

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	5
2 Simulačné prostredie PSPICE	6
3 Polovodičové diódy.....	7
3.1 Experimenty s PN Diódou	7
3.1.1 Pripustne polarizovaná dióda	7
3.1.2 Záverne polarizovaná dióda.....	7
3.1.3 Hľadanie porúch v diódovom obvode	7
3.2 Zistenie voltamperovej charakteristiky PN diódy	7
3.3 Zistenie voltamperovej charakteristiky Zenerovej diódy	7
3.4 Zistenie voltamperovej charakteristiky tyristora a triaka	8
3.5 Jednocestný usmerňovač	8
3.6 Dvojcestný usmerňovač	8
3.7 Mostíkový usmerňovač	8
3.8 Obmedzovač amplitúd pomocou diód.....	8
3.9 Stabilizátor jednosmerného napätia pomocou Zenerovej diódy	8
4 Tranzistory.....	9
4.1 Charakteristiky bipolárneho tranzistora.....	9
4.2 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu bázovým odporom bez spätnej väzby. 9	
4.3 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu mostíkovým zapojením.	9
4.4 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu emitorovým odporom pri dvoch napájacích zdrojoch.	9
4.5 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu odporom zapojeným spätnoväzobne medzi bázu a kolektor.	9
4.6 Zosilňovač v zapojení SE.....	10
4.7 Zosilňovač v zapojení SC - emitorový sledovač	10
5 Polom riadené tranzistory	11
5.1 Charakteristiky tranzistora typu J FET	11

5.2	Charakteristiky tranzistora typu MOS FET	11
5.3	Obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET využívajúci jednosmernú spätnú väzbu v emitore	11
5.4	Mostíkový obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET	11
5.5	Nastavenie pracovného bodu MOS FET tranzistora spätnoväzobným odporom z kolektora	11
5.6	Zosilňovač malého signálu pre J FET tranzistor v zapojení SE	11
5.7	Zosilňovač malého signálu pre MOS FET tranzistor v zapojení SE	12
6	Viactranzistorové zapojenia	62
6.1	Diferenčný stupeň s bipolárnymi tranzistormi	62
6.2	Diferenčný stupeň s unipolárnymi tranzistormi	63
6.3	Dvojstupňový zosilňovač	65
6.4	Dvojstupňový zosilňovač so kapacitnou väzbou medzi stupňami	66
6.5	Kaskáda dvoch zosilňovačov, kde druhý stupeň tvorí emitorový sledovač	67
6.6	Kaskáda dvoch zosilňovačov s unipolárnymi tranzistormi kde druhý stupeň tvorí emitorový sledovač	69
6.7	Darlingtonová dvojica ako superbeta tranzistor	70
6.8	Darlingtonová dvojica ako výkonový PNP tranzistor	71
6.9	Zosilňovač posúvajúci jednosmernú úroveň	72
6.10	Kaskáda dvoch diferenčných stupňov	73
6.11	Prúdové zrkadlo	74
6.12	Widlarové prúdové zrkadlo	75
6.13	Prúdové zrkadlo z unipolárnych tranzistorov	76
6.14	Prúdový zdroj tvorený výstupom bipolárneho tranzistora ako aktívna záťaž	76
6.15	Prúdový zdroj tvorený výstupom unipolárneho tranzistora ako aktívna záťaž	77
7	Zapojenia so spätnou väzbou	79
7.1	Transimpedančné zapojenie zosilňovača (paralelne napäťová spätná väzba)	79
7.2	Transkonduktančné zapojenie zosilňovača (sériovo prúdová spätná väzba)	80
7.3	Napäťový zosilňovač (sériovo napäťová spätná väzba)	80
7.4	Prúdový zosilňovač (paralelne prúdová spätná väzba)	81
7.5	Transimpedančné zapojenie zosilňovača s dvoma tranzistormi (paralelne napäťová spätná väzba)	82

8	Vybrané obvody.....	84
8.1	Dvojčinný výkonový zosilňovač triedy B s komplementárnou dvojicou	84
8.2	Spojité stabilizátor so Zenerovou diódou a emitorovým sledovačom	85
8.3	Spojité stabilizátor so tranzistorovou náhradou Zenerovej diódy a emitorovým sledovačom	85
9	Literatúra	87

1 ÚVOD

Predkladaný učebný materiál má 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 prísť 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 úskaliaми 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 prenie 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

3 POLOVODIČOVÉ DIÓDY

3.1 Experimenty s PN Diódou

3.1.1 Priepustne polarizovaná dióda

3.1.2 Záverne polarizovaná dióda

1.

3.1.3 Hľadanie porúch v diódovom obvode

3.2 Zistenie voltamperovej charakteristiky PN diódy

Ciele experimentu:

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

Použité súčiastky:

Dióda: D1 1N4002

Rezistor: R1=x kohm

3.3 Zistenie voltamperovej charakteristiky Zenerovej diódy

4. *Ako zistíme zenerové napätie diód pre potreby stabilizácie?*
5. *Čím je obmedzený prúd pretekajúci zenerovou oblasťou?*
- 6.

3.4 Zistenie voltamperovej charakteristiky tyristora a triaka

3.5 Jednocestný usmerňovač

7. Ciele experim

3.6 Dvojcestný usmerňovač

Ciele experimentu:

3.7 Mostíkový usmerňovač

3.8 Obmedzovač amplitúd pomocou diód

3.9 Stabilizátor jednosmerného napätia pomocou Zenerovej diódy

4 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

8. diód.

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

4.3 Tranzistorový stupeň s nastavením pracovného bodu mostíkovým zapojením.

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

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

4.6 Zosilňovač v zapojení SE

4.7 Zosilňovač v zapojení SC - emitorový sledovač

5 POĽOM RIADENÉ 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

5.2 Charakteristiky tranzistora typu MOS FET

9. hradla?

10. 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

5.4 Mostíkový obvod pre nastavenie pracovného bodu J FET

5.5 Nastavenie pracovného bodu MOS FET tranzistora spätnoväzobným odporom z kolektora

5.6 Zosilňovač malého signálu pre J FET tranzistor v zapojení SE

Ciele experimentu T5-7:

5.7 Zosilňovač malého signálu pre MOS FET tranzistor v zapojení SE

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:

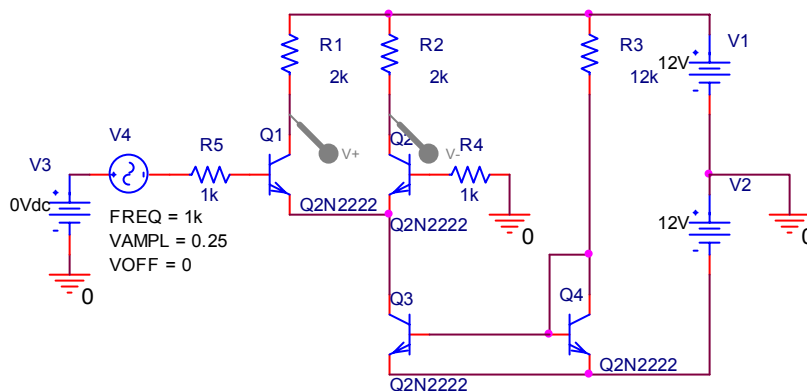
1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu an ich citlivosť (Bias points).
2. Zistiť JS prenosovú charakteristiku medzi vstupom a výstupom (DC sweep).
3. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu diferenčného stupňa (.AC analysis). 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: $R_1=2\text{ k}\Omega$, $R_2=1\text{ k}\Omega$, $R_2=1\text{ k}\Omega$, $R_2=6\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 2x12 V DC



Obvod T6-1

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.
4. Veľkosť výstupného diferenčného (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
5. Pre sinusový budiaci 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:

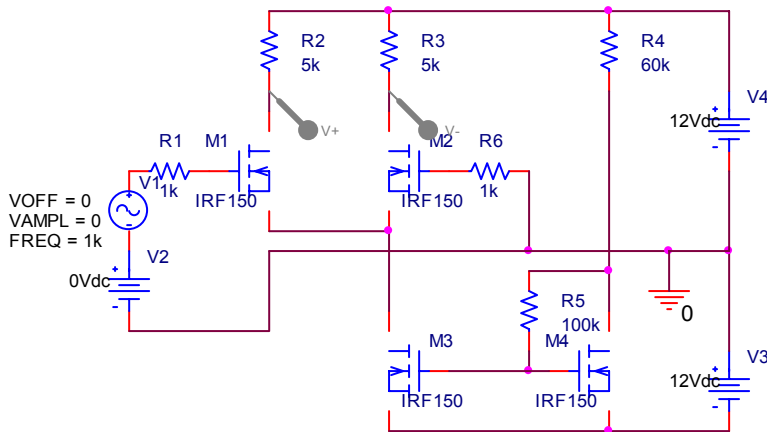
1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu an ich citlivosť (Bias points).
2. Zistiť JS prenosovú charakteristiku medzi vstupom a výstupom (DC sweep).
3. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu diferenčného stupňa (.AC analysis). Pri simulácii 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: 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



Obvod T6-2

Úlohy

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

5. Uskutočnite JS analýzu prenosu z diferenčného vstupu na diferenčný výstup. Porovnajte zistený prenos s prenosom pre bipolárne tranzistory zo simulácií T6-1.
6. 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.
7. Veľkosť výstupného diferenčného (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
8. Pre sinusový budiaci signál frekvencie 1 kHz zistíte tvar výstupného rozdielového napätia. Pozorujte skreslenia pre parametricky premenné JS predpätie v intervale $\pm 0.1\text{V}$. Túto úlohu zopakujte aj pre väčšiu hodnotu súčtového prúdu.

Hľadanie porúch

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

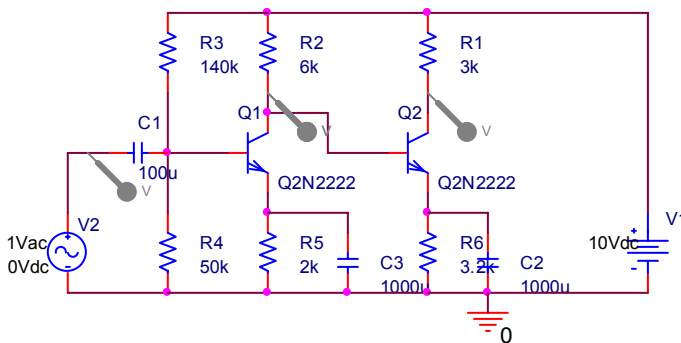
Otázky a odpovede

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

6.3 Dvojstupňový zosilňovač

Ciele experimentu T6-3:

1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu na ich citlivosť (Bias points).
2. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
3. Zistiť skreslenie vnášané do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätia (.TRAN).



Zapojenie obvodu T6-3

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

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

Kondenzátory: $C_1=100\text{ }\mu\text{F}$, $C_2=1000\text{ }\mu\text{F}$, $C_3=1000\text{ }\mu\text{F}$,

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.

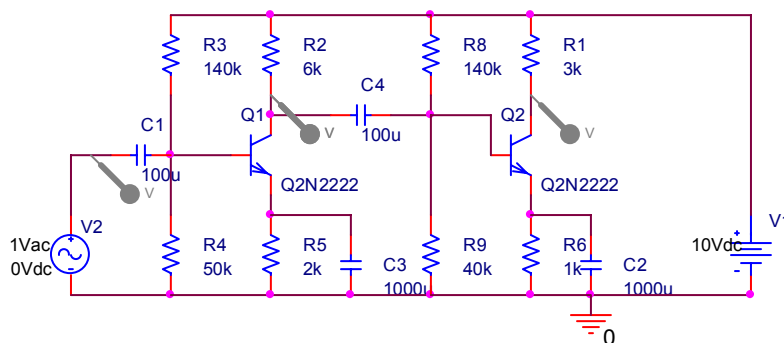
1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) dvojstupňového zosilňovača.
2. Overtíte hodnoty zo simulácie s hodnotami analyticky vypočítanými.
3. Určíte závislosť výstupného kolektorového napätia od pomeru odporov vo vstupnom deliči.

4. Zistite ST prenos pre budiaci napäťový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 10 GHz. 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 diferenciálnych (linearizovaných) hodnôt impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistenú hodnotu prenosu porovnajte s analyticky vypočítaným.
5. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
6. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
7. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma veľkosťou blokovacej kapacity C_2 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
8. Pre sinusový budiaci 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.

6.4 Dvojstupňový zosilňovač so kapacitnou väzbou medzi stupňami

Ciele experimentu T6-4:

1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu na ich citlivosť (Bias points).
2. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
3. Zistiť skreslenie vnášané do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN) pri rôznych nastaveniach pracovných bodov.



Zapojenie obvodu T6-4

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

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

Kondenzátory: $C_1=100 \mu\text{F}$, $C_2=1000 \mu\text{F}$, $C_3=1000 \mu\text{F}$, $C_4=100 \mu\text{F}$

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.

Porovnajete stabilitu pracovného bodu so simulovaným obvodom T6-3.

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

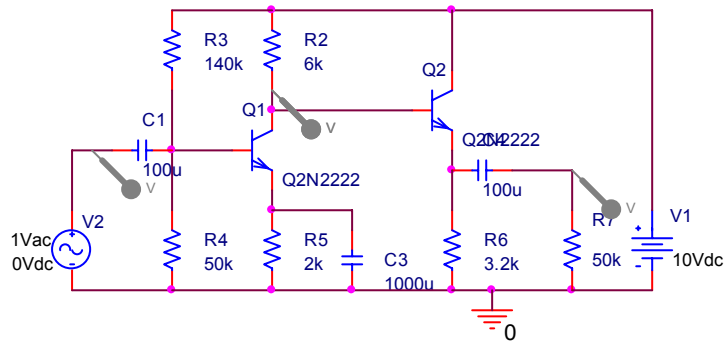
4. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) dvojstupňového zosilňovača.
5. Overte hodnoty zo simulácie s hodnotami analyticky vypočítanými.
6. Určte závislosť výstupného kolektorového napätia od pomeru odporov vo vstupnom deliči.
7. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 a C_4 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
8. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma veľkosťou blokovacej kapacity C_2 a C_3 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
9. 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 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 porovnajete s analyticky vypočítaným.
10. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.
11. Pre sinusový budiaci signál frekvencie 1 kHz zistite 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.

6.5 Kaskáda dvoch zosilňovačov, kde druhý stupeň tvorí emitorový sledovač

Ciele experimentu T6-5:

12. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu na ich citlivosť (Bias points).
13. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
14. Zistiť skreslenie vnášané do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN) pri rôznych nastaveniach pracovných bodov.

Viactranzistorové zapojenia



Zapojenie obvodu T6-5

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

Rezistory: $R_1=3\text{ k}\Omega$, $R_2=6\text{ k}\Omega$, $R_3=140\text{ k}\Omega$, $R_4=50\text{ k}\Omega$, $R_7=50\text{ k}\Omega$, $R_6=3.2\text{ k}\Omega$

Kondenzátory: $C_1=100\text{ }\mu\text{F}$, $C_2=100\text{ }\mu\text{F}$, $C_3=1000\text{ }\mu\text{F}$,

Napájací zdroj: 1x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-5.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte ako sa zmenou vstupného deliča menia.

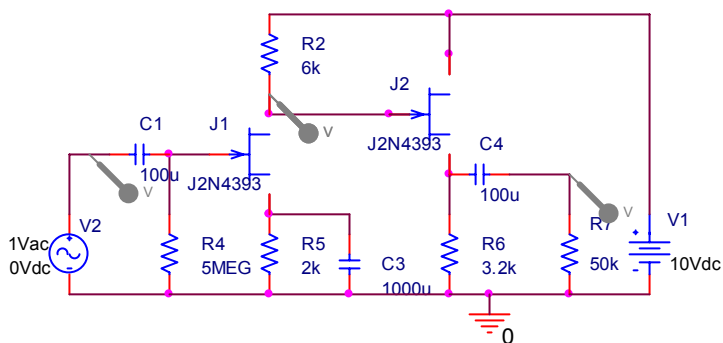
Zistíte ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma, zosilnenia a impedancie.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) dvojstupňového zosilňovača.
2. Overte hodnoty napätí a prúdov pracovných bodov zo simulácie s hodnotami analyticky vypočítanými.
3. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 a C_2 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
4. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma veľkosťou blokovacej kapacity C_3 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
5. Zistíte ST prenos pre budiaci napäťový zdroj v intervale frekvencií 0.1 Hz - 10 GHz. 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 diferenciálnych (linearizovaných) hodnôt impedancií a prenosov naprogramujte postupom opísaným v kap.4.6. Zistenú hodnotu prenosu porovnajte s analyticky vypočítanou.
6. Veľkosť výstupného diferenciálneho (linearizovaného) odporu určte z Theveninovej náhrady postupom uvedeným v kap.4.6.

6.6 Kaskáda dvoch zosilňovačov s unipolárnymi tranzistormi kde druhý stupeň tvorí emitorový sledovač.

Ciele experimentu T6-6:

1. Simuláciou zistiť hodnoty pracovných prúdov a napätí pracovných bodov a vplyvu jednotlivých prvkov obvodu na ich citlivosť (Bias points).
2. Zistiť prenos, vstupnú a výstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácií prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma.
3. Zistiť skreslenie vnášané do harmonického signálu pre rôzne amplitúdy a jednosmerné predpätie (.TRAN) pri rôznych nastaveniach pracovných bodov.



Zapojenie obvodu T6-6

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N4393

Rezistory $R_2=6\text{ k}\Omega$, $R_4=5\text{ M}\Omega$, $R_7=50\text{ k}\Omega$, $R_6=3.2\text{ k}\Omega$

Kondenzátory: $C_1=100\text{ }\mu\text{F}$, $C_2=100\text{ }\mu\text{F}$, $C_3=1000\text{ }\mu\text{F}$,

Napájací zdroj: 1x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-6.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Zistíte či zmena odporu R_4 má vplyv na posun pracovného bodu.

Zistíte pracovné body pre rôzne hodnoty odproov R_5 .

Zistíte ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma, zosilnenia a impedancie. Osobitne študujte vplyv blokovacieho kondenzátora C_3 na veľkosť prenosu.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) dvojstupňového zosilňovača.
2. Overtete hodnoty napätí a prúdov pracovných bodov zo simulácie s hodnotami analyticky vypočítanými.

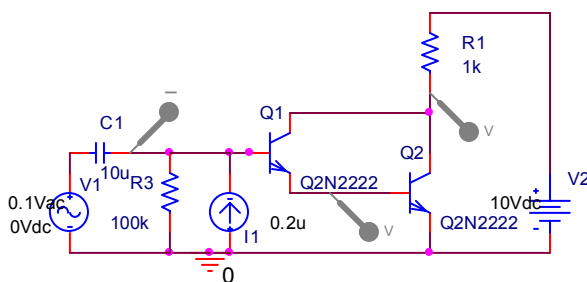
Viactranzistorové zapojenia

3. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 a C_4 ? Vysvetlite prečo možno kapacitu C_1 znížiť na tak malé hodnoty aké neboli možné pre bipolárne tranzistory.
4. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma veľkosťou blokovacej kapacity C_3 ? Vysvetlite pozorovaný vplyv teoreticky.
5. 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.

6.7 Darlingtonová dvojica ako superbeta tranzistor.

Ciele experimentu T6-7:

1. Zistiť JS prenos Darlingtonovej dvojice dvoch NPN tranzistorov.
2. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma..



Zapojenie obvodu T6-7

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

Rezistory $R_1=1\text{ k}\Omega$, $R_3=0,1\text{ M}\Omega$

Kondenzátory: $C_1=10\text{ }\mu\text{F}$

Napájací zdroj: 1x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-7.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Z hodnôt pracovných prúdov overte analyticky odvodené vzťahy pre prúdové zosilnenie.

Zistíte ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov určite overte analyticky odvodené vzťahy pre prúdové zosilnenie.

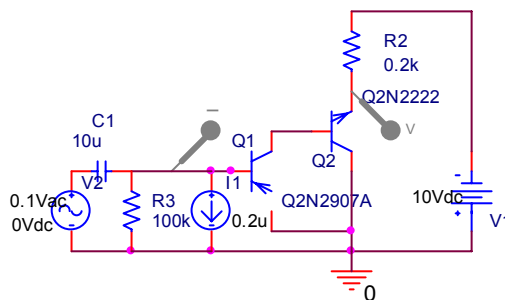
1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača s Darlingtonovou dvojicou.

2. Zmeňte hodnoty prúdového zdroja tak aby bolo možné získať niekoľko bodov do jednosmernej prenosovej charakteristiky I_{C1}/I_{B1} , I_{C2}/I_{B1} , U_{C2}/I_{B1} .
3. Pre budenie ST napäťovým zdrojom zistite napätia na jednotlivých uzloch a zneho prenos. Pre ST vstupný prúd pri známom budiacom napätí zistite vstupnú impedanciu. .
4. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 ? Vysvetlite prečo možno kapacitu C_1 znížiť na tak veľmi malé hodnoty.
5. Overtte analyticky hodnotu dolnej medznej frekvencie z prevrátenej hodnoty R_3C_1 s veľkosťou zistenou simuláciou.

6.8 Darlingtonová dvojica ako výkonový PNP tranzistor.

Ciele experimentu T6-8:

1. Zistiť JS prenos Darlingtonovej dvojice tranzistorov PNP a NPN vytvárajúcich zdanlivo výsledný PNP tranzistorov.
2. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácií prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma..



Zapojenie obvodu T6-8

Použité súčiastky:

Tranzistor: 1x2N2907A, 1x2N2222

Rezistory $R_2=0.2 \text{ k}\Omega$,

Kondenzátory: $C_1=10 \mu\text{F}$

Napájací zdroj: 1x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-8.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Z hodnôt pracovných prúdov overte analyticky odvodené vzťahy pre prúdové zosilnenie.

Zistite ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov určite overte analyticky odvodené vzťahy pre prúdové zosilnenie.

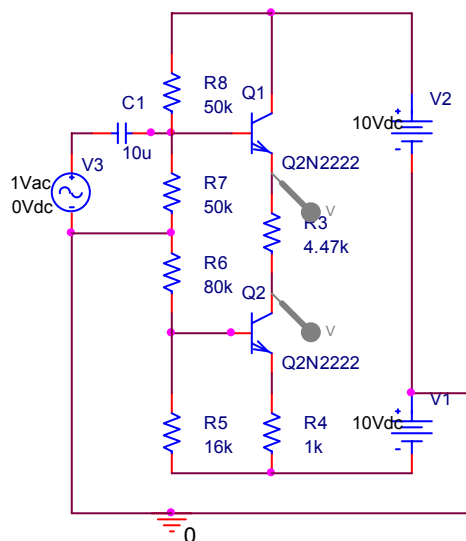
Viactranzistorové zapojenia

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača s Darlingtonovou dvojicou vytvárajúcou PNP tranzistor pomocou PNP a NPN tranzistorov.
2. Zmeňte hodnoty prúdového zdroja tak aby bolo možné získať niekoľko bodov do jednosmernej prenosovej charakteristiky I_{C1}/I_{B1} , I_{C2}/I_{B1} , U_{C2}/I_{B1} .
3. Pre budenie ST napäťovým zdrojom zistíte napätia na jednotlivých uzloch a zneho prenos. Pre ST vstupný prúd pri známom budiacom napätí zistíte vstupnú impedanciu. .
4. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 ? Vysvetlite prečo možno kapacitu C_1 znížiť na tak veľmi malé hodnoty.
5. Overté analyticky hodnotu dolnej medznej frekvencie z prevrátenej hodnoty R_3C_1 s veľkosťou zistenou simuláciou.

6.9 Zosilňovač posúvajúci jednosmernú úroveň

Ciele experimentu T6-9:

1. Zistiť JS pracovné body v zosilňovači kde jeden stupeň plní funkciu posuvača jednosmernej úrovne.
2. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu.



Zapojenie obvodu T6-9

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222

Rezistory: $R_8=50\text{ k}\Omega$, $R_7=50\text{ k}\Omega$, $R_6=80\text{ k}\Omega$, $R_5=16\text{ k}\Omega$, $R_3=4,47\text{ k}\Omega$, $R_4=1\text{ k}\Omega$,

Kondenzátory: $C_1=10\text{ }\mu\text{F}$

Napájací zdroj: 2x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-9.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

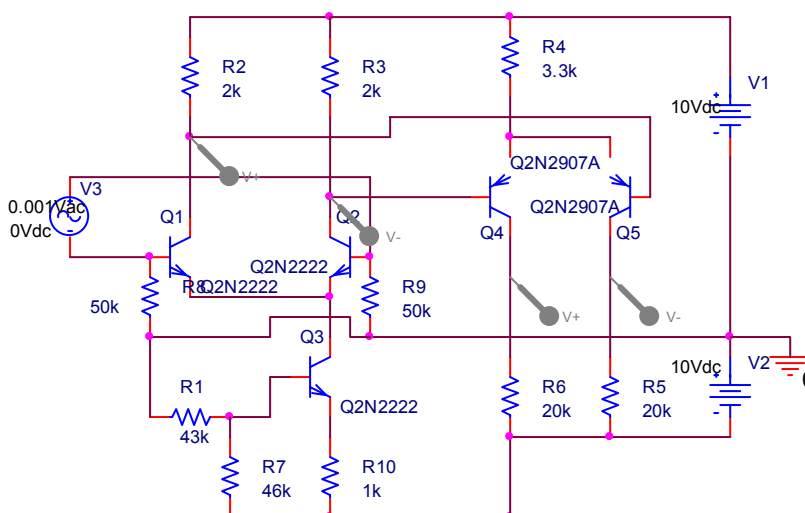
Zistíte ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov určíte overte analyticky odvodené vzťahy pre napäťové zosilnenie a vstupnú impedanciu.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zmeňte hodnoty odporu R_4 a zistíte vplyv na posun pracovného bodu na výstupe zosilňovača.
3. Zmeňte hodnoty odporu R_3 a zistíte vplyv na posun pracovného bodu na výstupe zosilňovača.
4. Pre budenie ST napäťovým zdrojom zistíte napätia na jednotlivých uzloch a z týchto údajov určíte prenosy na jednotlivých miestach. Pre ST vstupný prúd pri známom budiacom napätí zistíte vstupnú impedanciu.
5. Porovnajete prenos ST signálu na oboch uzloch odporu R_3 . Pri použití kompenzačného akou súčiastkou možno nahradiť odpor R_3 ?
6. Ako bude ovplyvnená šírka prenášaného pásma zmenou väzobnej kapacity C_1 ?

6.10 Kaskáda dvoch diferenčných stupňov

Ciele experimentu T6-10:

1. Zistiť JS pracovné body v zosilňovači kde jeden stupeň plní funkciu posuvača jednosmernej úrovne.
2. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu zosilňovača (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu.



Zapojenie obvodu T6-10

Viactranzistorové zapojenia

Použité súčiastky:

Tranzistor: 2x2N2222, 2x2N2907A

Rezistory: $R_1=43\text{ k}\Omega$, $R_7=47\text{ k}\Omega$, $R_2=R_3=2\text{ k}\Omega$, $R_5=R_6=20\text{ k}\Omega$, $R_4=3,3\text{ k}\Omega$, $R_{10}=1\text{ k}\Omega$, $R_9=R_{11}=50\text{ k}\Omega$

Napájací zdroj: 2x10 V DC

Úlohy

Otvorte T6-10.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

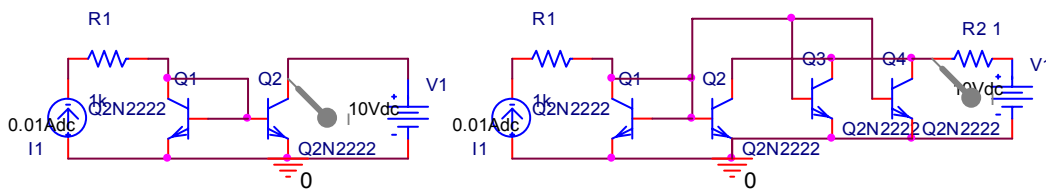
Zistite ST prenos, jeho šírku frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov určite overte analyticky odvodené vzťahy pre napäťové zosilnenia v jednotlivých stupňoch kaskády a vstupnú impedanciu.

1. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zmeňte hodnoty odporu R_1 a zistite vplyv na posun pracovných bodov kaskády.
3. Zmeňte hodnoty odporu R_4 a zistite vplyv na posun pracovného bodu na výstupe zosilňovača.
4. Pre budenie ST napäťovým zdrojom zistite napätia na jednotlivých uzloch a z týchto údajov určte prenosy vstupného rozdielového signálu na jednotlivých miestach kaskády.
5. Pre ST vstupný prúd pri známom budiacom napätí zistite vstupnú impedanciu.
6. Ako sa zmení napäťový zisk zmenou prúdu cez tranzistor Q_3 ?

6.11 Prúdové zrkadlo

Ciele experimentu T6-11 a T6-11b:

1. Zistiť JS pracovné body v prúdovom zrkadle pozostávajúcom z dvoch tranzistorov a tranzistora s kaskádou tranzistorov.
2. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu prúdového zrkadla T6-11 (.AC analysis). Pri simulácii prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu.



Zapojenia obvodov T6-11 a T6-11b

Úlohy

Otvorte T6-11.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistite JS prenos medzi vstupným prúdom a výstupným prúdom.

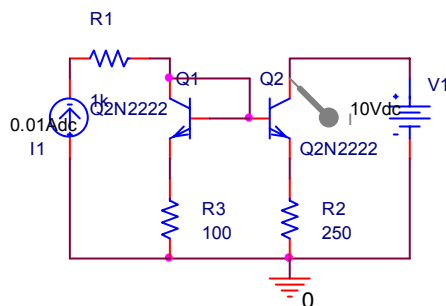
Zistite ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

1. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zmeňte hodnoty odporu R_1 a zistite vplyv na zmenu výstupného prúdu kaskády.
3. Pre budenie ST prúdovým zdrojom zistite výstupný prúd.
4. Pre budenia ST prúdovým zdrojom zistite vstupné napätie a z neho hodnotu vstupnej impedancie.
5. Porovnajte vzájomne výsledky simulácií T6-11 a T6-11b

6.12 Widlarové prúdové zrkadlo

Ciele experimentu T6-12:

1. Zistiť JS pracovné body v Widlarovom prúdovom zrkadle pozostávajúcom z dvoch tranzistorov s odpormi v emitore.
2. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu Widlarového prúdového zrkadla T6-11 (.AC analysis).



Zapojenia obvodu T6-12

Úlohy

Otvorte T6-12.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistite JS prenos medzi vstupným prúdom a výstupným prúdom.

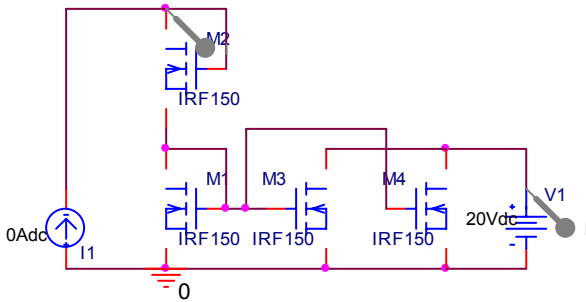
Zistite ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

1. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zmeňte vzájomne hodnoty odporov R_2 a R_3 a zistite vplyv na pomer vstupného a výstupného prúdu
3. Zistite vstupnú impedanciu zo zdroja I_1 a porovnajte ju s hodnoroou zistenou v simulácii T6-11.
4. Zistite šírku prenášaného pásma prúdového prenosu.

6.13 Prúdové zrkadlo z unipolárnych tranzistorov

Ciele experimentu T6-13:

1. Zistiť JS pracovné body v prúdovom zrkadle pozostávajúcom z unipolárnych tranzistorov.
2. Ako kaskáda tranzistorov na výstupe ovplyvní prúdový prenos.
3. Zistiť prenos a vstupnú impedanciu prúdového zrkadla T6-13 (.AC analysis). Pri simulácií prenosovej funkcie zistiť šírku prenášaného frekvenčného pásma a vstupnú impedanciu.



Zapojenia obvodov T6-13

Úlohy

Otvorte T6-13.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky. Študujte náhradu pasívnych odporov pomocou unipolárnych tranzistorov.

Zistite JS prenos medzi vstupným prúdom a výstupným prúdom.

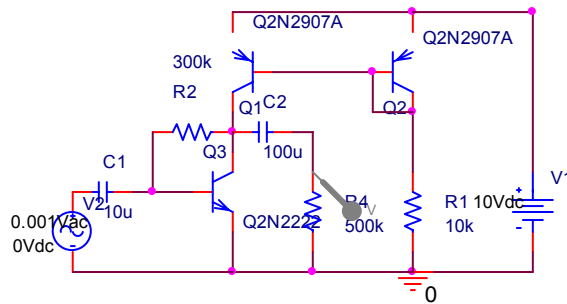
Zistite ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

1. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistite simuláciou ST prenos a vstupnú impedanciu.
3. Porovnajte vstupnú impedanciu s veľkosťou vstupnej impedancie pre prúdové zrkadlo s bipolárnymi tranzistormi.

6.14 Prúdový zdroj tvorený výstupom bipolárneho tranzistora ako aktívna záťaž

Ciele experimentu T6-14:

4. Zistiť JS pracovné body v zosilňovači s aktívnou záťažou.
5. Zistiť ST prenos zosilňovač s aktívnou záťažou..



Zapojenie obvodu T6-14.

Úlohy

Otvorte T6-14.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistíte ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

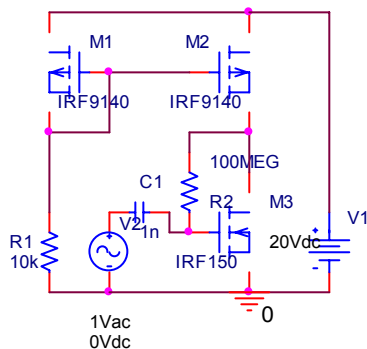
1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistíte vplyv hodnoty odporu R2 na pracovné body
3. Zistíte prenos zo vstupu na výstup
4. Zistíte ako zmena pracovného prúdu záťažou zmení zosilnenie tranzistora Q₃.
5. Prečo je pracovný bod tranzistora Q₃ určovaný jednosmernou spätnou väzbou?
6. Aké problémy by nastali keď by sa pracovný bod nastavoval vstupným deličom. Skúste na prípade vlastnej simulácie.
7. Porovnajte výsledky vašej simulácie so simuláciou obdobného obvodu T6-15.

6.15 Prúdový zdroj tvorený výstupom unipolárneho tranzistora ako aktívna záťaž

Ciele experimentu T6-15:

8. Zistiť JS pracovné body v zosilňovači s aktívnou záťažou.
9. Zistiť ST prenos zosilňovač s aktívnou záťažou.

Viactranzistorové zapojenia



Zapojenie obvodu T6-15

Úlohy

Otvorte T6-15.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistíte ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

10. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
11. Zistíte vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
12. Zistíte prenos zo vstupu na výstup
13. Zistíte ako zmena pracovného prúdu záťažou zmení zosilnenie tranzistora M_2 .
14. Prečo je pracovný bod tranzistora M_3 určovaný jednosmernou spätnou väzbou?
15. Aké problémy by nastali keď by sa pracovný bod nastavoval vstupným deličom. Skúste na prípade vlastnej simulácie.
16. Porovnajte výsledky vašej simulácie so simuláciou obdobného obvodu T6-14

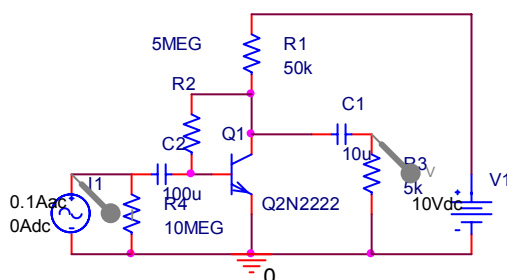
7 ZAPOJENIA SO SPÄTNOU VÄZBOU

V tejto časti sú uvedené obvody na ktorých je možné overiť účinky zápornej spätnej väzby na zapojenia jednoduchých zosilňovačov.

7.1 Transimpedančné zapojenie zosilňovača (paralelne napät'ová spätná väzba)

Ciele experimentu T7-1:

1. Zistiť JS pracovné body v transimpedančnom zosilňovači.
2. Zistiť ST prenos transimpedančného zosilňovača



Zapojenie obvodu T7-1

Úlohy

Otvorte T7-1.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

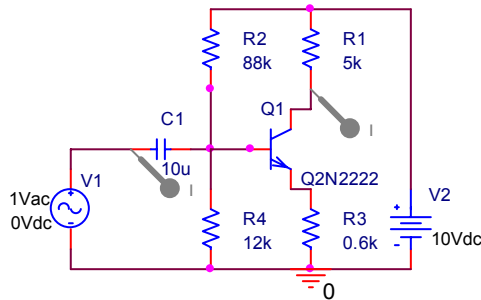
Zistíte ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistíte vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
3. Zistíte prenos U_2/I_1 zo vstupu na výstup
4. Zistíte šírku prenášaného frekvenčného pásma
5. Zistíte vstupný a výstupný odpor v strednom pásme frekvencií. Testovaciu záťaž na výstup je pripojená cez oddelovací kondenzátor. Pre výpočet odporu vid' kap.4.6.

7.2 Transkonduktančné zapojenie zosilňovača (sériovo prúdová spätná väzba)

Ciele experimentu T7-2:

1. Zistiť JS pracovné body v transkonduktančnom zosilňovači.
2. Zistiť ST prenos transkonduktančného zosilňovača



Zapojenie obvodu T7-2

Úlohy

Otvorte T7-2.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

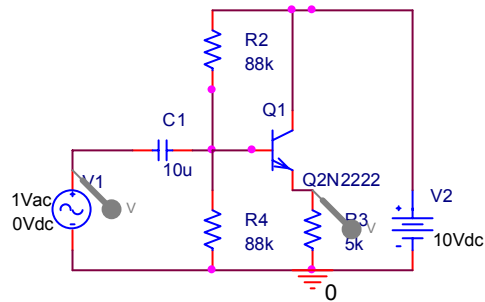
Zistíte ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistíte vplyv hodnoty odporu R_3 na pracovné body
3. Zistíte prenos I_2/U_1 zo vstupu na výstup pre známe budiace napätie.
4. Zistíte šírku prenášaného frekvenčného pásma
5. Zistíte vstupný a výstupný odpor v strednom pásme frekvencií. Testovaciu záťaž na výstup pripojíte cez oddelovací kondenzátor ako v obvode T7-1. Hodnotu výstupného odporu určíte výpočtom (kap.4.6).

7.3 Napät'ový zosilňovač (sériovo napät'ová spätná väzba)

Ciele experimentu T7-3:

1. Zistiť JS pracovné body v napät'ovom zosilňovači.
2. Zistiť ST prenos napät'ového zosilňovača



Zapojenie obvodu T7-3

Úlohy

Otvorte T7-3.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistíte ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

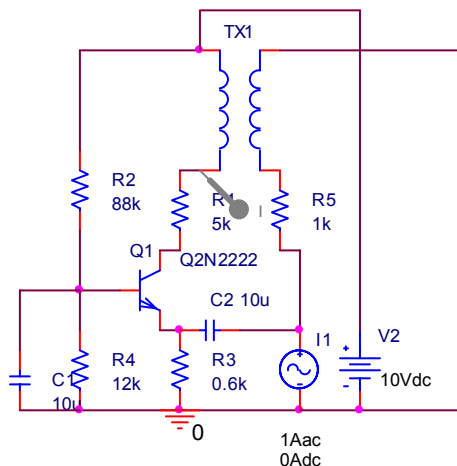
1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistíte vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
3. Zistíte prenos U_2/U_1 zo vstupu na výstup
4. Zistíte šírku prenášaného frekvenčného pásma
5. Zistíte vstupný a výstupný odpor v strednom pásme frekvencií. Testovaciu záťaž na výstup pripojíte cez oddelovací kondenzátor ako v obvode T7-1. Hodnotu výstupného odporu určte výpočtom (kap.4.6).

7.4 Prúdový zosilňovač (paralelne prúdová spätná väzba)

Ciele experimentu T7-4:

1. Zistiť JS pracovné body v transimpedančnom zosilňovači.
2. Zistiť ST prenos transimpedančného zosilňovača

Zapojenia so spätnou väzbou



Zapojenie obvodu T7-4

Úlohy

Otvorte T7-4.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

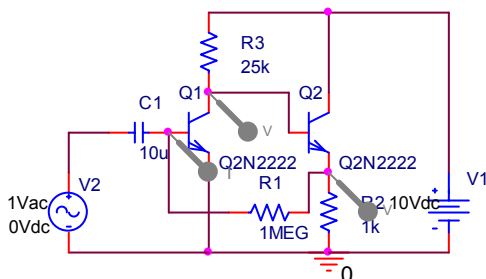
Zistíte ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistíte vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
3. Zistíte prenos I_2/I_1 zo vstupu na výstup
4. Zistíte šírku prenášaného frekvenčného pásma
5. Zistíte vstupný a výstupný odpor v strednom pásme frekvencií. Testovaciu záťaž na výstup pripojíte cez oddeľovací kondenzátor ako v obvode T7-1. Hodnotu výstupného odporu určíte výpočtom (kap.4.6).

7.5 Transimpedančné zapojenie zosilňovača s dvoma tranzistormi (paralelne napät'ová spätná väzba)

Ciele experimentu T7-5:

1. Zistiť JS pracovné body v transimpedančnom zosilňovači.
2. Zistiť ST prenos transimpedančného zosilňovača



Zapojenie obvodu T7-5

Úlohy

Otvorte T7-5.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistite ST prenos a vstupnú impedanciu. Z hodnôt ST napätí a prúdov overte analyticky simuláciou zistené hodnoty pre prúdový prenos a vstupnú impedanciu.

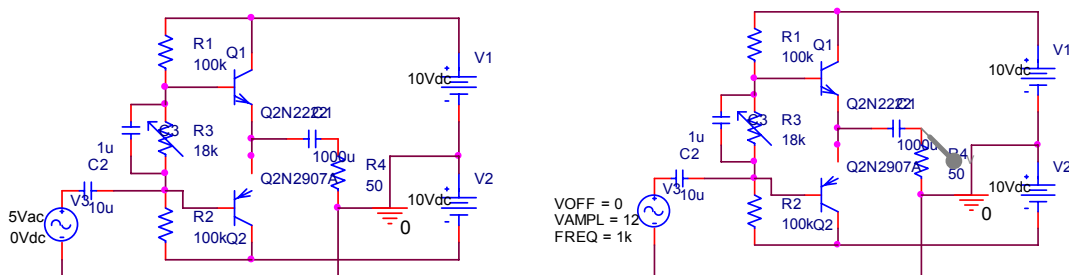
1. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zosilňovača.
2. Zistite vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
3. Zistite prenos U_2/I_1 zo vstupu na výstup
4. Zistite šírku prenášaného frekvenčného pásma
5. Zistite vstupný a výstupný odpor v strednom pásme frekvencií. Testovaciu záťaž na výstup pripojete cez oddeľovací kondenzátor ako v obvode T7-1. Hodnotu výstupného odporu určte výpočtom (kap.4.6).

8 VYBRANÉ OBVODY

8.1 Dvojitý výkonový zesilovač triedy B s komplementárnou dvojicou

Ciele experimentu T8-1:

1. Zistiť JS pracovné body v transimpedančnom zesilňovači.
2. Zistiť ST prenos transimpedančného zesilňovača
3. Zistiť skreslenie výsledného priebehu v závislosti od otvorenia tranzistorov



Zapojenia obvodov T8-1 pre ST analýzu a T8-1a pre prechodovú analýzu

Úlohy

Otvorte T8-1.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistite JS pracovné body a ST prenos zesilňovača.

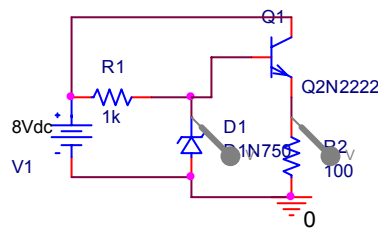
V projekte T8-1a.opj pre vymenený vstupný zdroj harmonického signálu študujte prechodovou analýzou (.TRANS analysis) vplyv prvkov obvodu na skreslenie výstupného priebehu.

1. Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) zesilňovača.
2. Zistite vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
3. Zistite prenos U_2/U_1 zo vstupu na výstup
4. Zistite šírku prenášaného frekvenčného pásma
5. Zistite priebehy výstupného napätia pre budiaci harmonický signál s frekvenciou 1 kHz a pre rôzne amplitúdy budiaceho signálu.

8.2 Spojitý stabilizátor so Zenerovou diódou a emitorovým sledovačom

Ciele experimentu T8-3:

- Zistiť JS pracovné body v stabilizátore.
- Zistiť pomer zmeny výstupného napätia ku zmene vstupného napätia. Stabilizačný faktor.



Zapojenie obvodu T8-3

Úlohy

Otvorte T8-2.opj a vo svojej verzii zistite hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistite stabilizačný faktor pre rôzne hodnoty odporu na Zenerovú diódu.

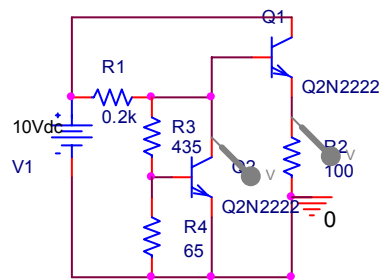
- Zistite pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) stabilizátora. Tieto hodnoty overte analyticky.
- Zistite vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body
- Zistite prenos $\Delta U_2 / \Delta U_1$ zo vstupu na výstup. Stabilizačný faktor. Diferenciálna hodnota prenosu zo vstupu na výstup.
- Porovnajzte zistený stabilizačný faktor s stabilizačným faktorom simulácie T8-4 a vysvetlite rozdiely.

8.3 Spojitý stabilizátor so tranzistorovou náhradou Zenerovej diódy a emitorovým sledovačom

Ciele experimentu T8-4:

- Zistiť JS pracovné body v stabilizátore.
- Zistiť pomer zmeny výstupného napätia ku zmene vstupného napätia. Stabilizačný faktor.

Vybrané obvody



Zapojenie obvodu T8-4

Úlohy

Otvorte T8-2.opj a vo svojej verzii zistíte hodnoty pracovných prúdov a napätí obvodu. Tieto hodnoty overte analyticky.

Zistíte stabilizačný faktor pre rôzne hodnoty odporu na Zenerovú diódu.

1. Zistíte pracovné body pomocou JS analýzy (Bias point) stabilizátora. Tieto hodnoty overte analyticky.
2. Zistíte vplyv hodnoty odporu R_2 na pracovné body.
3. Zistíte prenos $\Delta U_2/\Delta U_1$ zo vstupu na výstup. Stabilizačný faktor. Diferenciálna hodnota prenosu zo vstupu na výstup.
4. Porovnajete zistený stabilizačný faktor s stabilizačným faktorom simulácie T8-3 a vysvetlite rozdiely.

9 LITERATÚRA

- [1] Michaeli,L.: Základy elektroniky, Skriptum FEI TUKE, 2006. dostupné v elektronickej forme:http://www.kemt.fei.tuke.sk/Predmety/KEMT201_ZE
- [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] Seifart,M: Polovodičové prvky a obvody pre spracovanie spojitých signálov, ALFA 1987
- [9] Galajda,P.:Elektronické prvky, ELFA Košice 2002
- [10] Coclaser,R.A.,Neamen,D.A.,Hawkins,C.F.:Electronic Circuit Analysis,John Wiley&Sons,1998
- [11] Žalud,V.:Rádioelektronika, ČVUT Praha 1999
- [12] Pospíšil,J.,Dostál,T.: Elektronické obvody a systémy, VUT Brno 1991
- [13] Limann,O.,Pelka,H.: Elektronika bez balastu. ALFA, Bratislava 1987
- [14] Grebene,A.B.:Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design, J.Willey & Sons, 2003
- [15] Sedra, A. S., Smith K. C.: Microelectronic Circuits, 5th ed., New York: Oxford University Press, 2004
- [16] Millman,J., Grabel, A.:Microelectronics, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1987.
- [17] Horowitz, P., Hill, W.: The Art of Electronics, 2nd ed., New York: Cambridge University Press, 1994