

Experimenty so základnými elektronickými obvodmi v simulačnom prostredí PSPICE

prof.Ing.Linus Michaeli, DrSc

**Učebný text pre poslucháčov
Fakulty elektrotechniky a informatiky
Technickej univerzity v Košiciach.**

Copyright © 2006 prof.Ing.Linus Michaeli, DrSc

Publikácia je určená pre študentov 1. ročníka štúdijného programu Elektronika, Telekomunikácie, Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach pre ktorých autor dáva súhlas na tlač vo vlastnej réžii a výlučne pre vlastné použitie. Mimo tejto skupiny je reprodukovanie tejto publikácie tlačenou elektronickou alebo inou formou zakázané bez písomného súhlasu autora.

Obsah

Obsah	2
1 Úvod	4
2 Simulačné prostredie PSPICE	5
2.1 Opis simulovaného obvodu pomocou grafického rozhrania Capture CIS	6
2.2 Jednotky hodnôt súčiastok.....	13
2.3 Zobrazenie výsledkov simulácií	14
2.4 Typy simulácií – simulačné profily.....	15
3 Polovodičové diódy.....	18
3.1 Experimenty s PN Diódou.....	18
3.1.1 Prenos sériového a paralelného kondenzátora na striedavý prenos	18
3.1.2 Záverne polarizovaná dióda.....	19
3.1.3 Hľadanie porúch v diódovom obvode	20
3.2 Zistenie voltamperovej charakteristiky PN diódy	20
3.3 Zistenie voltamperovej charakteristiky Zenerovej diódy	21
3.4 Zistenie voltamperovej charakteristiky tyristora a triaka	23
3.5 Jednocestný usmerňovač	24
3.6 Dvojcestný usmerňovač	26
3.7 Mostíkový usmerňovač	27
3.8 Obmedzovač amplitúd pomocou diód.....	29
3.9 Stabilizátor jednosmerného napätia pomocou Zenerovej diódy	31
4 Bipolárne tranzistory.....	33
4.1 Charakteristiky bipolárneho tranzistora.....	33
4.2 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu bázovým odporom bez spätnej väzby. 35	
4.3 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu mostíkovým zapojením.	37
4.4 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu emitorovým odporom pri dvoch napájacích zdrojoch.	39
4.5 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu odporom zapojeným spätoväzobne medzi bázu a kolektor.	40

4.6	Zosilňovač v zapojení SE	42
4.7	Zosilňovač v zapojení SC - emitorový sledovač	44
5	Unipolárne tranzistory	47
5.1	Charakteristiky tranzistora typu J FET	47
5.2	Charakteristiky tranzistora typu MOS FET	49
5.3	Obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET využívajúci jednosmernú spätnú väzbu v emitore	51
5.4	Mostíkový obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET	53
5.5	Mostíkový obvod pre nastavenie pracovného bodu MOS FET	54
5.6	Nastavenie pracovného bodu MOS FET tranzistora spätnoväzobným odporom z kolektora	56
5.7	Zosilňovač malého signálu pre J FET tranzistor v zapojení SE	58
5.8	Zosilňovač malého signálu pre MOS FET tranzistor v zapojení SE	59
6	Viactranzistorové zapojenia	61
6.1	Diferenčný stupeň s bipolárnymi tranzistormi	61
6.2	Diferenčný stupeň s unipolárnymi tranzistormi	62
6.3	Dvojstupňový zosilňovač	63
6.4	Dvojstupňový zosilňovač	64
7	Literatúra	69

1 ÚVOD

Predkladaný učebný materiál má slúžiť slúžiť študentom 1. ročníka predmetu „Základy elektroniky“ na overenie si činnosti elektronických obvodov pomocou softvérového simulátora. Učebný text spolu s pripravenými simuláciami umožní študentom poznať chovanie jednoduchých obvodov skôr ako si ich činnosť overia v elektronickom laboratóriu. Pre počítačovú simuláciu opisovaných obvodov má čitateľ k dispozícii demo verziu programu OrCAD v.10.1 ktorého súčasťou je aj program Pspice na analýzu elektronických obvodov aj s manuálom v elektronickej verzii. Spomínaná demo verzia je voľne šíriteľná z www.orcad.com/downloads. Jediným obmedzením voči úplnej verzii je menší počet uzlov študovaných obvodov a obmedzená knižnica modelov elektronických prvkov. Počet uzlov je úplne postačujúci pre potreby štúdia obvodov v tomto kurze. Druhé obmedzenie predstavuje výhodu pre potreby štúdia, lebo medzi prvkami sú uvedení len hlavní predstavitelia a tým sa použitie knižnice stáva prehľadnejším. Program OrCAD s balíkom podporných programov bol zvolený preto lebo okrem simulácie analógových obvodov umožňuje simuláciu aj číslicových obvodov a obvodov vysokého stupňa integrácie. Toto programovacie prostredie umožní po simuláciach ktoré naplnia požiadavky zadávateľa pristúpiť k návrhu dosiek plošných spojov, v technologicky vyspelejšom prostredí k návrhu masiek na výrobu integrovaných obvodov alebo vytvoreniu výstupného súboru k naprogramovaniu zákaznicky programovateľných integrovaných obvodov. Predstavuje integrované prostredie ktoré študenti aj v iných predmetoch budú využívať na počítačom podporovaný návrh elektronických systémov. To bol dôvod prečo spomedzi iných simulátorov (TINA, MultiSim a pod) bol zvolený práve tento.

Návod obsahuje dopredu pripravené obvody a návod na experimenty s nimi. Označenie jednotlivých projektov pozostávajú zo slovného označenie simulovaného prvku, čísla kapitoly v tejto príručke – a poradového čísla experimentu. Študent pred začatím každého experimentu doplní toto označenie o svoj číslicový kód a tak začne upravovať svoj experiment podľa jemu zadaných hodnôt.

Predom pripravené simulácie bez zasahovania do štruktúry obvodu, poslúžia študentom na štúdium chovania obvodov doma, na počítači bez potreby laboratórneho vybavenia a nebezpečia poškodenia súčiastok nesprávnou obsluhou. Zmenou hodnôt súčiastok, prednastavených simulačných profilov si študent overí správne pochopenie fyzikálnych princípov prebiehajúcich v elektronických obvodoch. Tiež mu to umožní intuitívne a čítaním manuálu pochopiť význam príkazov z programovej ponuky na obrazovke počítača počas návrhu obvodu, pri voľbe simulačného postupu a pri zobrazení výsledkov.

Študentom pripravené simulácie vyžadujú vyšší stupeň zručnosti pri samostatnom návrhu obvodu a simulácie v ňom. Študent má možnosť sa vyhnúť prípadným problémom s nepoznanými úskaliami programu tým, že sa vráti k predom naprogramovanej verzii a kroky jej modifikácie bude robiť znovu iným postupom. Voľba vlastnej verzie v časti "Capture CIS" vychádza z ponuky "New project" s vlastným názvom v okinku pri potvrdenej verzii simulácie "Analog and Mixed signal Simulator". V ďalšom kroku na dotaz "Based on project" pomocou tlačítka "Browse" vyberia predom pripravenú simuláciu. Tým nový projekt presie na seba obvod s hodnotami súčiastok a predvolené simulačné profily. Modifikácie štruktúry ako aj nové simulačné profily si študent zvolí sám.

Autor sa týmto ospravedlňuje čitateľom za prípadné chyby v texte vzniklé pri jeho písaní a víta pripomienky k jeho obsahu a korektúry niektorých chýb. Tie môže čitateľ zaslať na adresu: Linus.Michaeli@tuke.sk

2 SIMULAČNÉ PROSTREDIE PSPICE

Vysvetlenie chovania elektronických obvodov vyžaduje okrem vysvetlenia fyzikálnych procesov ich exaktné opísanie pomocou analytických výrazov vytvorených pomocou Kirchoffových a Ohmovho zákona ako aj opisu fyzikálnych procesov prebiehajúcich v počítači. Sú dôležité na hlbšiu analýzu chovania obvodov. Je ale stratou času počítať každý detail analyticky, keď v súčasnosti sú k dispozícii účinné softvérové simulátory chovania obvodov. Tie sú schopné analyzovať aj nelineárne dynamické procesy s vysokou presnosťou. V predloženej učebnici čitateľ najde opis fyzikálnych procesov so zápisom východiskových rovníc pre potrebu hlbšej analýzy. Pri štúdiu bude pre študenta najdôležitejšie pochopiť fyzikálne princípy chovania študovaného bvodu, pričom pre podrobnejšiu analýzu využije simulčné prostredie. To mu umožní v pohodlí prostredia osobného počítača uskutočniť "pokusy" so základnými obvodmi bez potreby drahého laboratórneho vybavenia. Presnosť simulačného programu **SPICE** odpovedá reálnym experimentom.

V roku 1972 bola na Kalifornskej Univerzite v Berkeley pod vedením Prof.D.Pedersena realizovaná prvá verzia programu **SPICE** (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), ktorý autormi uvoľnený pre voľné použitie. To umožnilo jeho ďalšie vylepšovanie a doplňovanie až dodneska. Program **SPICE** tvorí jadro ktoré analyzuje zložité matické systavy opisujúce elektronické obvody so zohľadnením nelinearit aktívnych a pasívnych prvkov. Chovanie týchto prvkov je zahrnuté v ich modeloch (**.MODEL**). Program **SPICE** bol napísaný pôvodne vo Fortrane a opis obvodov sa vytvoril textovým vstupným súborom **.CIR**. Jeho verzia pre osobné počítače je označená **Pspice**.

Časom sa pribudovalo grafické rozhranie pre vstup a výstup údajov z programu **Pspice**. Grafický vstup tvorí program OrCAD kde opis obvodu sa realizuje nakresom zapojenia študovaného obvodu grafickým editorom s použitím zaužívaných symbolov elektronických prvkov. Jednotlivé prvky sú zobrať z knižnice modelov komerčne dostupných prvkov prvkov, ktorú výrobcovia týchto prvkov dodávajú do programu. Grafický editor vytvorí súbor **.CIR** pre vstup do programu **Pspice**. Výsledky simulácie program **Pspice** zapisuje do súboru **.OUT**. Uživateľsky pohodlnejšie zobrazenie výstupov **.OUT** vykonáva program **Probe**. Tam sa priebehy môžu zobrazovať v rôznej mierke, s použitím časovej a frekvenčnej lupy a uskutočnením jednoduchých matematických operácií s výstupnými priebehmi.

Program **OrCAD** slúži ďalej aj na návrh dosiek plošných spojov prípadne spolu s programom **CADENCE** simulovať chovanie integrovaných obvodov so zohľadnením technológie a konfigurácie príslušného čípu. Program umožňuje spresňovať modely prvkov na základe testov jednotlivých parametrov prvkov a ich parazitných väzieb na čípe integrovaného obvodu. Všetky tieto programové komponenty su v súčasnosti integrované do softvérového balíka **OrCAD**, ktorého súčasťou je aj program **STIMUL** na simuláciu chovania číslicových bvodov.

Ako bolo spomenuté už predchádzajúcom odseku presnosť modelov môže byť rôzna a je to vždy kompromis medzi presnosťou a dĺžkou výpočtu. V prílohe tohoto textu čitateľ najde detaily najbežnejších modelov zo Pspice-u. Pre potreby jednoduchého simulovania chovania obvodu užívateľ môže sa plne spoľahnúť na modely tak ako sú implementované v programe.

Ako bolo spomínané v úvode čitateľ má k dispozícii na www.orcad.com/downloads voľne šíriteľnú verziu **OrCAD** v.10.1 ktorého súčasťou je aj program Pspice na analýzu elektronických obvodov aj s manuálom v elektronickej verzii. Jeho funkcionality je plne zhodná s plnou verziou, jediným obmedzením je maximálny počet prvkov , ktorý ale pre potreby štúdia tohto textu postačuje.

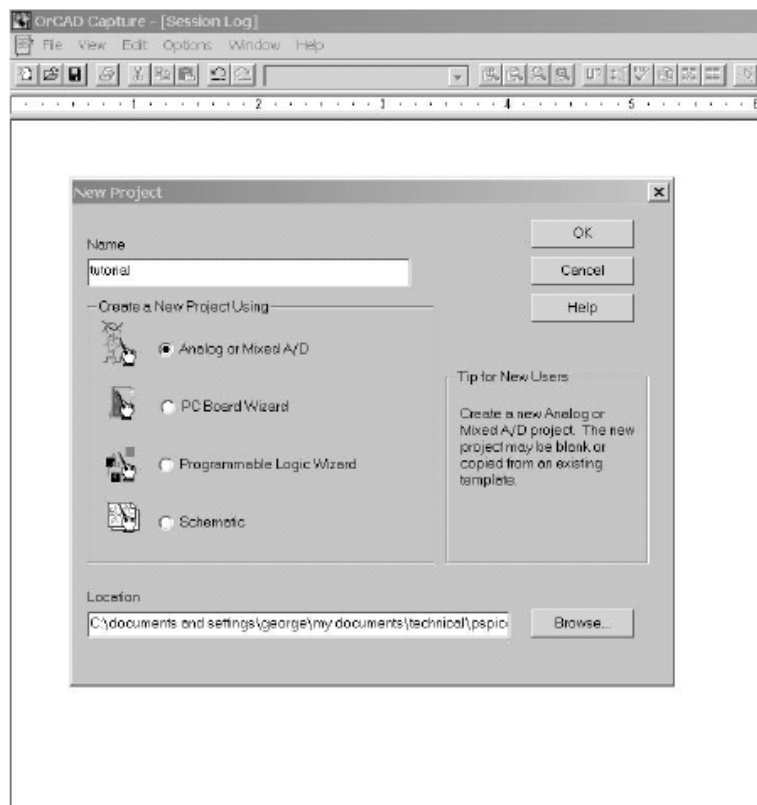
2.1 Opis simulovaného obvodu pomocou grafického rozhrania Capture CIS

V tomto dokumente je opísaný postup tvorby obvodovej schémy v grafickom prostredí Capture CIS z programovacieho balíka OrCAD. Výstupom tohto programu bude Netlis file s príponou .cir ktorý sa spracováva v programe Pspice. Podrobnosti o tomto programe nájdu študenti na <http://www.kemt.feit.tuke.sk/Predmety/spice/index.html>.

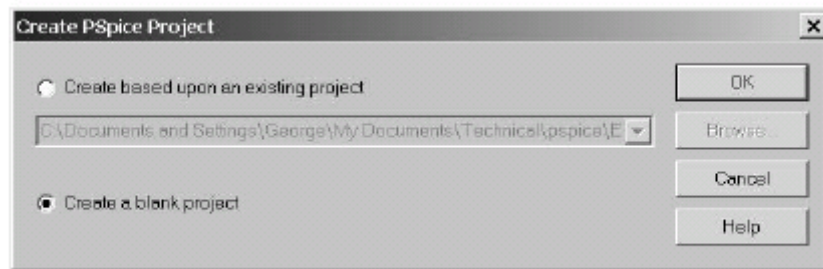
Informácie o programovaom balíku OrCAD nájdu študenti na <http://www.orcad.com/>

Pre zahájenie tvorby novej simulácie otvoríme **File** z ponuky hlavného menu a potom **Open New Project**.

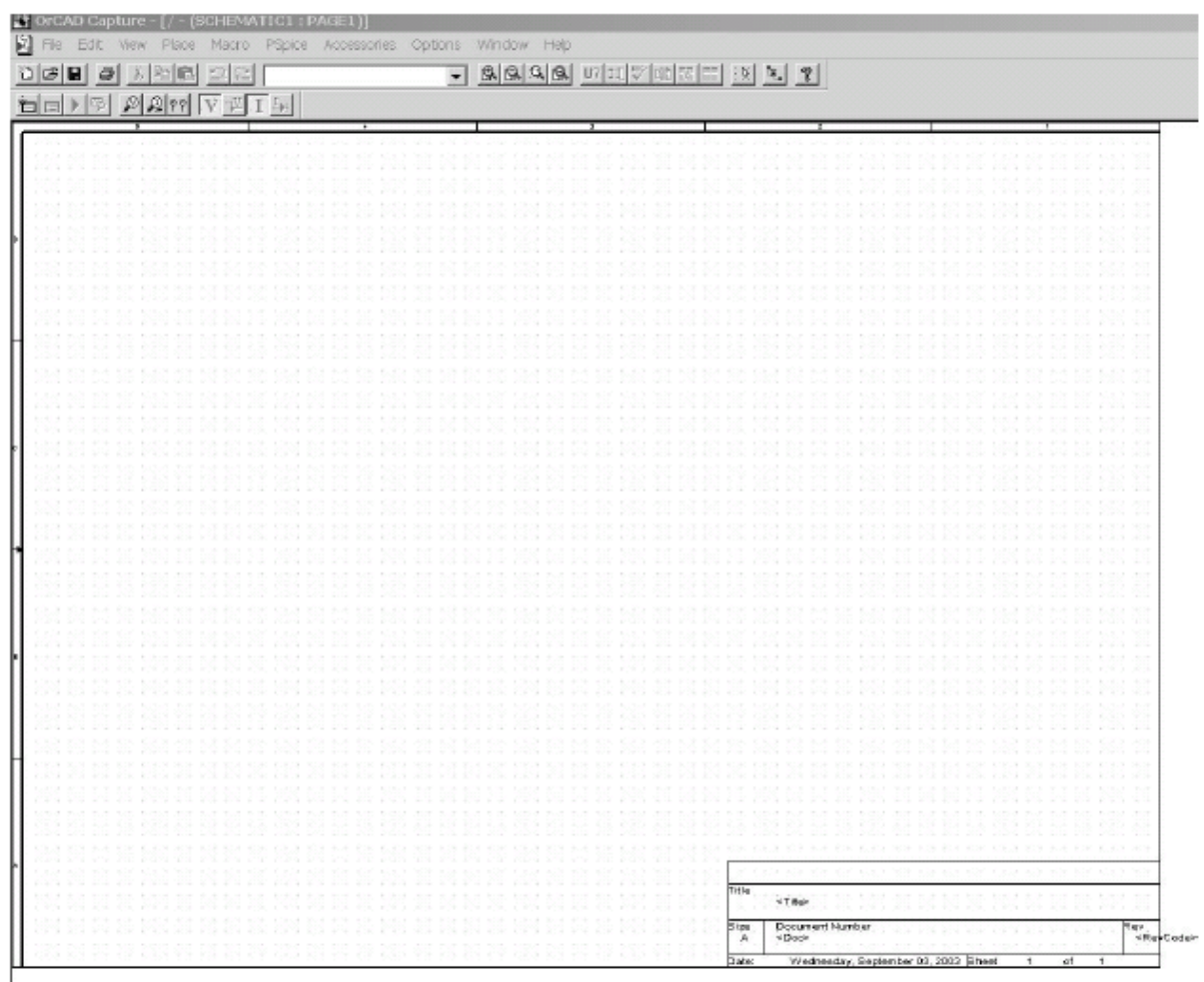
Nech nový projekt je nazvaný „tutorial“. Je dôležité vložiť „*Location of the folder*“ kde budú uložené schémy a výsledky simulácií ako aj modifikované modely prvkov. Použite tlačítko „Browse“ pre výber miesta na disku kde chcete ukladať súbory. Overte si či ste pri voľbe modalít zvolili „**Analog or Mixed A/D**“.Potom kliknutím na tlačítko OK potvrdíte voľbu.



Objaví sa následovný dialogový box.



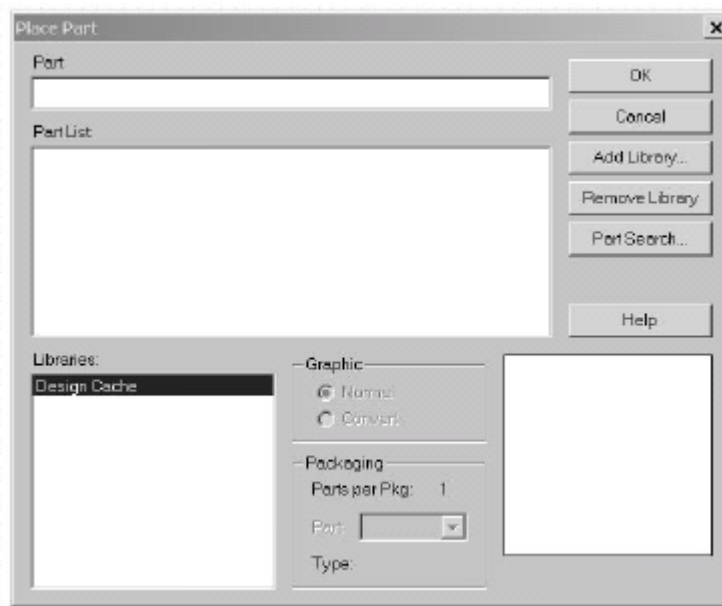
Zvoľte „**Create a blank project**“ ak vytvárate vlastný projekt alebo „**Create based upon an existing project**“. Druhá modalita je vhodná na štúdium predom pripravených projektov a ich modifikáciu. Ak sa ale modifikácia vzťahuje aj na rôzny simulačný profil alebo zmenu prvkov v knižnici môžu nastať problémy. Preto je lepšia prvá modalita.



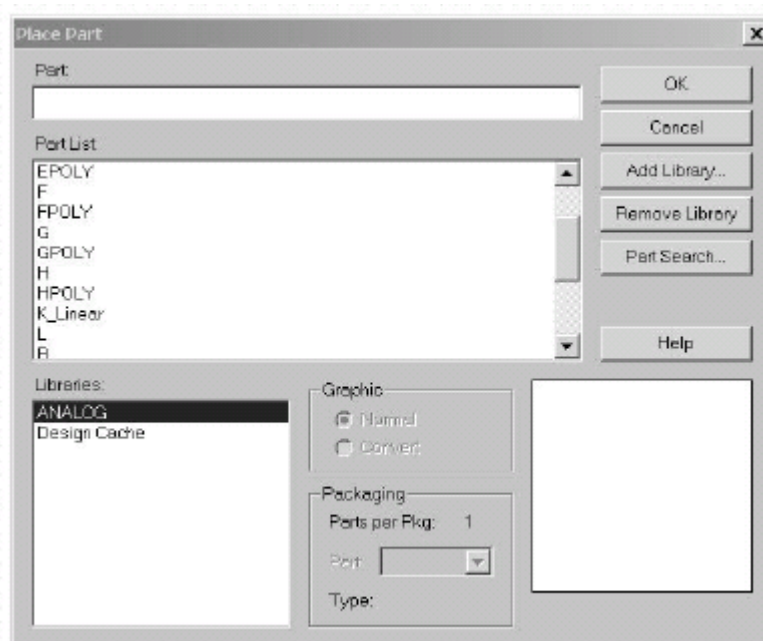
Ako príklad si vytvoríme jednoduchý napäťový delič pozostávajúci z dvoch rezistorov, každý s hodnotou $10k\Omega$. Napájané to bude sériovým zdrojom sínusového priebehu a budeme pozorovať napätia v uzloch medzi odporami. Napätie má byť polovicou vstupného.

Z menu na hornej lište vyberte **Place** a potom **Part** Vystúpi nasledovný dialogový box

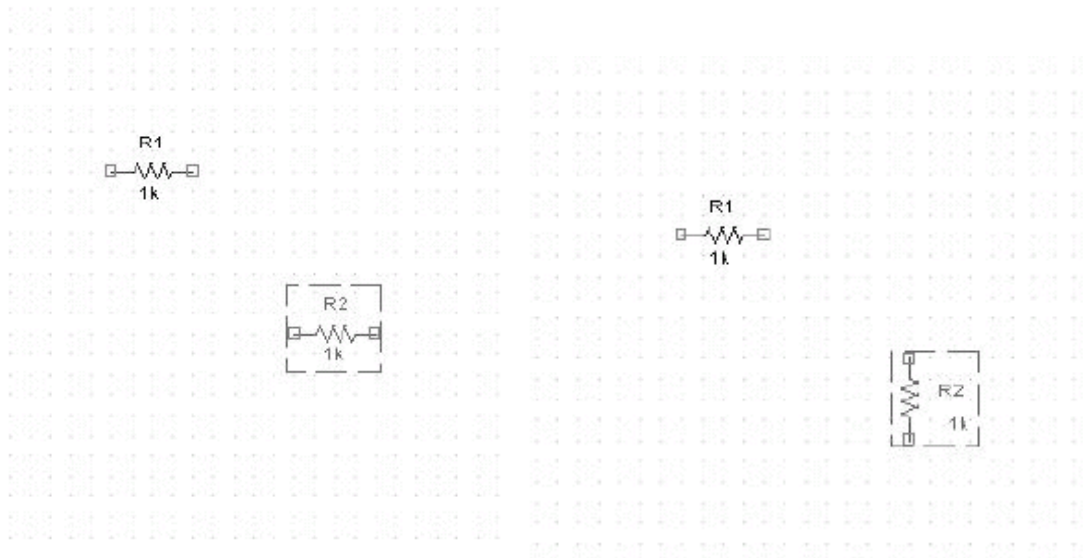
Simulačné prostredie PSPICE



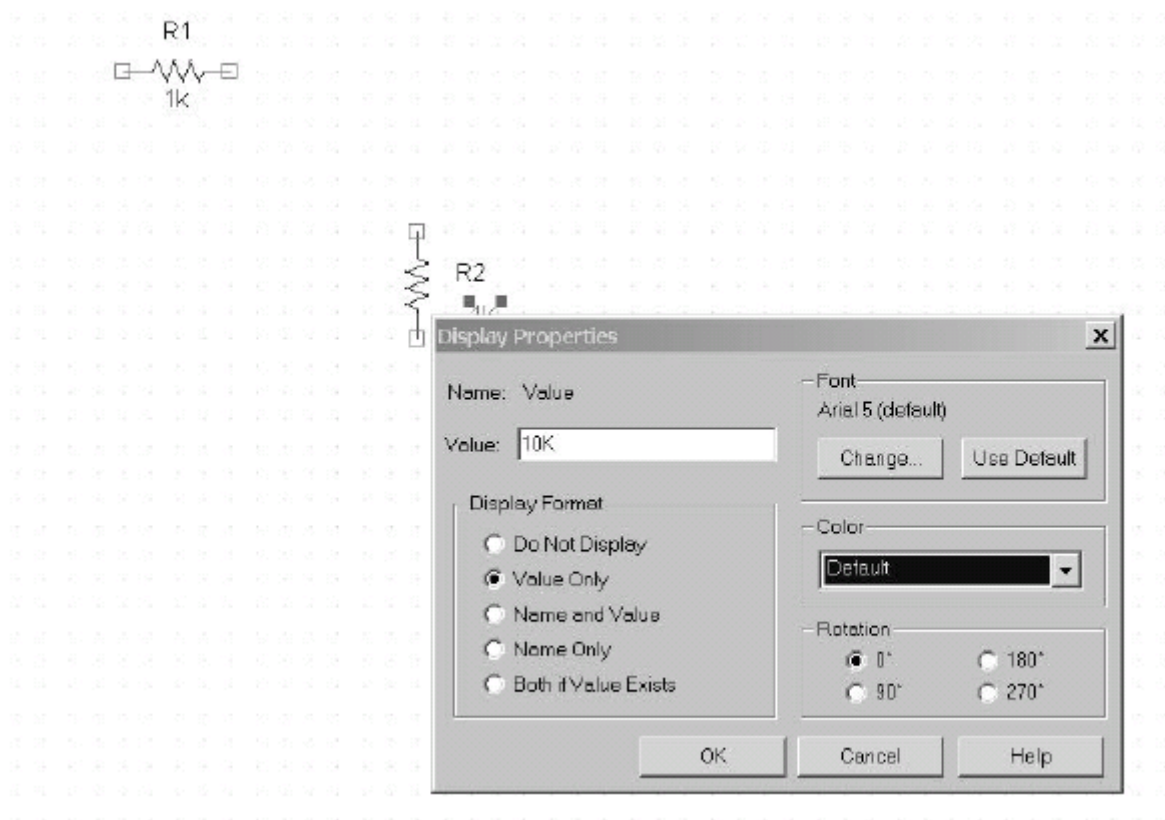
Kliknite na **Add Library** a vyberte **Analog Library**. Inou možnosťou je už v tejto fáze pridať všetky knižnice ktoré v Demo verzii sú k dispozícií.



Vyberte z knižnice **ANALOG** R ako pomocou dvojitého kliknutia na tlačítko myši. Umiestnite prvok a po opätovnom kliknutí sa objaví aj druhý rezistor R. Nakoniec musíte stlačiť tlačítko *Esc* aby ste vyšli z kreslenia rezistorov. Ak poloha rezistora nevyhovuje stlačením pravého tlačítka myši si môžete vybrať možnosť **Rotate**. Tým sa rezistor pootočí.



Po kliknutí pravého tlačítka sa v ponuke objaví aj možnosť **Edit Properties**. Objaví sa dialógový box podľa obrázka. Súčasne z klávesnice je možné meniť hodnoty



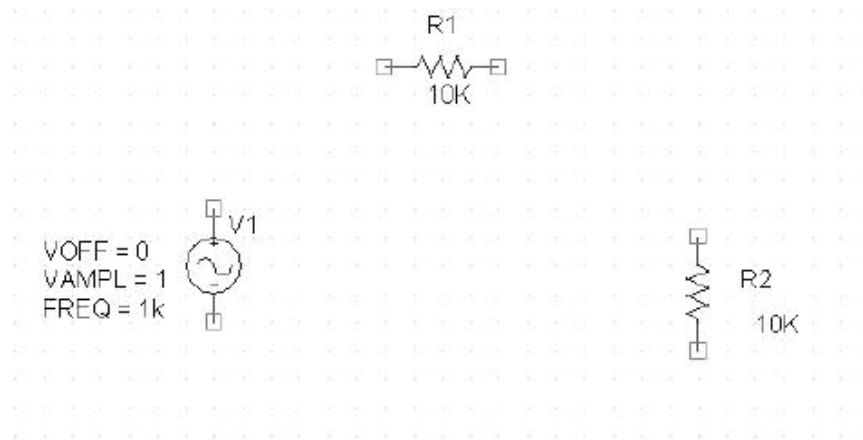
To isté aj pre rezistor R2.

Na tomto mieste možno pristúpiť k uloženiu doteraz vykonanej práce. Vykoná sa to pomocou príkazu Ctrl-S alebo kliknutím na ikonu diskety na hornej lište. Inou možnosťou je výber z menu **File** a **Save**.

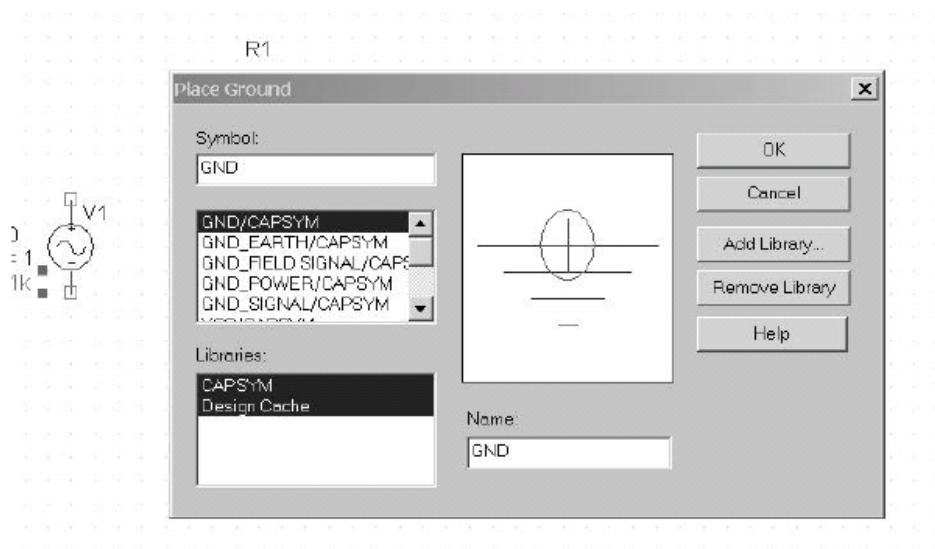
Zdroj vyberiem opäť pomocou príkazu **Place Part** teraz ale z knižnice **SOURCE**. Z ponuky si vyberiem **V_{SIN}**. Presunete zdroj na želané miesto schémy a nastavte parametre zdroja. Dosiahne sa to kliknutím

Simulačné prostredie PSPICE

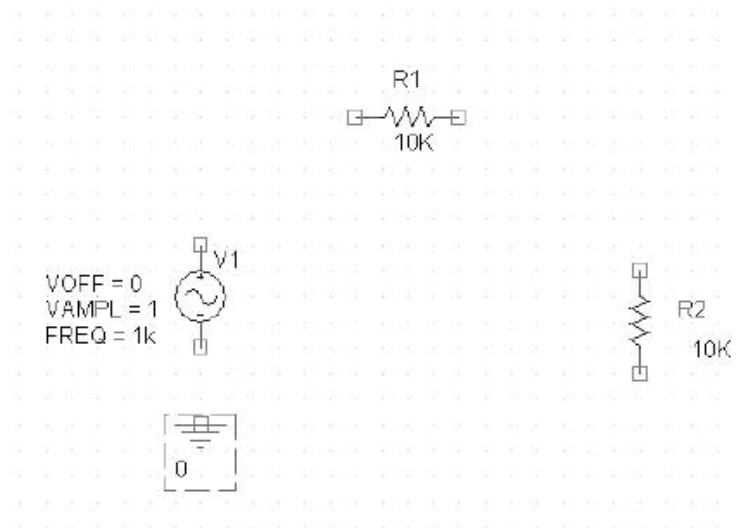
na štítky **VOFF**, ktoré necháme rovné 0. Štítky **VAMPL** a **FREQ** nastavíme na požadovanú hodnoty **VAMPL=1V** a **FREQ=1kHz** kliknutím na pravé tlačítko myši.



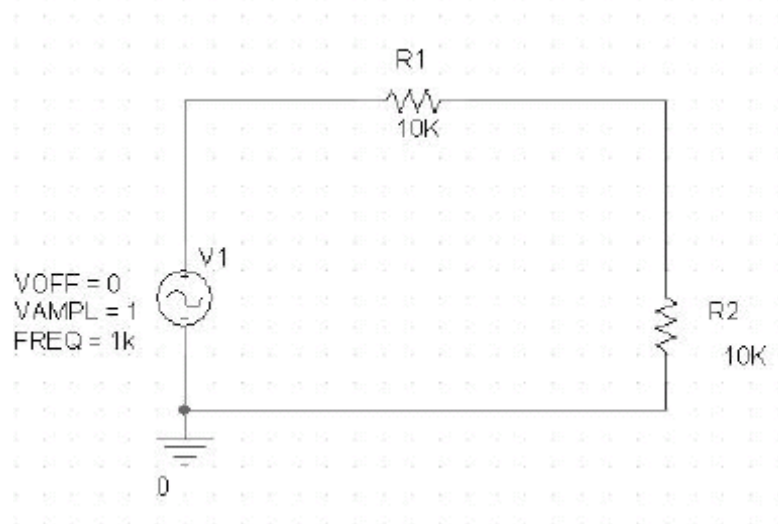
Nakoniec musím priložiť na vybraný uzol referenčnú zem tak ako to vyžadujú všetky verzie **Spice** ktoré jednému uzlu priradujú číslo 0. Dá sa použiť **0/CAPSYM**. Nakoniec obvod vyzerá podľa obrázku:



Konečná sada súčiastok je na obrázku



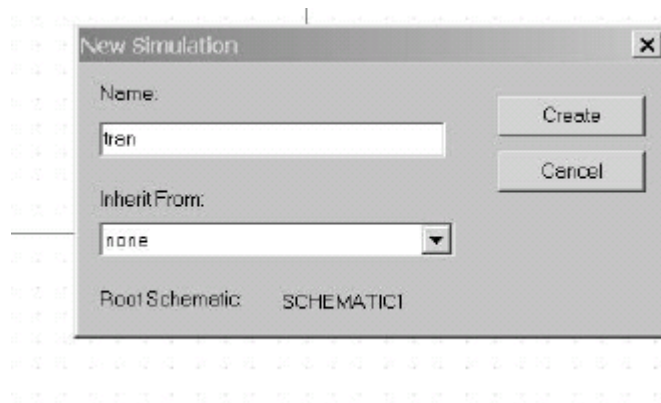
Teraz nastal čas na vytvorenie prepojev medzi uzlami prvkov. Uskutoční sa to príkazom **PlaceWire**. Kliknite na počítačový uzol a potom myšou ťahajte vodič k druhému uzlu a kliknutím potvrdte správnosť ukončenia prepoja medzi dvoma uzlami. Ďalším kliknutím na inom uzle sa začína nový prepoj a ukončuje sa následným kliknutím. Keď sú spojené všetky prvky opustíte mode kreslenia prepojov stlačením tlačítka **Esc**. Obvod bude vyzerat' podľa obrázku.



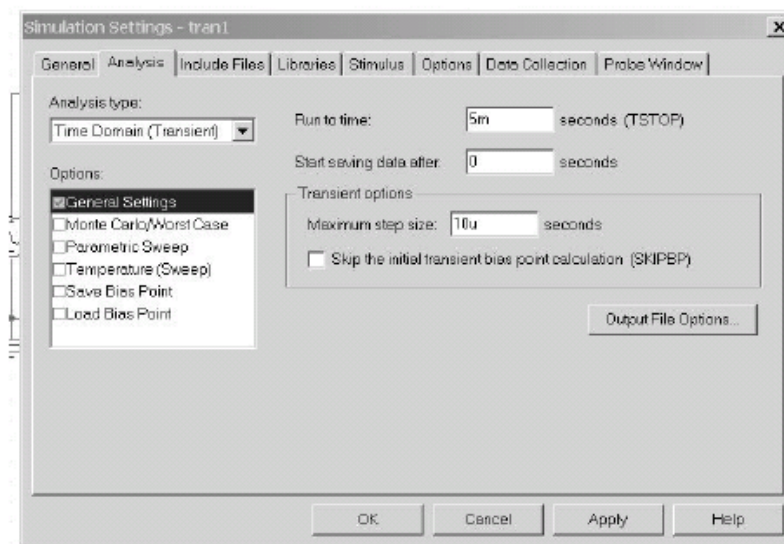
Teraz sme pripravený vykonať zvolenú simuláciu. To začína tým , že sa zvolí simulačný profil podľa ktorého sa uskutoční simulácia. Pre navrhnutie profilu stlačíme z ponuky menu na hornej lište **Pspice** a v ňom položku **New Simulation Profile**.

Objaví sa následovné dialógové okno. Tu je potrebné vložiť názov simulačného profilu. V našom prípade bude nazvaný „tran“. Stlačením **Create** sa vytvorí príslušný profil.

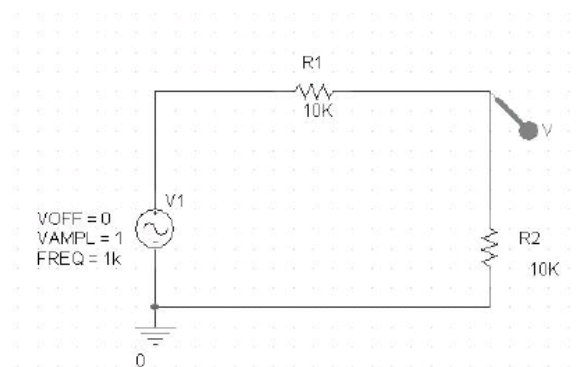
Simulačné prostredie PSPICE



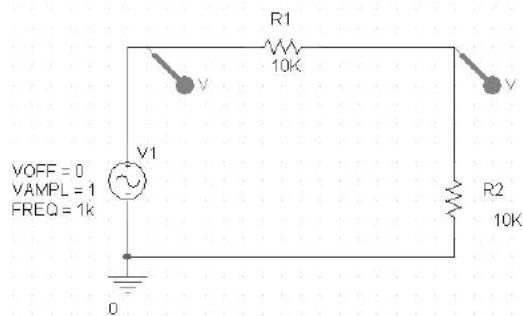
Po stlačení tlačítka **Create** sa objaví dialogové okno. Nakoľko vstupná frekvencia bola zvolená na hodnotu 1kHz čo odporvedá perióde 1ms. Dĺžka simulácie, ktorá má zmysel ja napr 5ms tj.5 periód priebehu. Tiež si žiadame 100 bodov za periódu, čo nastavíme maximálne povoleným krokom 10 μ s.



Musíme tiež prikázať **Pspice** ktoré uzlové napätia chceme kresliť. Dosiahneme to medzi ponuku v menu **Pspice** . Vyberieme ponuku Markers a Voltage. Umiestnime znak mrkeru na výstup odporového deliča ako je ukázané na obrázku.



Pre porovnanie dvoch napätí položíme znak markera aj na vstup deliča. Ako je vidieť na obrázku.



Opäť možno zapamätať vykonanú prácu pomocou **File** menu a **Save**.

Sú niektoré situácie pri zapojení zdrojov k dvojpólom, ktoré časť programu vytvárajúca vstupný súbor pre Pspice považuje za neurčitú lebo vedie pri výpočte k nekonečne malým hodnotám. Takou situáciou je napríklad: sériové zapojenie prúdového zdroja I s kondenzátorom C alebo paralelné zapojenie napäťového zdroja s transformátorom. Program hlási tento problém hláškou „Node xxx floating“ . Singularitám vo výpočte jednoduch zabránime keď v prvom prípade pripojíme paralelne k prúdovému zdroju technicky veľmi veľký odpor. V druhom prípade zapojíme technicky veľmi amly odpor do série s napäťovým zdrojom. Tieto hodnoty približujú idealizovaný stav skutočnosti nakoľko vždy existuje izolačný zvod prúdového zdroja alebo sériový odpor prívodov transformátora. Zistení ktorý z bodov nevyhovuje z hľadiska vytvorenej singularity vo výpočte zistíme z chybového hlásenia a prehľadke vstupného súboru. Vstupný subor je súčasťou chybového hlásenia.

2.2 Jednotky hodnôt súčiastok

Pri definovaní číselných údajov, možno pre program Pspice použiť tiež dva druhy prípon. Sú to tzv. prípony mierky a prípony jednotiek. Prípony mierky sa použijú na násobenie číselného údaju, za ktorým nasledujú. Prípony mierky, ktoré možno použiť v programe Pspice sú:

- f = 1E-15
- p = 1E-12
- n = 1E-9
- u = 1E-6
- mil = 25.4E-6
- m = 1E-3
- k = 1E3
- MEG = 1E6
- G = 1E9
- T = 1E12

Desatinné miesto je označené bodkou.

Prípony jednotiek, ktoré možno použiť v programe Pspice sú:

- V = volt
- A = ampér
- HZ = hertz

Simulačné prostredie PSPICE

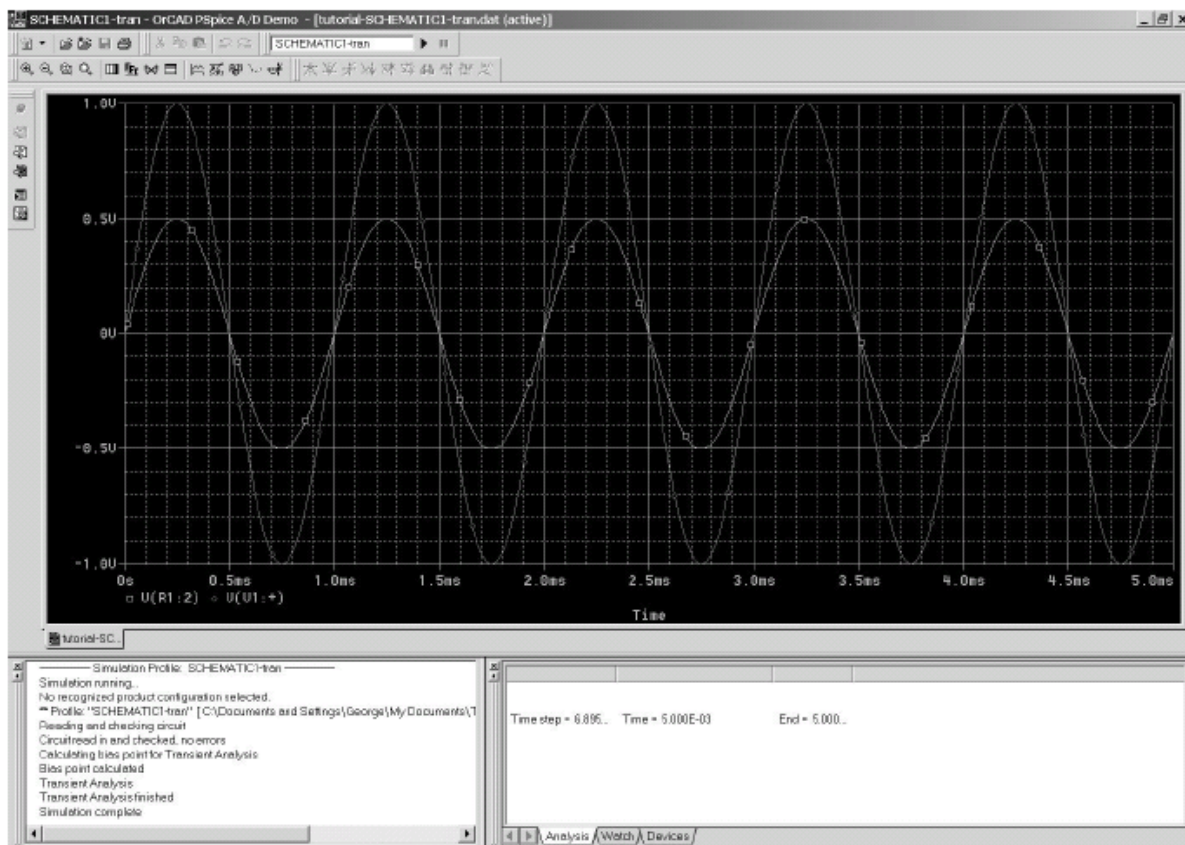
- OHM = ohm (Ω)
- H = henry
- F = farad
- DEG = stupeň

Prípory jednotiek sú umiestnené za príponami mierky. Za predpokladu, že prípony mierky nie sú použité, môžu byť prípony jednotiek umiestnené za zodpovedajúce číselné údaje. Prípory jednotiek sú v **Pspice** vždy ignorované. Ich použitie umožňuje zostaviť vstupný súbor pre program **Pspice**, ktorý je dobre čitateľný a rýchle zrozumiteľný. Vzhľadom na to, že Pspice ignoruje každú príponu jednotky, budú nasledujúce hodnoty ekvivalentné:

Hodnoty odporu, indukčnosti alebo kapacity sú obyčajne kladné. V niektorých prípadoch, je však potrebné vykonať analýzu obvodu, ktorý obsahuje i záporné hodnoty týchto veličín. **Pspice** umožňuje realizovať i túto úlohu.

2.3 Zobrazenie výsledkov simulácií

Sme pripravení spustiť simuláciu. Robíme to voľbou **Pspice** z ponuky hlavného menu a potom položka **Run**. Možno podobné dosiahnuť aj stlačením modrej šípky v nástrojovej lište. Po krátkej dobe sa objaví okno programu **Probe**, a s ním vybrané priebehy napätia. Ďalšie priebehy možno pridať z ponukovej lišty stlačením voľby **Add Trace**. Výber priebehu sťažuje trochu zložité označenie priebehov prúdu, napätí a výkonov. Užívateľ intuitívne ale dokáže najst' požadovaný priebeh.



Ak nastane chyba v prepojení alebo zabudnutí uzla nula podprogram Netlist hlási chybu.

Výsledky niektorých simulácií **.SENS** alebo **.TF** je možné vyčítať z výpisu výstupného súboru, ktorý ponúka program **Probe** alebo z ponuku **Pspice** označenej ako **VIEW**.

Iné typy simulácii pri voľbe simulačného profilu sú **.AC analysis/noise**, **DC sweep** a **Bias point**. Pri voľbe analýzy **Bias point** je možné do profilu vložiť aj **.TF** a **.SENSE** analýzy.

Hodnoty jednosmerných napätí a prúdov pracovných bodov je možné v prostredí **Capture CIS** zobrazit' stlačením tlačítka **U** a **I** na lište nástrojov. Zobrazia sa v bordových a červených oknách.

Kedykoľvek možno simulačný profil editovať stlačením ponuky hlavného menu **Edit Simulation Profile**.

2.4 Typy simulácií – simulačné profily

Program Pspice umožňuje štyri základné simulácie. Tieto sa nastavujú v ponuke z menu **"New simulation profile"**. Ak je potrebné zmeniť niektoré parametre tohoto profilu menu má ponuku **"Edit simulation profile"**.

Jednosmerná analýza (.DC sweep)

JS analýza umožňuje plynule meniť vybraný jednosmerný signál reprezentovaný prúdovým alebo napäťovým zdrojom vo zvolenom intervale hodnôt s voliteľným krokom zmeny. Výstupom potom je napätie medzi zvolenými uzlami alebo prúd vo zvolenej vetve. Tým sa získa jednosmerná prenosová charakteristika označovaná ako **"Transfer characteristic"** medzi vstupnou a výstupnou elektrickou veličinou. Prenos medzi vstupnou budiacou veličinou a výstupnou veličinou zohľadňuje nelineárne vlastnosti použitých elektronických prvkov pri danej izbovej teplote (300K) pokiaľ sa to v zdaní teloty neurčí inak.

Tento typ analýzy môže byť rozšírený o možnosť krokovej zmeny ďalšej veličiny akou môže byť iný elektrický budiaci zdroj alebo parameter napr. teplota. Predstavuje to vnorenú krokovú zmenu sekundárne veličiny.

Okrem jednosmernej prenosovej charakteristiky **"Transfer characteristic"** je možné JS analýzu využiť aj na citlivostnú analýzu **"Sensitivity analysis"**. Táto analýza umožní zistiť ktorý parameter má najväčší vplyv na zmeny zvolenej výstupnej elektrickej veličiny.

Určenie pracovných bodov (.OP Bias Points)

Táto analýza opäť vychádza z presného nelineárneho opisu chovania elektronických prvkov obvodu. Umožní zistiť hodnoty pracovných napätí, prúdov a výkonov vo všetkých častiach obvodu. Tie sú vyjadrené hodnotami v farebných rámkoch na základe stlačenia príslušnej ikony v menu programu. Poznanie JS pracovných bodov je počiatočný krok k ST analýze v okolí týchto pracovných bodov. Je to aj počiatočný bod k integrovaniu úplnej sústavy diferenciálnych nelineárnych rovníc. Poznanie pracovných bodov pomocou **DC bias** simulácia je ale potrebné k overeniu či všetky pracovné body sa podarilo nastaviť na želané hodnoty a či prvky sú v takom režime aby dokázali spracovávať analógový signál.

Striedavá analýza (.AC analysis)

Umožňuje posúdiť chovanie obvodu v okolí pracovného bodu, zisteného predchádzajúcou analýzou. Ako bolo spomínané v predchádzajúcej časti prírastkové chovanie obvodu je študované za predpokladu budenia obvodu limitne malým striedavým harmonickým signálom. Nelineárne chovanie prvkov obvodu sa nahradzuje ich linerizovaným modelom pre zistený jednosmerný pracovný bod. Analýza umožní zistiť linearizované dvojbránové parametre medzi veličinami vstupnej a výstupnej brány ako je prenos, vstupná a výstupná impedancia. Tieto veličiny sú určené ako komplexná veličina z ktorej možné určiť modul a fázú alebo reálnu a imaginárnu časť. AC analýza umožní zistiť tieto veličiny pre zvolený interval frekvencií zvolený v ponuke "simulation profile". Budiaci zdroj AC signálu môže byť zaradený aj do série s napájacím napätím. Tento postup umožní zistiť ctilivosť obvodu na zvyškové zvlnenie napájacieho napätia na vybrané elektrické veličiny.

Súčasťou ST analýzy je šumová analýza "**Noise analysis**". Pri nej je AC zdroj vypnutý a študuje sa kombinovaný efekt všetkých zdrojov tepelného a výstrelového šumu všetkých prvkov. Veľkosť týchto šumových zdrojov vychádza zo zvolenej teploty okolia. Výsledkom je výkonová šumu na jednotkový frekvenčný interval [V_{rms}^2/Hz]. Efektívnu hodnotu šumu v frekvenčnom intervale spracovania signálu možno potom určiť integrovaním hustoty energie pre príslušný frekvenčný interval a odmocnením výsledku.

Transient Analysis (.TRAN analysis)

Predstavuje najzložitejšiu analýzu chovania elektronického obvodu. Je založená na numerickej integrácii stavového opisu obvodu pomocou sústavy nelineárnych diferenciálnych rovníc. Zdroj budiaceho signálu môže mať ľubovoľný tvar periodického budiaceho signálu. Pre praktické použitie má samozrejme okrem harmonického priebehu periodický impulzný signál. Zo zisteného tvaru priebehu výstupnej veličiny zadanej v simulačnom profile je možné určiť spektrum pomocou príkazu "**Fourier Analysis**". Pre prípad budenia harmonickým signálom skutočne veľkej amplitúdy sa získa výstupná veličina s presným tvarom. Jej spektrum umožní určiť skreslenie jej priebehu. Keď budiacou veličinou má amplitúdu X a amplitúdy jednotlivých harmonických výstupnej veličiny sú Y_i skreslenie je určené výrazom

$$D = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} Y_i^2}}{X}$$

Túto veličinu je možné získať príkazom "**Distortion**".

Okrem použitia prvkov opísaných v knižnici modelov (**.MODEL**) užívateľ si môže do obvodu vložiť často opakovaný vlastný podobvod ktorý je označený **.SUBCKT**. Uzly tohto podobvodu sa pripoja do hlavného obvodu podľa zápisu v prvom riadku poľa definujúceho podobvod.

Pri označovaní uzlov obvodu platí všeobecne záväzné pravidlo, že v obvode musí byť jeden uzol zvolený ako vzťažný "0". Táto podmienka sa naplní pri použití grafického rozhrania vložením zemniaceho uzla s označením "**O/Ground**" na vzťažný uzol.

Pri kreslení obvodov v grafickom rozhraní častou chybou je nesprávne vedenie prepojení. Pohyb kurzora predstavujúceho kresliaci nástroj vytvárajúci prepoje môže byť programom nesprávne vyhodnotený programom a spoj sa neukončí na požadovanom uzle alebo sa vytvorí skrat. Overenie ukončenia všetkých prepojení sa overuje subrutinou "**Create Netlist**". Chybové hlásenie tohto programu upozorní užívateľa na najjednoduchšie chyby pri opise obvodu nepripojených koncov súčiastok zavedených v grafickom rozhraní.

Citlivostná analýza (.SENS)

Príkaz **.SENS** programu Pspice, umožňuje vykonať jednosmernú citlivostnú analýzu obvodu. Po linearizovaní obvodu v okolí pracovného bodu je tu vypočítaná citlivosť všetkých výstupných premenných na každú hodnotu parametrov obvodových modelov. V prípade tejto analýzy, sú indukcie považované za obvody nakrátko a kapacitory za obvody naprázdno. Výsledky citlivostnej analýzy sú zapísané automaticky do výstupného súboru vo forme tabuľky čísel. V prípade zložitého obvodu môže výstup tejto analýzy obsahovať značné množstvo údajov.

Jednosmerná prenosová funkcia (.TF)

Použitím analýzy **.TF** možno v programe Pspice realizovať výpočet jednosmernej prenosovej funkcie pre malé signály, zo špecifikovaného vstupu na špecifikovaný výstup. Tento výpočet je vykonaný po

linearizovaní analyzovaného obvodu v jeho pracovnom bode. Ak sú v obvode zapojené indukory a kapacitory, tak sú považované za obvody nakrátko, resp. naprázdno. Výsledok analýzy, ktorým je vstupný a výstupný odpor, ako aj prenosová funkcia (t.j. napäťový zisk, prúdový zisk, prenosový odpor alebo prenosová vodivosť) je automaticky zapísaný priamo do výstupného súboru.

Príkaz .TF teda realizuje výpočet parametrov obvodu, ekvivalentného analyzovanému obvodu v zmysle Theveninovej alebo Nortonovej teóremy. Príkaz pre vykonanie tejto analýzy má tento formát:

Šumová analýza. (.NOISE).

Rezistory a polovodičové prvky generujú šum, ktorého úroveň je funkciou frekvencie. Opis typov šumov, ktoré sú generované týmito elektronickými prvkami možno nájsť v literatúre. V rámci šumovej analýzy Pspice určí ekvivalentný výstupný a vstupný šum v špecifikovanom vstupnom a výstupnom uzle. Šumová analýza je vykonávaná v kombinácii s .AC analýzou, pričom sa vyžaduje aby vo vstupnom súbore pre Pspice bola definovaná i .AC analýza. Pre každú frekvenciu definovanú v príkaze .AC, je vypočítaná šumová úroveň pre každý generátor šumu v obvode (t.j. pre rezistory a polovodičové prvky) a ich príspevky k výstupnému uzlu sú vypočítané cestou RMS sumácie hodnôt šumu. Potom je vypočítaný zisk zo vstupného zdroja k výstupnému napätiu. Z tohoto zisku, je programom Pspice vypočítaná ekvivalentná úroveň vstupného šumu v špecifikovanom zdroji.

3 POLOVODIČOVÉ DIÓDY

3.1 Experimenty s PN Diódou

Ciele experimentu:

1. Porovnajte prechodové napätie priepustne polarizovanej diódy s napätím záverne polarizovanej diódy.
2. Porovnajte prúd diódou v priepustnom a závernom smere.
3. Vypočítajte priepustný prúd diódou pre známy odpor v obvode a porovnajte ho s výsledkom experimentu v simulačnom prostredí.
4. Určte napätie na záverne polarizovanej dióde a porovnajte ho s výsledkom experimentu.
5. Naučte sa z výsledkov meraní realizovaných v simulačnom prostredí určiť chyby použitých diódových obvodov.

Použité súčiastky:

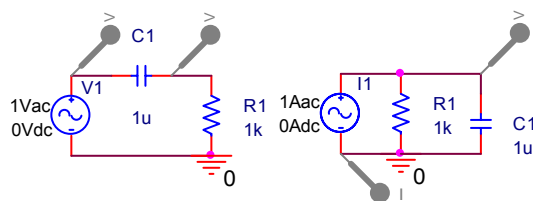
Dióda: D1

Rezistor: R1

Napájací zdroj: V1

3.1.1 Prenos sériového a paralelného kondenzátora na striedavý prenos

Otvorte D3-1a.opj, D3-1b.opj a nastavte hodnoty prvkov podľa Vášho zadania vo Vašej verzii projektu. ST analýzou (.AC analysis) zistíte prenos medzi výstupným a vstupným napätím. Tieto údaje skontrolujte analytickým výpočtom.



Zapojenie obvodu D3-1a a D3-1b

Otázky a úlohy:

6. Overte analytický výraz prenosovej funkcie U_2/U_1 pre sériový RC článok a transimpedančnej funkcie U_2/I_1 pre paralelný RC článok.
7. Simuláciou overte modulovú a fázovú charakteristiku prenosovej funkcie U_2/U_1 pre sériový RC článok a transimpedančnej funkcie U_2/I_1 pre paralelný RC článok./U
8. Pre sériový RC článok a pre paralelný RC článok určte analytický výraz pre dolnú a hornú medznú frekvenciu.
9. Simulujte prenos transformátorovou väzbou v samostatnom projekte a posúďte dualitu obvodov.

Prenosová funkcia U_2/U_1 pre sériový RC článok

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1} = \frac{j\omega C_1 R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} = \frac{\omega C_1 R_1}{\sqrt{1 + (\omega C_1 R_1)^2}} e^{j\left(\arctg \omega C_1 R_1 - \frac{\pi}{2}\right)}$$

Transimpedančná funkcia U_2/I_1 pre paralelný RC článok.

$$\frac{U_2}{I_1} = \frac{\frac{1}{j\omega C_1} R_1}{\frac{1}{j\omega C_1} + R_1} = \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} = \frac{R_1}{\sqrt{1 + (\omega C_1 R_1)^2}} e^{-j\arctg \omega C_1 R_1}$$

Medzné frekvencie pre obidve zapojenia (dolná pre sériový RC článok a horná pre paralelný RC článok) sú určené z podmienky $\arctg(\omega C_1 R_1) = \pi/4 = 45^\circ$; $\Rightarrow \omega_M C_1 R_1 = 1$; $\Rightarrow \omega_M = 1/ C_1 R_1$.

3.1.2 Záverne polarizovaná dióda

Otvorte D3-2a.opj a nastavte hodnoty prvkov podľa Vášho zadania vo Vašej verzii projektu. DC analýzou zistíte hodnoty napätí a prúdov na prvkoch obvodu. Tieto údaje skontrolujte analytickým výpočtom.

Otvorte D3-2b.opj a nastavte hodnoty odporu tak aby pre zvyškový prúd z Vášho zadania vznikol pomer napätia na dióde a odpore podľa Vášho zadania vo Vašej verzii projektu. DC analýzou zistíte hodnoty napätí a prúdov na prvkoch obvodu. Tieto údaje skontrolujte analytickým výpočtom.

Otázky a úlohy:

1. Prečo sa veľkosť napätia na dióde v priepustnom smere líši od odhadovaného napätia 0,7 V
2. Aká by bola veľkosť napätia na dióde v priepustnom smere pre germaniovú diódu a GaAS diódu
3. Prečo sa údaje analytického výpočtu priepustného prúdu líšia od zistených v simulačnom prostredí.

Polovodičové diódy

4. Ako sa líši zvyškový prúd jednotlivých diód ktoré si najdete v katalógu alebo na www.google.com
5. Ako sa líši záverné napätie na dióde v simulačnom prostredí od vypočítanej hodnoty na základe katalógových údajov záverného prúdu

Porovnajtie napätia v priepustnom a závernom smere diódy pre hodnoty odporu vo Vašom zadaní. Prečo sa líšia?

Porovnajtie dopredný prúd so záverným pre hodnoty odporu vo Vašom zadaní. Prečo sa líšia?

3.1.3 Hľadanie porúch v diódovom obvode

Otvorte D3-3.opj a D3-5.opj na základe zistenej voltampérovej charakteristiky (DC Analysis) alebo pomocou zápisu pracovných bodov pre rôzna napájacie napätia zistíte o aký typ diódy sa jedná.

Otázky a úlohy:

1. Ako sa líši zvyškový prúd diód vyrobených jednotlivými technológiami a aké napätie je pri otvorení diódy.
2. *Ako ovplyvnia zvyškové prúdy prahové napätie PN diódy kedy jej prúd v doprednom smere sa začne prudko zvyšovať?*

Otvorte D3-4a.opj a D3-4b.opj a zistíte VA charakteristiky a hodnoty pracovných bodov pre rôzne hodnoty napájacieho napätia v obvode s Si diódou.

Otázky a úlohy:

1. Na základe pracovných prúdov a napätí zistíte .
2. *Ako sa zistí to že dióda vykazuje skrat alebo prerušenie?*

3.2 Zistenie voltamperovej charakteristiky PN diódy

Ciele experimentu:

3. Spoznanie VA charakteristiky PN diódy a jej porovnanie s analyticky vyjadrenou závislosťou.
4. Určenie diferenciálneho odporu v jednotlivých oblastiach VA charakteristiky.

Použité súčiastky:

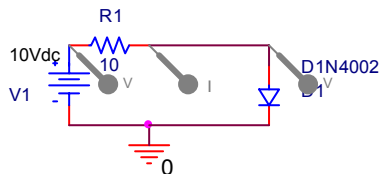
Dióda: D1 1N4002

Rezistor: R1=x kohm

Napájací zdroj: V1

Otvorte D3-6.opj a zistíte voltampérovú charakteristiku dvoma spôsobmi a zistíte o aký typ diódy sa jedná. Vypočítajte pracovné body pre päť hodnôt napájacieho napätia (-10V,-5V,0V,5V,10V) pri použití zjednodušeného modelu diódy podľa Obr.3.2.2 a 3.2.1 [1]. Uvažujte hodnoty prvkov modelu R_R , R_F a typ diódy podľa Vášho zadania.

Polovodičové diódy



Zapojenie obvodu D3-6

Otázky a úlohy:

1. Odmerajte VA charakteristiky PN diódy 1N4002 opakovaním zistení pracovných prúdov a napätí pre rôzne hodnoty napájacieho napätia (.OP bias)
2. Odmerajte VA charakteristiky PN diódy 1N4002 pomocou jednosmernej prenosovej funkcie (.DC sweep).
3. Ktorý spôsob zistenia VA charakteristiky sa pri reálnom experimente dá použiť ak máte dva multimetre a regulovaný zdroj napätia.
4. Porovnajme prúd diódou v priepustnom a závernom smere a od čoho závisí.
5. Z VA charakteristiky určte diferenciálny odpor diódy v priepustnom a závernom smere.
6. K jednosmernému zdroju pridajte striedavý. Pomocou striedavej analýzy zistíte hodnoty diferenciálnych odporov a porovnajme ich s hodnotami zistenými v z VA charakteristiky.
7. Zistite diferenciálne odpory diódy v jednotlivých oblastiach experimentálne
8. Ako sa dajú zistiť hodnoty diferenciálnych odporov PN diódy v jednotlivých oblastiach charakteristiky.
9. Čo je diferenciálny odpor a nelineárneho prvku
10. Aké je prahové napätie PN diód vytvorených polovodičom Si, Ge, GaAs

3.3 Zistenie voltamperovej charakteristiky Zenerovej diódy

Ciele experimentu:

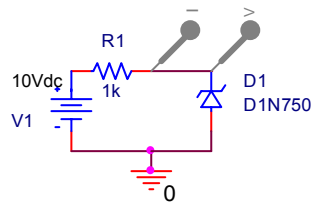
1. Spoznanie VA charakteristiky zenerovej diódy a jej porovnanie s analyticky vyjádrenou závislosťou.
2. Určenie diferenciálneho odporu v jednotlivých oblastiach VA charakteristiky.

Použité súčiastky:

Dióda: D1 1N750

Rezistor: R1=x kohm

Napájací zdroj: V1



Zapojenie obvodu D3-7

Otvorte D3-7.opj a zistite voltampérovú charakteristiku dvoma spôsobmi a zistite o aký typ diódy sa jedná. Vypočítajte pracovné body pre sedem hodnôt napájacieho napätia (-10V,-7,5,-5V,-2,5,0V,5V,10V) pri použití zjednodušeného modelu diódy podľa Obr.3.2.4 [1]. Uvažujte hodnoty prvkov modelu RZ ,RR, RF a UZ podľa Vášho zadania.

Otázky a úlohy:

1. Odmerajte VA charakteristiku zenerovej diódy 1N750 opakovaním zistení pracovných prúdov a napätí pre rôzne hodnoty napájacieho napätia(.OP bias)
2. Ako sa zistí či nebola prekročená výkonová strata v zenerovej oblasti? Čo by jej prekročenie spôsobilo v reálnom obvode?
3. .Odmerajte VA charakteristiky zenerovej diódy 1N750 pomocou jednosmernej prenosovej funkcie (.DC sweep).
4. Ktorý spôsob zistenia VA charakteristiky sa pri reálnom experimente dá použiť ak máte dva multimetre a regulovaný zdroj napätia.
5. Čím je obmedzený maximálna hodnota prúdu zenerovou diódou ktorú nesmieme prekročiť.
6. Koľko oblasti na VA charakteristike možno vymedziť.
7. Porovnajme prúd diódou v priepustnom,závernom smere a v závernom smere v režime stabilizovaného napätia a od čoho závisí.
8. Z VA charakteristiky určte diferenciálny odpor diódy v priepustnom,závernom smere a v závernom smere v režime stabilizovaného napätia.
9. K jednosmernému zdroju pridajte striedavý. Pomocou striedavej analýzy zistíte hodnoty diferenciálnych odporov a porovnajme ich s hodnotami zistenými v z VA charakteristiky.
10. Zistite diferenciálne odpory diódy v jednotlivých oblastiach experimentálne
11. *Ako sa dajú zistiť hodnoty diferenciálnych odporov zenerovej diódy v jednotlivých oblastiach charakteristiky.*
12. *Aké oblasti na VA charakteristike zenerovej diódy odlišujeme?*
13. *Čo je diferenciálny odpor a nelineárneho prvku?*
14. *Aké je prahové napätie zenerový diód vytvorených polovodičom Si,Ge.*
15. *Ako zistíme zenerové napätie diód pre potreby stabilizácie?*
16. *Čím je obmedzený prúd pretekajúci zenerovou oblasťou?.*

3.4 Zistenie voltamperovej charakteristiky tyristora a triaka

Ciele experimentu:

1. Spoznanie VA charakteristiky tyristora pre rôzne hodnoty prúdu riadiacej elektródy.
2. Určenie diferenciálneho odporu pri otvorenom a uzavretom tyristore.
3. Spoznanie VA charakteristiky triaku pre rôzne hodnoty prúdu riadiacej elektródy.

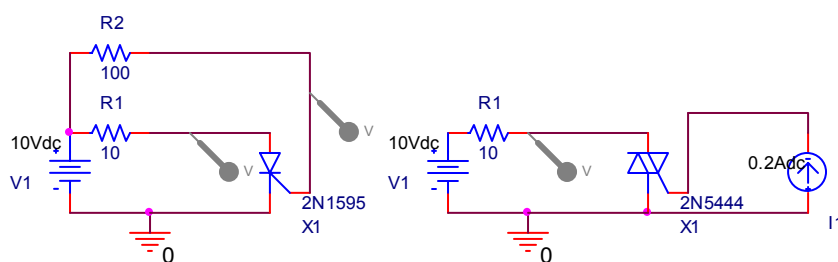
Použité súčiastky:

Tyristor: 1N1595

Rezistor: $R_1=10\ \Omega$

Napájací zdroj: V1

Prúdový zdroj riadiacej elektródy: I1



D3-8

D3-9

Otvorte D3-8.opj a D3-8a.opj zistíte voltampérovú charakteristiku dvoma spôsobmi pre nulový prúd do riadiacej elektródy a pre kladný riadiaci prúd o hodnote 10 mA. Pomocou programu Pspice určte pracovné body pre päť hodnôt napájacieho napätia (-10V, -5V,0V,5V,10V) pri použití zjednodušeného modelu tyristora. Uvažujte hodnoty prvkov modelu R_R , R_F podľa Vášho zadania.

Pre štúdium chovania triakov otvorte D3-9.opj. Pomocou jednosmernej analýzy zistíte ich VA charakteristiky.

Otázky a úlohy:

1. Odmerajte VA charakteristiku tyristora opakovaním zistení pracovných prúdov a napätí pre rôzne hodnoty napájacieho napätia (.OP bias) a pre dve hodnoty riadiaceho prúdu.
2. Ako sa zistí výkonová strata pri otvorenom tyristore? Čo by jej prekročenie spôsobilo v reálnom obvode?
3. Odmerajte VA charakteristiky tyristora pomocou jednosmernej prenosovej funkcie (.DC sweep) s parametrickou zmenou riadiaceho prúdu.
4. Ktorý spôsob zistenia VA charakteristiky sa pri reálnom experimente dá použiť ak máte dva multimetre a regulovaný zdroj napätia a tyristor má určený riadiaci prúd zo spoločného zdroja zmenou hodnoty odporu v obvode.
5. Koľko oblastí na VA charakteristike tyristora.

6. Z VA charakteristiky určte diferenciálny odpor diódy v priepustnom a závernom smere.
7. K jednosmernému zdroju pridajte striedavý. Pomocou striedavej analýzy zistite hodnoty diferenciálnych odporov a porovnajte ich s hodnotami zistenými v z VA charakteristiky.
8. Zistite diferenciálne odpory tyristora v jednotlivých oblastiach experimentálne
9. Odmerajte VA charakteristiky tyristora pomocou jednosmernej prenosovej funkcie (.DC sweep) s parametrickou zmenou riadiaceho prúdu.
10. Odmerajte VA charakteristiky triaku pomocou jednosmernej prenosovej funkcie (.DC sweep) pre parametricky meniace sa hodnoty riadiaceho prúdu.
11. Opakovaním zisťovania pracovných bodov (.DC bias) zistite medznú hodnotu prúdu na riadiacej elektróde kedy sa triak otvorí.
12. Zistite medzný prúd otvorenia triaku experimentálne.
13. *Čo odlišuje tyristor od PN diódy?*
14. *Čím sa riadi činnosť tyristora?*
15. *Nakreslite VA charakteristiky tyristora?*
16. *Ako sa uzavrie otvorený tyristor?*
17. *Kde sa využívajú tyristory?.*
18. *Ako sa líši triak od tyristora?*

3.5 Jednocestný usmerňovač

Ciele experimentu:

1. Ukážka použitia diódy na jednocestné usmernenie striedavého signálu na jednosmerný.
2. Porovnanie výstupného priebehu signálu so vstupným.
3. Výpočet jednosmerného výstupného napätia jednocestného usmerňovača bez výstupného filtra z hodnoty špičkového napätia
4. Určenie frekvencie zvlnenia zvyškového napätia filtra.
5. Ukážka úlohy filtra na výstupe usmerňovača.
6. .

Použité súčiastky:

Diódy: 1N1595

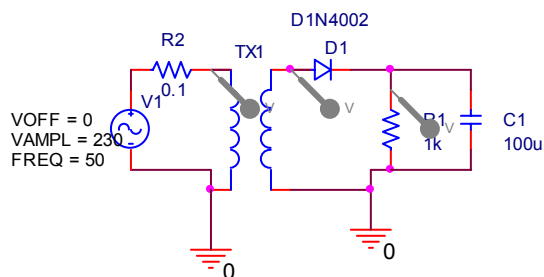
Transformátor s transformačným pomerom 38,33:1

Zaťažovací rezistor: $R_1=100 \Omega$

Polovodičové diódy

Napájací zdroj: 230 AC

Filtračný kondenzátor: $C=100\ \mu\text{F}$



Zapojenie obvodu D3-10

Otvorte D3-10.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh výstupného napätia jednocestného usmerňovača pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis). Analýzu uskutočnite pre prípad pripojenia filtračnej kapacity a bez nej. Na obvode je pripojený sériový rezistor s primárom transformátora pre vylúčenie limitných cyklov pri výpočte. Určte analyticky pomer indukčností primáru a sekundáru pre dosiahnutie transformačného pomeru 38,33:1. Aké bude napätie sekundáru ak na primár sa pripojí 230 V , 50 Hz?

Analyticky spočítajte strednú hodnotu napätia bez filtračnej kapacity.

Určte jednosmerné napätie na výstupe filtra za podmienky , že zvlnenie bude minimálne $R \rightarrow \infty$.

Nárast usmerneného prúdu sekundáru spôsobí jednosmerný magnetický tok jadrom transformátora. To môže mať za následok posun na hysteréznej krivke a zníženie vstupnej indukčnosti. Vysvetlite tento jav na hysteréznej krivke magnetických materiálov. Jedna z nevýhod jednocestného usmerňovača.

Otázky a úlohy:

1. Zistite frekvenciu zvlnenia na výstupe filtra.
2. Zistite strednú hodnotu napätia na výstupe jednocestného usmerňovača bez filtračného kondenzátora. Určte rozdiel medzi špičkovou hodnotou na odpore a na výstupe sekundáru.
3. Zistite hodnoty zvlnenia sekundáru pre tri rôzne hodnoty kapacít filtračného kondenzátora podľa individuálneho zadania.
4. Otvorte simuláciu D3-10a.opj. Určte akú poruchu vykazuje dióda D1.
5. Otvorte simuláciu D3-10b.opj. Určte akú poruchu vykazuje dióda D1.
6. *Kedy jednocestný usmerňovač vykazuje najvyššie zvlnenie*
7. *Aká je frekvencia zvlnenia jednocestného usmerňovača.*
8. *Aká je časová konštanta vybíjania filtra na výstupe jednocestného usmerňovača.*
9. *Aký bude priebeh na výstupe jednocestného usmerňovača bez filtračného kondenzátora s prerušenou diódou a skratovanou diódou.*

10. O koľko je špičkové napätie nižšie na výstupe jednocestného usmerňovača bez filtračného kondenzátora ako napätie sekundáru.

11. Vymenujete nevýhody jednocestných usmerňovačov.

3.6 Dvojcestný usmerňovač

Ciele experimentu:

12. Ukážka použitia diód na dvojcestné usmernenie striedavého signálu na jednosmerný.
13. Porovnanie výstupného priebehu signálu so vstupným.
14. Porovnanie výstupného priebehu jednocestného a dvojcestného usmerňovača bez filtračnej kapacity.
15. Výpočet jednosmerného výstupného napätia dvojcestného usmerňovača bez výstupného filtra z hodnoty špičkového napätia
16. Určenie frekvencie zvlnenia zvyškového napätia filtra.
17. Ukážka úlohy filtra na výstupe usmerňovača.
18. Ukážka zapojenia dvojcestného usmerňovača s vyvedeným stredom

Použité súčiastky:

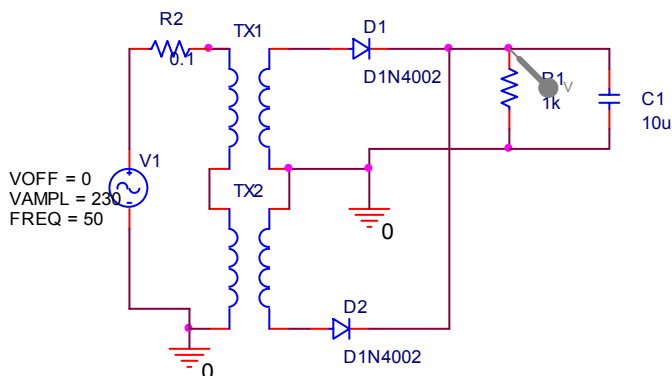
Diódy: 1N1595

Transformátor s transformačným pomerom 38,33:1

Zaťažovací rezistor: $R_1=100 \Omega$

Napájací zdroj: 230 AC

Filtračný kondenzátor: $C=100 \mu\text{F}$



Zapojenie obvodu D3-11

Otvorte D3-11.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh výstupného napätia dvojcestného usmerňovača s vyvedeným stredom sekundára pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis). Analýzu uskutočnite pre prípad pripojenia filtračnej kapacity a bez nej. Na obvode je pripojený sériový rezistor s primárom transformátora pre vylúčenie limitných cyklov pri výpočte.

Otázky a úlohy:

1. Zistíte frekvenciu zvlňenia na výstupe filtra. Ako táto korešponduje s vybijacou konštantou filtra.
2. Zistíte strednú hodnotu napätia na výstupe dvojcestného usmerňovača bez filtračného kondenzátora. Určte rozdiel medzi špičkovou hodnotou na odpore a na výstupe sekundáru pre obidva typy dvojcestných usmerňovačov.
3. Zistíte hodnoty zvlňenia sekundáru pre tri rôzne hodnoty kapacít filtračného kondenzátora podľa individuálneho zadania.
4. Otvorte simuláciu D3-11a.opj. Určte akú poruchu vykazuje dióda 1N4148. Pri vyšetrowaní poruchy potlačte vplyv filtračného kondenzátora.
5. Otvorte simuláciu D3-11b.opj. Určte akú poruchu vykazuje dióda 1N4148. Pri vyšetrowaní poruchy potlačte vplyv filtračného kondenzátora.
6. Otvorte simuláciu D3-11c.opj. Určte akú poruchu vykazuje transformátor. Pri vyšetrowaní poruchy odpojte niektoré prvky.

3.7 Mostíkový usmerňovač

Ciele experimentu:

1. Ukážka použitia diód na dvojcestné usmernenie striedavého signálu na jednosmerný pomocou Gretzového mostíka.
2. Porovnanie výstupného priebehu signálu so vstupným.
3. Porovnanie výstupného priebehu jednocestného a dvojcestného usmerňovača v mostíkovom zapojení bez zaradenia filtračnej kapacity.
4. Výpočet jednosmerného výstupného napätia dvojcestného usmerňovača bez výstupného filtra z hodnoty špičkového napätia
5. Určenie frekvencie zvlňenia zvyškového napätia filtra.
6. Ukážka úlohy filtra na výstupe usmerňovača.
7. Ukážka zapojenia dvojcestného usmerňovača s vyvedeným stredom a s Gretzovým mostíkom.

Použité súčiastky:

Diódy: 1N4002 a 1N4148

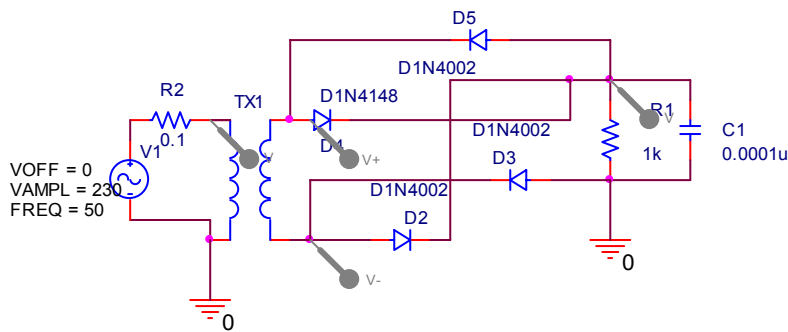
Transformátor s transformačným pomerom 38,33:1

Zaťažovací rezistor: $R_1=10 \Omega$

Napájací zdroj: 230 AC

Polovodičové diódy

Filtračný kondenzátor: $C=100\ \mu\text{F}$



Zapojenie obvodu D3-12

Úlohy

Otvorte D3-12.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh výstupného napätia dvojcestného usmerňovača s Gretzovým mostíkom pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis). Analýzu uskutočnite pre prípad pripojenia filtračnej kapacity a bez nej. Na obvode je pripojený sériový rezistor s primárom transformátora pre vylúčenie limitných cyklov pri výpočte. Určte analyticky pomer indukčností primáru a sekundáru pre dosiahnutie transformačného pomeru 38,33:1. Aké bude napätie sekundáru ak na primár sa pripojí 230 V , 50 Hz?

8. Analyticky vypočítajte špičkovú hodnotu na výstupe usmerňovača (na zaťažovacom odpore bez filtračnej kapacity).
9. Analyticky spočítajte strednú hodnotu napätia bez filtračnej kapacity.
10. Určte jednosmerné napätie na výstupe filtra za podmienky, že zvlnenie bude minimálne $R \rightarrow \infty$.
11. Zistíte frekvenciu a rozkmit zvlnenia na výstupe filtra. Ako rozkmit zvlnenia korešponduje s vybíjacou konštantou filtra.
12. Určte pomocou nástrojov programu Probe závislosť jednosmernej hodnoty výstupného napätia od veľkosti filtračného kondenzátora pre danú hodnotu zaťažovacieho odporu.
13. Určte pomocou nástrojov programu Probe závislosť zvlnenia výstupného napätia od veľkosti filtračného kondenzátora pre danú hodnotu zaťažovacieho odporu.
14. Porovnajme výhody a nevýhody usmerňovača v mostíkovom zapojení s usmerňovačom v vyvedeným stredom transformátora.
15. Otvorte simuláciu D3-12a.opj. Určte akú poruchu vykazuje dióda 1N4148. Pri vyšetrowaní poruchy potlačte vplyv filtračného kondenzátora.
16. Otvorte simuláciu D3-12b.opj. Určte akú poruchu vykazuje dióda 1N4148. Pri vyšetrowaní poruchy potlačte vplyv filtračného kondenzátora.
17. Kedy dvojcestný usmerňovač vykazuje najvyššie zvlnenie
18. Aká je frekvencia zvlnenia dvojcestného usmerňovača.
19. Aká je časová konštanta vybíjania filtra na výstupe dvojcestného usmerňovača.
20. Aký bude priebeh na výstupe dvojcestného usmerňovača s vyvedeným stredom sekundáru bez filtračného kondenzátora s prerušenou diódou a skratovanou diódou.

21. O koľko je špičkové napätie nižšie na výstupe dvojcestných usmerňovačov oboch typov (s vyvedeným stredom sekundáru a Gretzovým mostíkom) ako je napätie sekundáru.
22. Porovnajtie klady a zápory oboch variant dvojcestných usmerňovačov.
23. Bude zaťaženie diód rovnomerné pri dvojcestnom usmerňovači s vyvedeným stredom ak vinutia nebudú symetrické.

3.8 Obmedzovač amplitúd pomocou diód

Ciele experimentu:

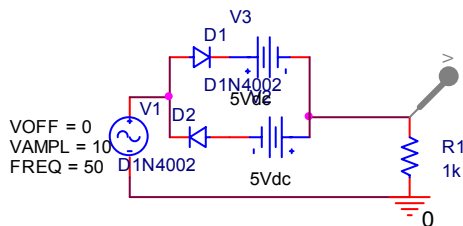
1. Ukážka použitia polovodičových diód na obmedzenie amplitúd.
2. Porovnanie použitia sériového a paralelného obmedzovača.
3. Ukážka úlohy jednosmerných zdrojov predpätia na tvar výstupného signálu.

Použité súčiastky:

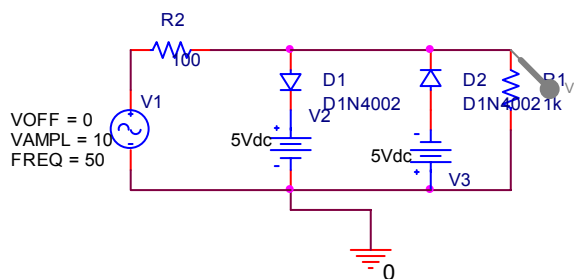
Diódy: 1N4002

Zdroj harmonického striedavého napätia

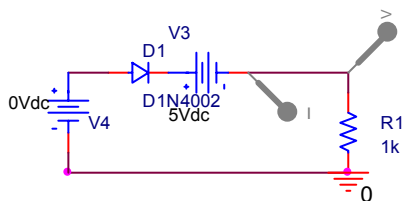
Zaťažovací rezistor: $R1=1000 \Omega$



Zapojenie obvodu D3-14a

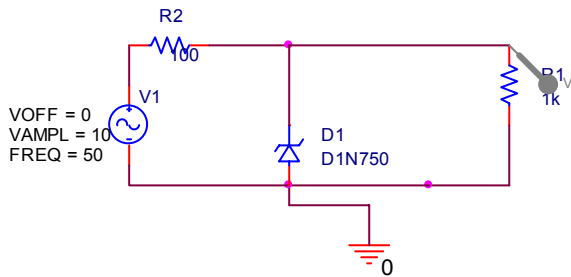


Zapojenie obvodu D3-14b



Zapojenie obvodu D3-14cDC

Polovodičové diódy



Zapojenie obvodu D3-14g

Úlohy

Otvorte D3-14a.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh výstupného napätia na výstupe sériového obmedzovača pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis). Zistíte jeho prenosovú charakteristiku pomocou jednosmernej prenosovej analýzy (.DC sweep) pre upravené zapojenie. Analýzu uskutočnite pre prípad základných napätí predpätia a za predpokladu ideálnych diód.

Otvorte D3-14b.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh výstupného napätia na výstupe paralelného obmedzovača pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis). Zistíte jeho prenosovú charakteristiku pomocou jednosmernej prenosovej analýzy (.DC sweep) pre upravené zapojenie. Analýzu uskutočnite pre prípad základných napätí predpätia a za predpokladu ideálnych diód.

Otvorte D3-14g.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh výstupného napätia na výstupe paralelného obmedzovača so Zenerovou diódou pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis). Zistíte jeho prenosovú charakteristiku pomocou jednosmernej prenosovej analýzy (.DC sweep) pre upravené zapojenie. V čom spočívajú výhody a nedostatky voči diódovému paralelnému obmedzovaču.

Prenosová charakteristika s použitím analýzy .DC sweep je v projekte D3-14cDC. Využite tento projekt na modifikáciu Vašich zadání.

1. Analyticky určte priebeh napätia na výstupe obmedzovača za predpokladu napájania striedavým zdrojom podľa schémy. Porovnajete priebeh s analyticky vypočítaným.
2. Určte jednosmernú hodnotu výstupného napätia pomocou programu Probe.
3. Nahradte striedavý zdroj jednosmerným a zistíte jednosmernú prenosovú charakteristiku obvodu obmedzovača. Porovnajete ju s analyticky vypočítanou.
4. Určte analyticky a pomocou simulácie zmenenú prenosovú charakteristiku pre zmenené hodnoty zdrojov jednosmerného predpätia podľa tabuľky.
5. Analyticky určte priebeh zapojenia D3-14b.opj na výstupe obmedzovača za predpokladu napájania striedavým zdrojom podľa schémy. Porovnajete priebeh s analyticky vypočítaným.
6. Nahradte striedavý zdroj jednosmerným a zistíte jednosmernú prenosovú charakteristiku obvodu D3-14b.opj. Porovnajete ju s analyticky vypočítanou.
7. Určte analyticky a pomocou simulácie zmenenú prenosovú charakteristiku pre zmenené hodnoty zdrojov jednosmerného predpätia podľa tabuľky.
8. Úlohy 1-4. splňte aj pre zapojenia D3-14c.opj až D3-14f.opj.
9. Úlohy 1-4. splňte aj pre zapojenia D3-14g.opj.
10. Ako sa zmení výstupný priebeh keď do série so zenerovou diódou sa zapojí ďalšia dióda D3-14h.opj. Úlohy 1-4. splňte aj pre toto zapojenie. Aký by bol priebeh pre paralelne zapojené Zenerové diódy?

11. Aký je rozdiel v priebehoch paralelného a striedavého obmedzovača?
12. Čím sa určujú napätia zlomov diódového obmedzovača?
13. K čomu slúžia diódové obmedzovače?
14. Možno vytvoriť obmedzovače amplitúd aj pomocou Zenerových diód?

3.9 Stabilizátor jednosmerného napätia pomocou Zenerovej diódy

Ciele experimentu:

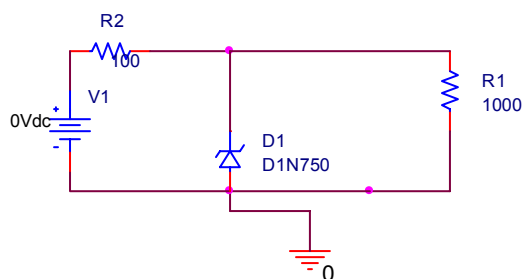
1. Ukážka použitia Zenerových diód na stabilizáciu jednosmerného napätia.
2. Porovnanie zvlnenia výstupného priebehu signálu so zvlnením vstupného signálu pre jednosmerné predpätie.
3. Ukážka úlohy filtra na výstupe usmerňovača a stabilizátora Zenerovou diódou .

Použité súčiastky:

Diódy: 1N745

Zaťažovací rezistor: $R_1=100\ \Omega$, $R_2=1\ \text{k}\Omega$

Napájací zdroj: 1 V AC , 5-10 V DC



Zapojenie obvodu D3-15

Úlohy

Otvorte D3-15.opj a vo svojej verzii zistíte analyticky jeho prenosovú charakteristiku pomocou jednosmernej prenosovej analýzy (.DC sweep) na modifikovanom projekte. Určte analytické charakteristiky stabilizátora minimálny a maximálny prúd za predpokladu , že minimálny prúd Zenerovou diódou je 5 mA a maximálna výkonová strata je 1 W. Zistite priebeh výstupného napätia na výstupe paralelného stabilizátora so Zenerovou diódou pomocou prechodovej analýzy (.TRAN analysis) za predpokladu napájania jednosmerným zdrojom so superponovanou striedavou zložkou. Takým zdrojom bude VSIN kde samostatne nastavíte JS offset (VOFF) amplitúdu harmonického priebehu (AMPL) a frekvenciu (FREQ).

1. Porovnajete prechodovou analýzou zistený priebeh napätia na výstupe stabilizátora za predpokladu napájania jednosmerným zdrojom so superponovanou striedavou zložkou striedavým zdrojom podľa schémy. Porovnajete priebeh s analyticky vypočítaným.

Polovodičové diódy

2. Zobrazte priebeh okamžitého výkonu pre jednotlivé napätia JS a ST zložky vstupného zdroja.
3. Určete pomocou nástrojov Probe aj strednú hodnotu výkonu na Zenerovej dióde. Určte účinnosť stabilizátora.
4. Nahradte striedavý zdroj jednosmerným a zistite jednosmernú prenosovú charakteristiku obvodu obmedzovača. Porovnajte ju s analyticky vypočítanou.
5. Pomocou simulácie určte minimálnu hodnotu prúdu a maximálny prúd do záťaže, kedy Zenerová dióda prestáva stabilizovať. Výsledok porovnajte s analyticky vypočítaným. Priebehy prúdu Zenerovou diódou a napätia na nej zobrazte v kaskádových oknách programu Probe.
6. Pomocou simulácie a analyticky určte tabuľku závislosti medzi minimálnou hodnotou zaťažovacieho odporu stabilizátora a vstupným jednosmerným napätím pri zvlnení signálu 0.5 V tak aby nedochádzalo k uzatváraniu Zenerovej diódy. Ku každej hodnote uveďte aj stratový výkon na Zenerovej dióde.
7. Určte pomocou nástrojov programu Probe závislosť zvlnenia výstupného napätia od veľkosti filtračného kondenzátora pre danú

4 BIPOLÁRNE TRANZISTORY

V tejto časti budú uvedené experimenty obvodov s bipolárnym tranzistorom. Najprv sa čitateľ oboznámi s základnými charakteristikami bipolárných tranzistorov ktoré budú použité v experimentoch. Ďalšie experimenty budú zamerané na nastavenie pracovného bodu a určenie linearizovaných parametrov ako aj jednosmerných prenosových charakteristík.

4.1 Charakteristiky bipolárneho tranzistora

Ciele experimentu T4-1 a T4-2:

1. Ukázať charakteristiky medzi kolektorovým prúdom, bázovým prúdom, kolektor-emitorovým napätím pre bipolárny tranzistor.
2. Určenie JS zosilnenia β a ukážka jeho závislosti na kolektorovom prúde.
3. Meranie zvyškového prúdu v závernom režime bipolárneho tranzistora.
4. Ukážka výstupných charakteristík bipolárneho tranzistora.
5. Ukážka vstupných charakteristík bipolárneho tranzistora.
6. Ukážka charakteristík emitorový prúd napätie báza emitor bipolárneho tranzistora v zapojení SB.
7. Určenie ST zosilnenia $\beta=h_{21}$ pre zvolený jednosmerný pracovný bod v zapojení SE a SB.
8. Určenie frekvenčnej závislosti pre ST zosilnenie $\beta=h_{21}$ pre zvolený jednosmerný pracovný bod. Z nameranej závislosti je možné určenie šírky frekvenčného pásma. To isté urobiť pre vysokofrekvenčný typ tranzistora. Všetko pre zapojenia SE.
9. Určenie ST hodnoty (prírastkovej hodnoty) vstupného odporu $R_{vst}=h_{11E}$ SE v závislosti od bázového prúdu.
10. Určenie ST hodnoty (prírastkovej hodnoty) vstupného odporu $R_{vst}=h_{11B}$ SB v závislosti od emitorového prúdu.

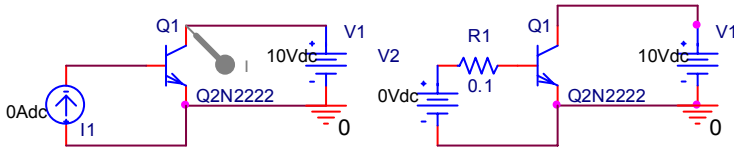
Použité súčiastky:

Tranzistor: 1N2222

Zaťažovací rezistor: R1=100 Ω , R2=1 k Ω

Napájací zdroj: 1 V AC , 0-10 V DC

Bipolárne tranzistory



Zapojenie obvodu-T4-1 a T4-2

Úlohy

Otvorte T4-1.opj a vo svojej verzii zistíte priebeh kolektorového prúdu pri premennej bázovom prúde ktorý sa mení v režime DC sweep. Ich pomer reprezentujúci jednosmerné prúdové zosilnenie β je možné zistiť v prostredí Probe vloženou matematickou operáciou. Študovaním prúdu báze je možné zistiť aj hodnoty záverného prúdu báze skúmaného tranzistora. Zobrazením závislosti medzi lineárne premenným vstupným prúdom a napätím na báze sa získa vstupná charakteristika tranzistora.

Zmenou napájacieho napätia kolektora na zdroj premennej napätia sa dá vytvoriť sieť charakteristík kolektorového prúdu pre parametricky meniace sa hodnoty prúdu báze (T4-1a.opj) .

Charakteristiky SE a SB sa zistia pre zamienené pripojenia emitora s bázou k spoločnému uzlu obvodu.

Hodnoty ST parametrov (prúdového zosilnenia, vstupného odporu) sa určia pomocou AC analýzy a z pomeru dvoch veličín určených matematickými operáciami v Probe.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť pre PNP tranzistor ako ďalšie zadania. s príponou T4-1-pnp-cis.opj

1. Zistíte závislosť JS kolektorového prúdu od bázového prúdu pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=10\text{ V}$. Porovnajete s literatúre uvádzanými závislosťami. (T4-1.opj).
2. Zistíte závislosť JS prúdového zosilnenia od kolektorového prúdu.
3. Zistíte závislosť napätia báza emitor v závislosti od bázového prúdu.
4. Z charakteristiky zistenej v predchádzajúcom bode určte hodnotu vstupného odporu h_{11} prechodu báza emitor pre rozkmit bázového prúdu $10\ \mu\text{A}$ - $30\ \mu\text{A}$.
5. Porovnajete ako sa táto hodnota líši od hodnoty vypočítanej z analytického vzťahu.
6. Z charakteristiky zistenej v predchádzajúcom bode pre tie isté hodnoty bázového prúdu zistíte aj prírástkovú hodnotu prúdového zosilnenia.
7. Urobte merania 1-6 pre polovičnú hodnotu napájacieho napätia kolektora $U_{CC}=5\text{ V}$.
8. Nahradíte vstup sériovo zapojeným odporom a napäťovým zdrojom s bipolárnym rozkmitom $U_{BB}=\pm 10\text{ V}$ pri napájaní kolektora pôvodným napäťovým zdrojom $U_{CC}=10\text{ V}$ a zistíte závislosti 2-3. (T4-2.opj).
9. Určte hodnotu záverného prúdu I_{BE0} prechodu báza emitor. (T4-2.opj).
10. Pre obvod (T4-2.opj) zistíte hodnotu zvyškového prúdu I_{CE0} osobitne pre skrat medzi bázou a emitorom a pre odpojenú bázu.
11. Porovnajete ako sa líši hodnota zvyškového prúdu kolektora I_{CE0} s bázou naprázdno a nakrátko líši od analyticky určenej hodnoty. Báza nakrátko v prostredí Pspice sa napodobní k nej pripojeným odporom, ktorého druhý koniec je späť zapojený na bázu. Tak sa dá vyhnúť blokovaniu simulácie z časti programu "netlist" hláškou "Less than two connections".

12. Odmerajte výstupné charakteristiky tranzistora pre min. tri možné hodnoty konštantného prúdu báze a premenné napätie na kolektore $U_{CC}=0-15\text{ V}$.
13. Splňte zadania 1-12 pre tranzistor ten istý tranzistor v zapojení SB. (T4-1-SB.opj, T4-2-SB.opj)-*vlastný návrh*.
14. Splňte zadania 1-12 pre tranzistor typu PNP. (T4-1-PNP.opj, T4-2-PNP.opj)- *vlastný návrh*.
15. Je zmena jednosmerného zosilnenia od bázového prúdu veľká?
16. Čomu sa podobá závislosť medzi kolektorovým a bázovým prúdom v doprednom smere?
17. Aký je pomer medzi zvyškovým prúdom I_{CE0} pre skrat medzi bázou a emitorom a pre odpojenú bázu?
18. Ako sa líšia charakteristiky tranzistora pre zapojenie SE a SB?
19. Akým analytickým vzťahom je určený vstupný odpor. je určená vst
20. Porovnajme charakteristiky dopredne polarizovaného prechodu báza emitor s charakteristikami diód.

4.2 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu bázovým odporom bez spätnej väzby.

Ciele experimentu T4-3b:

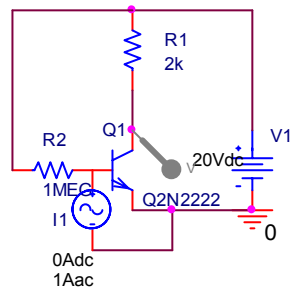
1. Ukázať zaťažovaciu krivku kolektora pre zpojenie SE pre NPN a PNP tranzistor s nastavením pracovného bodu bázovým prúdom. Porovnanie jej priebehu s analyticky vypočítaným priebehom.
2. Lokalizovanie pracovného bodu na zaťažovacej krivke.
3. Porovnanie analyticky vypočítaných hodnôt bázového prúdu, kolektorového prúdu a kolektorového napätia s výsledkami simulácie.
4. Výpočet bázového odporu pre ktorý by sa dostal tranzistorový stupeň do saturácie.
5. Posúdenie stability pracovného bodu pri zmenách okolitej teploty v rozpätí $T=0-50\text{ }^{\circ}\text{C}$
6. Odmeranie vstupného odporu pri ktorom bude kolektorové napätie je na $0,5\text{ V}$ blízke napájaciemu U_{CC} a pri ktorom sa tranzistor dostane do saturácie $U_{CE}\leq 0,3\text{ V}$.
7. Zmena pripojenia bázového odporu na vstupe tak, aby kolektorom tiekol len zvyškový prúd?

Použité súčiastky:

Tranzistor: 1N2222

Zaťažovací rezistor: $R_1=1000\text{ k}\Omega$, $R_2=2\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T4-3b

Úlohy

Otvorte T4-3b.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C. Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu báze. Využite preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Pre nastavený pracovný bod zistíte ST parametre - prírastková transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Paralelne ku báze tranzistora pripojte prúdový zdroj, od ktorého sa určia prírastkové parametre.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť pre PNP tranzistor ako ďalšie zadania. s príponou T4-3b-pnp.opj

8. Zistíte hodnoty prúdov a napätí pracovného bodu.
9. Zistíte závislosť kolektorového napätia od prvkov obvodu pri napájaní kolektora napätiovým zdrojom $U_{CC}=20\text{ V}$. Porovnajete s citlivosťami na obdobné prvky v iných spôsoboch stabilizácie pracovného bodu zistenými v iných simuláciách. (T4-4.opj, T4-5.opj).
10. Zistíte citlivosť kolektorového napätia na malé zmeny prúdu zapojeného do báze tranzistora. Porovnajete údaje pre zosilnenie a vstupný odpor s analyticky vypočítanými.
11. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{CE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty bázového odporu. Hodnoty I_C a U_{CE} určíte z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point". Tiež nájdite také hodnoty bázového odporu R_B aby sa dosiahly dva hraničné stavy: kolektorové napätie na 0,5 V blízke napájaciemu U_{CC} a $U_{CE}=0,3\text{ V}$ čo je blízko saturácie.
12. Ako bude potrebné pripojiť bázový odpor R_B aby tranzistor bol úplne uzavretý.
13. Ako je citlivý pracovný bod na zmeny hodnôt prvkov v obvode (.TF analýza). Zistíte, ako je citlivá poloha pracovného bodu od zmien prúdového zosilnenia konkrétneho tranzistora? (zmenou prúdového zosilňovacieho činiteľa v modeli tranzistora -Edit model).

Hľadanie porúch

14. Otvorte simulácie T4-3c.opj, T4-3d.opj, T4-3e.opj, a zistíte poruchy tranzistorov. Zistíte to zmenou prvkov obvodu a vyšetrením pracovného bodu.

Otázky a odpovede

15. Kde sa nachádza pracovný bod na zaťažovacej priamke. Aká je výhoda toho ak je v jej strede?
16. Prečo sa odlišuje vypočítaný prúd báze I_B od prúdu získaného meraním?

17. Prečo sa odlišuje vypočítaný prúd kolektora I_C od prúdu získaného meraním?

18. T4-3c.opj - skrat kolektor báza, T4-3d.opj - rozpojenie kolektor báza, T4-3e.opj - rozpojenie emitor báza,

4.3 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu mostíkovým zapojením.

Ciele experimentu T4-4:

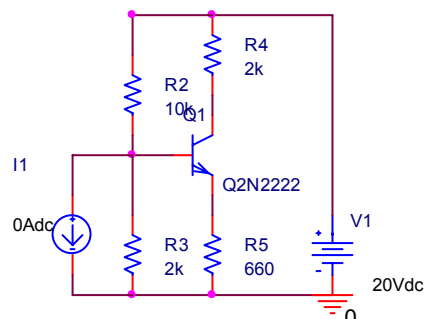
1. Ukázať zaťažovaciu krivku kolektora pre zpojenie SE pre NPN a PNP tranzistor s nastavením pracovného bodu mostíkovým zapojením.
2. Lokalizovanie pracovného bodu na zaťažovacej krivke.
3. Porovnanie analyticky vypočítaných hodnôt bázového prúdu, kolektorového prúdu a kolektorového napätia s výsledkami simulácie.
4. Výpočet bázového odporu pre ktorý by sa dostal tranzistorový stupeň do saturácie.
5. Posúdenie stability pracovného bodu pri zmenách okolitej teploty v rozpätí $T=0-50\text{ }^{\circ}\text{C}$
6. Zmeranie vstupného odporu pri ktorom bude kolektorové napätie na $0,5\text{ V}$ blízke napájaciemu U_{CC} a pri ktorom sa tranzistor dostane do saturácie $U_{CC}\leq 0,3\text{ V}$.
7. Zmena pripojenia bázového odporu na vstupe tak, aby kolektorom tiekol len zvyškový prúd?

Použité súčiastky:

Tranzistor: 1N2222

Zaťažovací rezistor: $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=2\text{ k}\Omega$, $R_3=600\text{ }\Omega$, $R_4=2\text{ k}\Omega$,

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T4-4

Úlohy

Otvorte T4-4.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistite aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C. Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistite citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do horného ramena mostíka stabilizujúceho bázové napätie. Využite preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Zistite citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do emitora. Využite preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Pre nastavený pracovný bod zistite prírastkové parametre - transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Paralelne ku báze tranzistora pripojte prúdový zdroj, od ktorého sa určia prírastkové parametre.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť pre PNP tranzistor ako ďalšie zadania. s príponou T4-4-ppn.opj

1. Zistite hodnoty prúdov a napätí pracovného bodu.
2. Zistite závislosť kolektorového napätia od odporu v hornom ramene vstupného mostíka pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20$ V. Porovnajte s citlivosťami na obdobné prvky v iných spôsoboch stabilizácie pracovného bodu zistenými v iných simuláciach. (T4-3b.opj, T4-5.opj).
3. Zistite citlivosť kolektorového napätia na malé zmeny prúdu zapojeného do báze tranzistora. Porovnajte údaje pre zosilnenie a vstupný odpor s analyticky vypočítanými.
4. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{CE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty kolektorového odporu. Hodnoty I_C a U_{CE} určite z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point". Tiež nájdite také hodnoty bázového odporu aby sa dosiahly dva hraničné stavy: kolektorové napätie na 0,5 V blízke napájaciemu U_{CC} a $U_{CE}=0,3$ V čo je blízko saturácie.
5. Ako bude potrebné zmeniť pomer odporov v mostíku aby tranzistor bol úplne uzavretý.

Hľadanie porúch

6. Otvorte simulácie T4-4c.opj, T4-4d.opj, T4-4e.opj, a zistite poruchy tranzistorov. Zistite to zmenou prvkov obvodu a vyšetrovaním pracovného bodu.

Otázky a odpovede

7. Čo je výhodou toho, že pracovný bod je približne v strede zaťažovacej priamky.
8. Aká je výhoda zapojenia pomerne veľkého odporu R_E do emitora s ohľadom na stabilitu pracovného bodu?
9. Akú nevýhodu spôsobuje vstupný mostík pre spracovanie signálu?
10. T4-4c.opj - skrat kolektor báza, T4-4d.opj - rozpojenie kolektor báza, T4-4e.opj - rozpojenie emitör báza,

4.4 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu emitorovým odporom pri dvoch napájacích zdrojoch.

Ciele experimentu T4-5:

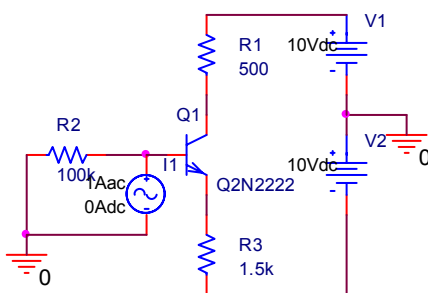
1. Ukázať zaťažovaciu krivku kolektora pre zpojenie SE pre NPN a PNP tranzistor s nastavením pracovného bodu pomocou symetrického napájania.
2. Lokalizovanie pracovného bodu na zaťažovacej krivke.
3. Porovnanie analyticky vypočítaných hodnôt bázového prúdu, kolektorového prúdu a kolektorového napätia s výsledkami simulácie.
4. Výpočet odporov v kolektore a emitore tranzistora, pre ktorý by sa dostal tranzistorový stupeň do saturácie.
5. Posúdenie stability pracovného bodu pri zmenách okolitej teploty v rozpätí $T=0-50\text{ }^{\circ}\text{C}$
6. Zmeranie vstupného odporu pri ktorom bude kolektorové napätie na 0,5 V blízke napájacemu U_{CC} a pri ktorom sa tranzistor dostane do saturácie $U_{CC}\leq 0,3\text{ V}$.

Použité súčiastky:

Tranzistor: 1N2222

Zaťažovací rezistor: $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=2\text{ k}\Omega$, $R_3=600\text{ }\Omega$, $R_4=2\text{ k}\Omega$,

Napájací zdroj: 2 x 10 V DC



Zapojenie obvodu T4-5

Úlohy

Otvorte T4-4.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C . Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do emitora. Využité preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Pre nastavený pracovný bod zistíte ST parametre - prírastková transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Paralelne ku báze tranzistora pripojte prúdový zdroj, od ktorého sa určia prírastkové parametre.

Bipolárne tranzistory

1. Zistíte hodnoty prúdov a napätí pracovného bodu ako aj jednosmerný prúdový zosilňovací činiteľ $\beta=h_{21}$.
2. Zistíte závislosť kolektorového napätia od odporu v hornom ramene vstupného mostíka pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{EE}=U_{CC}=10$ V. Porovnajete s citlivosťami na obdobné prvky v iných spôsoboch stabilizácie pracovného bodu zistenými v iných simuláciách. (T4-3b.opj, T4-4.opj).
3. Zistíte citlivosť kolektorového napätia na prírastkové zmeny prúdu zapojeného do báze tranzistora. Porovnajete údaje pre zosilnenie a vstupný odpor s analyticky vypočítanými.
4. Ako bude potrebné zmeniť pomer odporov v emitore a kolektore aby tranzistor bol nasýtený.
5. Otvorte simulácie T4-5c.opj, T4-5d.opj, T4-5e.opj, a zistíte poruchy tranzistorov. Zistíte to zmenou prvkov obvodu a vyšetrením pracovného bodu.

Otázky a odpovede

6. Čo je výhodou toho, že pracovný bod je približne v strede zaťažovacej priamky.
7. Aká je výhodou zapojenia pomerne veľkého odporu R_E do emitora s ohľadom na stabilitu pracovného bodu?
8. Aká je všeobecná výhoda symetrického napájania ?
9. Ako ovplyvní absencia vstupného deliča vstupný odpor zosilňovača?
10. T4-5c.opj - skrat kolektor báza, T4-5d.opj - rozpojenie kolektor báza, T4-5e.opj - rozpojenie emitor báza,

4.5 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu odporom zapojeným spätnoväzobne medzi bázu a kolektor.

Ciele experimentu T4-6:

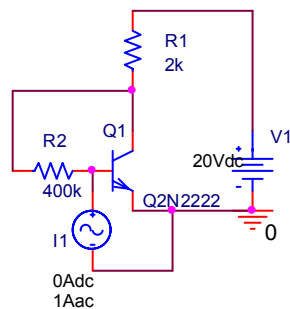
1. Ukázať zaťažovaciu krivku kolektora pre zpojenie SE pre NPN a PNP tranzistor s nastavením pracovného bodu odporom zapojeným spätnoväzobne medzi bázu a kolektor.
2. Lokalizovanie pracovného bodu na zaťažovacej krivke.
3. Porovnanie hodnôt bazového prúdu a kolektorového prúdu zo simulácie a určenie prúdového zosilnenia.
4. Posúdenie stability pracovného bodu pri zmenách okolitej teploty v rozpätí $T=0-50$ °C
5. Zmeranie vstupného odporu pri ktorom bude kolektorové napätie na 0,5 V blízke napájaciemu U_{CC} a pri ktorom sa tranzistor dostane do saturácie $U_{CC}\leq 0,3$ V .
6. Výhody stabilizácie jednosmerného pracovného bodu spätnoväzobným princípom. Odstránenie účinku spätnej väzby pre zosilnenie signálu.

Použité súčiastky:

Tranzistor: 1N2222

Zaťažovací rezistor: $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=2\text{ k}\Omega$, $R_3=600\ \Omega$.

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T4-6

Úlohy

Otvorte T4-6.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C . Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do spätnej väzby medzi kolektor a bázu. Využite preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Pre nastavený pracovný bod zistíte ST parametre - prírastková transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Paralelne ku báze tranzistora pripojte prúdový zdroj, od ktorého sa určia prírastkové parametre.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť pre PNP tranzistor ako ďalšie zadania. s príponou T4-6-pnp.opj

1. Zistíte hodnoty prúdov a napätí pracovného bodu.
2. Zistíte závislosť kolektorového napätia od odporu v hornom ramene vstupného mostíka pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20\text{ V}$. Porovnajete s citlivosťami na obdobné prvky v iných spôsoboch stabilizácie pracovného bodu zistenými v iných simuláciach. (T4-3b.opj, T4-4.opj).
3. Zistíte citlivosť kolektorového napätia na malé zmeny prúdu zapojeného do báze tranzistora. Porovnajete údaje pre zosilnenie a vstupný odpor s analyticky vypočítanými.
4. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{CE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty odporu v hornom ramene vstupného mostíka. Hodnoty I_C a U_{CE} určíte z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point".
5. Hľadajte hodnoty odporu medzi bázou a kolektorom pre ktorý sa tranzistor dostane do nasýtenia a do uzavretého stavu. Bude rozdiel medzi týmito krajnými hodnotami väčší ako pri zapojení kedy odpor báze je pripojený na napájanie.
6. Porovnajete stabilitu pracovného bodu .SENS na zmeny kolektorového odporu so simuláciami T4-5, T4-4, T4-3b. Čím sa dajú vysvetliť rozdiely?
7. Otvorte simulácie T4-6c.opj, T4-6d.opj, T4-6e.opj, a zistíte poruchy tranzistorov. Zistíte to zmenou prvkov obvodu a vyšetrovaním pracovného bodu.

Otázky a odpovede

Bipolárne tranzistory

8. Čo je výhoda toho, že pracovný bod je nastavený princípom zápornej spätnej väzby.
9. Ako ovplyvní absencia vstupného deliča vstupný odpor zosilňovača?
10. T4-6c.opj - skrat kolektor báza, T4-6d.opj - rozpojenie kolektor báza, T4-6e.opj - rozpojenie emitor báza,

4.6 Zosilňovač v zapojení SE

Ciele experimentu T4-7:

1. Merať napäťový zisk a ten porovnať s analytickým odhadom.
2. Porovnať fázový posun medzi vstupným a výstupným signálom.
3. Merať vstupný odpor a ten porovnať s analytickým odhadom.
4. Posúdiť vplyv blokovania emitorového odporu kondenzátorom.
5. Odmerať a do krivky zaznamenať vplyv záťaže na zisk zosilňovača. Z krivky určiť výstupný odpor zosilňovača.
6. Pozorovať vplyv väzobnej kapacity na jednosmerný offset ST signálu na výstupe. Pri simulácii meniť väzobnú kapacitu a amplitúdu ST signálu.
7. Pozorovať vplyv blokovacej kapacity na zisk zosilňovača.

Použité súčiastky:

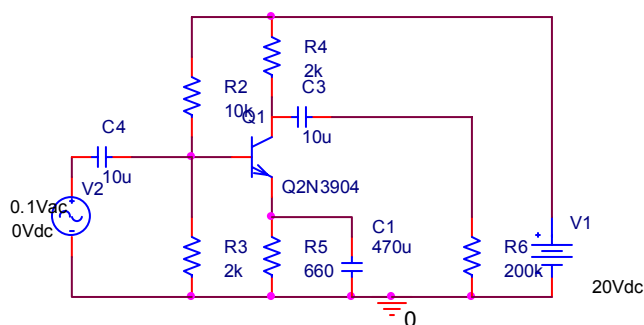
Tranzistor: 1N3904

Rezistory: 660 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 200 k Ω ,

Kondenzátory: 1 μ F, 10 μ F, a 470 μ F,

Napájací zdroj: 20 V DC

Zdroj signálu: 0-1 V AC sin $f=0.1$ Hz - 100 MHz



Zapojenie obvodu T4-7

Úlohy

Otvorte T4-7.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu.

Uskutočnite .AC analýzu pre budiaci prúdový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 100 MHz. Na paneli Probe možno zobraziť fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window Templates" a vložení do zátvorke elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma.

Zobrazenie hodnôt impedancií (vstupnej impedancie alebo len jej modulu) možno dosiahnúť zobrazením pomeru dvoch vzájomne príslušných veličín, napätí na bráne a prúd vtekajúci do brány. Obidve veličiny si vyberieme napäťovým a prúdovým markerom. Výraz pre matematickú operáciu možno vybrať z ponuky "Analog Operators and Functions". Tieto ponuky možno aj kombinovať. Prvou sa vyberie zobrazenie modulu a fáze " Bode Plot- dual axes" a v zátvorke pomocou ponuky matematických operácií vložiť pomer napätia a prúdu na vstupnej a inej bráne obvodu.

Výstupný odpor určte z Theveninovej náhrady. Tá využíva nasledovný postup: Odmerajte dve hodnoty výstupného ST napätia U'_2 naprázdno $R_{z \rightarrow \infty}$ (záťaž odpojená) a U_2 pre istú hodnotu odporu záťaže R_z . Z týchto napätí a odpovedajúcich hodnôt zaťažovacieho odporu R_z sa dá určiť vnútorný odpor výstupu zapojeného do série s ideálnym napäťovým zdrojom. Výsledný vzťah je: $R_0 = \frac{U'_2 - U_2}{U_2} R_z$

(potvrďte jeho platnosť).

Všetky horespomenuté úlohy riešiť pre PNP tranzistor ako ďalšie zadania. s príponou T4-7-pnp.opj

1. Nechajte prebehnúť simuláciu a v prostredí Probe zobrazte modul a fázu zosilnenia v dB stupnici. Určte z neho šírku pásma. Určte priebeh modulu a fáze vstupnej impedancie. Určte hodnotu vstupnej impedancie v strede frekvenčného pásma. Určte pomer napätí - prenos- medzi emitorom a kolektorom zosilňovača. Určte pomer napätí - prenos- medzi emitorom a bázou zosilňovača.
2. S využitím Theveninovej náhrady určte výstupný odpor zosilňovača. Splňte úlohu 1a 2 pre odpojený kondenzátor.
3. Splňte úlohu 1a 2 pre 10 x zníženú hodnotu kapacity kondenzátora v emitore zosilňovača.
4. Zo zisteného prekvenčného prenosu pri jeho pri vyšších frekvenciách pre malé hodnoty väzobného kondenzátora pripojeného na zaťažovací odpor určte novú hodnotu hornej medznej frekvencie. Porovnajzte zistenú hornú medznú frekvenciu s vypočítanou z časovej konštanty RC väzobného člena.
5. Ako sa hodnoty zozsilnenia líšia od analyticky vypočítaných hodnôt pri uvažovaní len prúdového zosilnenia a zaťažovacieho odporu? Ako sa hodnoty nameraných prenosov v bode 1 líšia od analyticky odhadnutých.
6. Ako pridanie odporu 1 kΩ do série so vstupom ovplyvní hodnotu zosilnenia.
7. Aký je pomer napätí pred a za do série zapojeným odporom 1 kΩ. Ako sa na tomto pomere podiela vstupná impedancia zosilňovača?
8. Aký je vzťah medzi výstupnou impedanciou zosilňovača z bodu 2 a hodnotou kolektorového odporu.
9. Porovnajzte zisk, vstupnú a výstupnú impedanciu v strede frekvenčného pásma pre simulácie zapojení SE a SC.

Hľadanie porúch

10. Otvorte simulácie T4-7b.opj, T4-7c.opj, a zistíte poruchy väzobných kapacít v obvode. Zistite to určením hodnôt napätí pred a za nimi.

Otázky a odpovede

11. Čo je výhoda toho, že pracovný bod je nastavený princípom zápornej spätnej väzby.
12. Aký je prípustný rozkmit výstupného napätia?
13. Aký je očakávaný prenos medzi bázou a emitorom?
14. Ako sa dá z prenosu medzi emitorom a kolektorom a medzi bázou a emitorom dať určiť celkový zisk zosilňovača?
15. Aký vplyv má znižovanie odporu záťaže na zisk zosilňovača?
16. Môže byť výstupná impedancia zosilňovača väčšia ako hodnota kolektorového odporu?
17. Ako sa zmení zosilnenie pri znižovaní hodnoty kapacity blokovacieho kondenzátora pri emitorovom odpore? Ako to ovplyvní šírku frekvenčného pásma?

4.7 Zosilňovač v zapojení SC - emitorový sledovač

Ciele experimentu T4-8:

1. Merať napäťový zisk a ten porovnať s analytickým odhadom.
2. Porovnať fázový posun medzi vstupným a výstupným signálom.
3. Merať vstupný odpor a ten porovnať s analytickým odhadom.
4. Posúdiť vplyv blokovania emitorového odporu kondenzátorom.
5. Odmerať a do krivky zaznamenať vplyv záťaže na zisk zosilňovača. Z krivky určiť výstupný odpor zosilňovača.
6. Pozorovať vplyv väzobnej kapacity na jednosmerný offset ST signálu na výstupe. Pri simulácii meniť väzobnú kapacitu a amplitúdu ST signálu.
7. Pozorovať vplyv blokovacej kapacity na zisk zosilňovača.

Použité súčiastky:

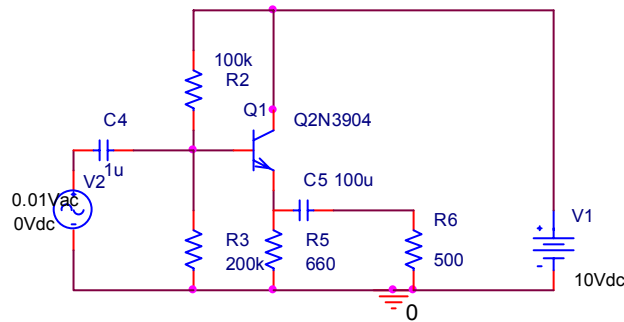
Tranzistor: 1N3904

Rezistory: 20 k Ω , 20 k Ω , 2 k Ω , 500 Ω ,

Kondenzátory: 1 μ F a 100 μ F

Napájací zdroj: 10 V DC

Zdroj signálu: 0-1 V AC sin $f=0.1$ Hz - 100 MHz



Zapojenie obvodu T4-7

Úlohy

Otvorte T4-8.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu.

Uskutočnite .AC analýzu pre budiaci prúdový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 100 MHz. Na paneli Probe možno zobraziť fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window Templates" a vložení do zátvorky elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie impedancií možno dosiahnuť zobrazením pomeru dvoch vzájomne príslušných veličín, napätí na bráne a prúd vtekajúci do brány. Výraz pre matematickú operáciu možno vybrať z ponuky "Analog Operators and Functions". Tieto ponuky možno aj kombinovať. Prvou sa vyberie zobrazenie modulu a fáze " Bode Plot- dual axes" a v zátvorke pomocou ponuky matematických operácií vložiť pomer napätia a prúdu na bráne.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť pre PNP tranzistor ako ďalšie zadania. s príponou T4-8-pnp.opj

1. Nechajte prebehnúť simuláciu a v prostredí Probe zobrazte modul a fázu zosilnenia v dB stupnici. Určte z neho šírku pásma. Určte priebeh modulu a fáze vstupnej impedancie. Určte hodnotu vstupnej impedancie v strede frekvenčného pásma. Určte pomer napätí - prenos- medzi emitorom a bázou zosilňovača.
2. S využitím Theveninovej náhrady určte výstupný odpor emitorového sledovača. Vid' kap. 4.6
3. Ako sa hodnoty zosilnenia líšia od analyticky vypočítaných hodnôt pri uvažovaní len prúdového zosilnenia a zaťažovacieho odporu? Ako sa hodnoty nameraných prenosov v bode 1 líšia od analyticky odhadnutých.
4. Ako pridanie odporu 10 kΩ do série s vstupom ovplyvní hodnotu zosilnenia.
5. Aký je pomer napätí pred a za do série zapojeným odporom 10 kΩ. Ako sa na tomto pomere podieľa vstupná impedancia emitorového sledovača?
6. Porovnajzte zisk, vstupnú a výstupnú impedanciu v strede frekvenčného pásma pre simulácie zapojení SE a SC.

Hľadanie porúch

7. Otvorte simulácie T4-8b.opj, T4-8c.opj, a zistíte poruchy väzobných kapacít v obvode. Zistíte to určením hodnôt napätí pred a za nimi.

Otázky a odpovede

8. Aký je prípustný rozkmít výstupného napätia?
9. Aký je očakávaný prenos medzi bázou a emitorom?
10. Aký vplyv má znižovanie odporu záťaže na zisk emitorového sledovača?

Bipolárne tranzistory

11. *Môže byť výstupná impedancia zosilňovača väčšia ako hodnota emitorového odporu?*
12. *Ako sa zmení vstupná pri znižovaní hodnoty emitorového odporu?*

5 UNIPOLÁRNE TRANZISTORY

V tejto kapitole si čitateľ overí základné charakteristiky poľom riadených tranzistorov oboch typov. Pre jednotlivých predstaviteľov si odsimuluje chovanie možných zapojení pre stabilizáciu pracovného bodu. Posledná skupina simulácií bude overenie chovania týchto obvodov pre spracovanie malých signálov (linearizovaný, prírastkový model).

5.1 Charakteristiky tranzistora typu J FET

Ciele experimentu T5-1:

1. Ukázať charakteristiky medzi kolektorovým prúdom, napätím hradlo-emitor a kolektor-emitor pre unipolárny tranzistor typu J FET.
2. Vyjádriť výstupné charakteristiky pre N-kanálový J FET.
3. Určenie prahového napätia U_P zo získaných JS charakteristík.
4. Určenie maximálneho kolektorového prúdu pre J FET (nulové napätie hradla).
5. Vymedzenie oblasti riadeného odporu od oblasti nasýtenia.
6. Zobrazenie prenosovej a výstupnej charakteristiky. Určenie prírastkových parametrov z nej a porovnanie týchto s odmeranými v simulačnom prostredí ST analýzou.
7. Určenie ako transkonduktancia závisí z prenosovej charakteristiky a porovnanie týchto s odmeranými v simulačnom prostredí ST analýzou.
8. Určenie zo simulačného prostredia hodnoty výstupného odporu v nasýtenej oblasti a v oblasti riadeného odporu od napätia hradlo emitor.

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2N3819

Rezistory: 0.01 Ω ,

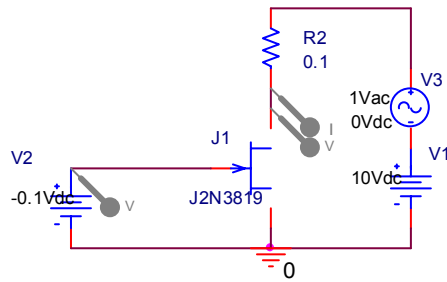
Napájací zdroj: 2x 0-10 V DC

Zdroj signálu: 0.01 V AC, 1 kHz

Úlohy

Otvorte T5-1.opj a vo svojej verzii zistíte prenosové a výstupné charakteristiky.

Unipolárne tranzistory



Zapojenia obvodu T5-1

Uskutočnite JS analýzu (.DC sweep) pre premenné vstupné napätie zapojeného v sérii s hradlom v intervale napätí -10 V - 0 V. Na paneli Probe možno zobrazíť priebeh prúdu kolektorom v závislosti od napätia hradla. Simulácia uskutočnite pre konštantné napätie kolektora 10 V.

Uskutočnite JS analýzu (.DC sweep) pre premenné výstupné napätie zo zdroja v intervale napätí 0V-+10 V. Na paneli Probe možno zobrazíť priebeh prúdu kolektorom v závislosti od kolektorového napätia pri parametrickej zmene napätia hradla.

Pripojenie napätového zdroja striedavého signálu do série s jednosmernými zdrojmi a určenie diferenciálnych, linearizovaných parametrov pomocou ST analýzy (.AC analysis). Porovnať tieto údaje s parametrami zistenými z charakteristík. Pre ST napätový zdroj v kolektore a pri konštantnom napätí hradla určiť výstupný odpor ST analýzou (.AC analysis) pre také hodnoty jednosmernej polarizácie kolektora, kedy J FET bude v oboch oblastiach (saturácie a riadeného odporu).

Z charakteristík určiť v zvolenom pracovnom bode diferenciálnu hodnotu transkonduktácie. Prehodenie polohy zdroja AC signálu z výstupného obvodu do vstupného si vyžaduje nový projekt aby bol možný aj iný simulačný profil.

Zobrazenie impedancií možno dosiahnuť zobrazením pomeru dvoch vzájomne príslušných veličín, napätia a prúdu kolektora napätia a prúdu vybraného z ponuky "Plot Window Templates". Výraz pre matematickú operáciu možno vybrať z ponuky "Analog Operators and Functions".

Jednosmerné napájacie zdroje v hradla a kolektora majú konštantnú hodnotu napätia odpovedajúcu pracovným bodom pre ktoré boli určené linearizované parametre.

Sériový odpor v kolektore slúži na zabezpečenie konvergencie výpočtu a možnosti odčítania kolektorového prúdu. Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre J FET tranzistor s kanálom P ako ďalšie zadania s príponou T5-1-P.opj. (Pre demo verziu nemožné).

1. Nechajte prebehnúť simuláciu a v prostredí Probe zobrazte výstupný prúd od vstupného napätia. Interval budiacich napätí sa volí z ponuky "DC sweep" pre interval napätí -3.5 V - 0 V. Z prenosových charakteristík určte prahové napätie.
2. Pre premenné výstupné napätie a parametricky meniace sa napätie hradla v hodnotách -2.5 V - 0 V s prírastkom 0.5 V zobrazte sieť výstupných charakteristík. Použite rutinu vnorený JS charakteristika z ponuky "DC sweep" .
3. Overte na sieti výstupných charakteristík analyticky vzťah určujúci hranice medzi oblasťou riadeného odporu a oblasťou nasýtenia.
4. Pomocou napätového zdroja AC zapojeného raz do série s hradlom v druhom prípade v sérii s kolektorom pre interval frekvencií 10Hz -100kHz zistíte pomer medzi veličinami určujúcimi transkonduktáciu (I_C/U_{GE}) a výstupný odpor tranzistora (U_{CE}/I_C). Pomer zistíte v strede frekvenčného pásma. . Pre obidva prípady je potrebné otvoriť nový projekt.

5. Výstupný odpor zistíte postupom 3 pre rôzne hodnoty napätia U_{GE} a pri konštantnej hodnote JS zdroja U_{CE} . Tú istú úlohu splňte tiež pre rôzne hodnoty napätia U_{CE} a pri konštantnej hodnote JS zdroja U_{GE} .

Otázky a odpovede

6. Ako je určené prahové napätie?
7. Čo sa stane pre kladnú polarizáciu priechodu hradlo emitor?
8. Ako sa mení výstupný odpor od napätia hradla?
9. Ak má byť ideálna hodnota vstupnej impedancie hradla?
10. Pre aké napätie hradla je určený maximálny kolektorový prúd J FET tranzistora?

5.2 Charakteristiky tranzistora typu MOS FET

Ciele experimentu T5-2:

11. Ukázať charakteristiky medzi kolektorovým prúdom, napätím hradlo-emitor a kolektor-emitor pre unipolárny tranzistor typu MOS FET.
12. Vyjadriť výstupné charakteristiky pre N-kanálový MOS FET.
13. Určenie prahového napätia U_p zo získaných JS charakteristík MOS FET tranzistora a určenie jeho modu (obohacovaný, ochudobňovaný).
14. Určenie maximálneho kolektorového prúdu pre nulové napätie hradla.
15. Vymedzenie oblasti riadeného odporu od oblasti nasýtenia.
16. Zobrazenie prenosovej a výstupnej charakteristiky. Určenie prírastkových parametrov z nej a porovnanie týchto s odmeranými v simulačnom prostredí ST analýzou.
17. Určenie ako transkonduktancia závisí z prenosovej charakteristiky a porovnanie týchto s odmeranými v simulačnom prostredí ST analýzou.
18. Určenie zo simulačného prostredia hodnoty výstupného odporu v nasýtenej oblasti a v oblasti riadeného odporu od napätia hradlo emitor.

Použité súčiastky:

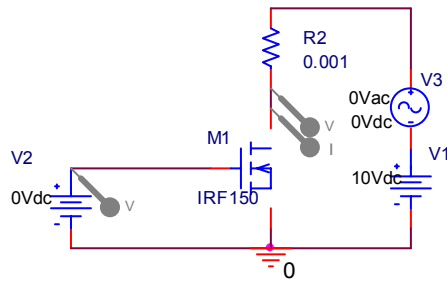
Tranzistor: IRF150

Rezistory: 0.01 Ω ,

Napájací zdroj: 2x 0-30 V DC

Zdroj signálu: 0.01 V AC, 1 kHz

Unipolárne tranzistory



Zapojenia obvodu T5-2

Úlohy

Otvorte T5-2.opj a vo svojej verzii zistite prenosové a výstupné charakteristiky.

Uskutočnite JS analýzu (.DC sweep) pre premenné vstupné napätie zapojeného v sérii s hradlom v intervale napätí -15 V - 15 V. Na paneli Probe možno zobrazíť priebeh prúdu kolektorom v závislosti od napätia hradla. Simulácia uskutočnite pre konštantné napätie kolektora 20 V.

Uskutočnite JS analýzu (.DC sweep) pre premenné výstupné napätie zo zdroja v intervale napätí 0V-+25 V. Na paneli Probe možno zobrazíť priebeh prúdu kolektorom v závislosti od kolektorového napätia pri parametrickej zmene napätia hradla. Hodnoty napätí volíť nad hodnotami prahového napätia.

Pripojenie napäťového zdroja striedavého signálu do série s jednosmernými zdrojmi a určenie diferenciálnych, linearizovaných parametrov pomocou ST analýzy (.AC analysis). Porovnať tieto údaje s parametrami zistenými z charakteristík. Pre ST napäťový zdroj v kolektore a pri konštantnom napätí hradla určiť výstupný odpor ST analýzou (.AC analysis) pre také hodnoty jednosmernej polarizácie kolektora, kedy MOS FET bude v oboch oblastiach (saturácie a riadeného odporu).

Z charakteristík určiť v zvolenom pracovnom bode diferenciálnu hodnotu transkonduktácie. Prehodenie polohy zdroja AC signálu z výstupného obvodu do vstupného si vyžaduje nový projekt aby bol možný aj iný simulačný profil.

Zobrazenie impedancií možno dosiahnuť zobrazením pomeru dvoch vzájomne príslušných veličín, napätia a prúdu kolektora napätia a prúdu vybratého z ponuky "Plot Window Templates". Výraz pre matematickú operáciu možno vybrať z ponuky "Analog Operators and Functions".

Jednosmerné napájacie zdroje v hradla a kolektora majú konštantnú hodnotu napätia odpovedajúcu pracovným bodom pre ktoré boli určené linearizované parametre.

Sériový odpor v kolektore slúži na zabezpečenie konvergencie výpočtu a možnosti odčítania kolektorového prúdu. Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre MOS FET tranzistory iného typu. (Pre demo verziu nemožné).

1. Nechajte prebehnúť simuláciu a v prostredí Probe zobrazte výstupný prúd od vstupného napätia. Interval budiacich napätí sa volí z ponuky "DC sweep" pre interval napätí -15 V - 15 V. Z prenosových charakteristík určte prahové napätie. Pre takto zistené napätie zúžite interval rozkmitu vstupného napätia.
2. Určte typ a mód MOS FET tranzistora IRF150 na základe vstupných charakteristík (N alebo P kanál; obohacovaný alebo ochudobňovaný mód).
3. Určte prúd kolektora pre nulové napätie na hradle a pre kolektorové napätie $U_{CE}=25\text{ V}$
4. Pre premenné výstupné napätie a parametricky meniace sa napätie hradla v hodnotách 6 V - 12 V s prírastkom 1 V zobrazte sieť výstupných charakteristík. Použite rutinu vnorený JS charakteristika z ponuky "DC sweep" .

5. Overte na sieti výstupných charakteristík analyticky vzťah určujúci hranice medzi oblasťou riadeného odporu a oblasťou nasýtenia.
6. Pomocou napäťového zdroja AC zapojeného raz do série s hradlom v druhom prípade v sérii s kolektorom pre interval frekvencií 10Hz -100kHz zistíte pomer medzi veličinami určujúcimi transkonduktáciu (I_C/U_{GE}) a výstupný odpor tranzistora (U_{CE}/I_C). Pomer zistíte v strede frekvenčného pásma. Pre obidva prípady je potrebné otvoriť nový projekt.
7. Výstupný odpor zistíte postupom 3 pre rôzne hodnoty napätia U_{GE} a pri konštantnej hodnote JS zdroja U_{CE} . Tú istú úlohu splňte tiež pre rôzne hodnoty napätia U_{CE} a pri konštantnej hodnote JS zdroja U_{GE} .

Otázky a odpovede

8. *Ako je určené prahové napätie?*
9. *Za aký riadený zdroj možno považovať pol'om riadené tranzistory prúdom riadený zdroj alebo napätím riadený zdroj prúdu?*
10. *Ako sa mení výstupný odpor od napätia hradla v oblasti s riadeným odporom?*
11. *Akou podmienkou je ohraničená oblasť riadeného odporu od nasýtenej oblasti v sieti výstupných charakteristík?*
12. *Ak má byť ideálna hodnota vstupnej impedancie hradla?*
13. *Akým vzťahom je určené napätie U_{CE} uzavretia kanálu v závislosti od napätia hradla?*

5.3 Obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET využívajúci jednosmernú spätnú väzobu v emitore

Ciele experimentu T5-3,:

14. Spoznať obvody pre nastavenie pracovného bodu tranzistorov J FET využívajúce jednosmernú spätnú väzobu v emitore.
15. Zakresliť zaťažovacie priamky do siete výstupných charakteristík.
16. Určiť pracovné body pre nastavené pracovné body analyticky a simuláciou.
17. Určiť stabilitu pracovných bodov v závislosti od hodnoty emitorového odporu.

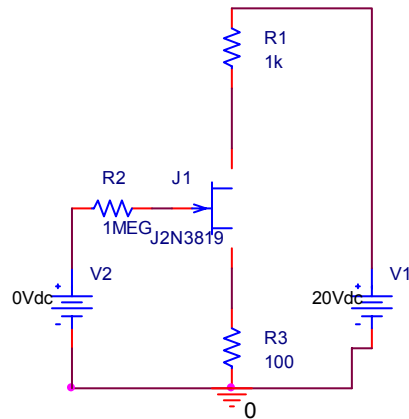
Použité súčiastky:

Tranzistor: 2N3819

Rezistory: $R_1=1\text{ M}\Omega$, $R_2=100\ \Omega$, $R_3=1\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 20 V DC

Unipolárne tranzistory



Zapojenia obvodu T5-3

Úlohy

Otvorte T5-3.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C. Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do emitora. Využite preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Podobnú analýzu možno urobiť aj pre parametrickú zmenu odporu buď v novom simulačnom profile alebo zmenou hodnôt odporu a opakovanou simuláciou.

Pre nastavený pracovný bod zistíte diferenciálne parametre - transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Do série k hradlu J FET tranzistora pripojte napäťový zdroj, od ktorého sa určia diferenciálne parametre.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre iný typ J FET tranzistor ako ďalšie zadania.

1. Zistíte hodnoty prúdov a napätí v rôznych bodoch obvodu.
2. Zistíte závislosť kolektorového napätia od odporu v emitore pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20\text{ V}$. Porovnajete s citlivosťami na obdobné prvky v iných spôsoboch stabilizácie pracovného bodu zistenými v iných simuláciach. (T5-4.opj).
3. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{GE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty kolektorového odporu. Hodnoty I_C a U_{GE} určíte z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point".

Hľadanie porúch:

4. Otvorte simuláciu T5-3a a zistíte akú poruchu vykazuje tranzistor v zapojení.

Otázky a odpovede

5. Aký vstupný odpor môže byť zapojený do hradla?

5.4 Mostíkový obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET

Ciele experimentu T5-4:

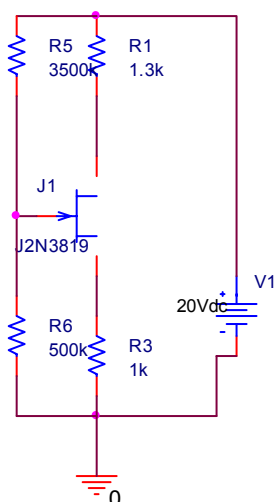
1. Spoznať obvody pre nastavenie pracovného bodu tranzistorov J FET s pripojením hradla k vstupnému deliču a spätnoväzobnom účinku emitorového odporu.
2. Zakresliť zaťažovacie priamky do siete výstupných charakteristík pre nastavený zaťažovací odpor.
3. Určiť pracovné body pre nastavenie pracovných bodov analyticky a simuláciou.
4. Určiť stabilitu pracovných bodov v závislosti od hodnoty emitorového odporu.

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2N3819

Rezistory: $R_1=1\text{ M}\Omega$, $R_2=100\ \Omega$, $R_3=1\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T5-4

Úlohy

Otvorte T5-4.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C . Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do horného ramena mostíka nastavujúceho napätie hradla. Využité preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do emitora. Využité preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Podobnú analýzu možno urobiť aj pre parametrickú zmenu odporu buď v novom simulačnom profile alebo zmenou hodnôt odporu a opakovanou simuláciou.

Unipolárne tranzistory

Pre nastavený pracovný bod zistíte diferenciálne parametre - transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Do série s hradlom J FET tranzistora pripojte napäťový zdroj, od ktorého sa určia diferenciálne parametre.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre iný typ J FET tranzistor ako ďalšie zadania.

1. Zistíte hodnoty prúdov a napätí v rôznych miestach obvodu.
2. Zistíte závislosť nastavených pracovných bodov od zmien odporu v hornom ramene odporového deliča na vstupe. Napájanie kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20\text{ V}$.
3. Zistíte závislosť kolektorového napätia od odporu v emitore pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20\text{ V}$. Porovnajete s citlivosťami na odpor vo vstupnom deliči z bodu 2. zistenými v iných simuláčnych profiloch. (T5-4.opj).
4. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{GE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty kolektorového odporu. Hodnoty I_C a U_{GE} určite z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point".

Hľadanie porúch

5. Otvorte simuláciu T5-4a a zistíte akú poruchu vykazuje horný odpor vo vstupnom mostíku.

Otázky a odpovede

6. *Pre aký prúd kolektorom možno z pracovných napätí určiť prahové napätie tranzistora v zapojení stabilizujúcom pracovný bod?*
7. *Akou podmienkou je ohraničená oblasť riadeného odporu od nasýtenej oblasti v sieti výstupných charakteristík?*
8. *Ktorú prednosť poľom riadeného tranzistora J FET znehodnocuje vstupný delič zosilňovača?*
9. *Ako sa potlačí spätnoväzobný účinok emitorového odporu pre striedavý signál?*

5.5 Mostíkový obvod pre nastavenie pracovného bodu MOS FET

Ciele experimentu T5-5:

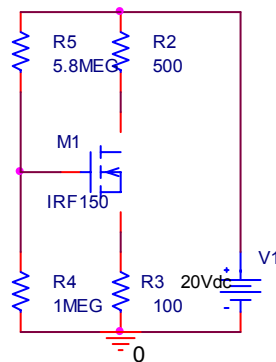
1. Spoznať obvody pre nastavenie pracovného bodu tranzistorov MOS FET s pripojením hradla k vstupnému deliču a spätnoväzobnom účinku emitorového odporu pre MOS FET tranzistory rôznych módov.
2. Zakresliť zaťažovacie priamky do siete výstupných charakteristík pre nastavený zaťažovací odpor.
3. Určiť pracovné body pre nastavenie pracovných bodov analyticky a simuláciou.
4. Určiť stabilitu pracovných bodov v závislosti od hodnoty emitorového odporu.

Použité súčiastky:

Tranzistor: IRF150

Rezistory: $R_1=230\text{ k}\Omega$, $R_2=100\text{ k}\Omega$, $R_3=1\text{ k}\Omega$, $R_4=10\ \Omega$ -300 Ω .

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T5-5

Úlohy

Otvorte T5-5.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C. Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Z hodnôt pracovných napätí určíte v akom móde pracuje použitý MOS FET tranzistor. MOS FET tranzistor v obohacovanom režime nevyžaduje použitie emitorového odporu lebo kladné napätie hradla voči emitoru sa dá vytvoriť deličom z kolektorového napájacieho zdroja.

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do horného ramena mostíka nastavujúceho napätie hradla. Využité preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do emitora. Použite dve hodnoty odporu v emitore. Prvá extrémne malá - predstavujúca len odpor prívodov minimalizuje spätnú väzbu na stabilizáciu pracovného bodu. Druhá s odporom rovným 500 Ω má aj stabilizačný účinok na pracovné body. Využité preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Podobnú analýzu možno urobiť aj pre parametrickú zmenu odporu buď v novom simulačnom profile alebo zmenou hodnôt odporu a opakovanou simuláciou.

Pre nastavený pracovný bod zistíte diferenciálne parametre - transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Do série s hradlom MOS FET tranzistora pripojte napäťový zdroj, od ktorého sa určia diferenciálne parametre.

Modifikujte schému pre nastavenie pracovného bodu aj pre tranzistor v ochudobňovanom móde. Ako sa táto schéma bude líšiť od aktuálnej.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre iné typy MOS FET tranzistorov ako ďalšie zadania. (*Pre demo verziu nemožné*).

5. Zistíte hodnoty prúdov a napätí v rôznych miestach obvodu.
6. Zistíte závislosť kolektorového napätia od horného odporu vstupného deliča pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20$ V. Porovnajete s citlivosťami na emitorový odpor zistenými .SENS analýzou (T5-5.opj).
7. Stabilitu nastavenia pracovného bodu študujete nasledovným postupom pripomínajúcim hľadanie optimálnej hodnoty odpraveho deliča výmenou odporov v zapojení a následným meraním pracovných bodov. Postup:

Unipolárne tranzistory

Nastavte hodnotu odporu emitora na 10 Ω .

Nastavujte hodnotu odporu v hornom ramene vstupného mostíka dokedy napätie medzi kolektorom a emitorom bude rovné ≈ 10 V.

Zvýštete hodnotu odporu emitora na 300 Ω .

Nastavujte hodnotu odporu v hornom ramene vstupného mostíka až kým napätie medzi kolektorom a emitorom nenadobudne približne pôvodnú hodnotu ≈ 10 V.

Zaznamenajte zmenu odporu deliča pre dosiahnutie zmeny výstupného napätia ≈ 2 V pre obidva prípady. Z pomeru $\Delta U / \Delta R$ sa dá dokázať stabilizačný účinok emitorvého odporu.

8. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{GE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty kolektorového odporu. Hodnoty I_C a U_{GE} určite z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point".

Hľadanie porúch

9. Otvorte simuláciu T5-5a a zistite akú poruchu vykazuje horný odpor vo vstupnom mostíku.

Otázky a odpovede

10. Akou podmienkou je ohraničená oblasť riadeného odporu od nasýtenej oblasti v sieti výstupných charakteristík keď prahové napätie určuje, že tranzistor je v obohacovanom móde?
11. Aj keď tranzistor v obohacovanom móde môže mať nastavený pracovný bod bez emitorového odporu, aké dobrý vplyv na pracovné body sa absenciou emitorového odporu stráca?
12. Ktorú prednosť poľom riadeného tranzistora znehodnocuje vstupný delič zosilňovača?
13. Ako sa potlačí spätnoväzobný účinok emitorového odporu pre striedavý signál?

5.6 Nastavenie pracovného bodu MOS FET tranzistora spätnoväzobným odporom z kolektora

Ciele experimentu T5-6:

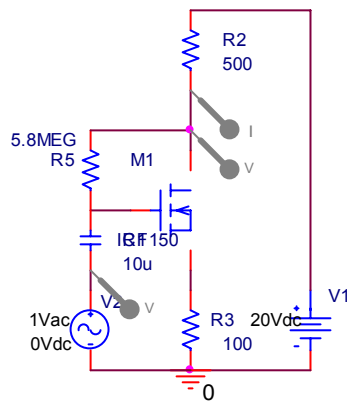
1. Spoznať obvody pre nastavenie pracovného bodu tranzistorov MOS FET s pripojením hradla k vstupnému deliču a spätnoväzobnom účinku emitorového odporu pre MOS FET tranzistory rôznych módov.
2. Zakresliť zaťažovacie priamky do siete výstupných charakteristík pre nastavený zaťažovací odpor.
3. Určiť stabilitu pracovných bodov v závislosti od hodnoty odporu medzi kolektorom a hradlom.

Použité súčiastky:

Tranzistor: IRF150

Rezistory: $R_1=1000$ k Ω , $R_2=1$ k Ω

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T5-6

Úlohy

Otvorte T5-6.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte aj citlivosť polohy týchto bodov na zmenu teploty v intervale 0°C až 50°C . Hodnoty pracovných bodov možno odčítať z "output simulation file".

Zistíte citlivosť kolektorového napätia na zmeny odporu zapojeného do medzi kolektor a hradlo. Využite preto simulačný profil .SENS. V tabuľke výstupného súboru .out sa zobrazia citlivosti na všetky prvky v obvode.

Podobnú analýzu možno urobiť aj pre parametrickú zmenu odporu buď v novom simulačnom profile alebo zmenou hodnôt odporu a opakovanou simuláciou.

Pre nastavený pracovný bod zistíte diferenciálne parametre - transkonduktancia a vstupný odpor pomocou analýzy .TF v novom simulačnom profile pre analýzu typu "Bias point". Do série s hradlom MOS FET tranzistora pripojte napäťový zdroj, od ktorého sa určia diferenciálne parametre.

Pomocou ST analýzy zistíte medzné frekvencie od striedavého napäťového zdroja na vstupe.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre iné typy MOS FET tranzistorov len v obohacovanom mode. (Pre demo verziu nemožné).

1. Zistíte hodnoty prúdov a napätí v rôznych miestach obvodu.
2. Zistíte závislosť kolektorového napätia od spätnoväzobného odporu pri napájaní kolektora napäťovým zdrojom $U_{CC}=20\text{ V}$ rôznymi spôsobmi.
3. V súradnicovej sústave I_C vs. U_{GE} nakreslite zaťažovaciu krivku pre dve hodnoty kolektorového odporu. Hodnoty I_C a U_{GE} určíte z veľkostí týchto veličín zistených pomocou analýzy typu "Bias point".
4. Pomocou ST analýzy (.AC Analysis) zistíte šírku prenosového pásma vstupný odpor, a výstupný odpor postupom z Kap.4.6.

Otázky a odpovede

5. Ktorú prednosť polom riadeného tranzistora znehodnocuje spätnoväzobný odpor zosilňovača?
6. Ako sa potlačí spätnoväzobný účinok emitorového odporu pre striedavý signál?
7. Prečo stabilizácia pracovného bodu spätnoväzobným odporom medzi kolektorom a hradlom nie je možná pre tranzistory v ochudobňovanom móde?

5.7 Zosilňovač malého signálu pre J FET tranzistor v zapojení SE

Ciele experimentu T5-7:

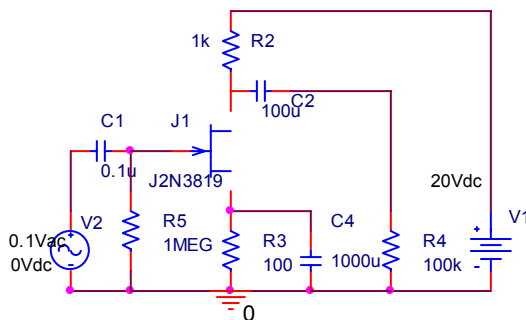
8. Simuláciou zistiť zosilnenie zapojenia zosilňovača s tranzistorom J FET v zapojení SE a porovnať ho s analyticky vypočítanou hodnotou.
9. Určenie fázového posunu a frekvenčného pásma prenosu medzi vstupným a výstupným napätím.
10. Spoznanie vplyvu zaťažovacieho odporu na zisk zosilňovača.
11. Určenie výstupného odporu zosilňovača.

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2N3819

Rezistory: $R_1=1\text{ M}\Omega$, $R_2=100\ \Omega$, $R_3=1\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T5-7

Úlohy

Otvorte T5-7.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu.

Uskutočnite .AC analýzu pre budiaci prúdový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 100 MHz. Na paneli Probe možno zobraziť fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window Templates" a vložením do zátvorky elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistený prenos porovnajte s hodnotami transkonduktancie získanými v simuláciách T5-3 a T5-4.

Veľkosť výstupného odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre P kanálový J FET tranzistorov ako ďalšie zadanie. (Pre demo verziu nemožné).

1. Zistíte hodnoty prúdov a napätí v rôznych miestach obvodu.
2. Určíte z ST analýzy vstupnú impedanciu a zisk.

- Určite frekvenčný prenos zosilňovača. Zistite prekvenčný prenos aj pre malé hodnoty väzobného kondenzátora na zaťažovací odpor. Porovnajete zistenú hornú medznú frekvenciu s vypočítanou z časovej konštanty RC väzobného člena.
- Určite výstupnú imedanciu zosilňovača.

Otázky a odpovede

- Prečo môže byť kapacita vstupného kondenzátora tak malá?
- Ako sa potlačí spätnoväzobný účinok emitorového odporu pre striedavý signál?

5.8 Zosilňovač malého signálu pre MOS FET tranzistor v zapojení SE

Ciele experimentu T5-8:

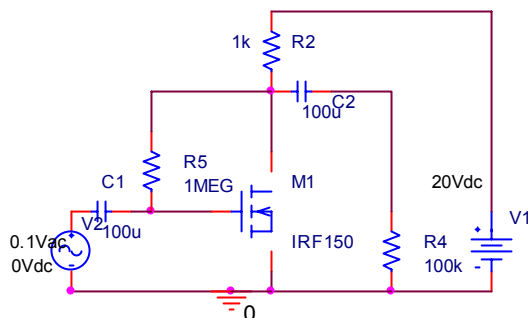
- Simuláciou zistiť zosilnenie zapojenia zosilňovača s tranzistorom MOS FET v zapojení SE a porovnať ho s analyticky vypočítanou hodnotou.
- Určenie fázového posunu a frekvenčného pásma prenosu medzi vstupným a výstupným napätím.
- Spoznanie vplyvu zaťažovacieho odporu na zisk zosilňovača.
- Určenie výstupného odporu zosilňovača pomocou Theveninovej teóremy.

Použité súčiastky:

Tranzistor: IRF150

Rezistory: $R_1=1000\text{ k}\Omega$, $R_2=1\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 20 V DC



Zapojenie obvodu T5-8

Úlohy

Otvorte T5-8.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu.

Uskutočnite .AC analýzu pre budiaci prúdový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 100 MHz. Na paneli Probe možno zobraziť fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window

Unipolárne tranzistory

Templates" a vložením do zátvorky elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistený prenos porovnajte s hodnotami transkonduktancie získanými v simuláciach T5-5 a T5-6.

Veľkosť výstupného odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.

Všetky horespomenuté úlohy riešiť aj pre P kanálový J FET tranzistorov ako ďalšie zadanie. (*Pre demo verziu nemožné*).

11. Zistíte hodnoty prúdov a napätí v rôznych miestach obvodu.
12. Určíte z ST analýzy vstupnú impedanciu a zisk.
13. Určíte frekvenčný prenos zosilňovača. Zistíte prekvenčný prenos aj pre malé hodnoty väzobného kondenzátora na zaťažovací odpor. Porovnajte zistenú hornú medznú frekvenciu s vypočítanou z časovej konštanty RC väzobného člena.
14. Určíte výstupnú imedanciu zosilňovača pomocou Theveninovej teorémy.

Otázky a odpovede

15. *Prečo môže byť kapacita vstupného kondenzátora tak malá?*
16. *Ako sa potlačí spätnoväzobný účinok emitorového odporu pre striedavý signál?*
17. *Ako obmedzuje väzobná kapacita pripojená na zaťažovací odpor hornú medznú frekvenciu?*

6 VIACTRANZISTOROVÉ ZAPOJENIA

V tejto časti budú simulované zosilňovače s viacerými tranzistormi. Ich chovanie bude študované najprv analýzou nastavenia pracovných bodov následne ST prenosom linearizovanými modelmi a prípadne aj JS prenosovou funkciou. Súťažou štúdia obvodov bude poznanie skreslenia veľkého signálu spôsobeného charakteristikami aktívnych prvkov pomocou prenosovej analýzy (.TRAN).

6.1 Diferenčný stupeň s bipolárnymi tranzistormi

Ciele experimentu T6-1:

1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu an ich citlivosť (Bias points).
2. Zistiť JS prenosovú charakteristiku medzi vstupom a výstupom (DC sweep).
3. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu diferenčného stupňa (.AC analysis). Pri simulácií prenosu zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
4. Zistiť skreslenie vnášané diferenčný zapjením do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN).

Použité súčiastky:

Tranzistor: 4x2N2222

Rezistory: $R_1=2\text{ k}\Omega$, $R_2=1\text{ k}\Omega$, $R_3=1\text{ k}\Omega$, $R_4=6\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 2x12 V DC

Úlohy

Otvorte T6-1.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistite ako sa zmenou nastavovacieho odporu menia.

1. Uskutočnite JS analýzu prenosu z diferenčného vstupu na diferenčný výstup. Porovnajzte zistený prenos s analyticky vypočítaným.
2. Jeden zo vstupných odporov znížte na skoro skrat (0.01Ω). Určte z prenosovej charakteristiky offset zapojenia.
3. Zistite ST prenos pre budiaci napäťový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 100 MHz. Na paneli Probe možno zobrazit' fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window Templates" a vložením do zátvorky elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie diferenciálnych (linearizovaných) hodnôt impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistenú hodnotu prenosu porovnajzte s analyticky vypočítaným.

Unipolárne tranzistory

4. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
5. Pre sinusový budiaca signál frekvencie 1 kHz zistite tvar výstupného rozdielového napätia. Pozorujte skreslenia pre parametricky premenné JS predpätie v intervale $\pm 0.1V$. Túto úlohu zopakujte aj pre väčšiu hodnotu súčtového prúdu.

Hľadanie porúch

6. Otvorte simuláciu T6-1a.opj a zistite akú poruchu vykazuje odpor v prúdovom zrkadle.

Otázky a odpovede

7. Čo je hlavná výhoda diferenčného zapojenia?
8. Aké skreslenia vnáša do obvodu diferenčný stupeň pri nulovom predpätí vstupnej dvojice (symetrické, nesymetrické)?
9. Ak je skreslenie vnáša diferenčný stupeň pri nenulovom ofsete?
10. Môže rozdiel odporov v sérii s bázou spôsobiť jednosmerný ofset?

Ako sa potlačí spätnoväzobný

6.2 Diferenčný stupeň s unipolárnymi tranzistormi

Ciele experimentu T6-2:

11. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu a ich citlivosť (Bias points).
12. Zistiť JS prenosovú charakteristiku medzi vstupom a výstupom (DC sweep).
13. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu diferenčného stupňa (.AC analysis). Pri simulácii prenosu zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
14. Zistiť skreslenie vnášané diferenčný zapojením do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN).

Použité súčiastky:

Tranzistor: 4xIRF150

Rezistory: $R_1=2\text{ k}\Omega$, $R_2=1\text{ k}\Omega$, $R_3=1\text{ k}\Omega$, $R_4=6\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 2x12 V DC

Úlohy

Otvorte T6-2.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistite ako sa zmenou nastavovacieho odporu menia.

15. Uskutočnite JS analýzu prenosu z diferenčného vstupu na diferenčný výstup. Porovnajte zistený prenos s prenosom pre bipolárne tranzistory zo simulácií T6-1.

16. Zistite ST prenos pre budiaci napäťový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 10 GHz. Na paneli Probe možno zobrazit' fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window Templates" a vloženíím do zátvorky elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie diferenciálnych (linearizovaných) hodnôt impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistenú hodnotu prenosu porovnajte s analyticky vypočítaným.
17. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
18. Pre sinusový budiacia signál frekvencie 1 kHz zistite tvar výstupného rozdielového napätia. Pozorujte skreslenia pre parametricky premenné JS predpätie v intervale $\pm 0.1V$. Túto úlohu zopakujte aj pre väčšiu hodnotu súčtového prúdu.

Hľadanie porúch

19. Otvorte simuláciu T6-2a.opj a zistite akú poruchu vykazuje odpor v jednom ramene diferenčnej dvojice.

Otázky a odpovede

20. Čo je hlavná výhoda diferenčného zapojenia?
21. Aké skreslenia vnáša do obvodu diferenčný stupeň s unipolárnymi tranzistormi pri nulovom ofsete (symetrické, nesymetrické)?

6.3 Dvojstupňový zosilňovač

Ciele experimentu T6-3:

22. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu na ich citlivosť (Bias points).
23. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu diferenčného stupňa (.AC analysis). Pri simulácií prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
24. Zistiť skreslenie vnášané diferenčný zapojením do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN).

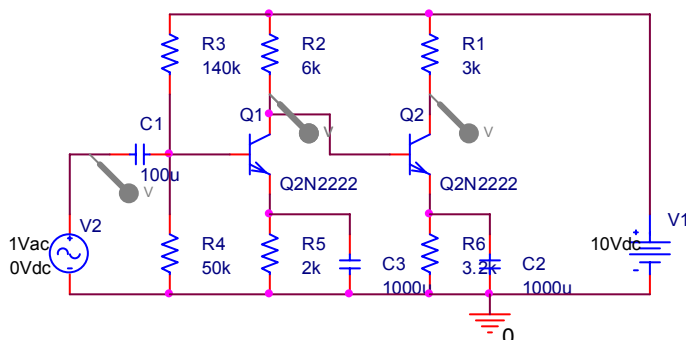


Schéma obvodu T6-3

Unipolárne tranzistory

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

Rezistory: $R_1=3\text{ k}\Omega$, $R_2=6\text{ k}\Omega$, $R_3=140\text{ k}\Omega$, $R_4=50\text{ k}\Omega$, $R_5=2\text{ k}\Omega$, $R_6=3.2\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 1x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-3.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte ako sa zmenou vstupného deliča menia.

Zistíte ako sa zmena pracovného bodu prvého stupňa prenáša na druhý.

Zistíte ST prenos , jeho šírku frekvenčného pásma , zosilnenia a impedancie.

25. Uskutočnite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) dvojstupňového zosilňovača.
26. Overte hodnoty zo simulácie s hodnotami analyticky vypočítanými.
27. Určte závislosť výstupného kolektorového napätia od pomeru odporov vo vstupnom deliči.
28. Zistíte ST prenos pre budiaci napäťový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 10 GHz. Na paneli Probe možno zobrazíť fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot Window Templates" a vložení do zátvorky elektrickej veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie diferenciálnych (linearizovaných) hodnôt impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistenú hodnotu prenosu porovnajte s analyticky vypočítaným.
29. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
30. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
31. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma veľkosťou blokovacej kapacity C_2 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
32. Pre sinusový budiacia signál frekvencie 1 kHz zistíte tvar výstupného rozdielového napätia. Pozorujte skreslenia pre parametricky premenné JS predpätie v intervale $\pm 0.1\text{V}$. Prenos určte pre také nastavenie vstupného deliča aby výstupné jednosmerné napätie bolo 6 V.

6.4 Dvojstupňový zosilňovač

Ciele experimentu T6-4:

1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu na ich citlivosť (Bias points).

- Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu diferenčného stupňa (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
- Zistiť skreslenie vnášané diferenčným zapojením do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN).

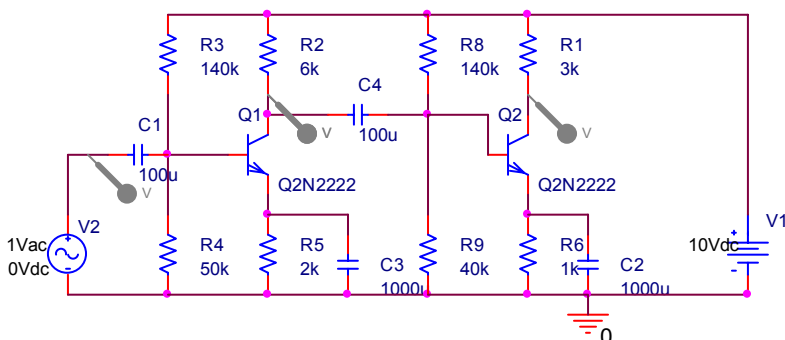


Schéma obvodu T6-4

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

Rezistory: $R_1=3\text{ k}\Omega$, $R_2=6\text{ k}\Omega$, $R_3=140\text{ k}\Omega$, $R_4=50\text{ k}\Omega$, $R_5=2\text{ k}\Omega$, $R_6=3.2\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 1x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-4.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistite ako sa zmenou vstupného deliča menia.

Porovnajme stabilitu pracovného bodu so simulovaným obvodom T6-3.

Zistite ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma, zosilnenia a impedancie.

- Uskutočnite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) dvojstupňového zosilňovača.
- Overte hodnoty zo simulácie s hodnotami analyticky vypočítanými.
- Určte závislosť výstupného kolektorového napätia od pomeru odporov vo vstupnom deliči.
- Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 a C_4 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
- Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma veľkosťou blokovacej kapacity C_2 a C_3 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
- Zistite ST prenos pre budiaci napäťový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 10 GHz. Na paneli Probe možno zobrazíť fázu a modul ľubovoľného napätia a prúdu výberom z ponuky "Plot

Unipolárne tranzistory

Window Templates" a vložení do zátvorky elektrické veličiny ktorej priebeh nás zaujíma. Zobrazenie diferenciálnych (linearizovaných) hodnôt impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistenú hodnotu prenosu porovnajte s analyticky vypočítaným.

7. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
8. Pre sinusový budiacia signál frekvencie 1 kHz zistite tvar výstupného rozdielového napätia. Pozorujte skreslenia pre parametricky premenné JS predpätie v intervale $\pm 0.1V$. Prenos určte pre také nastavenie vstupného deliča aby výstupné jednosmerné napätie bolo 6 V.

Možno

Zvysky:

9. Skontrolujte výsledok bodu 4 s využitím Theveninovej náhrady. (Odmerajte dve hodnoty výstupného ST napätia pre dve hodnoty odporu záťaže. Z týchto napätí a odpovedajúcich hodnôt zaťažovacieho odporu sa dá určiť vnútorný odpor výstupu zapojeného do série s ideálnym napäťovým zdrojom. *Výsledný vzťah je: $R_0 = \frac{U_2' - U_2}{U_2 R_Z' - U_2' R_Z} R_Z R_Z'$ potvrdte jeho platnosť*).

7 LITERATÚRA

V prácach, v ktorých je dizertant autorom alebo spoluautorom, sú mená vytlačené tučným písmom.

- [1] Michaeli,L.: Základy elektroniky, Skriptum FEI TUKE, 2006.
- [2] Camenzid,H.:Designing Analog Chips, 2004,2005, downloadable for free: www.designinganalogchips.com
- [3] Berube,R.H.;Computer Simulated Experiments for Electronic Devices Using Electronics Workbench Multisim® , Pearson Prentice Hall,2004
- [4] Čajka,J.Kvasil,J,: Teorie lineárních obvodu, SNTL-ALFA Praha 1979
- [5] Haykin, S.: Neural Networks – A Comprehensive Foundation. Mcmillan College Publishing Company New York, 1994
- [6] Kouril,F. Vrba,K.: Teorie nelineárních a parametrických obvodu, SNTL/Alfa, Praha 1981
- [7] Mason,S.J.: Feedback Theory – Some Properties of Signal Flow Graphs. PIRE 41 (1953) str.1144-1156.
- [8] Michaeli,L. : Prepínač napätia pre záťaž operačným zosilňovačom, Elektrotech. časopis SAV, IO/1975, Str.773-785