két csúcstól-csúcsig értéket.

#### 4.4.5. Határfrekvenciák mérése

A határfrekvencia mérésénél **mindig** sávközépi frekvencia-tartományból kell indulni, és a bemeneti jel amplitúdóját a frekvenciától függetlenül állandó értéken kell tartani, szükség esetén utánállítani – ez a feltétel a mai eszközöknél rendszerint teljesül, így ezzel általában nem szükséges foglalkozni. A sávközépi frekvenciáról indulva a frekvenciát addig kell növelni ( $f_f$ ) ill. csökkenteni ( $f_a$ ), míg az erősítés -3 dB-lel tér el<sup>1</sup>. Ez a -3 dB-es eltérés egyszerűen és közelítőleg a  $0,7 \cdot Au_{sk}$  érték megkeresésével határozható meg ( $Au_{sk}$  a sávközépi frekvencián mért erősítést jelenti).

A határfrekvenciák értékét oszcilloszkóppal csak a kimeneti feszültséget vizsgálva egyszerűen meghatározható – persze kisebb pontossági igények esetén. A bemeneti jel frekvenciáját változtatva sávközépi kimenő feszültség érték 70%-ához tartozó frekvenciát kell megkeresni, hiszen

$$-3 \text{ dB} = 20 \cdot \lg \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 20 \cdot \lg 0,70$$

tehát

$$\frac{u_{ki}^{f_H}}{u_{ki}^{sk}}$$

ahol  $f_H$  a felső, vagy az alsó határfrekvencia.

### 4.5. Emitterkörben visszacsatolt FE-ű erősítő mérése

Az előző áramkörből vegye ki az emitter-hidegítő kondenzátort, továbbá vegye le a terhelést (üresjárásban a kimenet) és vegye le a csatoló kondenzátort (ld. 4.12 ábra).

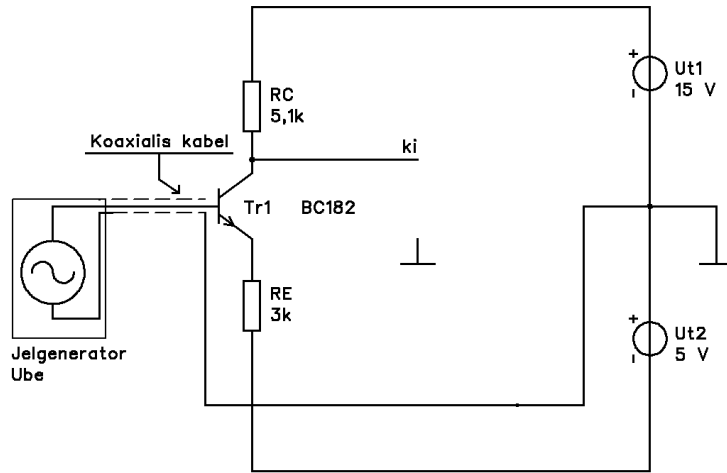
Mérje oszcilloszkóppal lineáris tartományban  $u_{be}$ ,  $u_e$  és  $u_{ki}$  jeleket (pl.  $U_{bep} = 1 \text{ V}$ -nál)!

Számítsa ki az üresjárású feszültségerősítést!

---

<sup>1</sup>Gondoljunk vissza a 2. szimuláció méréseire!





4.12. ábra. Földelt emitteres erősítő emitterkörben visszacsatolva

## 4.6. Földelt kollektorú erősítő mérése

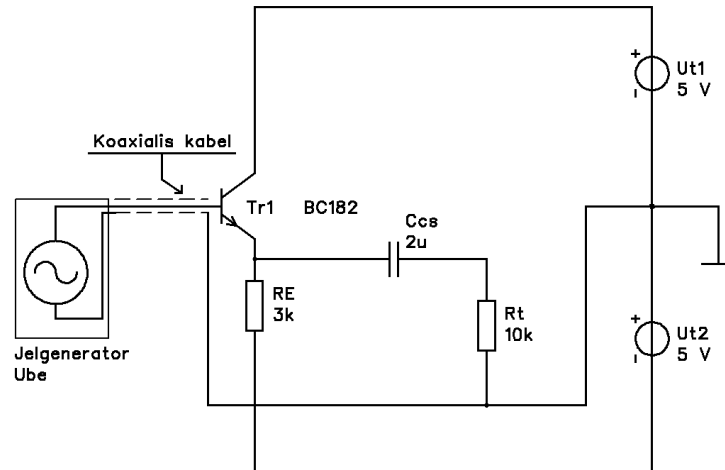
Az áramkört az előző elrendezés teljes lebontása nélkül, annak kis mértékű átalakításával célszerű kialakítani. **Vigyázat:** áramköri átalakítást, vagy pl. tranzisztor cserét csak a tápfeszültség kikapcsolása után végezhetünk. A tápfeszültség kikapcsolását vagy a DC on/off kapcsolóval vagy a panelhez vezető tápvezeték tápegység-oldali csatlakozásának bontásával végezzük!

**Gerjedés.** Itt hívjuk fel a figyelmet arra, hogy a földelt kollektorú erősítő, bár egy fokozatú, gerjedhet. A gerjedést az okozhatja, a sávközépen valós hurokerősítés ( $s \cdot R_e \times R_t$ ) nagy frekvenciákon a kapacitív terhelés miatt negatív bemeneti ellenállás részt hoz létre. Ez az  $R_g$  vagy  $C_t$ , esetleg  $R_t$  módosításával szüntethető meg.

**Tápellátás.** A kettős tápfeszültség beállítás módosul az előzőekhez képest:  $U_{t1} = +5 \text{ V}$ ,  $U_{t2} = -5 \text{ V}$ .

### 4.6.1. FC erősítő munkapontja

Ennél a mérésnél is a FE erősítőnél megismert módszer szerint szakítsuk meg a vezérlő jel útját, és kössük le a tranzisztor bázisát a földre! Mérjük meg az egyenáramú jellemzőket!



4.13. ábra. Földelt kollektoros erősítő kapcsolási rajza

$$\begin{array}{llll}
 U_{t1} = & U_{t2} = & U_{B0} = & U_{E0} = \\
 I_{Cmp} = & \text{(számítással: } U_{RE} \text{ és } R_E \text{ ismeretében)} & & \\
 U_{CEmp} = & & U_{ki0} = & 
 \end{array}$$

#### 4.6.2. Jelalakok, erősítés

Kösse most a tranzisztor bázisát ismét a jelgenerátorhoz! A mérést oszcilloszkóppal 4 kHz-en, pl. 1 V csúcsfeszültségű szinuszos vezérlőjelnél végezze!

Figyelje meg, miért nevezik az áramkört *emitter-követőnek* is. Mekkora az  $U_{bep}$  és  $U_{Ep}$  csúcserőértékek különbsége? Mérhető-e ez az érték? Ennél a mérésnél az oszcilloszkóp mindkét csatornájának erősítóbemenete AC csatolású legyen, és a nullszintek egy vonalba kerüljenek.

Mérje a bemeneti és az emitter feszültséget az oszcilloszkóp erősítőinek DC csatolásával is! Mekkora feszültségkülönbség van így a két jel között?

Számítsa ki a feszültségerősítést!

#### 4.6.3. $u_{ki}-u_{be}$ transzfer karakterisztika mérése

Az oszcilloszkóp B (CH2 v. Y) erősítőjére tegyük a bemeneti jelet, ez legyen a függőleges eltérítést létrehozó jel. Az oszcilloszkóp vízszintes eltérítést adó erősítőjéről kapcsoljuk le a belső sweep generátor jelét: ezt pl. a TIME/DIV fokozat-kapcsoló valamelyik szélső állásában megtaláljuk (természetesen itt nem lehetséges a műszer-típusonként esetleg eltérő elhelye-

zések, jelöléseket összefoglalni). Régebbi típusokon ez az állás *EXT.* vagy *EXT HOR.* jelölésű.

Kapcsoljuk a kimenő jelet az *A* (*CH1* vagy *X* vagy *HOR.IN.*) feliratú erősítőre (ez lesz a vízszintes eltérítést létrehozó jel).

A mérés első lépéseként felváltva levéve az  $u_{ki}$ , majd az  $u_{be}$  jelet, állítsuk be az elektronsugár helyzetét a képernyőn középre. Ezután az oszcilloszkóp-erősítők érzékenységének beállításával (*VOLTS/DIV kapcsoló*) és a bemeneti jel p-p értékének megváltoztatásával értékelhető karakterisztikát kapunk, amelyről lineáris tartományban az erősítés, erősen túlvezérelt tartományban a kimeneti maximális feszültség olvasható le.

#### 4.6.4. Au felső határfrekvenciája

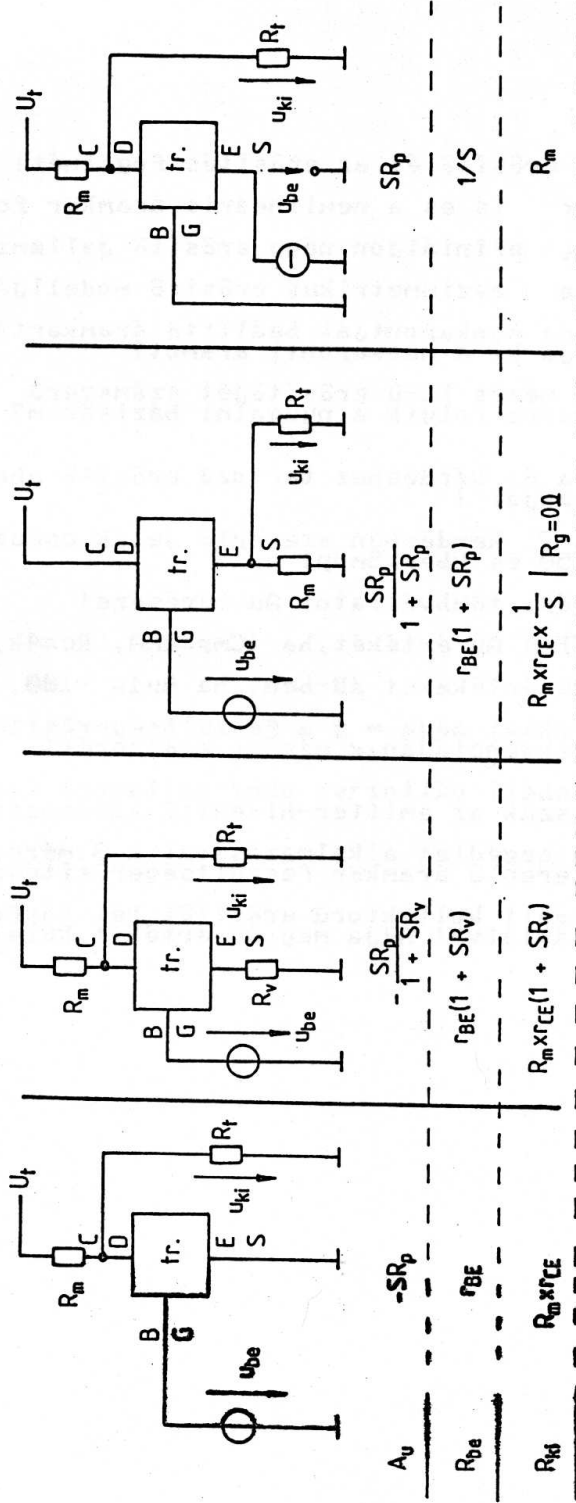
A FC-ű erősítő felső határfrekvenciája nagyobb, mint a FE-ű erősítőé. A mérést kis jeleknél – néhányszor 100 mV-nál, max. 1 V-nál kell elvégezni, amelynél még nincs a nagy jelű átvitelre jellemző, jelváltozási sebességkorlátból származó jelalak torzulás. A generátor legnagyobb frekvenciája is korlátozhatja a határfrekvencia mérését. Ez esetben ezen a legnagyobb frekvencián mért  $u_{ki}$  vagy  $Au$  (és fázis) értéket kell feljegyezni.

### Ellenőrző kérdések

1. Magyarázza az erősítő és az erősítés fogalmát!
2. Adja meg a lineáris és a nemlineáris áramkör fogalmát!
3. Matematikailag definiáljon négy erősítő jellemzőt!
4. Rajzolja meg egy aszimmetrikus erősítő modelljét!
5. Rajzoljon dióda munkapontját beállító áramkört! Hogyan számítja ki a munkaponti áramot?
6. Rajzolja le a mérés FE-ű erősítőjét számszerű adatok nélkül! Merre folyik a nyugalmi bázisáram?
7. Rajzolja meg az előző kérdéshez tartozó erősítő  $u_{be}$ ,  $u_E$ ,  $u_C$  és  $u_{ki}$  jelalakjait!
8. Számítsa ki az előző kérdésben szereplő jelek csúcserősségét, ha  $Au = -150$  és  $U_{bep} = 5 \text{ mV}_p$ !
9. Rajzoljon mérési tömbvázlatot  $Au$  mérésére!
10. Számítsa ki egy FE-ű erősítő  $Au$  értékét, ha  $I_{Cmp} = 2 \text{ mA}$ ,  $R_C = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_t = 4 \text{ k}\Omega$ !
11. Számítsa ki  $Au$  értékét dB-ben, ha  $Au_1 = -100$ ,  $Au_2 = 3$ !
12. Magyarozó ábrákkal adja meg a feszültségerősítés felső határfrekvenciájának mérési módszerét!
13. Milyen működésbeli változást okoz váltakozó áramúlag, ha levesszük az emitter-hidegítő kondenzátort?
14. Számítsa ki a segédlet alkalmazásával a 4.12 ábrán szereplő áramkör feszültségerősítését!
15. Rajzoljon földelt kollektorú erősítőt két tápfeszültségről táplálva! Adja meg  $Au$  értékét közelítőleg!

# TRANZISZTOROS ERŐSÍTŐ ALAPKAPCSOLÁSOK

(Az aktív eszköztől független tárgyalásmóddhoz)



Az erősítő jellemzők számítása az aktív (erősítő) eszköztől függetlenül egyszerű összfüggésekkel megadható. Természetesen az aktív eszköz paramétereinek értékét a táblázat nélkül kell kiszámítanunk:

pl. bipoláris tranzisztor meredeksége

$S = 1/re = I_{emp}/U_{term} \approx 40 \cdot I_{emp}$ , mA/V, ha  $I_{emp}$  mA.

## 5. fejezet

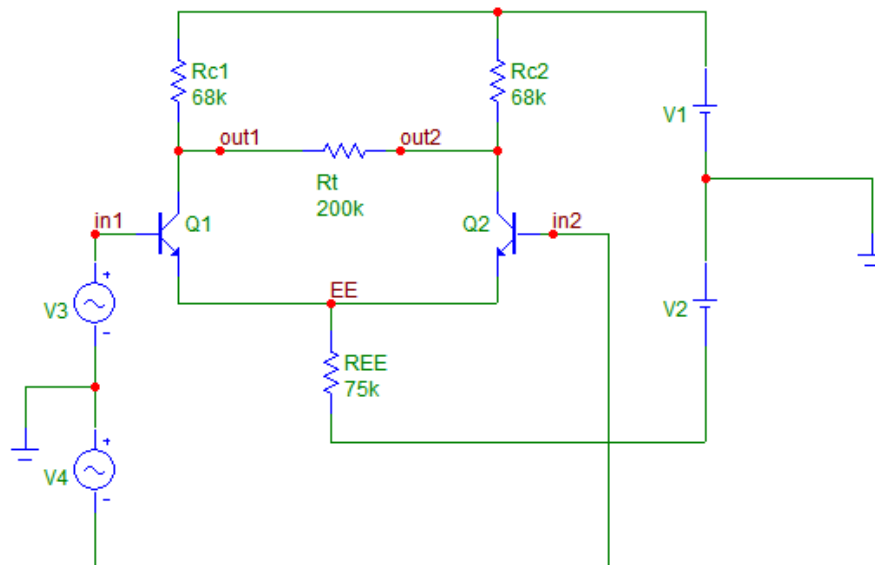
### 3. szimuláció

A feladatokat összeállította: Molnár Ferenc

#### 5.1. Differencia-erősítő szimmetrikus vezérléssel

Fájl: btdiffa1.cir

Szimuláció: transient, DC



5.1. ábra. Szimmetrikus vezérlés

Feladatok:

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

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

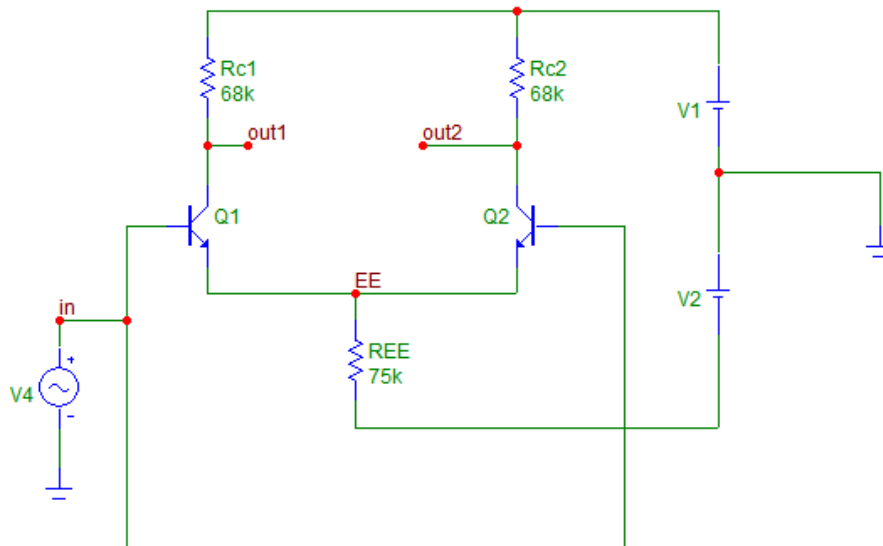
$$Au_s = -40 \cdot I_{Cmp} \cdot R_C \times \left(\frac{R_E}{2}\right),$$

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

## 5.2. Differencia-erősítő aszimmetrikus vezérléssel

Fájl: btdiffa2.cir

Szimuláció: transient



5.2. ábra. Aszimmetrikus vezérlés

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

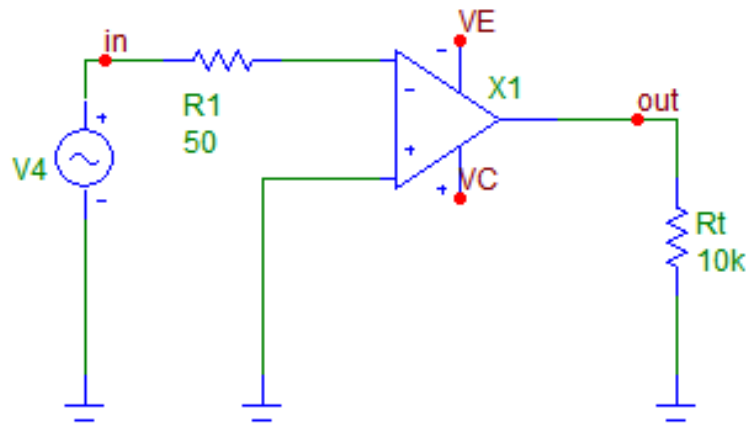
ki az előző feltételnél  $u_{k_{i_s}} = u_{c_2} - u_{c_1}$  értékét!

A jelalak vizsgálatot két  $R_{c_2}$  értéknél végzi a szimuláció:  $R_{c_2} = 75 \text{ k}\Omega$ -nál paraméter illesztetlenség,  $R_{c_2} = 68 \text{ k}\Omega$ -nál paraméter illesztettség van.

### 5.3. Műveleti erősítő paramétereinek vizsgálata

Fájl: opamp1.cir

Szimuláció: DC



5.3. ábra. Teszt összeállítás a paraméterek vizsgálatához

Feladatok: vizsgálja meg a bemeneti offset feszültséget, a nyílt-hurkú erősítést, stb. Ezeket a műveleti erősítő paramétereinek között találjuk meg számszerűen, melyet a műveleti erősítőre való kétszeri kattintással érhetünk el.

Tanulmányozzuk grafikusán is ezeket a paramétereket: DC Analysis, ill. Bode-diagram. Az utóbbit sajnos a hagyományos módszerrel (AC Analysis) nem tudjuk megjeleníteni, ezért ennek ábrázolását a következő módon érhetjük el: az erősítő paraméter ablakában (kétszeri kattintás a műveleti erősítő ábráján) nyomjuk meg a Plot gombot. Ennek hatására – kis méretben ugyan, de – megjelenik a nyílt-hurkú erősítés fázismenete. Az ablak méreteit állítjuk nagyobbra, és így most már a megszokott módon konkrét méréseket is tudunk végezni.

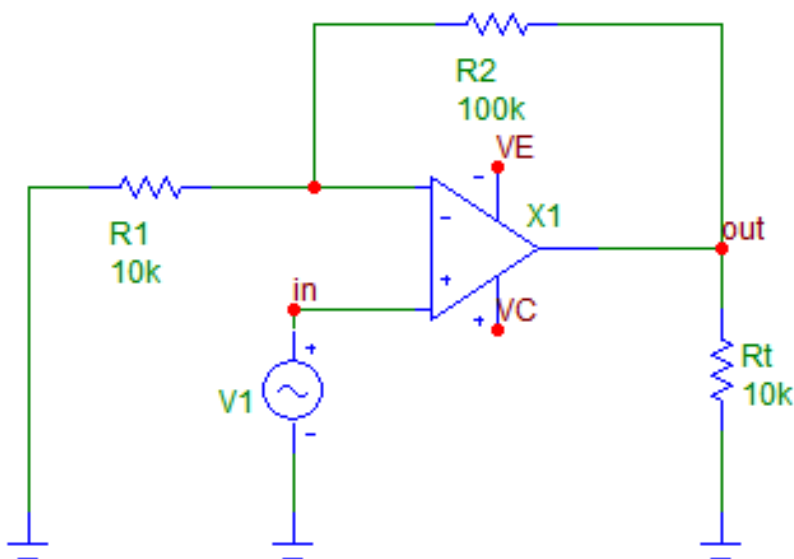
Az ábrákról készítsen rajzot a jegyzőkönyvbe is!



## 5.4. Neminvertáló DC erősítő vizsgálata

Fájl: ninvdca.cir

Szimuláció: transient, DC, AC



5.4. ábra. Neminvertáló alapkapsolás

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

$$A_{u_v} = 1 + \left( \frac{R_2}{R_1} \right), R_{be_v} \approx 2 \cdot R_{be_k},$$

$$R_{kiv} = \frac{R_{ki}}{(1+H)}, \text{ a hurokerősítés } H = \frac{A_0}{A_{u_v}}$$

$A_{u_v}(j\omega)$  felső határfrekvenciája  $f_{p1} \cdot (1 + H)$ , vagy számítható az egységerősítés határfrekvencia és  $A_{u_v}$  hányadosaként (egységerősítés határfrekvencia = tranzitfrekvencia).

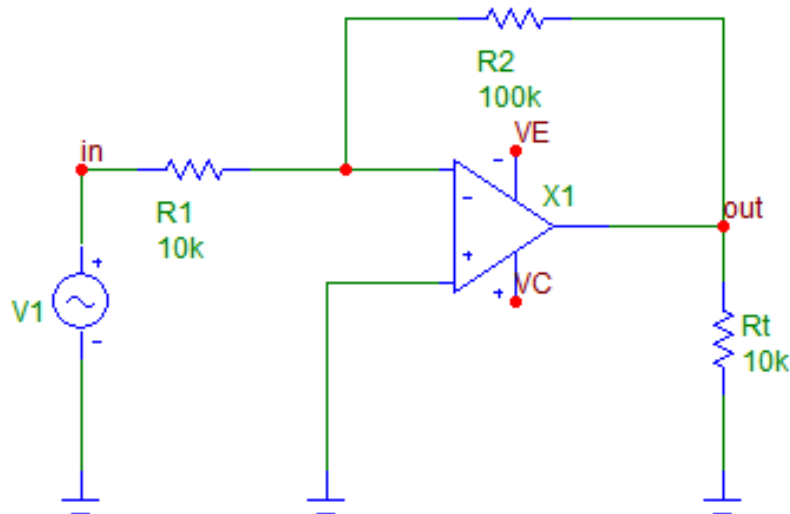
$f_{p1}$  a műveleti erősítő első pólus-frekvenciája, amely az erősítő paramétereinél a *Plot* segítségével olvasható le ( $A_0 - 3$  dB).

Készítsen ábrát a jegyzőkönyvbe a mérések alapján (tr., AC)!

## 5.5. Invertáló DC erősítő vizsgálata

Fájl: invdca.cir

Szimuláció: transient, AC, DC



5.5. ábra. Invertáló alapkapcsolás

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

$$Au_v = -\frac{R_2}{R_1}, R_{bev} = R_1 + \left[\frac{R_2}{(1-A_0)}\right] \times R_{beop}$$

$$R_{kiv} = \frac{R_{ki}}{(1+H)}, \text{ a hurokerősítés } H = \frac{A_0}{Au_v}$$

$Au_v(j\omega)$  felső határfrekvenciája  $f_{p1} \cdot (1 + H)$ , vagy számítható az egységerősítés határfrekvencia és  $Au_v$  hányadosaként (egységerősítés határfrekvencia = tranzitfrekvencia).

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

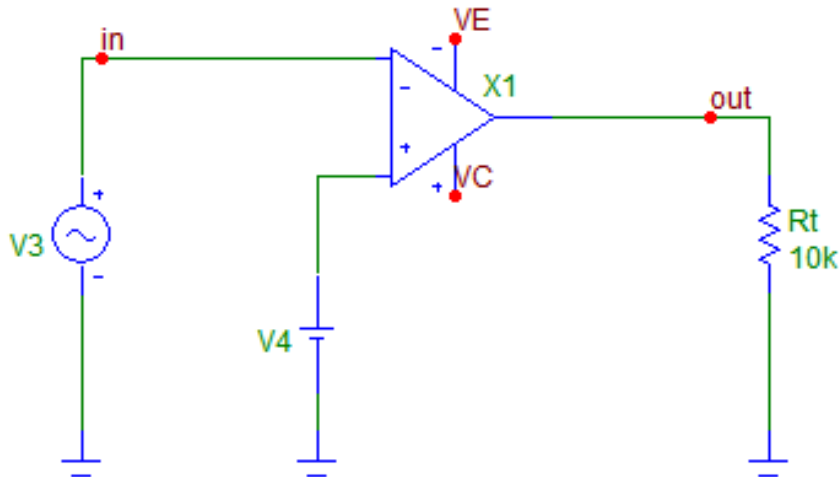
Az AC és a traziens szimulációk alapján rajzoljon ábrákat a jegyzőkönyvbe!

## 5.6. Referenciával eltolt billenési szintű komparátor vizsgálata

Fájl: refcomp.cir

Szimuláció: tranziens, DC

Készítsen ábrákat a jegyzőkönyvbe a szimulációk alapján!



5.6. ábra. Referenciával eltolt billenési szintű komparátor

## 5.7. Invertáló hiszterézises komparátor

Fájl: refcomp2.cir

Szimuláció: tranziens

Az előző mérésben megismert fix feszültségű komparátor működése nem ideális körülmények között más. Ez az áttekintő mérés ezt mutatja be.

A bemeneten két generátort helyeztünk el. A lejjebb elhelyezkedő szinuszos generátor feladata, hogy zajt vigyen a rendszerbe, amivel a valós működés közben megjelenő zajt 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 megnezzük a következő fájl segítségével.

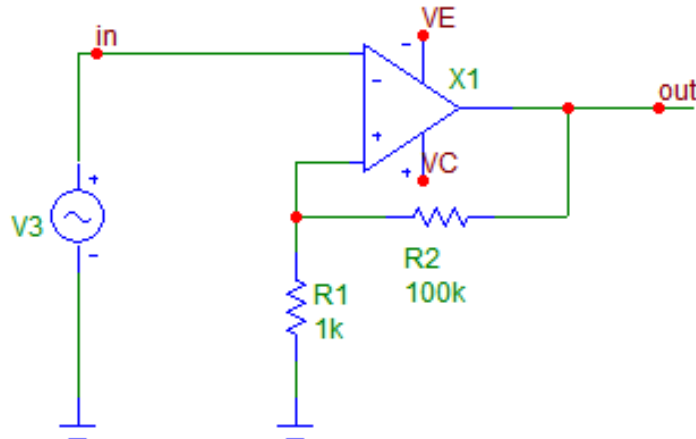
Fájl: 0hiscomp.cir

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,



5.7. ábra. Hiszterézises komparátor

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 háttárral vizsgált, de egy koordinátarendszerben ábrázolt DC szimuláció eredményeit!

## 5.8. Invertáló AC erősítő vizsgálata

Fájl: invaca.cir

Szimuláció: tranziens, AC

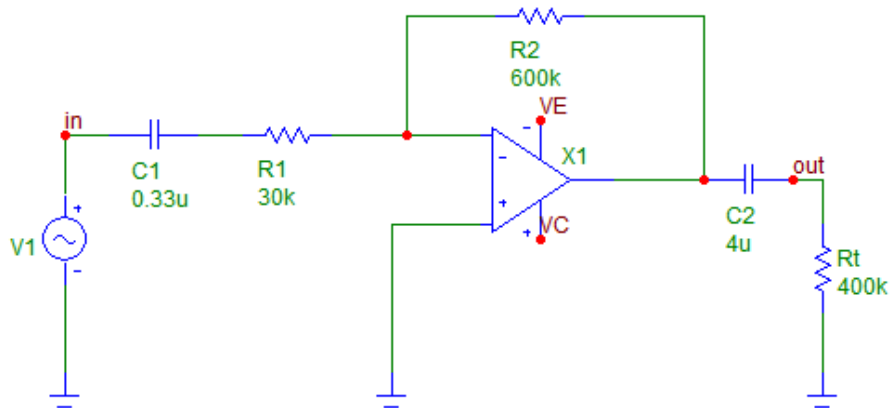
Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

Sávközépen az erősítés értéke:  $Au_v = -\frac{R_2}{R_1}$ ;

$Au_v(j\omega)$  felső határfrekvenciája  $f_{p1} \cdot (1 + H)$ , vagy számítható az egységerősítés határfrekvencia és  $Au_v$  hányadosaként (egységerősítés határfrekvencia = tranzitfrekvencia).

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

$Au_v(j\omega)$  alsó határfrekvenciája:



5.8. ábra. Invertáló AC csatolású erősítő

$$f_{c1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot (R_{bev} + R_g)}$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_2 \cdot (R_{kiv} + R_t)}$$

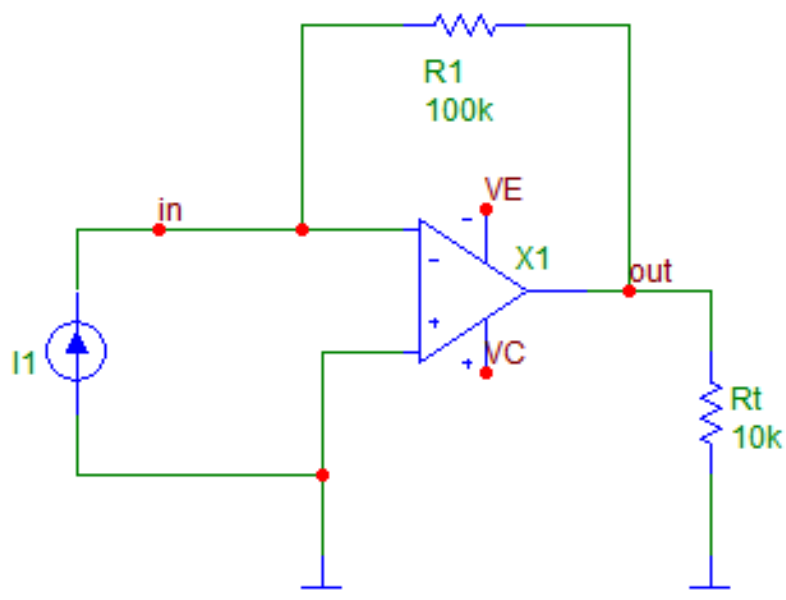
frekvenciák közül a nagyobb értékkel lesz egyenlő, ha a két frekvencia aránya min. 10-szeres.

Készítsen ábrát az AC szimuláció alapján!

## 5.9. Áram-feszültség átalakító erősítő bemeneti impedanciájának vizsgálata

Fájl: iu-amp.cir

Szimuláció: AC



5.9. ábra. Vizsgálati áramkör

A bemeneti impedancia frekvencia függő a nyílthurkú erősítés frekvenciafüggése, valamint a műveleti erősítő bemeneti impedanciájának kapacitív összetevője miatt. Ez a szimuláció  $C_{be_{opamp}}$  komponenst nem veszi figyelembe.

$Z_{bev} = \frac{Z_2}{1-A_0(j\omega)} \times Z_{be_{opamp}}$ ,  $f \ll f_{p1}$  frekvenciákon a bemeneti ellenállás számolható:

$$R_{be} = \frac{R_2}{1-A_0} \times R_{be_{opamp}},$$

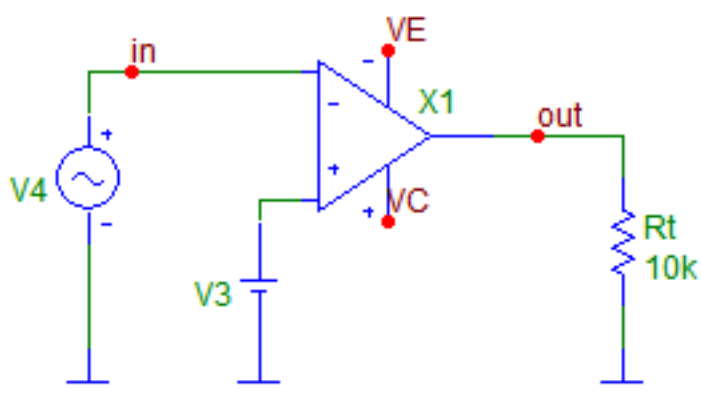
$$R_{bev} \approx \frac{R_2}{-A_0},$$

ahol  $A_0$  értékét negatív előjellel kell helyettesíteni.

## 5.10. Nullkomparátor vizsgálata offset-kompenzálás mellett

Fájl: 0comp2.cir

Szimuláció: tranziens, DC



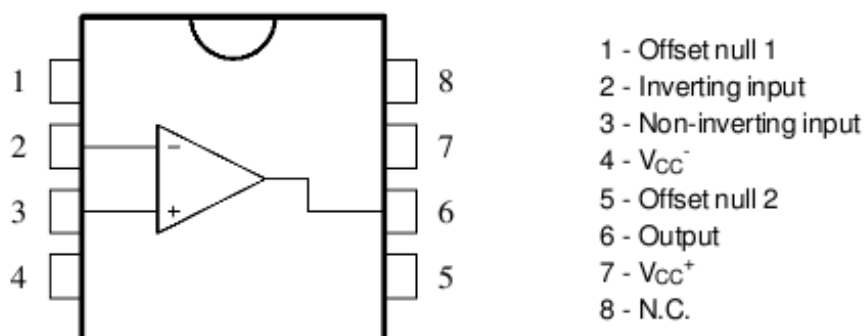
5.10. ábra. Nullkomparátor

Válassza ki az  $U_{be} = 0$  V-os billenéshez szükséges offset-kompenzáló feszültség értékét!

## 6. fejezet

### 2. mérési gyakorlat - Műveleti erősítők alkalmazása

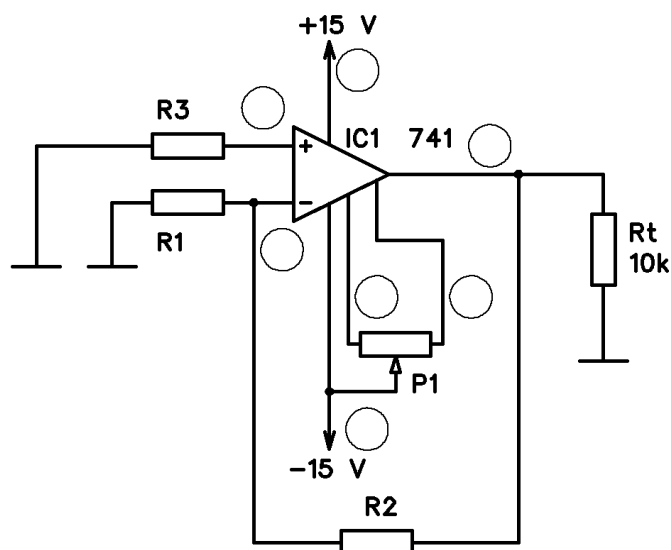
#### Házi feladat



6.1. ábra. A  $\mu A741$ -es áramkör láb kiosztása felülnézetben

A 6.1 ábrán nézze meg az IC lábszámozását, és írja be azokat a 6.2 ábrán látható kapcsolási rajzba, – amely az offset kompenzálás mérésére alkalmas – az üresen hagyott körökbe. Az IC-tok a beszerzési lehetőségektől függően esetenként eltérő lehet: van 8 illetve 14 lábú kivitel. A  $\mu A741C$  típus egyszerű gyakorló mérések elvégzésére igen alkalmas. Tanulmányozza otthon a felkészülés során az alkatrész katalógus adatait – ennek hiányában a 3. szimulációs mérés modelljeit – (pl.: tápfeszültség határadat, offset feszültség, offset áram, bias áram, nyílt hurkú feszültségerősítés, tápáram, be- ill. kimeneti ellenállás). A felkészülést tudja ellenőrizni a 70. oldalon található kérdések segítségével.





6.2. ábra. Offset kompenzálás mérésére alkalmas kapcsolás

**Szerelés.** Az integrált áramkört különös gondossággal helyezze a dugaszolható panelbe, ne görbüljenek el a kivezetések. Új IC-nél kérdezze meg a mérésvezetőt, hogyan lehet a két sor kivezetés-távolságát „beállítani”. Az IC tok kiemelését a tok alá csúsztatott csipesszel vagy csavarhúzóval, óvatosan emelgetve végezze. Erre a lábak együtt mozgatása miatt van szükség, nehogy azok elforduljanak.

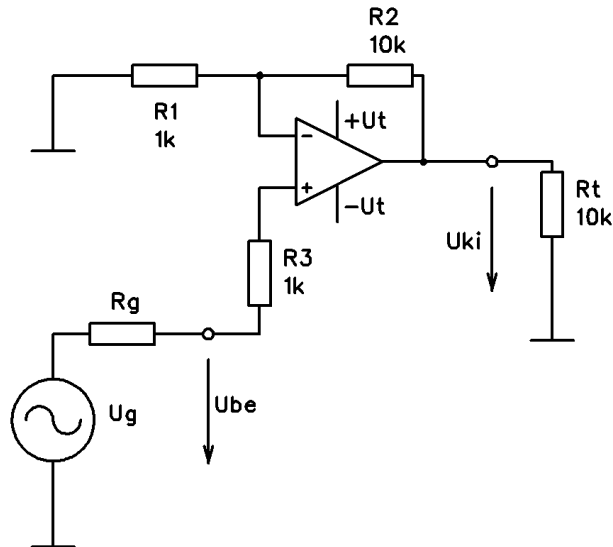
## 6.1. Neminvertáló erősítő mérése

Állítsa össze a 6.3 ábrán látható áramkört. Az  $R_3$  jelű, 1 k $\Omega$ -os ellenállást elhagyhatja <sup>1</sup>, helyette vezetékot rajzoljon a jegyzőkönyvbe. Az offset-kompenzáló potenciométert nem rajzoltuk meg, ugyanis a visszacsatolás viszonylag nagy mértéke, és a nagy bemeneti jelek miatt nem feltétlenül szükséges. Gondoljuk ezt át!

### 6.1.1. Jelalakok mérése

Mérje meg  $u_{be}$ ,  $u_{ki}$ ,  $u_{visszacsatolt}$  jelalakokat! A mérési frekvenciát célszerűen válassza meg (pl. 1 kHz)! A kimenő feszültség néhányszor 1 V amplitúdójú legyen!

<sup>1</sup> $R_3$  feladata az offset- és drift-minimalizálása, csak bipoláris tranzisztoros bemenetű műveleti erősítőknél van szerepe, FET bemenetűeknél nem alkalmazzuk.



6.3. ábra. Nem invertáló alapkapsolás

Rajzolja meg a mért jelalakokat! Számítsa ki a feszültségerősítés értékét! Adja meg az erősítés abszolút értékét és fázisát! Ismételje meg a mérést túlvezérelt erősítőnél!

### 6.1.2. Felső határfrekvencia

Mérje meg a feszültségerősítés felső határfrekvenciáját! A mérést a 4.4.5 pontban (48. old.) ismertetett módon végezze. Ügyeljen arra, hogy a műveleti erősítő jelváltozási sebességéből adódó jeltorzulás vagy jelszintcsökkenés a kimeneten ne lépjen fel. A kimenő jel javasolt értéke  $1 V_p$ . Ellenőrizze a mért határfrekvencia értéket az  $A_0(f)$  karakterisztika alapján!

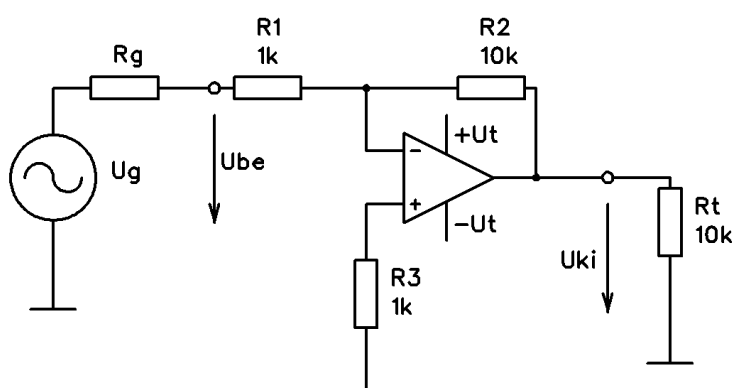
Mekkora az erősítő alsó határfrekvenciája? (Gondolja meg, erősít-e egyenfeszültséget is az áramkör.)

### 6.1.3. Transzfer karakterisztika

Mérje a feszültségerősítés transzfer karakterisztikáját! A mérést a 4.6.3 pontjában ismertetett módon (50. oldal) végezze el.  $U_{bep} > 1,5 V$ ,  $f \sim 4 \text{ kHz}$  javasolt.

## 6.2. Invertáló erősítő mérése

Az előző feladatban mért neminvertáló erősítőt egyszerűen átalakíthatjuk invertáló erősítővé: a generátort helyezük át az invertáló bemenettel soros  $R_1$  ellenállás elé és a műveleti erősítő neminvertáló bemenetét (vagy, ha volt  $R_3$ , annak talppontját) kössük 0 V-ra. Az erősítő a 6.4 ábrán látható.



6.4. ábra. Invertáló alapkapcsolás

### 6.2.1. Jelalakok

Mérje  $u_{be}$ ,  $u_{ki}$  jelalakokat! A mérést a 6.1.1 pontban leírtak szerint végezze (oszilloszkóppal jelalak vizsgálat, vezérlő-jel szinuszos,  $u_{be}$  DC komponense 0 V,  $u_{kip}$  néhányszor 1 V).

Rajzolja le a jelalakokat amplitúdó- és fázishelyesen! Számítsa ki a mért értékekből a feszültségerősítés abszolút értékét, adja meg a fázisszöveget!

### 6.2.2. Vezérlés egyenszinttel eltolva

Mérje a kimeneti jelet egyenszinttel eltolt szinuszos vezérlésnél! A mérést az előző pontban leírtak szerint végezze el, de a generátoron az OFFSET potenciométerrel állítson be +0,5 V DC komponensű, 0,5 V<sub>p</sub> csúcserősségű szinuszos jelet.

Rajzolja le  $u_{be}$  és  $u_{ki}$  jeleket DC-, amplitúdó- és fázishelyesen!

### 6.2.3. Jelváltozási sebesség

Mérje az erősítő jelváltozási sebességét! Adjon az erősítő bemenetére 0 V szimmetrikus négyszögjelet ( $U_{bepp} = 1 V_{pp}$ ,  $f = 1 \dots 10$  kHz legyen)!

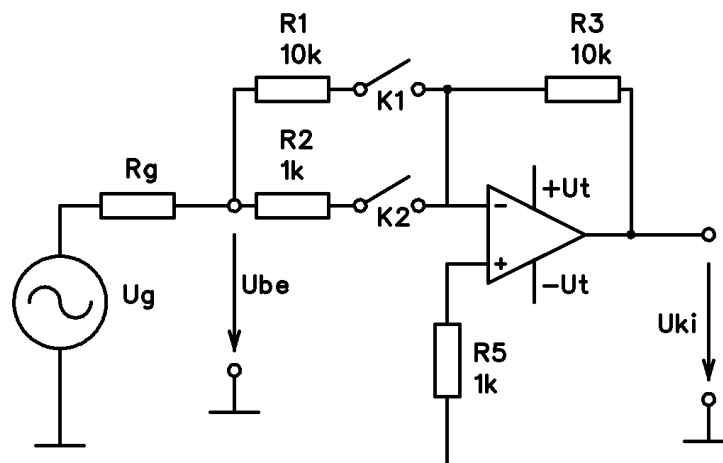
Mérje oszcilloszkóppal a kimeneti feszültség nagy jelszintű feszültségváltozását és az ahhoz tartozó időt! Az oszcilloszkóp *TIME/DIV* fokozatkapcsolót 10...100  $\mu s$  állás valamelyikébe célszerű kapcsolni. ( $SR \sim 0,5 \frac{V}{\mu s}$ ).

Számítsa ki a mért értékekből a jelváltozási sebességet (a *Slew Rate* értékét):

$$SR = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta t} =$$

### 6.3. Összegző erősítő

Építsen és mérjen programozható erősítésű összegző áramkört! Az áram-



6.5. ábra. Programozható erősítésű összegző áramkör

köri lehetőségek közül az egyik a 6.5 ábrán látható. A kapcsolók a gyakorlatban valamilyen program szerint digitálisan vezérelhetők. A mérésen rövid bekötő vezetékek bontásával, zárásával valósítjuk meg a kapcsolók feladatát.

A megépítés után mérje a programozható erősítő feszültségerősítés értékeit  $K_1$  és  $K_2$  kapcsolók lehetséges beállításainál. A generátor jele választott hullámformájú analóg jel legyen.

Jegyezze fel a beállított kapcsoló-állásokhoz tartozó kimenő feszültségek értékét, számítsa ki  $A_u$  értékeket!

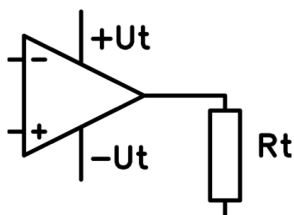
## 6.4. Null-komparátor

Műveleti erősítő nyitott hurokban egyszerű komparátorként működik. Ilyen alkalmazásban  $A_0 \gg 1$  értéke miatt a kimenő feszültség akkor bil-  
len át  $U_{kimax}$  egyik értékéről a másikra, ha a műveleti erősítő két bemenete  
között 0 V feszültségkülönbség van. A null-komparátor is lehet invertáló, vagy  
neminvertáló.

Pontos 0 V-os komparáláshoz offset-kompenzálás szükséges. A mérésen  
offset-kompenzálás nélkül vizsgáljuk a működést.

### 6.4.1. Invertáló null-komparátor

Építsen invertáló null-komparátort! Ehhez egészítse ki a 6.6 ábrán a kap-  
csolási rajzot!



6.6. ábra. Invertáló null-komparátor kialakítása

### 6.4.2. Jelalakok

Mérje meg szinuszos jellel vezérelve a be- és kimeneti jeleket oszcilloszkóp-  
pal!

### 6.4.3. Transzfer karakterisztika

Mérje oszcilloszkóppal az  $u_{ki} - u_{be}$  transzferkarakterisztikát!

### Ellenőrző kérdések

1. Magyarázza a műveleti erősítő fogalmát!
2. Rajzolja meg a műveleti erősítő helyettesítő képét!
3. Adja meg nagyságrendi értékekkel  $A_0$ ,  $R_{be}$ ,  $R_{ki}$  jellemzőket:
  - (a) bipoláris tranzisztoros
  - (b) FET-esbemenetű erősítőre!
4. Definiálja a bemenetre vonatkoztatott offset feszültség és a nyílt-hurkú erősítés fogalmát!
5. Rajzoljon neminvertáló erősítőt! Mekkora a műveleti erősítő két bemenete közötti feszültség, ha  $U_{kip} = 10\text{ V}$ , és a műveleti erősítő
  - (a) ideális
  - (b)  $\mu A741$  típus?
6. Vezesse le  $AU_v$  összefüggését neminvertáló erősítőre!
7. Rajzoljon invertáló erősítőt! Rajzolja meg az  $u_{be}$ ,  $u_{ki}$ ,  $u_{inv.muv.er.}$  jeleket, ha  $U_{bep} = 1\text{ V}$ ,  $Au = -10$ !
8. Magyarázza a virtuális föld fogalmát!
9. Rajzolja meg invertáló DC erősítő  $U_{ki} - U_{be}$  transzfer karakterisztikáját! ( $Au = -10$ ,  $U_{t1} = +10\text{ V}$ ,  $U_{t2} = -10\text{ V}$ )
10. Rajzoljon összegző erősítőt  $Au_1 = -1$ ,  $Au_2 = -10$  értékre!
11. Rajzolja meg az előző kérdésben vázolt összegző erősítő jelalakjait, ha  $U_{be1} = 1\text{ V}_p$ ,  $U_{be2} = 0,3\text{ V}_p$  szinuszos feszültségek!
12. Rajzoljon követő erősítőt! Hol és miért alkalmazzuk?
13. Rajzoljon tömb-vázlatot erősítő bemeneti ellenállásának mérésére!
14. Értelmezze és matematikailag definiálja a jelváltozási sebességet! Adja meg katalógusból a  $\mu A741$ -es típusra!