

MicroCap 8

Molnár Ferenc – Szabó Tamás – Mihalik Gáspár

2006. december 18.

Tartalomjegyzék

1. A mérés összeállítása	4
1.1. Bevezetés	4
1.2. Első lépések	4
1.3. Áramkörök rajzolása	5
1.3.1. Egyszerűbb elemek	5
1.3.2. Jelgenerátor	7
1.3.3. Föld	8
1.3.4. Huzalozás	8
2. Szimuláció	9
2.1. Transient analysis	9
2.1.1. Vizsgálati paraméterek beállítása	9
2.1.2. Vizsgálandó mennyiségek beállítása	11
2.1.3. Utolsó simítások	12
2.2. Kiértékelés	12
2.3. DC analízis	15
2.3.1. Paraméterek beállítása	16
2.4. AC analízis	16
2.4.1. Paraméterek beállítása	17
2.5. Stepping	18
3. Feladatok	19
3.1. 1. szimuláció	19
3.1.1. Fél-hullámú egyenirányító	19
3.1.2. Soros diódás csúcs-egyenirányító	20
3.1.3. Graetz-kapcsolású csúcsegyenirányító	21
3.1.4. DC feszültség-térkép számítása	22
3.1.5. Tranzisztoros DC áramgenerátor	23
3.1.6. JFET karakterisztika	25
3.1.7. JFET munkapont-beállítás	26
3.1.8. FET-es DC áramgenerátor	27

3.1.9.	Diódás vágó-áramkör	28
3.1.10.	Zener diódás stabilizátor	29
3.1.11.	Zener diódás határoló	30
3.2.	2. szimuláció – I. rész	31
3.2.1.	Az erősítés szemléltetése	31
3.2.2.	Földelt emitteres erősítőkapcsolás	32
3.2.3.	Földelt kollektoros erősítőkapcsolás	33
3.2.4.	Földelt source-ú erősítőkapcsolás	34
3.3.	2. szimuláció – II. rész	35
3.3.1.	Az NMOS karakterisztikája	36
3.3.2.	Az NMOS munkapontja	37
3.3.3.	CMOS alapok	38
3.4.	3. szimuláció	40
3.4.1.	Differencia-erősítő szimmetrikus vezérléssel	40
3.4.2.	Differencia-erősítő aszimmetrikus vezérléssel	41
3.4.3.	Műveleti erősítő paramétereinek vizsgálata	41
3.4.4.	Neminvertáló DC erősítő vizsgálata	43
3.4.5.	Invertáló DC erősítő vizsgálata	43
3.4.6.	Referenciával eltolt billenési szintű komparátor vizsgálata	44
3.4.7.	Invertáló hiszterézises komparátor	45
3.4.8.	Invertáló AC erősítő vizsgálata	46
3.4.9.	Áram-feszültség átalakító erősítő bemeneti impedanciájának vizsgálata	48
3.4.10.	Nullkomparátor vizsgálata offset-kompenzálás mellett	49

1. fejezet

A mérés összeállítása

1.1. Bevezetés

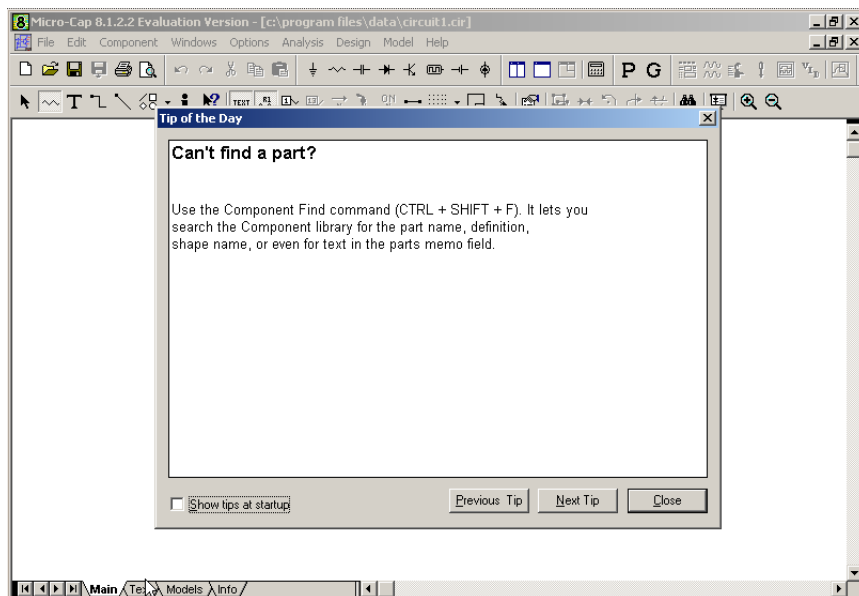
E leírás szerepe az elektronika laboratórium foglalkozásain nyújtott segítség a szimulációs mérések során. Nem törekszik a teljességre, így az ismertetés rövid, gyakorlati példákon keresztül történik. Ez talán hozzásegíti az olvasót, a kezdeti sikerek gyors eléréséhez. A mérésekhez használt program a Micro-Cap 8 Evaluation Version, amely a teljes verziótól csupán a kiértékelés terén különbözik; nem érhető el az összes funkció – mint pl. a háromdimenziós értékábrázolás, stb. Ez a változat ingyenesen letölthető a gyártó honlapjáról (<http://www.spectrum-soft.com>).

A leírásban *dőlt betűvel* jelölöm a hivatkozásokat. **Fix szélességű betűvel** jelölöm a parancsokat, beírandó értékeket. Néhány helyen az utasítások egyszerűen, ikonok segítségével is elérhetők, melyeket széljegyzetben szerepeltetek. A leírás teljes egészében a L^AT_EX rendszerrel készült.

1.2. Első lépések

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 nincs 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 elének 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 érhetők el: *új létrehozása, megnyitás, mentés, nyomtatás, nyomtatási kép megtétele*. A



1.1. ábra. Nyitó képernyő

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.

1.3. 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.

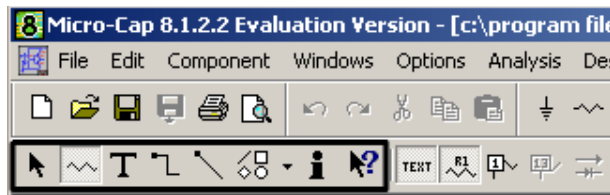
A program használatához meg kell néznünk még egy ikoncsoportot, mely a következő ábrán látható, feketével bekeretezve: ezekkel az ikonokkal a módok között tudunk váltani. Ez azért fontos, mert ahhoz, hogy rajzolni tudjunk, a Component mode-ot kell aktiválni.

1.3.1. 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.

ellenállás:





1.2. ábra. Mód ikonok

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 villog, így az érték közvetlenül beírható ¹. 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.

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 alkatrészsre, 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.

kiválasztás:

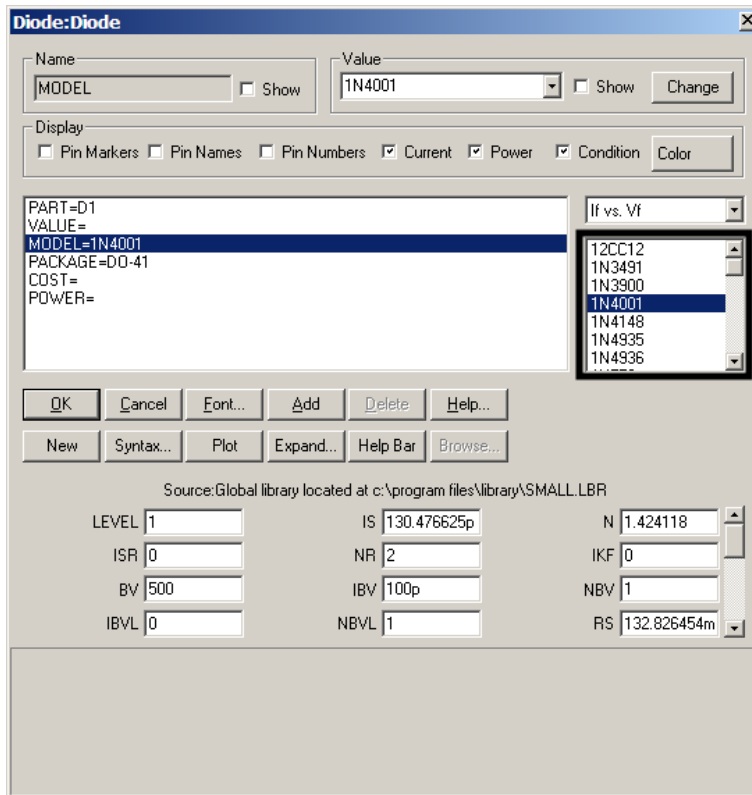


A következő alkatrész, amit használunk a Dióda (Diode). Kattintsunk ennek parancsikonjára, és helyezzük el a képernyő valamely részén. A paraméter beállító ablakban igen sok lehetséges beállítást található. A legegyszerűbb, ha gyári modellek közül választunk. Ez legyen az 1N4001 típus. Az OK gombbal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

dióda:



¹A 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

1.3.2. 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 fázisszöget, RS a generátor belső ellenállása. Az RP és a TAU paraméterek beállításával a szinusz feszültségre szuperponálódó exponenciális rész gyakoriságát és idejét határozhatjuk meg.

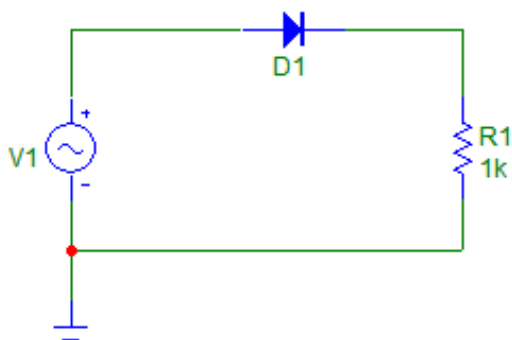
1.3.3. Föld

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.



1.3.4. 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 összeköttetést. A program a vezetéket csak egyszer (90°-ban) törí meg. Ha ez nem elegendő, akkor részekből kell építkezni. Ehhez megrajzoljuk az első szakaszt, majd ennek végpontjából indítjuk a következőt. Ha mindent jól csináltunk, az 1.4 ábrához hasonlóan kell kapnunk.



1.4. ábra. A kész áramkör

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

2. fejezet

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.

csomópontok:



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.

2.1.1. 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:

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

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.

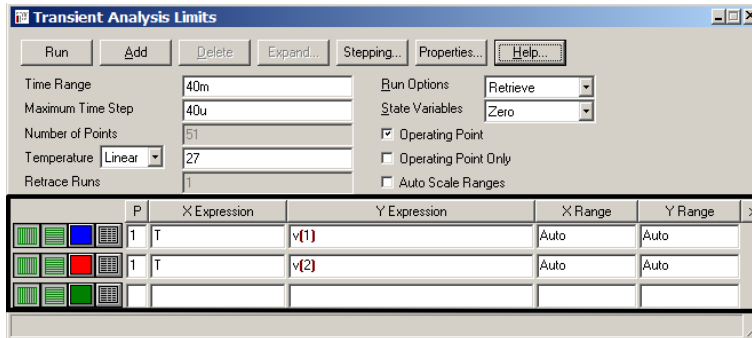
A *State Variables* változtatásával lehetőségünk nyílik a kezdeti értékek beállítására. Az alapérték a *Zero*. Ilyenkor az áramkör energiamentes állapotból indul, minden ponton minden mennyiség zérus. A *Read* érték beállításával a program betölti az előzőekben elmentett értékeket, és azokat veszi kezdőértéknek. 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 számítást végzi el a program. Ez arra jó, hogy a végrehajtás után visszatérve a szerkesztő képernyőre kiíratathatjuk a csomópontok DC feszültségértékeit. Ezt célszerű nem bekapcsolni időbeli vizsgálatok esetén.

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

Az alul lévő részt (2.1 ábra) vizsgálva egy táblázatot láthatunk.



2.1. ábra. Vizsgálandó mennyiségek, és beállításaik

2.1.2. 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 – 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.

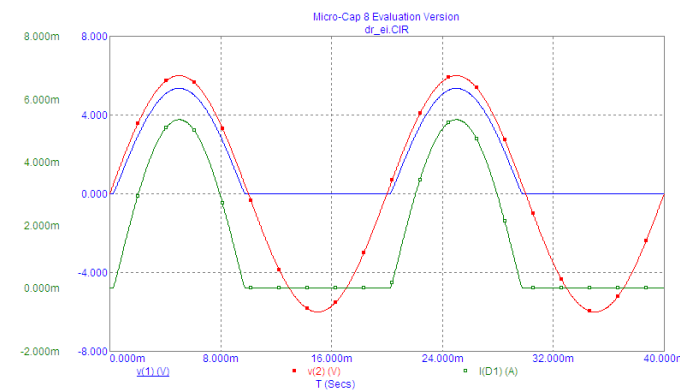
2.1.3. Utolsó simítások

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.

futtatás: 

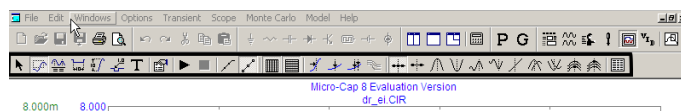
2.2. Kiértékelés

A megjelenő képernyőn a különböző jelalakokat láthatjuk. A 2.2 ábrán teli négyszöggel a bemeneti, sima vonallal a kimeneti feszültség, üres négyszöggel jelölve a körben folyó áram jelennek meg.



2.2. ábra. A szimuláció eredménye

A kapott eredményeket részletes vizsgálatoknak vethetjük alá. Ehhez nézzük végig a 2.3 ábrán megjelölt ikonsort. Az első ikon a *Kiválasztás Mód* (Se-



2.3. ábra. Vizsgálati eszközök

lect 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.

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 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.

kiválasztás:



nagyítás:



jelölő:



horizontális felirat:



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

függőleges felirat:



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.

megjegyzés:



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.

szöveg:



A következő ikonnal a *Tulajdonságok* (Properties) beállítására nyílik lehetőség. Itt rengeteg lehetőség adódik, de ezeket nem szükséges módosítani – kivéve már az előzőekben (12. 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.

tulajdonságok:



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

adatpontok:



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.

jelölés:



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* föl *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.

ugrás X pontba:



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

ugrás Y pontba:



A *Következő szimulációs adatpont* (Next Simulation Data Point) segítségével a következő ténylegesen szimulált pontra ugorhatunk. Újra rákattintva

szim.pont:



az azt követő pontra ugrik a program. Az ikon aktiválása után, ha megnyomjuk a billentyűzeten a jobbra, vagy 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 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.

A *Maximum* (High) segítségével a görbe maximumát kereshetjük a vizsgálati tartományon. 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 görbeseregből 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 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. 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 beállítottuk, hogy az adatokat ilyen formában is mentse.

2.3. 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.

interpolált
pont:



csúcs:



völgy:



maximum:



maximum:



inflexió:



globális
csúcs:



globális
mini-
mum.:



teteje:



alja:



szám-
eredmény:



2.3.1. 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.

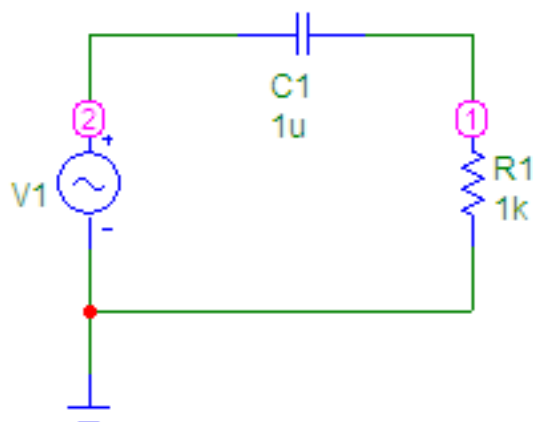
Most, hogy beállítottuk azt a mennyiséget, aminek függvényében vizsgálunk, következő teendőnk a vizsgált mennyiség(ek) beállítása. Ezt a korábbiakban már megismert táblázatban követhetjük nyomon. Eltérés az időbeli vizsgálatokhoz képest, hogy itt az *X Expression* mezőben nem az idő, hanem az alapbeállítás 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.

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. 2.4 ábra). Ha a módosítással megvagyunk, adjuk ki a *Analysis / AC* parancsot.



2.4. ábra. Az áramkör kondenzátorral

2.4.1. 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 „*db(v(1))*” kifejezés azt jelenti, hogy az 1-es ponton mérhető átviteli jellemzőt kapjuk eredményül a bementre 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.

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.

3. fejezet

Feladatok

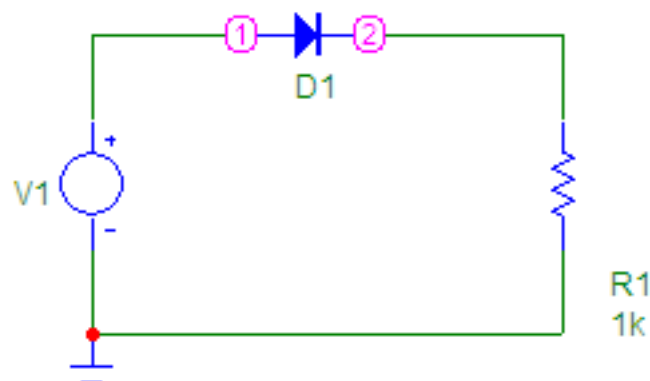
3.1. 1. szimuláció

A feladatokat összeállította: Molnár Ferenc

3.1.1. Fél-hullámú egyenirányító

Fájl: dr_ei.cir

Szimuláció: tranziens, DC



3.1. ábra. Fél-hullámú egyenirányító

A szimuláció alapján vizsgálja meg:

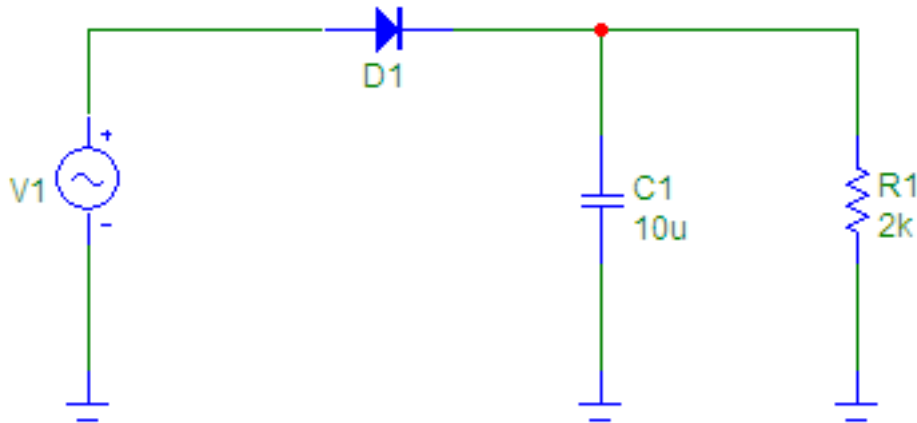
- Mekkora U_{be} értéknél indul 0-tól jól elkülöníthetően I_d ?

- Mekkora az $I_d > 0$ mA-es áramrész szögtartománya ($\omega \cdot t$)?
- Mekkora a diódaáram csúcsértéke?
- Mekkora feszültséggel kisebb U_{kip} mint U_{bep} ?
- A feladatok megválaszolását a jegyzőkönyvben indokolja egy-egy ábra segítségével!

3.1.2. Soros diódás csúcs-egyenirányító

Fájl: sdc_s_ei.cir

Szimuláció: tranziens



3.2. ábra. Soros diódás csúcs-egyenirányító

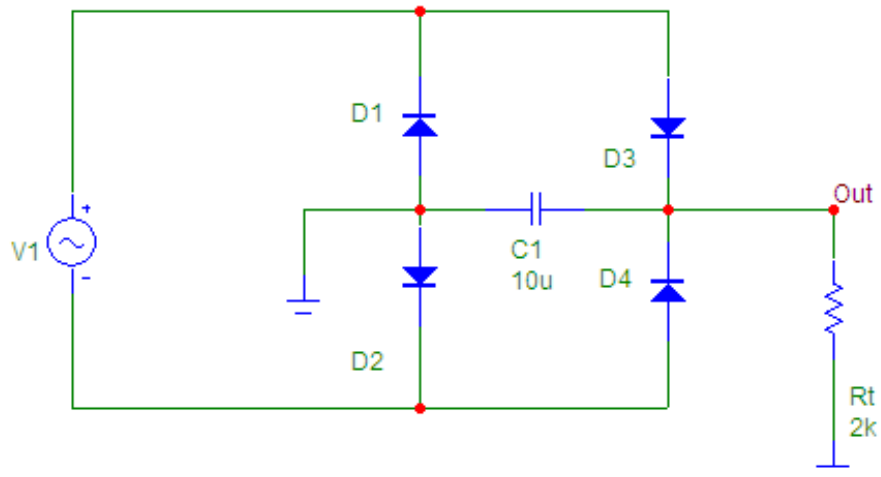
A jelek vizsgálatánál figyelje meg, és rajzolja le:

- A kondenzátor energiamentes állapota utáni első diódaáram-„lökés” csúcsértékét és időtartamát (ez utóbbit a periódusidőre vonatkoztatva $-\omega \cdot t$),
- az állandósult állapothoz tartozó diódaáram csúcsértékét, 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* párbeszédpanel, és kapcsoljuk be a funkciót, ami az előre beállított értékek szerint le fog futni.

3.1.3. Graetz-kapcsolású csúcsegyenirányító

Fájl: gres_ei.cir

Szimuláció: tranziens



3.3. ábra. Graetz-kapcsolású csúcsegyenirányító

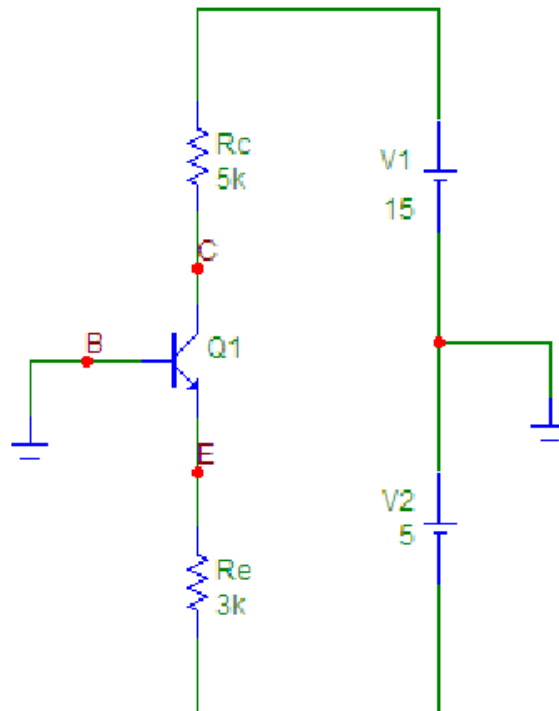
- Vizsgálja meg, hányszor kap töltést a $C1$ jelű puffer-kondenzátor a bemenő jel egy periódusa alatt?
- Mekkora feszültséggel kisebb a kimeneti egyenfeszültség a bementi jel pozitív csúcsértékénél?
- Figyelje meg az energiamentes kondenzátor első töltőáramának csúcsértékét! A példa-áramkörben ezt az 5Ω -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 ($j \cdot \omega$)!
- Hogyan valósítható meg negatív polaritású kimenő feszültség?

3.1.4. DC feszültség-térkép számítása

Fájl: bttmp1.cir

Szimuláció: tranziens

Paraméter a hőmérséklet.



3.4. ábra. Tranzisztor munkapontbeállítás

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

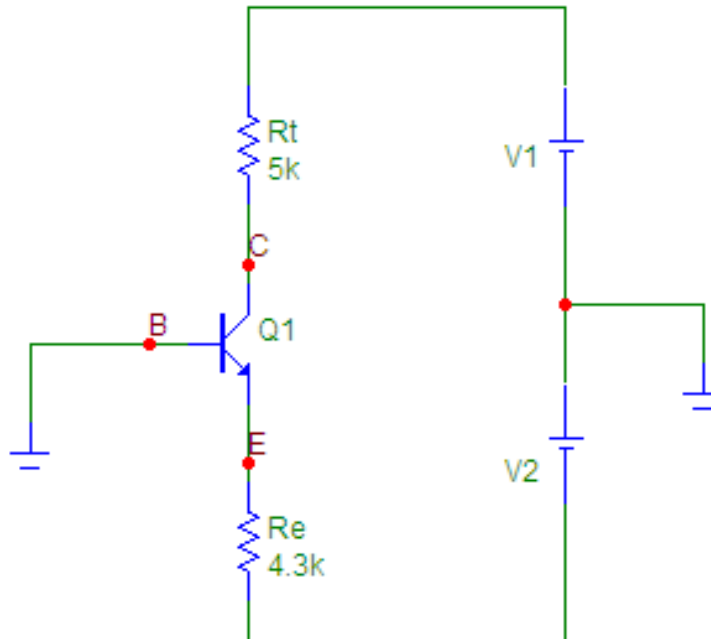
Számítsa ki a munkaponti kollektoráram százalékos változását a hőmérséklet adott értékű változásánál! A kiindulási érték mindig a 25° C-os hőmérsékleten mért adat legyen!

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.** $U_{CE} = U_{C0} - U_{E0}$

3.1.5. Tranzisztoros DC áramgenerátor

Fájl: btigen.cir

Szimuláció: tranziens



3.5. 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!

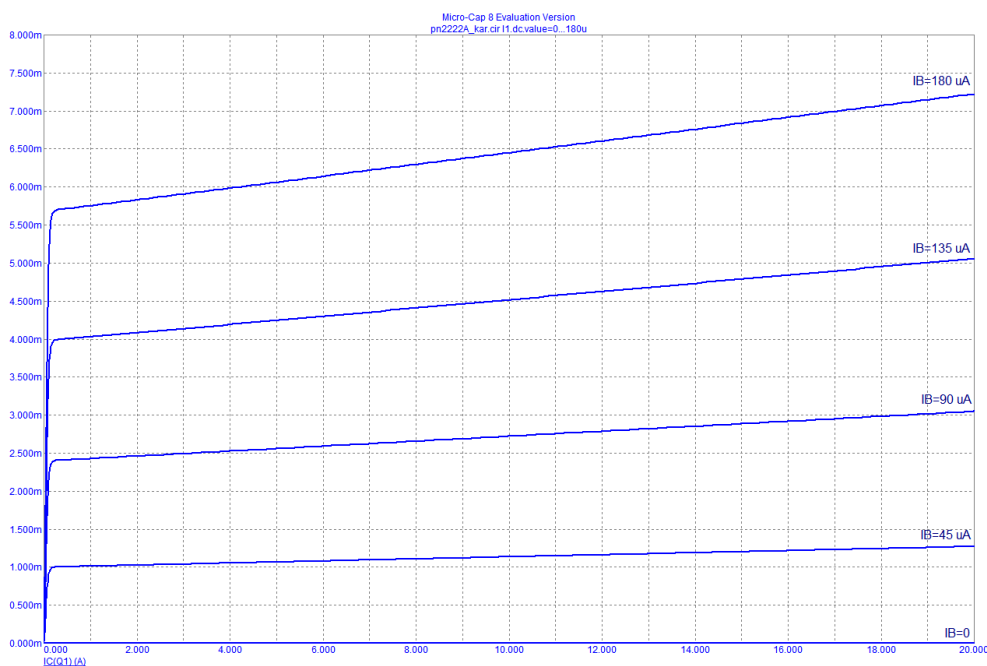
Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések: **1.** I_{ki} legyen 1 mA, ez a terhelés árama **2.** $I_{ki} = I_C \sim I_E$ **3.** $U_{RE} = \frac{I_E}{R_E}$ **4.** $U_{E0} = U_{RE} + U_{t2}$, $U_{t2} = -5$ V **5.** $U_{CE} = U_{t1} - U_{E0} - U_{Rt}$

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: $P_d = 625$ mW, $U_{CE(BR)} = 40$ V, $U_{CE_{sat}} = 0,3$ V. Az inverz aktív tartományban való működéshez – a tranzisztor itt működik áramgenerátorként – ezen feltételek mindegyikének teljesülnie kell. A 3.6 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.



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

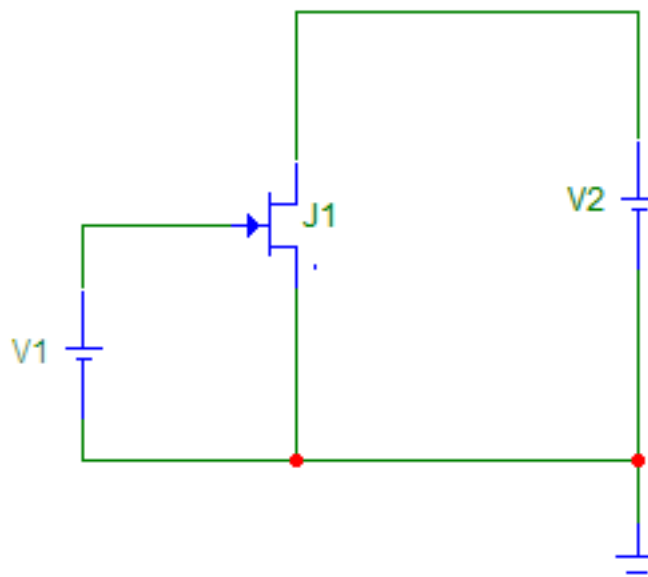
P_d és $U_{CE(BR)}$ a legkisebb, míg a $U_{CE_{sat}}$ feszültség ismeretében a legnagyobb ellenállás érték határozható meg.

3.1.6. 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!



3.7. 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:

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

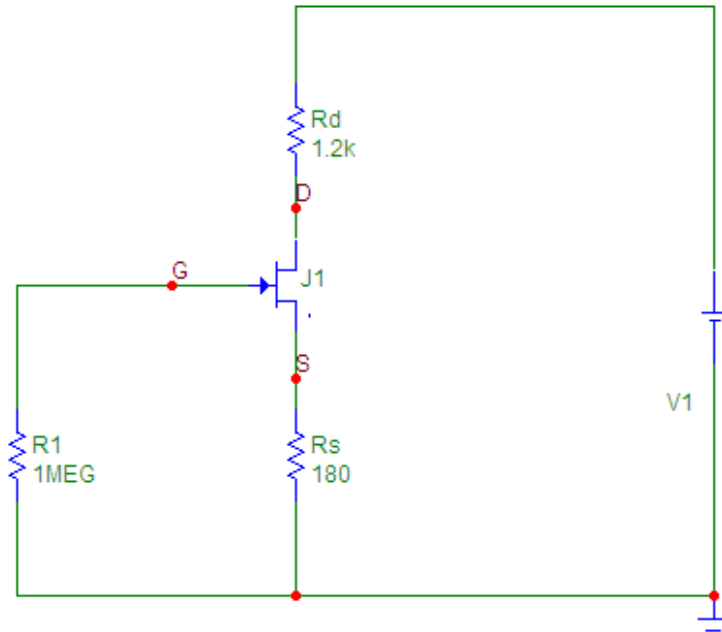
(U_0 az elzáródási feszültség, ha $U_{GS} = U_0$, ott $I_{DS} = 0$ mA; I_{DSs} a telítési áram, az $U_{GS} = 0$ V-hoz tartozó drain-áram.)

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

3.1.7. JFET munkapont-beállítás

Fájl: jfetmp1.cir

Szimuláció: tranziens



3.8. ábra. JFET munkapontbeállítás

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

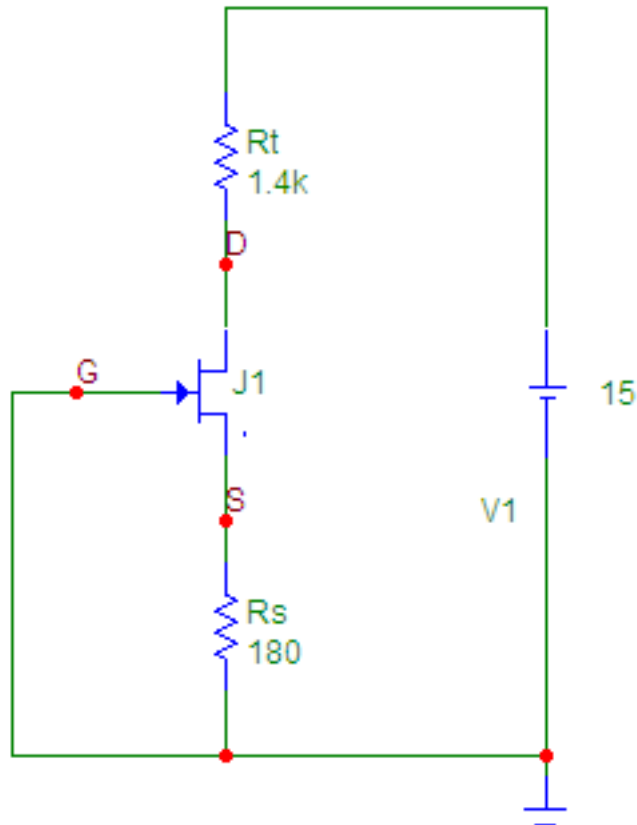
Rajzoljon DC feszültség-térképet $R_s = 180 \Omega$ értéknél!

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

3.1.8. FET-es DC áramgenerátor

Fájl: jfetigen.cir

Szimuláció: tranziens



3.9. ábra. FET-es DC áramgenerátor

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

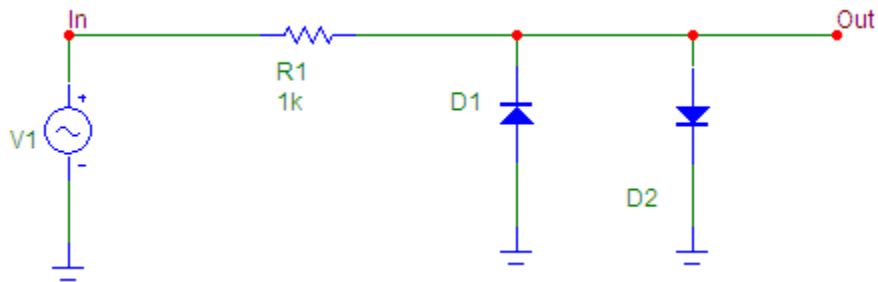
A szimuláció eredményeiből állapítsa meg R_{tmin} értékét, és adja meg közelítőleg R_{tmax} értékét!

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.

3.1.9. Diódás vágó-áramkör

Fájl: rdvag2.cir

Szimuláció: transient, DC



3.10. ábra. Diódás vágó-áramkör

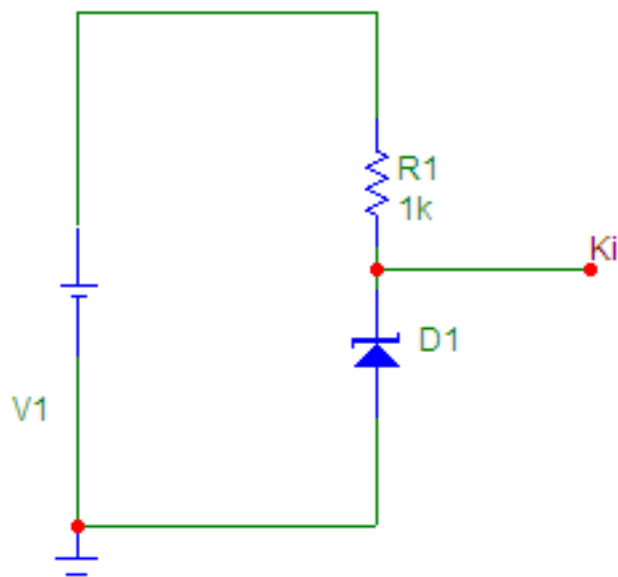
- Olvassa le a vágási szinteket mindkét szimuláció végén!
- Mekkora a dióda áram a bemeneti jel csúcserőértékénél?
- Számítsa ki a 0V bemeneti jel környezetében lévő feszültségerősítést!
($A_u = \left(\frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}} \right)$)
- A jegyzőkönyvbe készítsen ábrát a tranziens szimuláció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

3.1.10. Zener diódás stabilizátor

Fájl: zener.cir

Szimuláció: transient, DC

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



3.11. ábra. Zener diódás stabilizátor

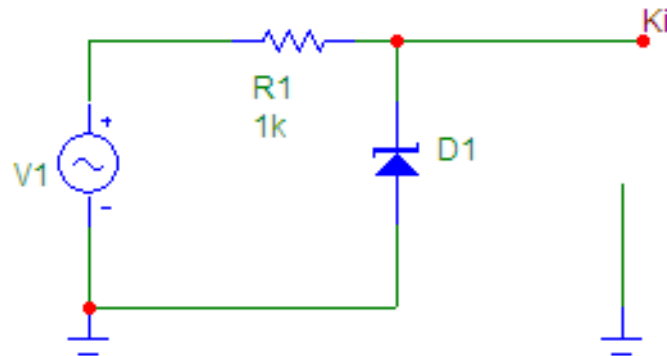
A számítási feladat elvégzéséhez a tranziens analízis eredményeit *Numeric Output* formában célszerű behívni.

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

3.1.11. Zener diódás határoló

Fájl: zener_hatarolo.cir

Szimuláció: tranziens



3.12. ábra. Zener diódás határoló

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

3.2. 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 alkapcsolást vizsgálunk, amely – bár egyébként nem használatos – jól szemlélteti a működést.

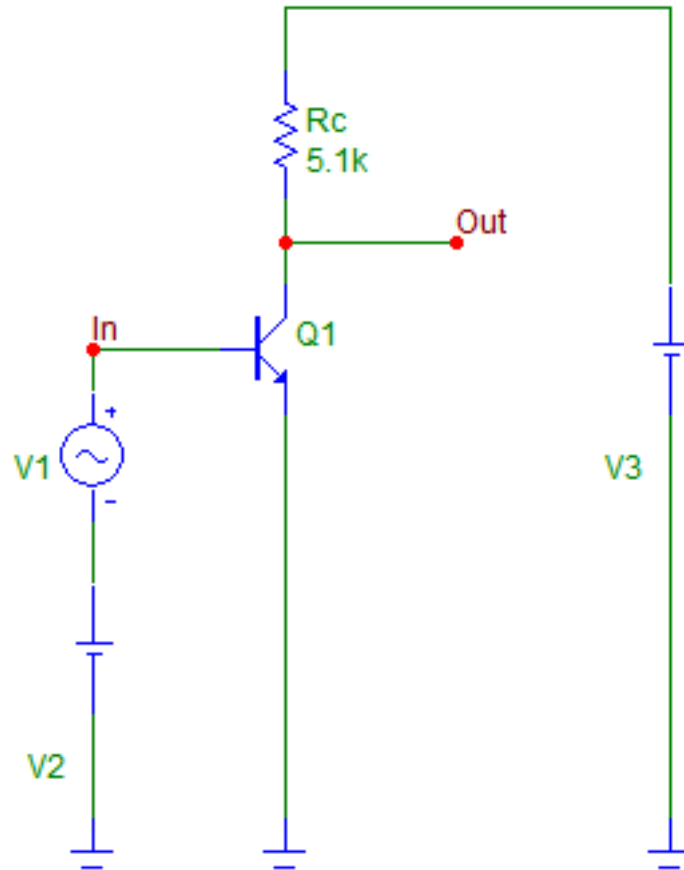
3.2.1. Az erősítés szemléltetése

Fájl: feyak1.cir

Szimuláció: DC, tranziens, AC

A diszkrét tranzisztorokkal felépített erősítőkből leggyakrabban a földelt emitteres kapcsolást alkalmazzák. Az „FE” jelölés földelt emitteres kapcsolást jelent. A tranzisztor emittora földpotenciálon van. A tranzisztor munkapontját a V_2 és a V_3 feszültségforrások, valamint az R_c ellenállás határozza meg. A kapcsolást a 3.13 ábra szemlélteti. Feladatok:

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



3.13. ábra. Szemléltető áramkör

3.2.2. Földelt emitteres erősítőkapcsolás

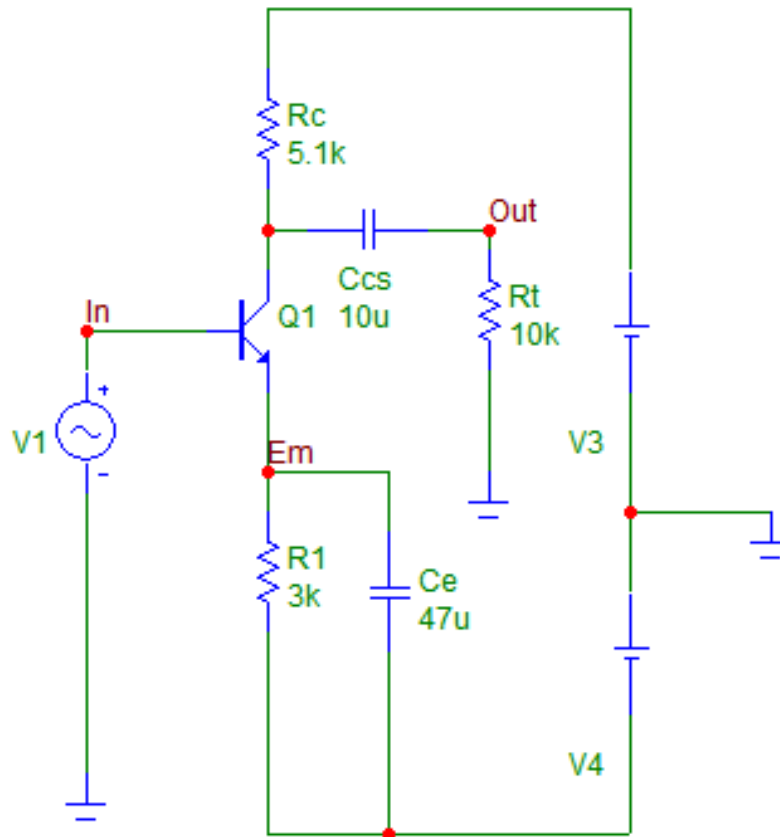
Fájl: fegyak2.cir

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.

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



3.14. ábra. Földelt emitteres erősítőkapcsolás

pontokat, ahol $A_u = A_{u_{max}} - 3dB$!

- 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)!

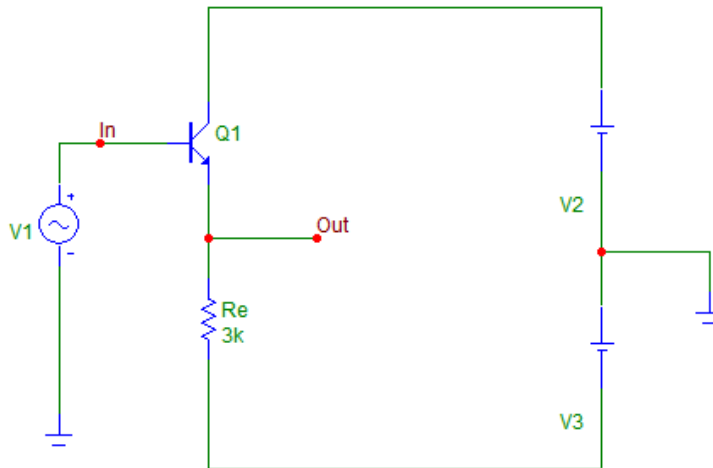
3.2.3. Földelt kollektoros erősítőkapcsolás

Fájl: fcgyak1.cir

Szimuláció: DC, tranziens

Földelt kollektoros kapcsolásnál a tranzisztor kollektor kivezetése váltakozó-jel szempontjából földpotenciálon van. Az R_e ellenállás, V_2 és V_3 feszültség-

források határozzák meg a tranzisztor munkapontját. A kimeneti feszültséget most az emitterről vesszük.



3.15. 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 $Au_{\bar{u}}$ üres-járási feszültségerősítés értékét (Transient Analysis)!

3.2.4. Földelt source-ú erősítőkapcsolás

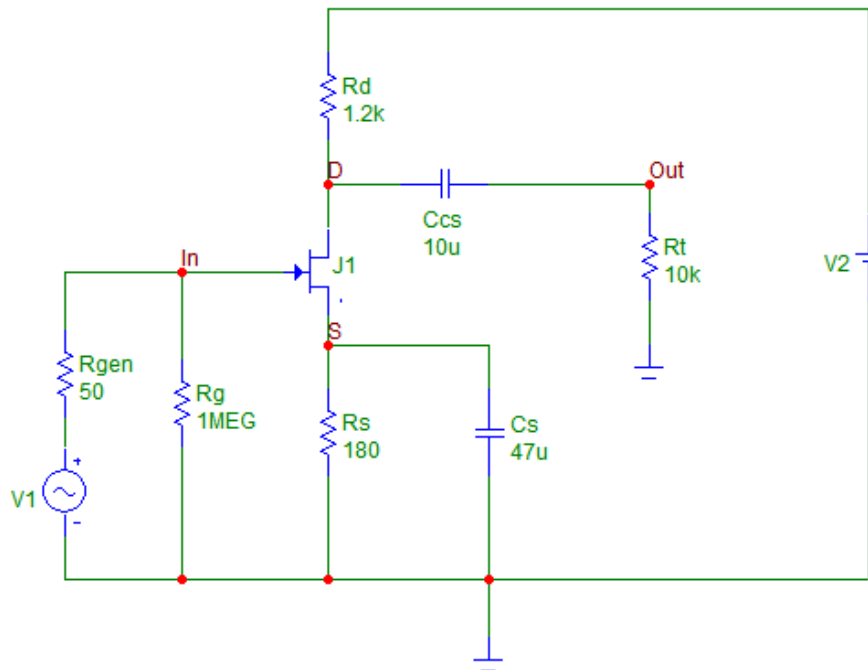
Fájl: fsgyak.cir

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 3.16 ábra a teljes áramkört mutatja a csatoló, és a hidegítő kondenzátorokkal, munkapontbeállító 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 Au értékét (Transient Analysis)!



3.16. ábra. Földelt source-ú erősítőkapcsolás

- Rajzolja le az amplitúdó és fázis karakterisztikát (AC Analysis)!
- Kapcsolja be a *Stepping* funkciót, aminek hatására R_t 100 és $1\text{k}\Omega$ 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 A_u értéke (AC Analysis)?

3.3. 2. szimuláció – II. rész

A feladatokat összeállította: Aggod József

A MOS (Metal-Oxid-Semiconductor) tranzisztor négy kivezetéses 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 (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:

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

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.

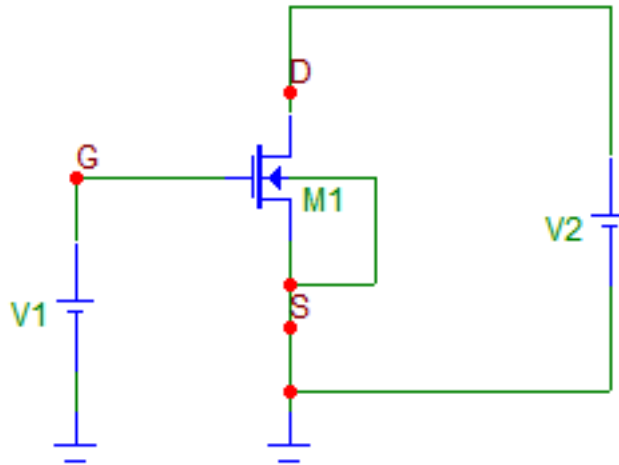
3.3.1. Az NMOS karakterisztikája

Fájl: nmoskar.cir

Szimuláció: DC

Az áramkör egy $V_T = 1$ 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 $U_{DS} > U_{GS} - V_T$).



3.17. ábra. Az NMOS karakterisztikájának felvételéhez használt összeállítás

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

$$K = ? \quad (V_T = 1) \text{ V}$$

3.3.2. Az NMOS munkapontja

Fájl: nmosmunk.cir

Szimuláció: tranziens

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

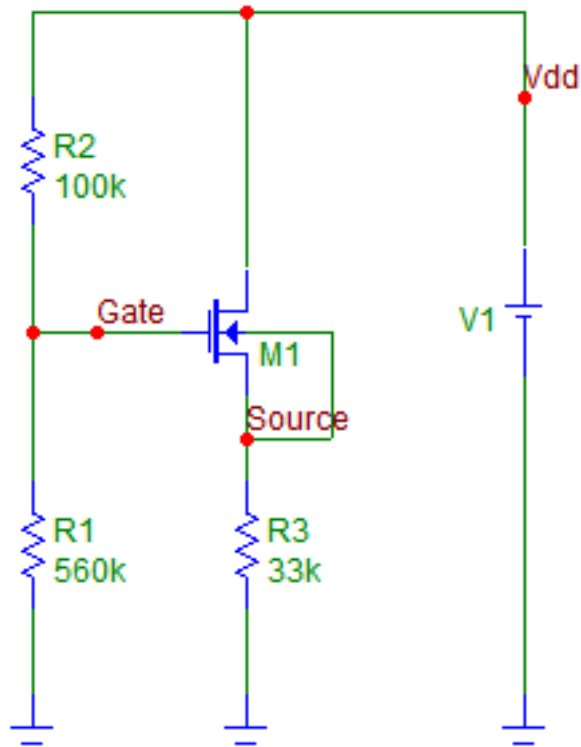
- Határozza meg a (3.2) egyenlet és az előző feladatban kapott K érték alapján azt az U_G feszültséget, aminél a tranzisztor I_D árama $100 \mu\text{A}$ (vagy az oktató által megadott érték)! Vigyázzon, mert a munkaponti áram a Source-szal sorba-kötött $33 \text{ k}\Omega$ -os ellenálláson is átfolyik, így a Source feszültsége a földhöz képest nem 0 V .

$$U_G = ? \quad I_D =$$

- 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!



3.18. ábra. Az NMOS munkapontjának vizsgálata

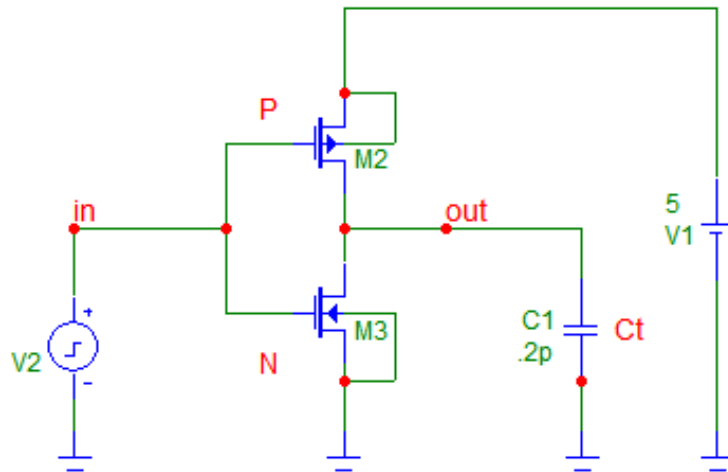
3.3.3. CMOS alapok

Fájl: cmosinv.cir

Szimuláció: DC, tranziens

A 3.19 ábrán látható CMOS inverter egy N és egy P csatornás MOS tranzisztorból áll. Az alsó NMOS tranzisztor kinyit, ha $U_{in} > V_{TN}$ (>1 V). A felső PMOS tranzisztor kinyit, ha $U_{in} < V_{dd} + V_{TP}$ (<5 V-1 V = 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 V-4 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.

Feladatok:



3.19. ábra. CMOS inverter

- 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?)
 $t_{dLH} = ?$
 $t_{dHL} = ?$

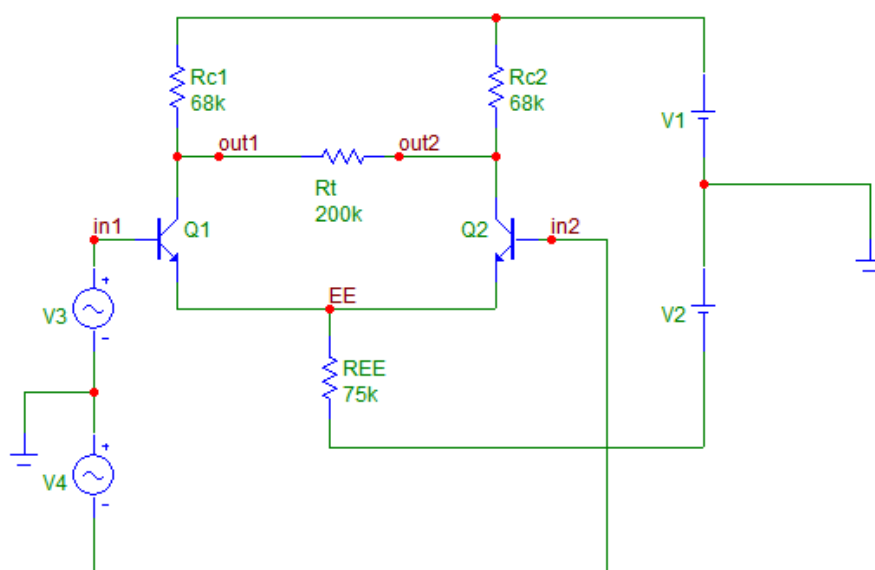
3.4. 3. szimuláció

A feladatokat összeállította: Molnár Ferenc

3.4.1. Differencia-erősítő szimmetrikus vezérléssel

Fájl: btdiffa1.cir

Szimuláció: transient, DC



3.20. 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:

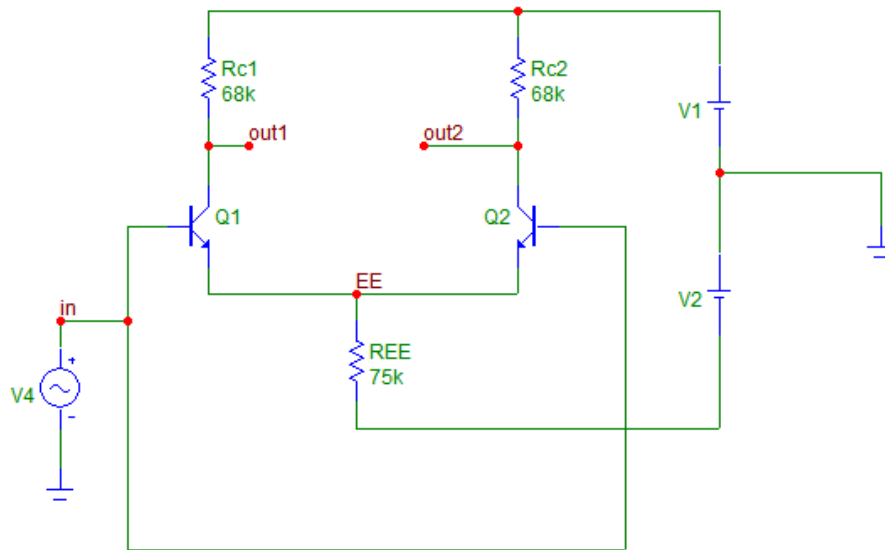
$$Au_s = -40 \cdot I_{Cmp} \cdot R_C \times \left(\frac{R_t}{2}\right),$$

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

3.4.2. Differencia-erősítő aszimmetrikus vezérléssel

Fájl: btdiffa2.cir

Szimuláció: transient



3.21. 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 $u_{kis} = u_{c2} - u_{c1}$ 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.

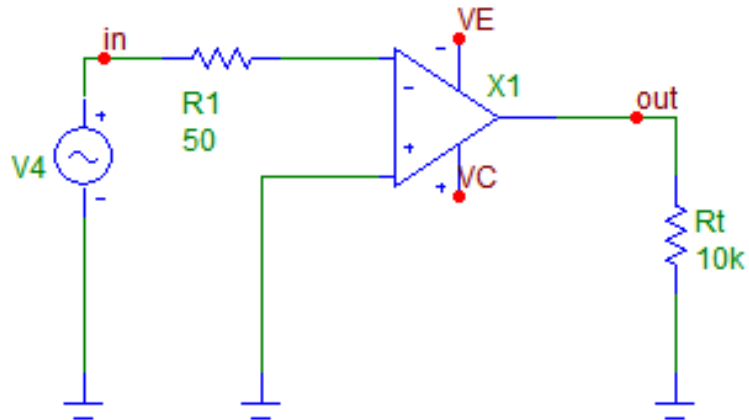
3.4.3. Műveleti erősítő paramétereinek vizsgálata

Fájl: opamp1.cir

Szimuláció: DC

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)



3.22. ábra. Teszt összeállítás a paraméterek vizsgálatához

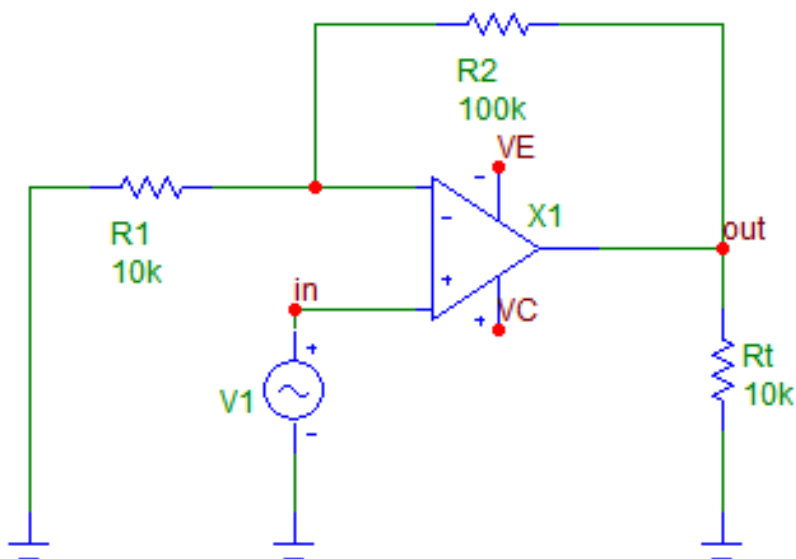
nem tudjuk megjeleníteni, ezért ennek ábrázolását a következő módon érhetjük el: az erősítő paraméter ablakában (kétszeri kattintás a műveleti erősítő ábráján) nyomjuk meg a `Plot` gombot. Ennek hatására – kis méretben ugyan, de – megjelenik a nyílt-hurkú erősítés fázismenete. Az ablak méreteit állítjuk nagyobbra, és így most már a megszokott módon konkrét méréseket is tudunk végezni.

Az ábráról készítsen rajzot a jegyzőkönyvbe is!

3.4.4. Neminvertáló DC erősítő vizsgálata

Fájl: ninvdca.cir

Szimuláció: transient, DC, AC



3.23. ábra. Neminvertáló alapkapsolás

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

$$Au_v = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right), R_{bev} \approx 2 \cdot R_{bek},$$

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

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

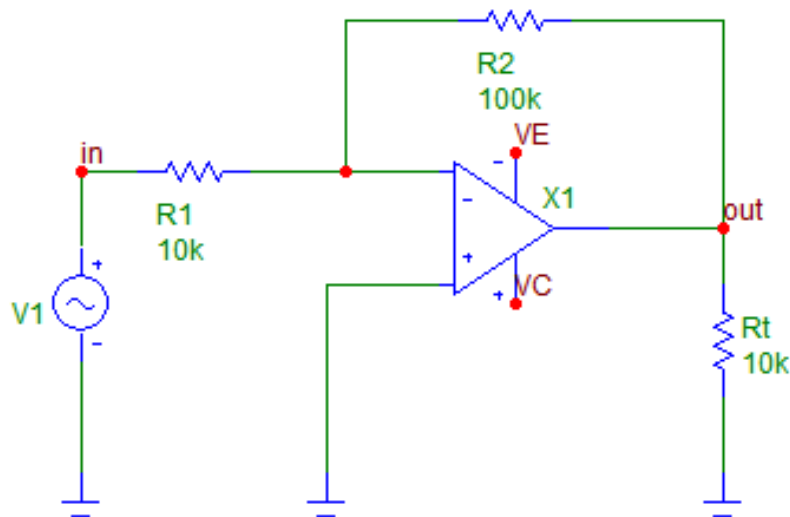
f_{p1} a műveleti erősítő első pólus-frekvenciája, amely az erősítő paramétereinél F1 mezőben, a tranzitfrekvencia pedig F2 mezőben található.

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

3.4.5. Invertáló DC erősítő vizsgálata

Fájl: invdca.cir

Szimuláció: transient, AC, DC



3.24. ábra. Invertáló alapkapsolás

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

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

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

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

f_{p1} a műveleti erősítő első pólus-frekvenciája, amely az erősítő paramétereinél F1 mezőben, a tranzitfrekvencia pedig F2 mezőben található.

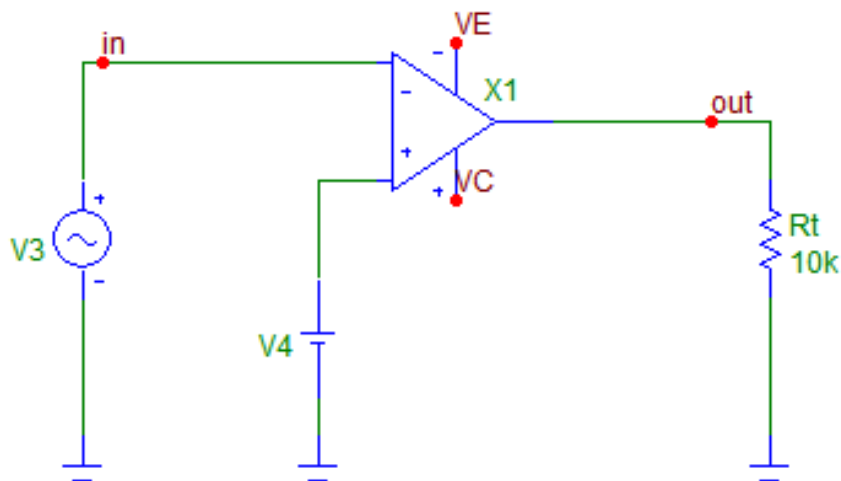
Az AC és a traziens szimulációk alapján rajzoljon ábrákat a jegyzőkönyvbe!

3.4.6. Referenciával eltolt billenési szintű komparátor vizsgálata

Fájl: refcomp1.cir

Szimuláció: tranziens, DC

Készítsen ábrákat a jegyzőkönyvbe a szimulációk alapján!



3.25. ábra. Referenciával eltolt billenési szintű komparátor

3.4.7. 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 megnézzük a következő fájl segítségével.

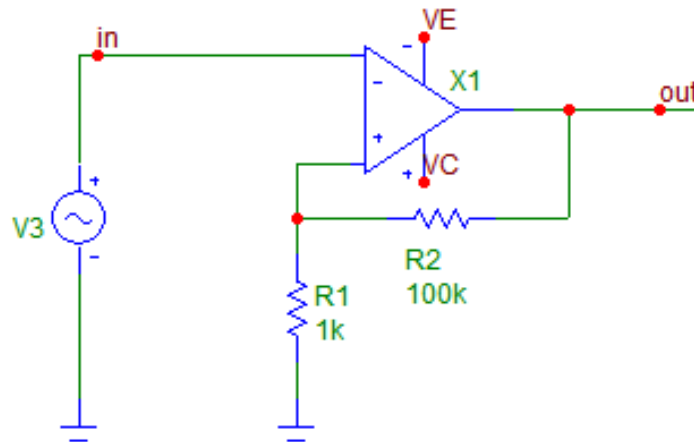
Fájl: 0hiscomp.cir

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,



3.26. 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!

3.4.8. Invertáló AC erősítő vizsgálata

Fájl: invaca.cir

Szimuláció: tranziens, AC

Az otthoni munkát megkönnyítő összefüggések:

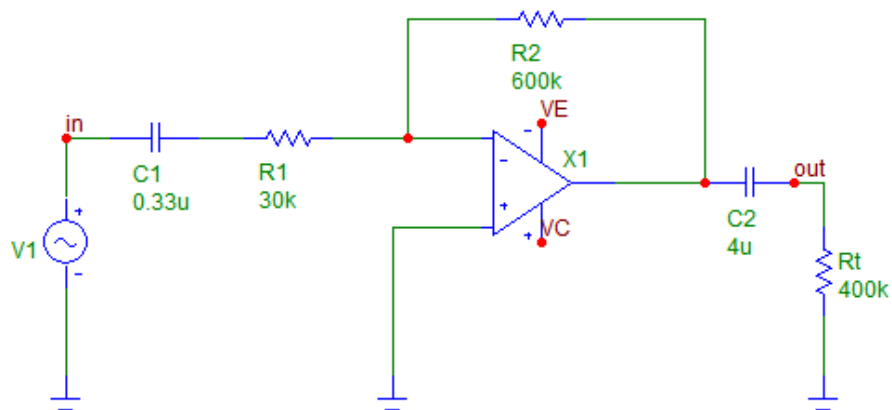
Sávközépen az erősítés értéke: $Au_v = -\frac{R_2}{R_1}$;

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

f_{p1} a műveleti erősítő első pólus-frekvenciája, amely az erősítő paramétereinél F1 mezőben, a tranzitfrekvencia pedig F2 mezőben található.

$Au_v(j\omega)$ alsó határfrekvenciája:

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



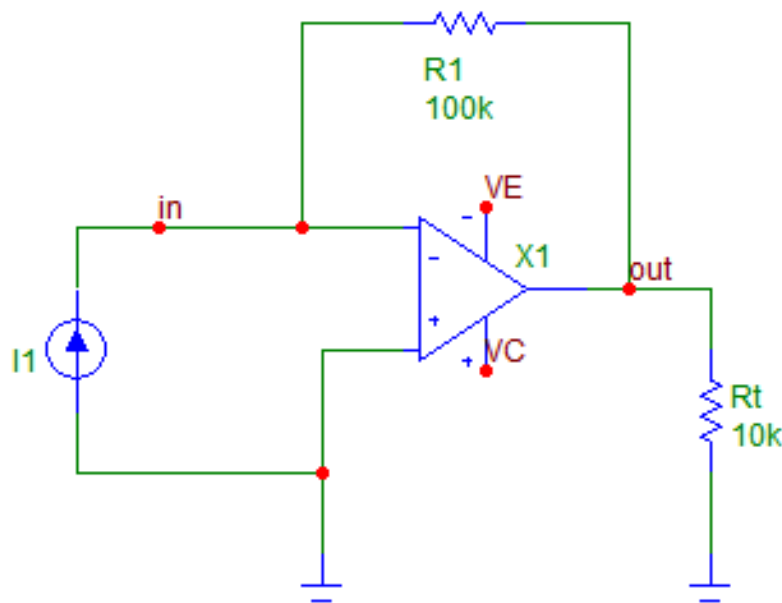
3.27. ábra. Invertáló AC csatolású erősítő

$$f_{c2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_2 \cdot (R_{kiv} + R_t)}$$
 frekvenciák közül a nagyobb értékkel lesz egyenlő, ha a két frekvencia aránya min. 10-szeres.

Készítsen ábrát az AC szimuláció alapján!

3.4.9. Áram-feszültség átalakító erősítő bemeneti impedanciájának vizsgálata

Fájl: iu-amp.cir
Szimuláció: AC



3.28. 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:

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

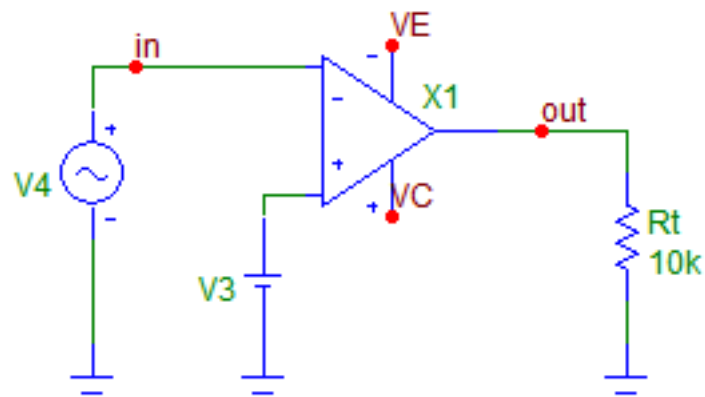
$$R_{bev} \approx \frac{R_2}{-A_0},$$

ahol A_0 értékét negatív előjellel kell helyettesíteni.

3.4.10. Nullkomparátor vizsgálata offset-kompenzálás mellett

Fájl: 0comp2.cir

Szimuláció: tranziens, DC



3.29. ábra. Nullkomparátor

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

Tárgymutató

- AC, 9
 - Analysis, 16
- adatpontok, 14
- Component Mode, 5
- csomópontok, 9
- Cursor Mode, 13
- Data Points, 14
- DC, 9
 - Analyzis, 15
- Dióda, 6
- Doide, 6
- föld, 8
- FET, 34
- frekvencia tartomány, 17
- Frequency Range, 17
- Graetz-híd, 21
- Ground, 8
- hőmérséklet, 10
- hidegítő kondenzátor, 33
- Horizontal Tag Mode, 13
- huzalozás, 8
- jelölő, 13
- kisjelű működés, 31
- kiválasztás, 6
- léptetés, 18
- Maximum Time Step, 10
- MOS, 35
 - kiürítéses, 36
 - növekményes, 36
- munkapont, 10
- Operating Point, 10
- Run Options, 10
- Scale Mode, 13
- Select Mode, 13
- Select Tool, 6
- Show Node Numbers, 9
- State Variables, 10
- Stepping, 18
- Tag Mode, 14
- Temperature, 10
- Text Mode, 14
- Transient, 9
- tranzients, 9
- Vertical Tag Mode, 14
- Wire Mode, 8
- Zener dióda, 29