

GEORGE ZĂRNESCU



CIRCUITE ELECTRONICE

FUNDAMENTALE

Simulări SPICE



GEORGE ZĂRNESCU

CIRCUITE ELECTRONICE
FUNDAMENTALE
Simulări SPICE

Copyright © 2014, Editura NAUTICA
Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate Editurii

Editura NAUTICA, 2014
Editură recunoscută de CNCSIS

Str. Mircea cel Bătrân nr.104

900663 Constanța, România

tel.: +40-241-66.47.40

fax: +40-241-61.72.60

e-mail: info@imc.ro

www.edituranautica.org.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

ZĂRNESCU, GEORGE

Circuite electronice fundamentale : simulări spice /

George Zărnescu. - Constanța : Nautica, 2014

ISBN 978-606-681-033-3

621

Prefață

Această lucrare își propune să ajute, printr-o manieră sistematică, studenții electroniști din primii ani de facultate, să dobândească abilitățile necesare simulării și modelării circuitelor electronice fundamentale. În urma efectuării laboratorului de circuite electronice fundamentale studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, circuite electronice diverse.

Scopul acestei lucrări este acela de a exemplifica modul în care pot fi simulate și modelate circuite electronice, ce au în componență dispozitive electronice precum dioda semiconductoră, dioda Zener, tranzistorul bipolar, amplificatorul operațional.

La finalul laboratorului studentul va putea proiecta circuite electronice, utilizând software-urile industriale dedicate acestei ramuri a electronicii. Acesta va putea găsi punctul static de funcționare, va putea studia un circuit electronic fundamental din perspectiva caracteristicii de tranfer, va putea estima caracteristica spectrală, va putea determina comportamentul temporal tranzistoriu al tensiunilor de ieșire și va putea efectua caracterizări parametrice, atunci când valoarea unei componente va putea fi modificată între anumite limite.

Constanța, 2014

Autorul

Cuprins

	Pagina
Tutorial. Utilizarea programului Orcad	1
Lucrarea 1. Analiza punctului static de funcționare	7
1.1 Obiective operaționale	7
1.2 Instrumente necesare	7
1.3 Noțiuni teoretice	7
1.4 Desfășurarea lucrării	8
1.4.1 Circuit cu diode semiconductoare – Punct static de funcționare	8
1.4.1.1 Simularea circuitului cu diode semiconductoare	9
1.4.1.2 Modelarea circuitului cu diode semiconductoare	11
1.4.2 Circuit cu tranzistor bipolar – Punct static de funcționare	13
1.4.2.1 Configurația emitor comun	13
1.4.2.1.1 Simularea configurației emitor comun	14
1.4.2.1.2 Modelarea configurației emitor comun	14
1.4.2.2 Configurația repetor pe emitor	17
1.4.2.2.1 Simularea configurației repetor pe emitor	18
1.4.2.2.2 Modelarea configurației repetor pe emitor	18
Lucrarea 2. Estimarea caracteristicii de transfer	21
2.1 Obiective operaționale	21
2.2 Instrumente necesare	21
2.3 Noțiuni teoretice	21
2.4 Desfășurarea lucrării	22
2.4.1 Circuit cu diode semiconductoare – Caracteristica de transfer	22
2.4.1.1 Simularea circuitului cu diode semiconductoare	23
2.4.1.2 Modelarea circuitului cu diode semiconductoare	26

2.4.2	Circuit cu tranzistor bipolar – Caracteristica de transfer	27
2.4.2.1	Configurația emitor comun	27
2.4.2.1.1	Simularea configurației emitor comun	28
2.4.2.1.2	Modelarea configurației emitor comun	29
2.4.2.2	Configurația repetor pe emitor	30
2.4.2.2.1	Simularea configurației repetor pe emitor	31
2.4.2.2.2	Modelarea configurației repetor pe emitor	32
Lucrarea 3. Estimarea caracteristicii spectrale		35
3.1	Obiective operaționale	35
3.2	Instrumente necesare	35
3.3	Noțiuni teoretice	35
3.4	Desfășurarea lucrării	36
3.4.1	Circuit cu diodă semiconductoare – Caracteristica spectrală	36
3.4.1.1	Simularea circuitului cu diodă semiconductoare	36
3.4.1.2	Modelarea circuitului cu diodă semiconductoare	40
3.4.2	Circuit cu tranzistor bipolar – Caracteristica spectrală	42
3.4.2.1	Configurația emitor comun	42
3.4.2.1.1	Simularea configurației emitor comun	42
3.4.2.1.2	Modelarea configurației emitor comun	43
3.4.2.2	Configurația repetor pe emitor	45
3.4.2.2.1	Simularea configurației repetor pe emitor	46
3.4.2.2.2	Modelarea configurației repetor pe emitor	46
Lucrarea 4. Analiza temporală tranzitorie –Prima parte		49
4.1	Obiective operaționale	49
4.2	Instrumente necesare	49
4.3	Noțiuni teoretice	49
4.4	Desfășurarea lucrării	50
4.4.1	Amplificatorul operațional – Simularea inversorului	50
4.4.2	Amplificatorul operațional – Simularea sumatorului cu ponderi	53
4.4.3	Amplificatorul operațional – Simularea neinversorului	56
4.4.4	Amplificatorul operațional – Simularea buffer-ului	57
4.4.5	Amplificatorul operațional – Simularea integratorului	59

4.4.6 Amplificatorul operațional – Simularea derivatorului	60
4.4.7 Modelarea amplificatorului operațional	61
Lucrarea 5. Analiza temporală tranzitorie –Prima parte	65
5.1 Obiective operaționale	65
5.2 Instrumente necesare	65
5.3 Noțiuni teoretice	65
5.4 Desfășurarea lucrării	66
5.4.1 Stabilizator parametri cu diodă Zener	66
5.4.1.1 Simularea circuitului cu diodă Zener	67
5.4.1.2 Modelarea circuitului cu diodă Zener	68
5.4.2 Stabilizator parametric cu dioda Zener și tranzistor bipolar	70
5.4.2.1 Simularea circuitului cu diodă Zener și tranzistor bipolar	72
5.4.2.2 Modelarea circuitului cu diodă Zener și tranzistor bipolar	72
5.4.3 Stabilizator cu reacție cu amplificator operațional	75
5.4.3.1 Simularea circuitului cu amplificator operațional	76
5.4.3.2 Modelarea circuitului cu amplificator operațional	77
Lucrarea 6. Analiza parametrică	81
6.1 Obiective operaționale	81
6.2 Instrumente necesare	81
6.3 Noțiuni teoretice	81
6.4 Desfășurarea lucrării	82
6.4.1 Filtrul trece jos – Configurația Sallen-Key	82
6.4.1.1 Simularea filtrului trece jos	83
6.4.2 Filtrul trece bandă – Configurația Sallen-Key	86
6.4.2.1 Simularea filtrului trece bandă	87
Bibliografie	89

Tutorial

Utilizarea programului Orcad

Programul Orcad conține trei pachete software de bază ce poartă numele de Capture, PSpice sau Layout. În acest îndrumar se vor utiliza pachetele software Capture și PSpice. Orcad Capture se utilizează atunci când este nevoie de crearea virtuală a circuitului electronic fundamental ce se dorește a fi studiat. Orcad PSpice permite simularea circuitului electronic fundamental creat cu ajutorul Orcad Capture. Orcad Layout permite crearea fizică a circuitului studiat.

Pentru a deschide Orcad Capture se va alege Start/All Programs/Orcad/Capture. În figura 1 este evidențiată fereastra de lucru a programului Orcad Capture.

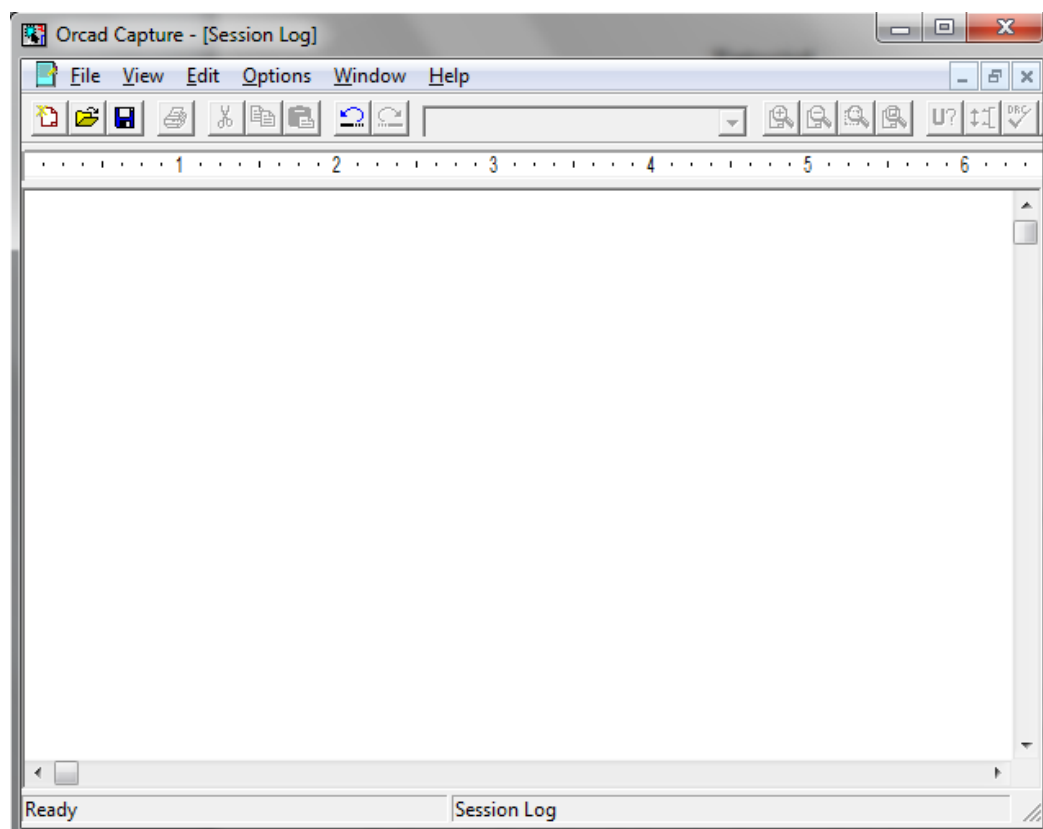


Figura 1. Fereastra de lucru a pachetului software Orcad Capture.

Pentru a crea un proiect în Orcad Capture se va alege File/New/Project... . Acest lucru este evidențiat în figura 2.

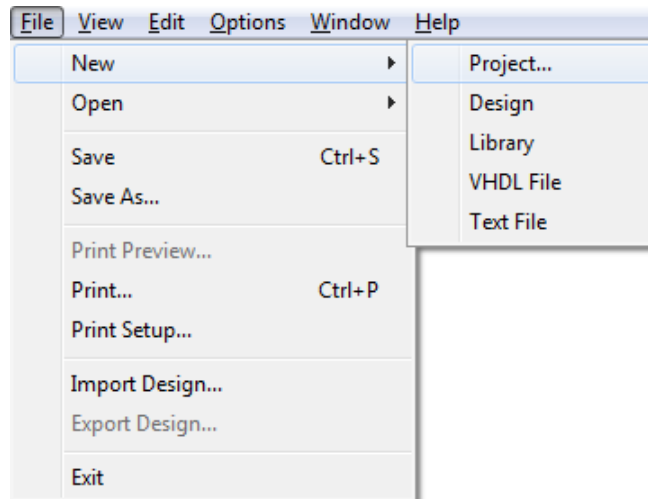


Figura 2. Crearea unui proiect nou în Orcad Capture.

În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 3, în tab-ul Name se va scrie numele proiectului, din tab-ul Creat a New Project Using se va alege Analog or Mixed A/D, iar în tab-ul Location se va defini locul pe harddisk unde Orcad Capture va salva proiectul. O locație pentru viitoarele proiecte ar putea fi D:\student\laborator_cef\.

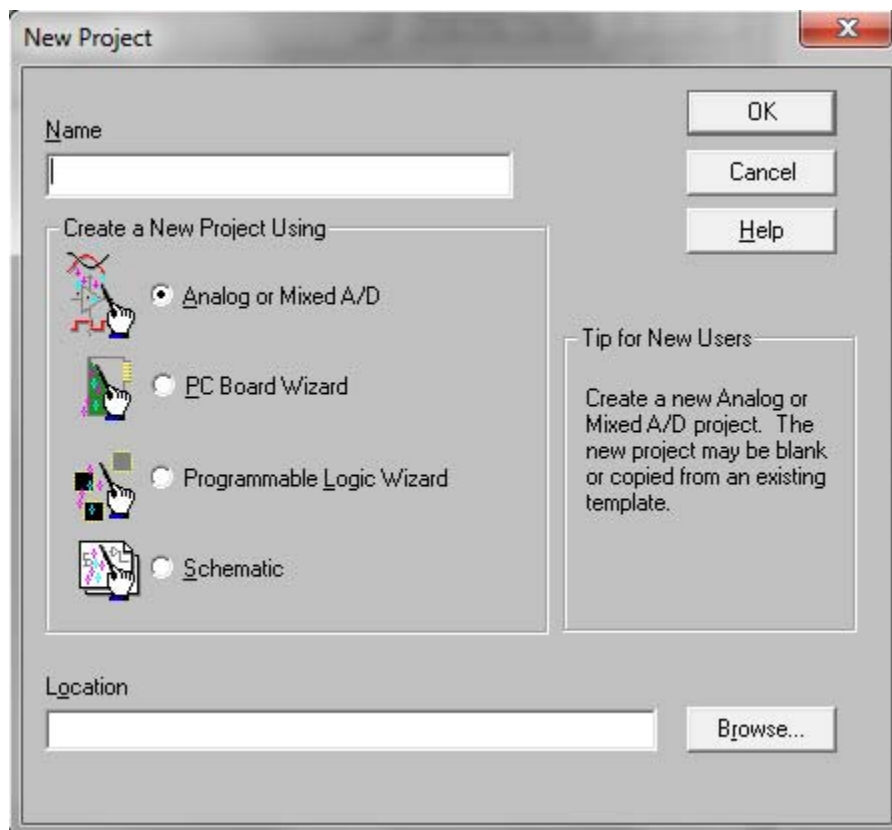


Figura 3. Fereastra New Project.

După ce au fost procesate cele trei câmpuri ale ferestrei New Project se va alege OK. În acest moment va apărea o nouă fereastră, evidențiată în figura 4, care permite conectarea proiectului în Orcad Capture de un proiect în Orcad PSpice. Se poate alege Create based upon an existing project, pentru a alege din șabloanele deja existente sau se poate alege Create a blank project. Această din urmă opțiune se va alege pe parcursul întregului îndrumar. După ce această opțiune a fost selectată se va alege OK.

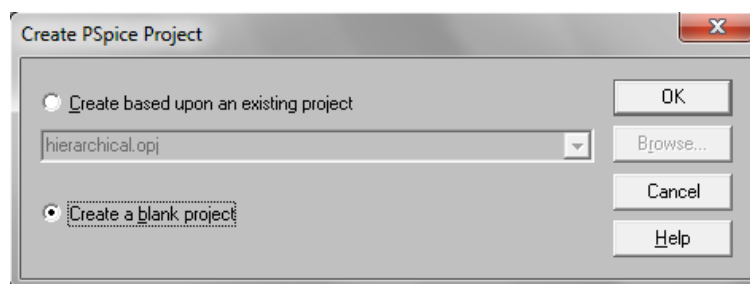


Figura 4. Fereastra Create PSpice Project.

În acest moment în fereastra de lucru, evidențiată în figura 1, a apărut planșa de lucru. În dreapta jos a acestei planșe se poate găsi un tabel care permite introducerea numelui proiectului, numărul documentului, codul de revizuire, câte planșe are proiectul, ce dimensiune are planșa curentă și data la care a fost creată. Toate acestea sunt evidențiate în figura 5.

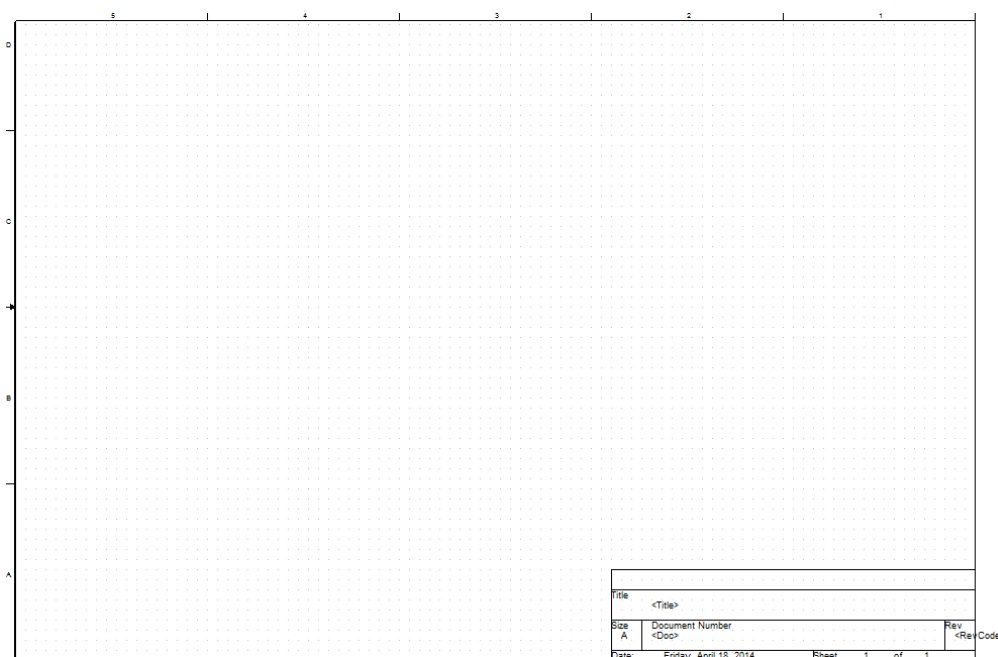


Figura 5. Planșa curentă.

O dată cu apariția planșei curente, în fereastra de lucru au mai apărut alte meniuri pop-up și panouri cu comenzi rapide. În fereastra de lucru un panou cu comenzi rapide se poate găsi în partea din dreapta. Acest tab este evidențiat în figura 6, unde sunt explicate cele mai uzuale comenzi rapide.

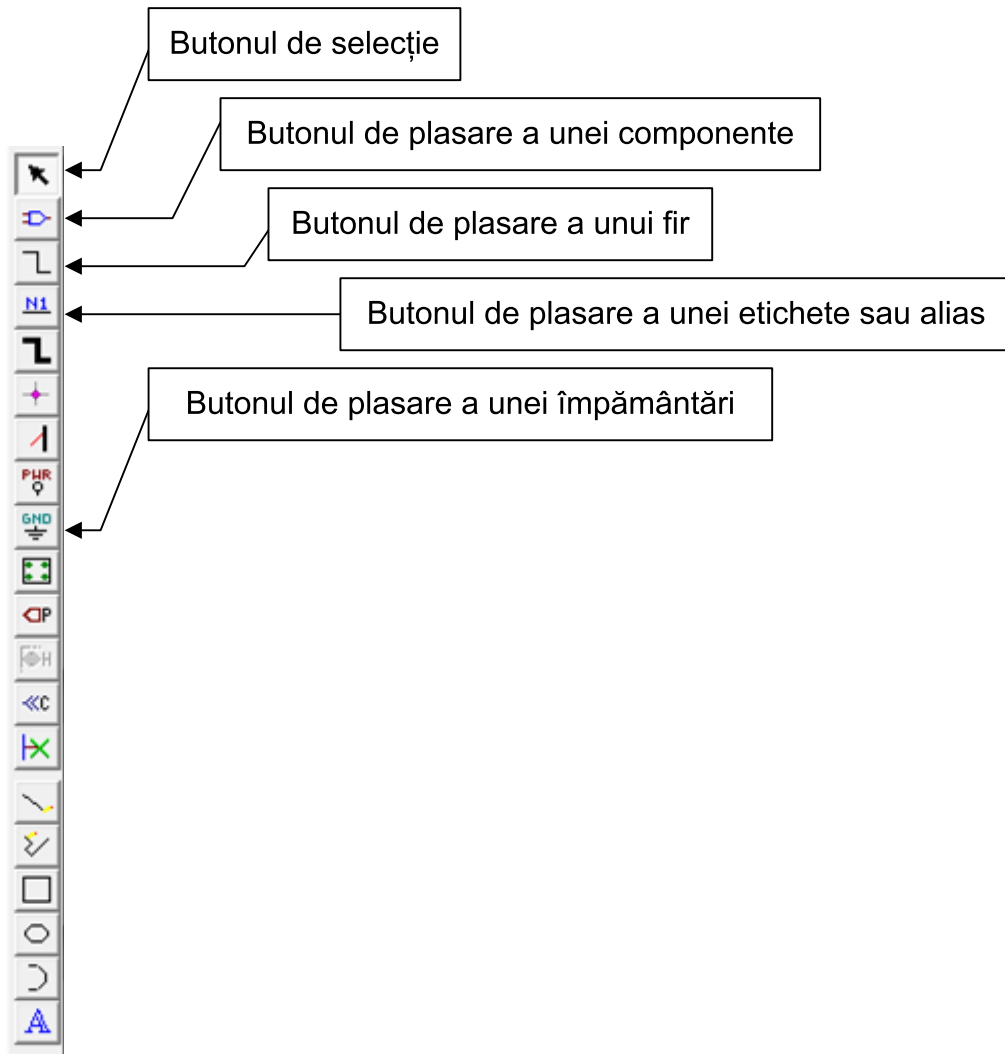


Figura 6. Panou cu comenzi rapide.

Un alt panou cu comenzi rapide este cel din partea de sus al ferestrei de lucru, evidențiat în figura 7. Din acest panou putem alege profilul de simulare, putem crea un profil de simulare, putem edita proprietățile unui profil de simulare, putem executa o simulare, se poate face Zoom In, Zoom Out, Zoom în regiune sau Zoom în toată planșa, de asemenea se poate afișa curentul în circuit, tensiunea la bornele unui element sau puterea disipată de un anumit element de circuit.

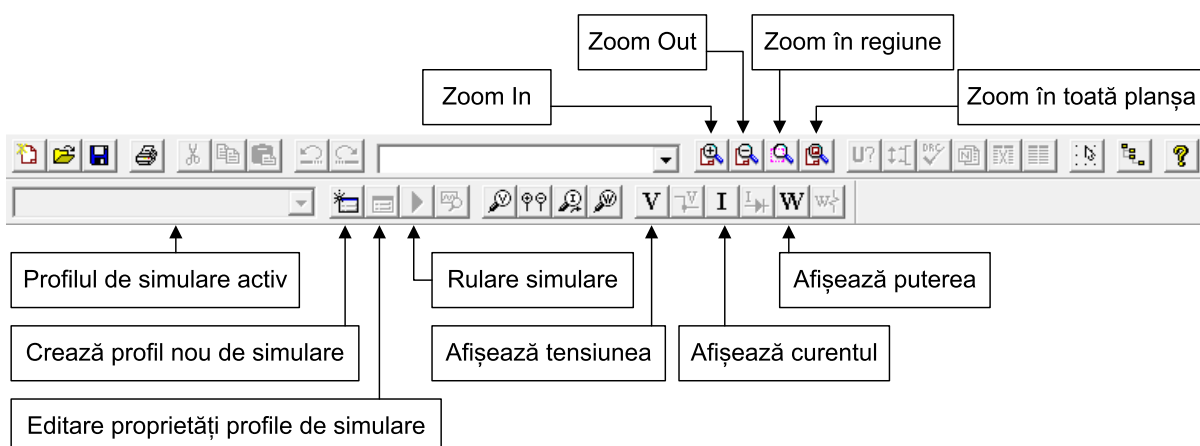


Figura 7. Alt panou cu comenzi rapide.

Meniurile pop-up nou apărute sunt evidențiate în figura 8. Cele mai utilizate meniuri pop-up din acest îndrumar sunt Place și PSpice.

Din meniul Place se poate alege Part... pentru a alege o componentă, se poate alege Wire pentru a lega două sau mai multe componente, sau se poate alege No connect pentru a efectua o neconectare.

Din meniul PSpice se poate alege New Simulation Profile, Edit Simulation Profile, Run sau View Simulation Results.

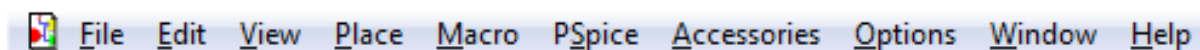


Figura 8. Meniuri pop-up.

În figura 9 sunt evidențiate sursele de tensiune sau curent independente sau dependente ce vor fi folosite pe parcursul acestui îndrumar. VDC (V1) este numele unei surse de tensiune continuă, VAC (V2) este numele unei surse de tensiune alternativă, IDC (I2) este numele unei surse de curent continuu, IAC (I1) este numele unei surse de curent alternativ.

Pentru a genera un semnal dreptunghiular se utilizează componenta ce poartă numele de VPULSE (V3), iar pentru a genera semnal sinusoidal se utilizează componenta ce poartă numele de VSIN (V4).

O sursă de tensiune comandată în tensiune poartă numele de E (E1), o sursă de tensiune comandată în curent poartă numele de F (F1), o sursă de curent comandată în tensiune poartă numele de G (G1), iar o sursă de curent comandată în curent poartă numele de H (H1).

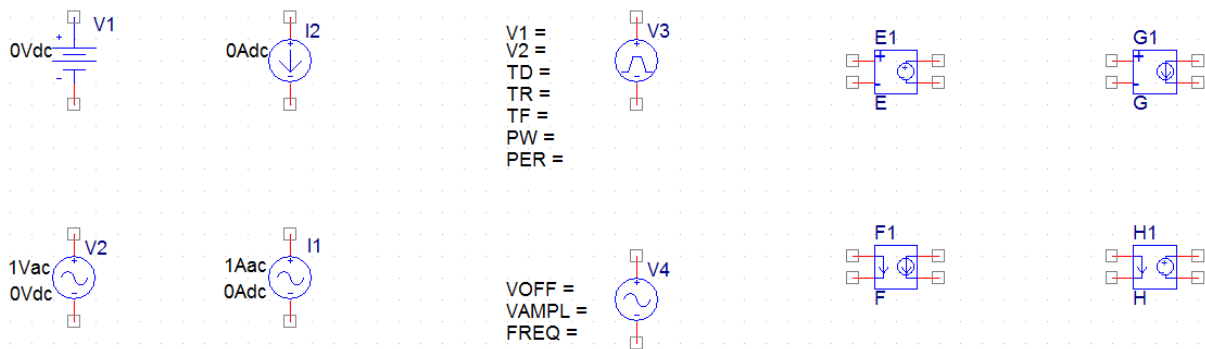


Figura 9. Surse de tensiune sau curent independente sau dependente.

Atunci când se dorește efectuarea unei caracteristici spectrale (se dorește estimarea transformatei Fourier a răspunsului la impuls a circuitului electronic fundamental) se vor folosi sursele VAC sau IAC ca surse de intrare (surse de test). Atunci când se dorește efectuarea unei caracteristici statice (se dorește estimarea funcției de transfer) se vor folosi sursele VDC sau IDC ca surse de intrare. Atunci când se dorește o analiză temporală tranzistorie (comportamentul temporal tranzitoriu al circuitului electronic fundamental) se vor folosi sursele VSIN sau VPULSE ca surse de intrare, legate în serie respectiv paralel cu sursele de tensiune sau curent continuu VDC sau IDC.

Bobina este reprezentată în Orcad Capture de simbolul L, condensatorul de simbolul C, rezistorul de simbolul R, transformatorul de simbolul TR, tranzistorul bipolar sau tranzistorul cu efect de câmp de simbolul Q, dioda semiconductoră sau dioda Zener de simbolul D și amplificatorul operațional de simbolul U.

Lucrarea 1

Analiza punctului static de funcționare

1.1 Obiective operaționale

Obiectivele principale ale acestei lucrări reprezintă însușirea modului în care se poate analiza punctul static de funcționare pentru un circuit electronic fundamental și modelarea sau liniarizarea circuitului respectiv.

Studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, trei circuite electronice fundamentale. Un circuit cu diode semiconductoare și două circuite cu tranzistoare bipolare. Acest mediu virtual de proiectare reprezintă un software ce se utilizează frecvent în industrie sau cercetare cu scopul de a simula, modela sau proiecta circuite electronice diverse.

Cele trei circuite utilizează componente reale de circuit astfel încât studentul va putea simula comportamentul unor circuite electronice reale. De asemenea studentul va utiliza cataloagele de componente electronice pentru a modela comportamentul dispozitivelor neliniare de circuit (dioda semiconductoare sau tranzistorul bipolar), cu scopul de a liniariza circuitul electronic fundamental. Felul în care se modelează componentele electronice a fost prezentat la cursul și seminarul de Dispozitive Electronice.

1.2 Instrumente necesare

Pentru efectuarea acestei lucrări este necesar programul din pachetul Orcad, ce poartă numele de Capture.

1.3 Noțiuni teoretice

Aceste referințe bibliografice [1] – [7] sunt necesare însușirii noțiunilor teoretice despre punctul static de funcționare, modul în care acesta se calculează și felul în care se poate liniariza un circuit electronic fundamental.

1.4 Desfășurarea lucrării

1.4.1 Circuit cu diode semiconductoare – Punct static de funcționare

În figura 1.1 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu diode semiconductoare. Acesta este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, o sursă de curent continuu (I1) de 1 mA, două diode semiconductoare (D1) și (D2), ce poartă numele de D1N4148, și un rezistor (R1) de 1k Ω . Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V1. Această sursă de tensiune va avea valoarea de 2 V. Tensiunea de ieșire se poate obține cu ajutorul terminalului Vo.

După cum se observă circuitul cu diode semiconductoare are două etichete sau “alias-uri”. O etichetă pentru tensiunea de intrare, ce poartă numele de Vi și o etichetă pentru tensiunea de ieșire, ce poartă numele de Vo.

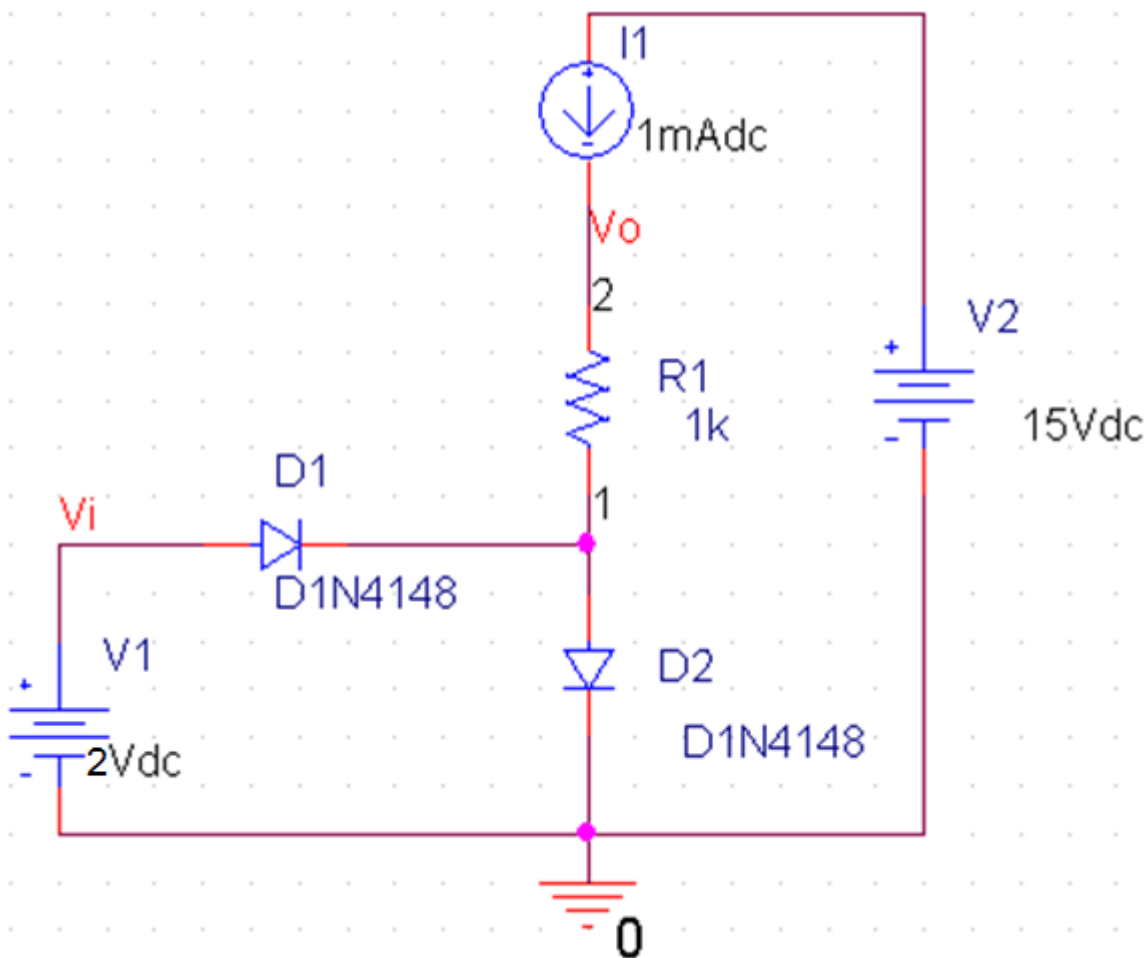


Figura 1.1. Circuit electronic fundamental cu diode semiconductoare.

1.4.1.1 Simularea circuitului cu diode semiconductoare

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 1.1. După cum se observă va fi utilizată dioda D1N4148, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 1.1 se va estima punctul static de funcționare. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea circuitului cu diode semiconductoare și pentru a găsi punctul static de funcționare se vor respecta următorii pași:

Pasul 1. Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul din figura 1.1. Elementele de circuit se pot găsi cu ajutorul comenzii Place/Part... . Terminalul comun sau “Ground-ul” se poate selecta cu ajutorul meniului Place Ground (pictograma cu GND), ce se găsește în partea dreaptă a ferestrei de lucru. Se va alege cel care are simbolul terminalului comun și valoarea 0.

Pasul 2. După crearea circuitului cu diode semiconductoare din figura 1.1, din meniul PSpice se va alege New Simulation Profile, pentru a efectua o simulare. Figura 1.2 evidențiază modul în care se poate crea o nouă simulare.

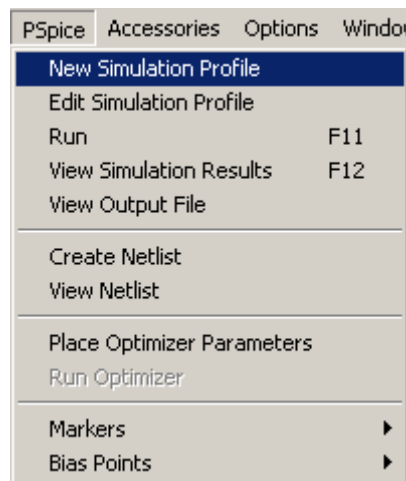


Figura 1.2. Meniul PSpice și tabul New Simulation Profile.

Pasul 3. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 1.3, în căsuța Name se va scrie numele simulării (“punct_static_functionare”), iar în căsuța Inherit From se va păstra none. Se va apăsa apoi pe butonul Create.

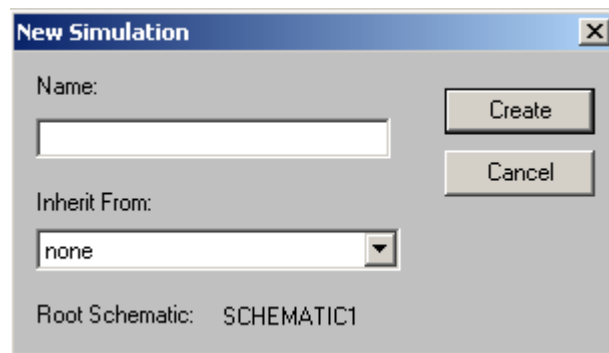


Figura 1.3. Fereastra New Simulation.

Pasul 4. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 1.4, din tabul Analysis, din căsuța Analysis type: se va alege Bias Point. Se va apăsa pe Apply și apoi pe OK.

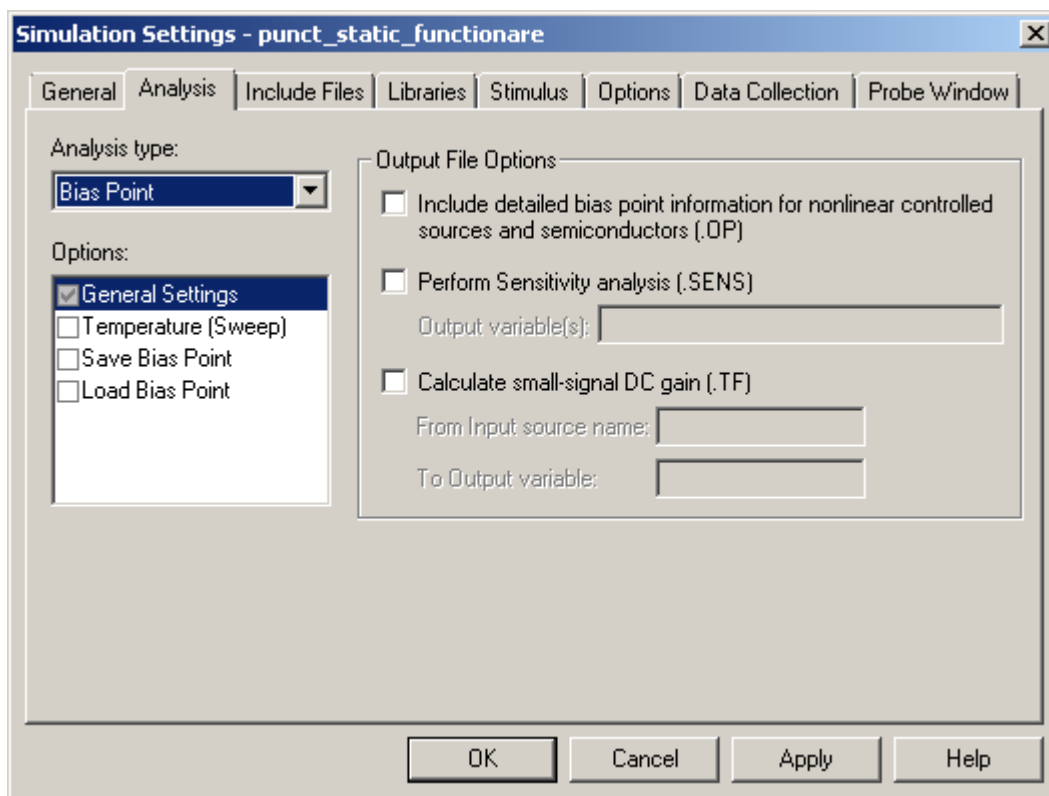


Figura 1.4. Fereastra Simulation Settings tab-ul Analysis.

Pasul 5. Din meniul PSpice se va alege Run. În acest moment programul Orcad va calcula punctul static de funcționare pentru circuitul cu diode semiconductoare evidențiat în figura 1.1.

Pasul 6. Pentru a vizualiza tensiunile, curenții și puterile pentru fiecare element de circuit se va apăsa pe butoanele V, I și W din interfața programului Orcad Capture. Acestea sunt evidențiate în figura 1.5.



Figura 1.5. Butoanele cu ajutorul cărora se pot evidenția variabilele simulării.

În tabelul 1 se vor scrie tensiunile, curenții și puterile fiecărui element de circuit.

Tabelul 1. Rezultatele simulării circuitului din figura 1.1.

Element de circuit	Tensiunea (V)	Intensitatea curentului (A)	Puterea disipată (W)
R1			
D1			
D2			

1.4.1.2 Modelarea circuitului cu diode semiconductoare

În figura 1.6 sunt evidențiate trei caracteristici curent-tensiune pentru dioda D1N4148. Utilizând caracteristica (2), pentru care avem valori tipice la $T = 25^{\circ}\text{C}$, se va găsi modelul de ordinul 2 evidențiat în partea dreaptă. În figura 1.6 se observă că dreapta reprezentată cu albastru liniarizează caracteristica (2). În figura 1.1 se observă că cele două diode semiconductoare sunt identice, astfel parametrii calculați vor fi identici pentru D1 și D2.

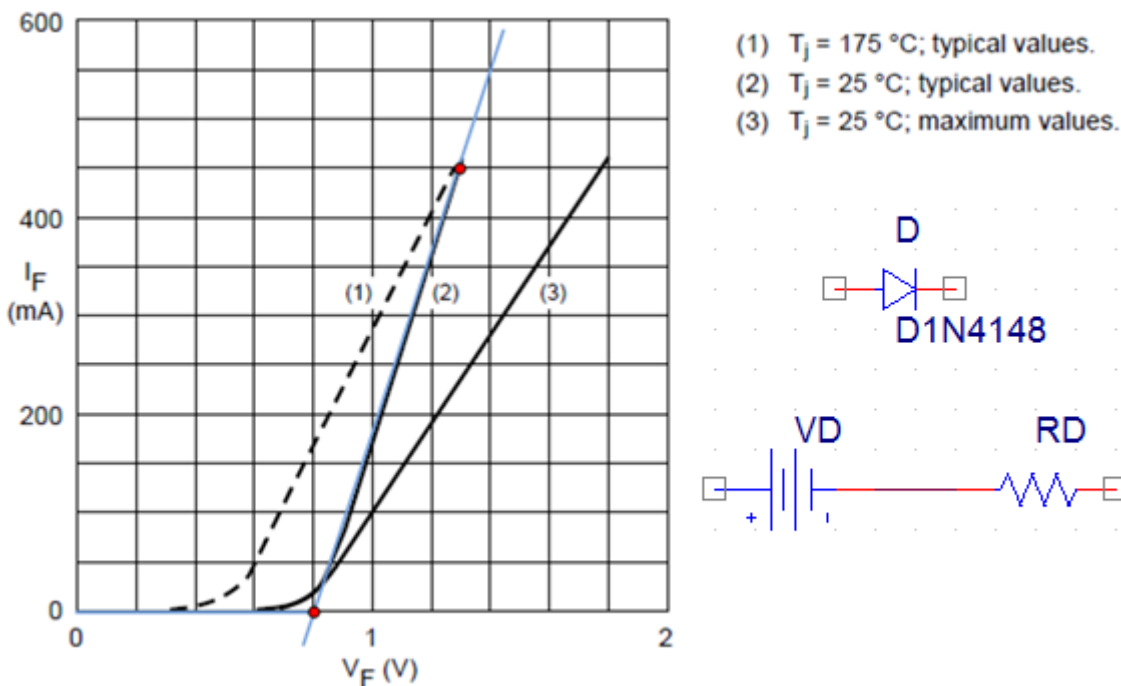


Figura 1.6. Caracteristica curent-tensiune pentru dioda D1N4148.

*Caracteristica din figura 1.6 este preluată din
http://www.nxp.com/documents/data_sheet/1N4148_1N4448.pdf*

După calcularea parametrilor modelului de ordinul 2, se va crea circuitul liniarizat evidențiat în figura 1.7. Se va completa circuitul cu valorile parametrilor modelului de ordinul doi ce liniarizează caracteristica diodei semiconductoare D1N4148. Se vor repeta pașii evidențiați mai sus și se va simula circuitul liniarizat, respectiv se va găsi punctul static de funcționare.

Să se completeze tabelul 2 cu tensiunile, curenții și puterile obținute după simularea circuitului din figura 1.7. Să se efectueze o comparație între rezultatele obținute pentru circuitul din figura 1.1 și rezultatele obținute pentru circuitul din figura 1.7.

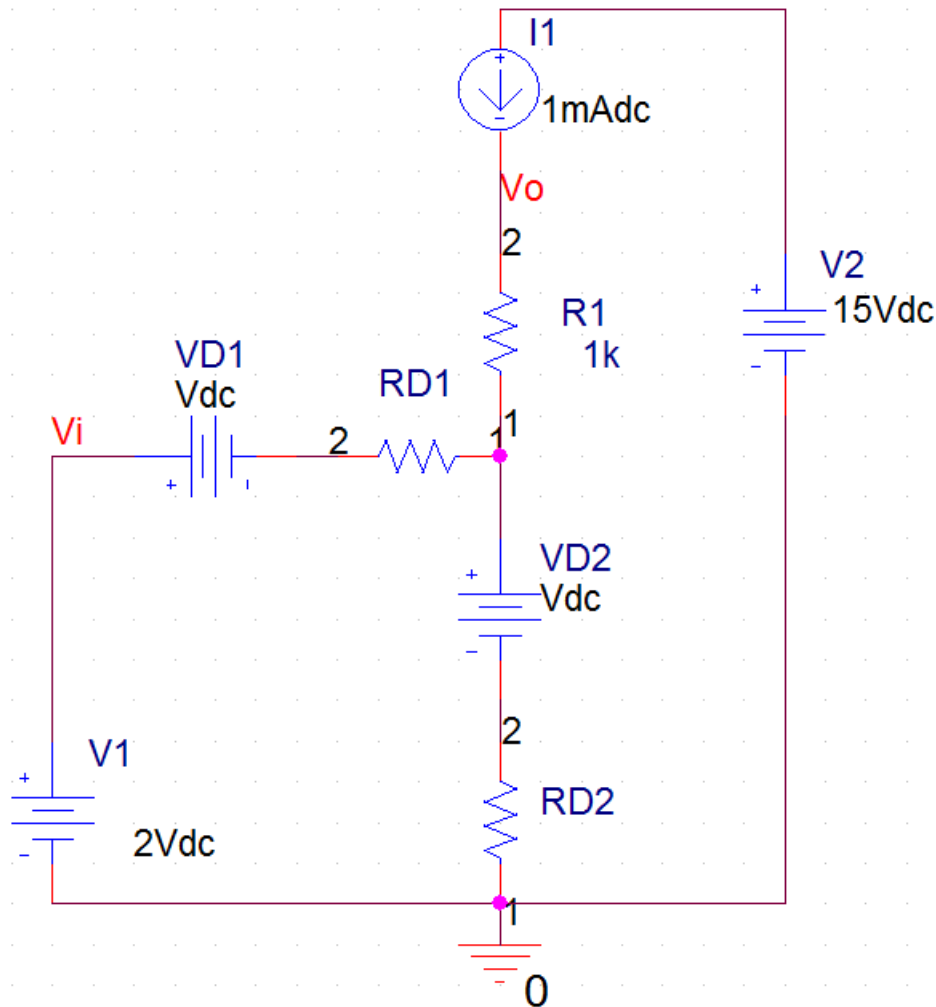


Figura 2.7. Circuitul din figura 1.1 liniarizat.

Tabelul 2. Rezultatele simulării circuitului din figura 1.7.

Element de circuit	Tensiunea (V)	Intensitatea curentului (A)	Puterea disipată (W)
R1			
D1			
D2			

1.4.2 Circuit cu tranzistor bipolar - Punct static de funcționare

1.4.2.1 Configurația emitor comun

În figura 1.8 este evidențiat un circuit cu tranzistor bipolar ce poartă numele de configurația emitor comun. Acesta este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, un tranzistor bipolar (Q1) ce poartă numele de Q2N3904 și trei rezistoare (Rc, Re, Rb) de 1.1 k Ω , 0.24 k Ω și 14 k Ω . Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V1. Această sursă are valoarea de 4 V.

După cum se observă circuitul cu tranzistor bipolar are două etichete sau “alias-uri”. O etichetă pentru tensiunea de intrare, ce poartă numele de Vi și una pentru tensiunea de ieșire, ce poartă numele de Vo.

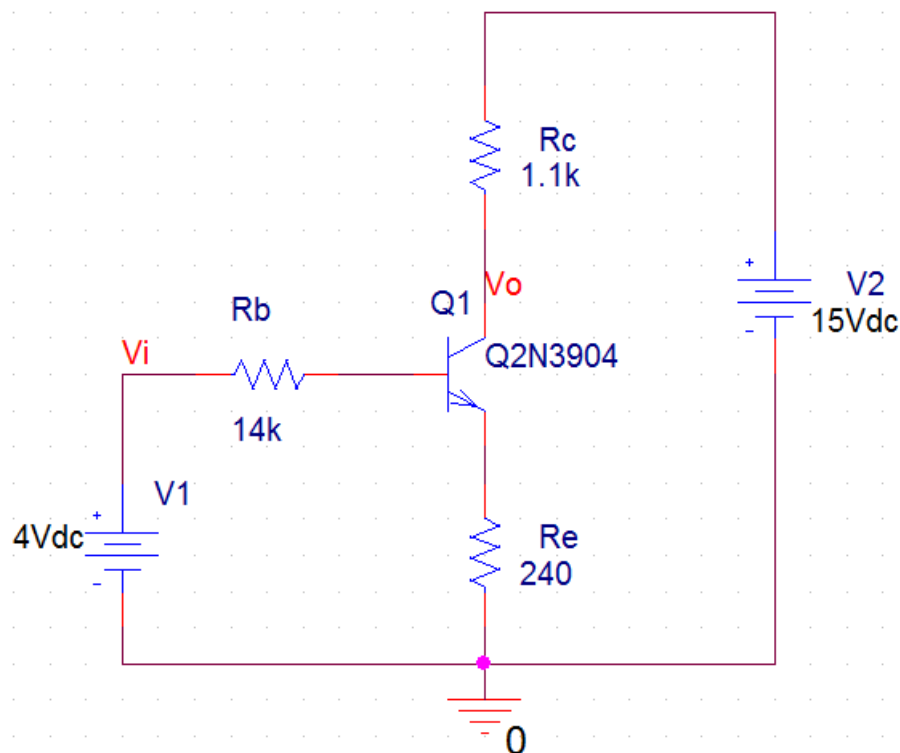


Figura 1.8. Circuit electronic fundamental cu tranzistor bipolar – configurația emitor comun.

1.4.2.1.1 Simularea configurației emitor comun

Se va crea, cu ajutorul programului Orcad Capture, circuitul evidențiat în figura 1.8. După cum se observă va fi utilizat tranzistorul bipolar NPN Q2N3904, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 1.8 se va calcula punctul static de funcționare. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea configurației emitor comun și pentru a găsi punctul static de funcționare se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 1.4.1.1.

În tabelul 3 se vor scrie tensiunile, curenții și puterile fiecărui element de circuit.

Tabelul 3. Rezultatele simulării circuitului din figura 1.8.

Element de circuit	Tensiunea (V)	Intensitatea curentului (A)	Puterea disipată (W)
Rc			
Re			
Rb			
<i>B</i> (Bază)			
<i>C</i> (Colector)			
<i>E</i> (Emitor)			

1.4.2.1.2 Modelarea configurației emitor comun

În figura 1.9 sunt evidențiate modelele echivalente ale unui tranzistor bipolar NPN la semnal mare. Acestea se numesc modelul π și modelul T. Cele două modele depind de doi parametri, tensiunea bază-emitor, $V_{BE(ON)}$, și amplificarea statică în curent (β sau h_{FE}). Acești doi parametri se pot găsi în catalogul tranzistorului bipolar 2N3904 în funcție de curentul de colector (I_c).

Se va alege un curent de colector de 10 mA. Cu ajutorul acestei valori și cu figurile 1.10 și 1.11 se vor găsi cei doi parametri. Se observă în cele două figuri punctele pe grafic pentru care curentul de colector ia valoarea de 10 mA. Cele două valori se vor introduce în circuitul liniarizat, evidențiat în figura 1.12. Acest circuit are în componență o sursă de curent comandată în curent. Această sursă comandată va modela tranzistorul bipolar NPN între colector și emitor. De asemenea între terminalul din dreapta al rezistorului Rb și primul terminal de intrare al sursei comandate se află o sursă de tensiune V_{be} ce modelează tranzistorul bipolar NPN între bază și emitor.

În momentul în care au fost găsite tensiunea bază-emitor și amplificarea statică în tensiune, se va crea circuitul liniarizat figura 1.12. Se va completa circuitul cu valorile

parametrilor modelului π , ce liniarizează tranzistorul bipolar NPN 2N3904. Se vor repeta pașii evidențiați în subcapitolul 1.4.1.1 și se va simula circuitul liniarizat, respectiv se va găsi punctul static de funcționare.

Să se completeze tabelul 4 cu tensiunile, curenții și puterile obținute după simularea circuitului din figura 1.12. Să se efectueze o comparație între rezultatele obținute pentru circuitul din figura 1.8 și rezultatele obținute pentru circuitul din figura 1.12.

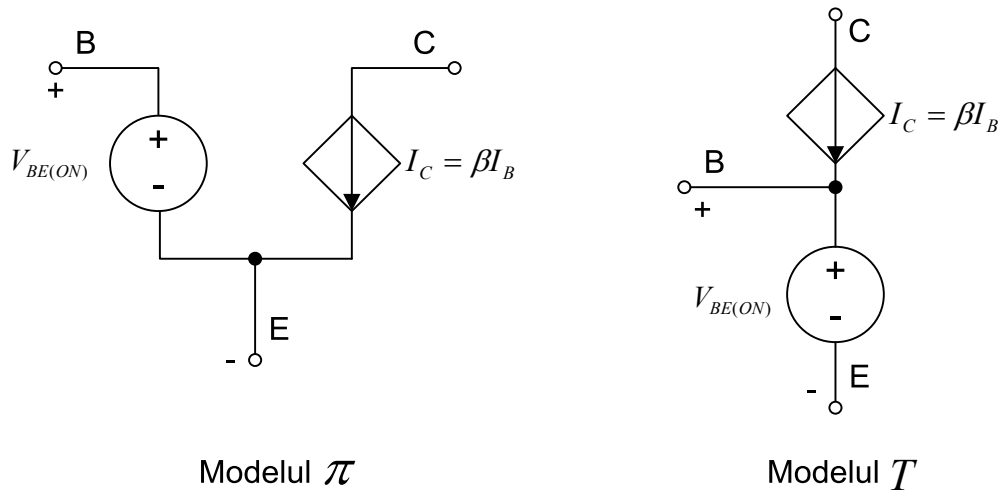


Figura 1.9. Modelele echivalente ale tranzistorului bipolar NPN la semnal mare.

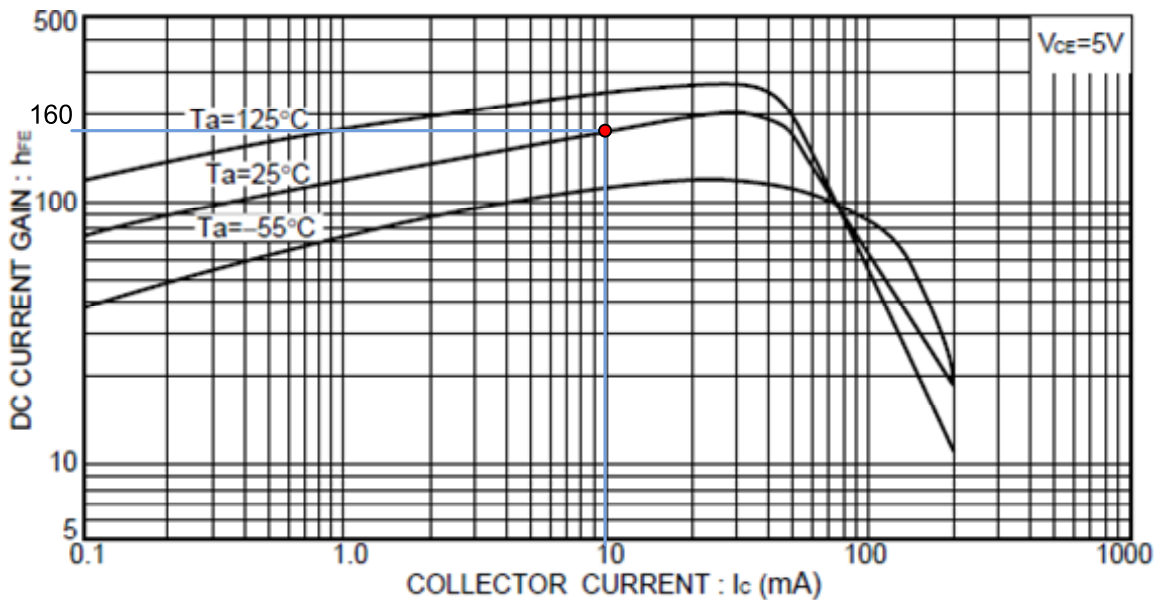


Figura 1.10. Dependența amplificării statice în curent, β sau h_{FE} , de curentul de colector pentru tranzistorul bipolar 2N3904.

Caracteristica din figura 1.10 este preluată din <http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/bjt/2N3904-rohm.pdf>

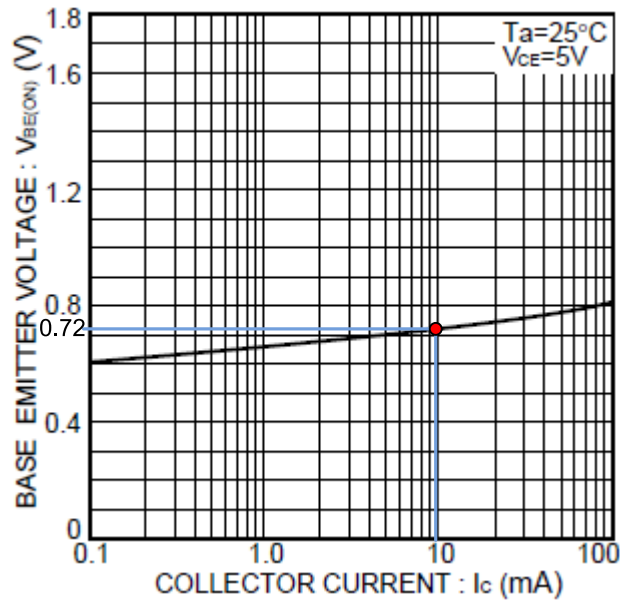


Figura 1.11. Dependența tensiunii bază emitor de curentul de colector pentru tranzistorul bipolar 2N3904.

Caracteristica din figura 1.11 preluată din <http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/bjt/2N3904-rohm.pdf>

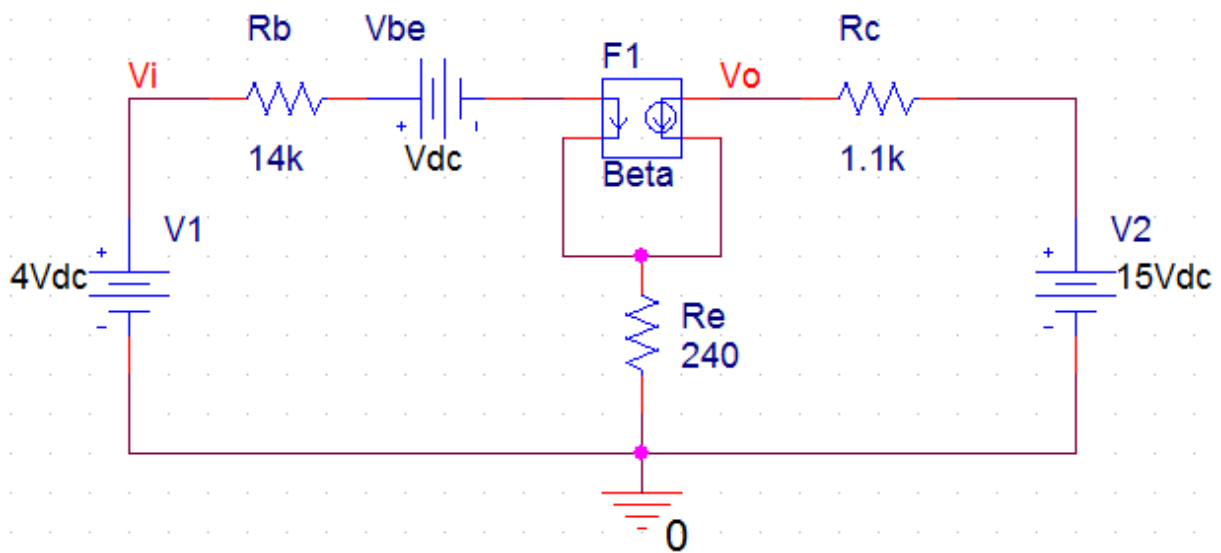


Figura 1.12. Circuitul din figura 1.8 liniarizat.

Tabelul 4. Rezultatele simulării circuitului din figura 1.12.

Element de circuit	Tensiunea (V)	Intensitatea curentului (A)	Puterea disipată (W)
Rc			
Re			
Rb			
<i>B</i> (Bază)			
<i>C</i> (Colector)			
<i>E</i> (Emitor)			

1.4.2.2 Configurația repelor pe emitor

În figura 1.13 este evidențiat un circuit cu tranzistor bipolar ce poartă numele de configurația repelor pe emitor. Acesta este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, un tranzistor bipolar (Q1) ce poartă numele de Q2N3904 și două rezistoare (Re, Rb) de 1 kΩ respectiv 10 kΩ. Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V1. Această sursă are valoarea de 11.35 V.

După cum se observă circuitul cu tranzistor bipolar are două etichete sau “alias-uri”. O etichetă pentru tensiunea de intrare, ce poartă numele de Vi și una pentru tensiunea de ieșire, ce poartă numele de Vo.

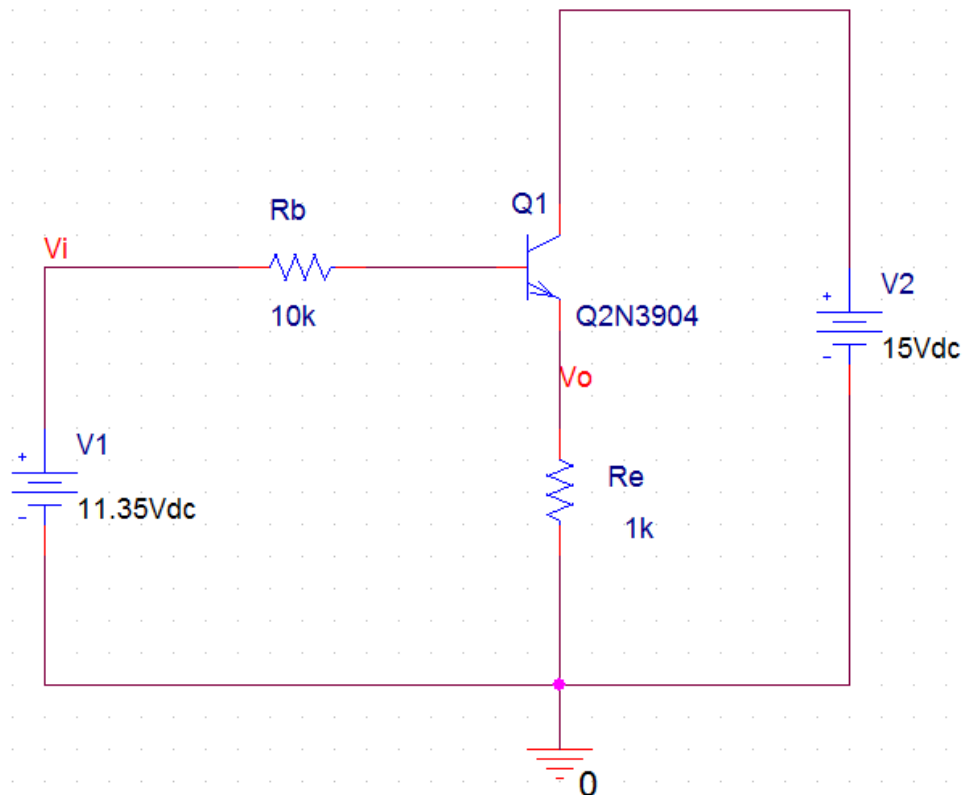


Figura 1.13. Circuit electronic fundamental cu tranzistor bipolar – configurația repelor pe emitor.

1.4.2.2.1 Simularea configurației repelor pe emitor

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 1.13. După cum se observă va fi utilizat tranzistorul bipolar NPN Q2N3904, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 1.13 se va calcula punctul static de funcționare. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea configurației repelor pe emitor și pentru a găsi punctul static de funcționare se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 1.4.1.1.

În tabelul 5 se vor scrie tensiunile, curenții și puterile fiecărui element de circuit.

Tabelul 5. Rezultatele simulării circuitului din figura 1.13.

Element de circuit	Tensiunea (V)	Intensitatea curentului (A)	Puterea disipată (W)
Rb			
Re			
<i>B</i> (Bază)			
<i>C</i> (Colector)			
<i>E</i> (Emitor)			

1.4.2.2.2 Modelarea configurației repelor pe emitor

Modelele echivalente ale unui tranzistor bipolar NPN la semnal mare sunt evidențiate în figura 1.9. Cei doi parametri, tensiunea bază-emitor, $V_{BE(ON)}$, și amplificarea statică în curent (β sau h_{FE}) au aceleași valori cu cele găsite pentru configurația emitor comun din subcapitolul 1.4.2.1.2.

Cele două valori se vor introduce în circuitul liniarizat din figura 1.14. Acest circuit are în componență o sursă de curent comandată în curent. Această sursă comandată va modela tranzistorul bipolar NPN între colector și emitor. De asemenea între terminalul din dreapta al rezistorului Rb și primul terminal de intrare al sursei comandate se află o sursă de tensiune Vbe ce modelează tranzistorul bipolar NPN între bază și emitor.

În momentul în care circuitul din figura 1.14 a fost creat, se vor repeta pașii evidențiați în subcapitolul 1.4.1.1 și se va simula circuitul liniarizat, respectiv se va găsi punctul static de funcționare.

Să se completeze tabelul 6 cu tensiunile, curenții și puterile obținute după simularea circuitului liniarizat. Să se efectueze o comparație între rezultatele obținute pentru circuitul din figura 1.13 și rezultatele obținute pentru circuitul din figura 1.14.

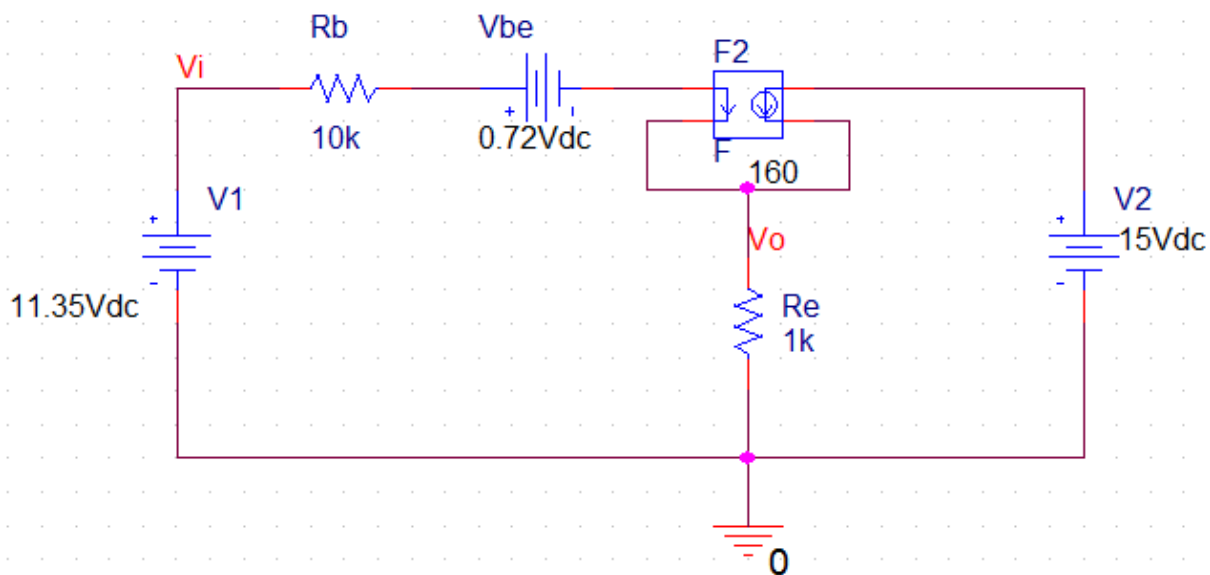


Figura 1.14. Circuitul din figura 1.8 liniarizat.

Tabelul 6. Rezultatele simulării circuitului din figura 1.14.

Element de circuit	Tensiunea (V)	Intensitatea curentului (A)	Puterea disipată (W)
Re			
Rb			
B (Bază)			
C (Colector)			
E (Emitor)			

Lucrarea 2

Estimarea caracteristicii de transfer

2.1 Obiective operaționale

Obiectivul principal al acestei lucrări reprezintă însușirea modului în care se poate estima caracteristica de transfer pentru câteva circuite electronice fundamentale.

Studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, trei circuite electronice fundamentale. Un circuit cu diode semiconductoare și două circuite cu tranzistoare bipolare.

Mai întâi studentul va găsi caracteristica de transfer sau amplificarea în tensiune pentru circuitul electronic fundamental neliniarizat, după care acesta va modela circuitul, va estima caracteristica de transfer și o va compara cu cea obținută anterior pentru circuitul neliniarizat.

Cele trei circuite utilizează componente reale de circuit, astfel încât studentul va putea simula comportamentul unor circuite electronice fundamentale reale. De asemenea pentru fiecare circuit valoarea estimată a amplificării în tensiune va avea echivalență în practică.

2.2 Instrumente necesare

Pentru efectuarea acestei lucrări sunt necesare programele din pachetul Orcad, ce poartă numele de Capture și PSpice.

2.3 Noțiuni teoretice

Aceste referințe bibliografice [1] – [7] sunt necesare însușirii noțiunilor teoretice despre caracteristica de transfer sau amplificarea incrementală în tensiune, modul în care acesta se calculează și felul în care se poate liniariza un circuit electronic fundamental.

2.4 Desfășurarea lucrării

2.4.1 Circuit cu diode semiconductoare - Caracteristica de transfer

În figura 2.1 este evidențiat circuitul electronic fundamental cu diode semiconductoare, pentru care, în lucrarea 1, a fost estimat punctul static de funcționare. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V_s) de 15 V, o sursă de curent continuu (I) de 1 mA, două diode semiconductoare ($D1$) și ($D2$) și un rezistor ($R1$) de $1k\Omega$. Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V_i , iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o . Pentru a estima caracteristica de transfer a circuitului cu diode semiconductoare tensiunea V_i va fi modificată de la o valoare minimă de 0 V la o valoare maximă de 15 V. Pasul simulării va fi egal cu 0.1 V.

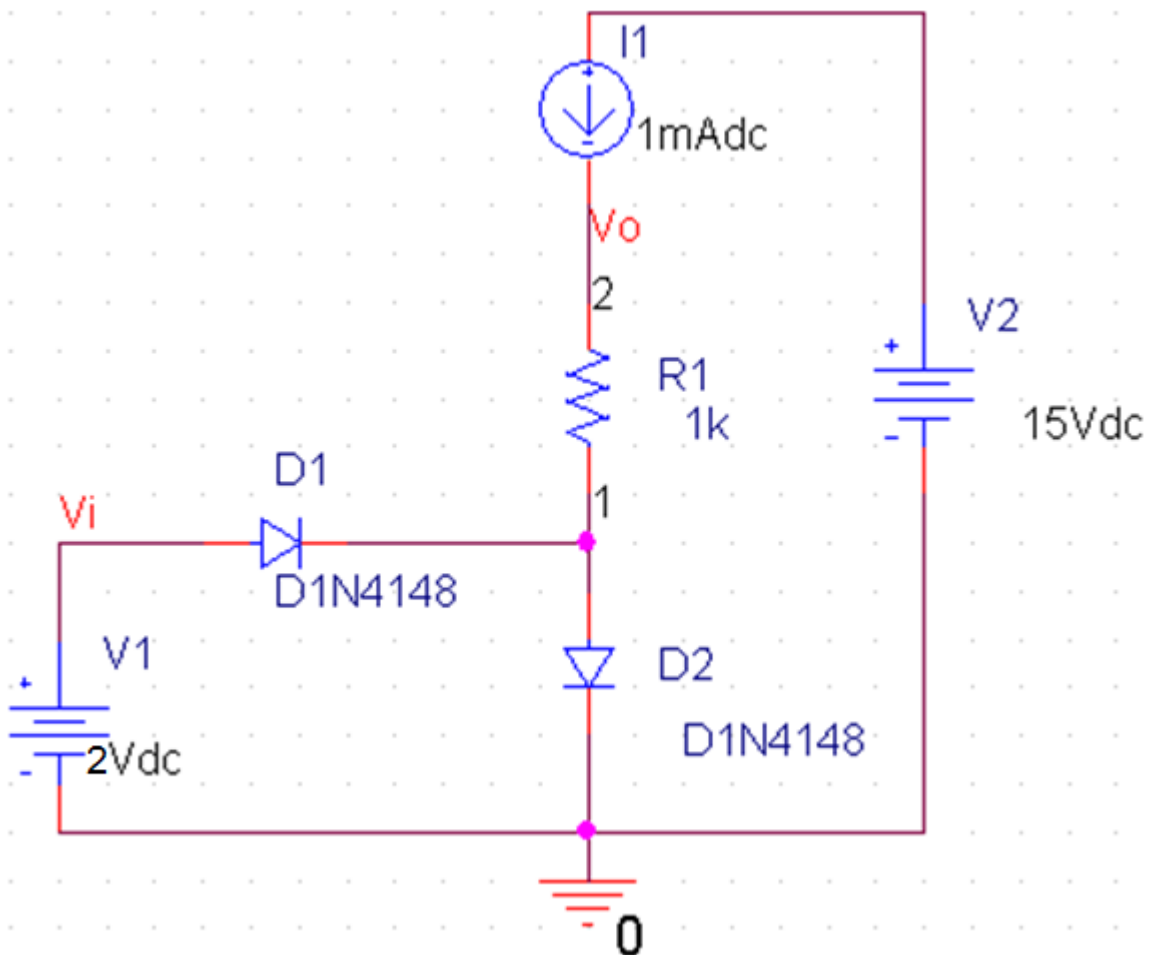


Figura 2.1. Circuit electronic fundamental cu diode semiconductoare.

2.4.1.1 Simularea circuitului cu diode semiconductoare

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 2.1. După cum se observă va fi utilizată dioda D1N4148, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 2.1 se va estima caracteristica de transfer $V_o = V_o(V_i)$. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea circuitului cu diode semiconductoare și pentru a găsi caracteristica de transfer $V_o = V_o(V_i)$ se vor respecta următorii pași:

Pasul 1. Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul din figura 2.1. Elementele de circuit se pot găsi cu ajutorul comenzii Place/Part... . Terminalul comun sau “Ground-ul” se poate selecta cu ajutorul meniului Place Ground (pictograma cu GND), ce se găsește în partea dreaptă a ferestrei de lucru. Se va alege cel care are simbolul terminalului comun și valoarea 0.

Pasul 2. După crearea circuitului cu diode semiconductoare din figura 2.1, din meniul PSpice se va alege New Simulation Profile, pentru a efectua o simulare. Figura 2.2 evidențiază modul în care se poate crea o nouă simulare.

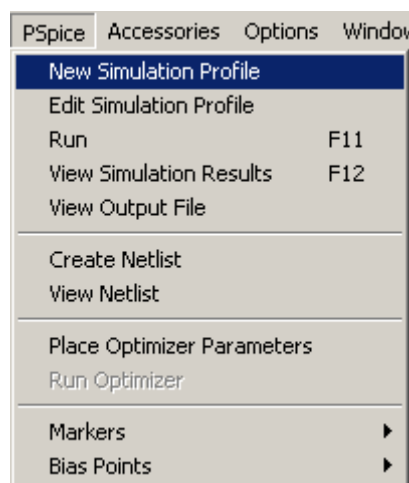


Figura 2.2. Meniul PSpice și tabul New Simulation Profile.

Pasul 3. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 2.3, în căsuța Name se va scrie numele simulării (“functie_de_transfer”), iar în căsuța Inherit From se va alege (“punct_static_functionare”). Se va apăsa apoi pe butonul Create.

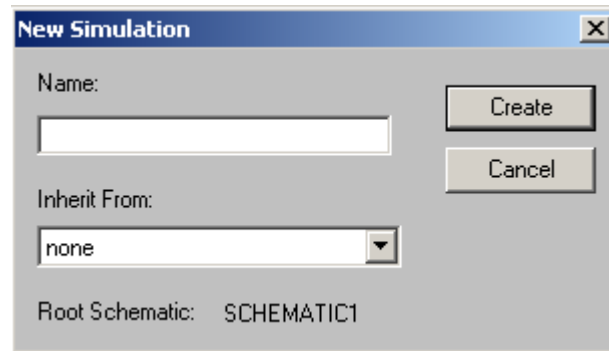


Figura 2.3. Fereastra New Simulation.

Pasul 4. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 2.4, din tabul Analysis, din căsuța Analysis type: se va alege DC Sweep. Se vor face modificările necesare, adică în tab-ul Name se va scrie V1 (tensiunea de intrare), în tab-ul Start Value se va scrie 0, în tab-ul End Value se va scrie 15, iar în tab-ul Increment se va scrie 0.1. Apoi se va apăsa pe Apply, după care pe OK.

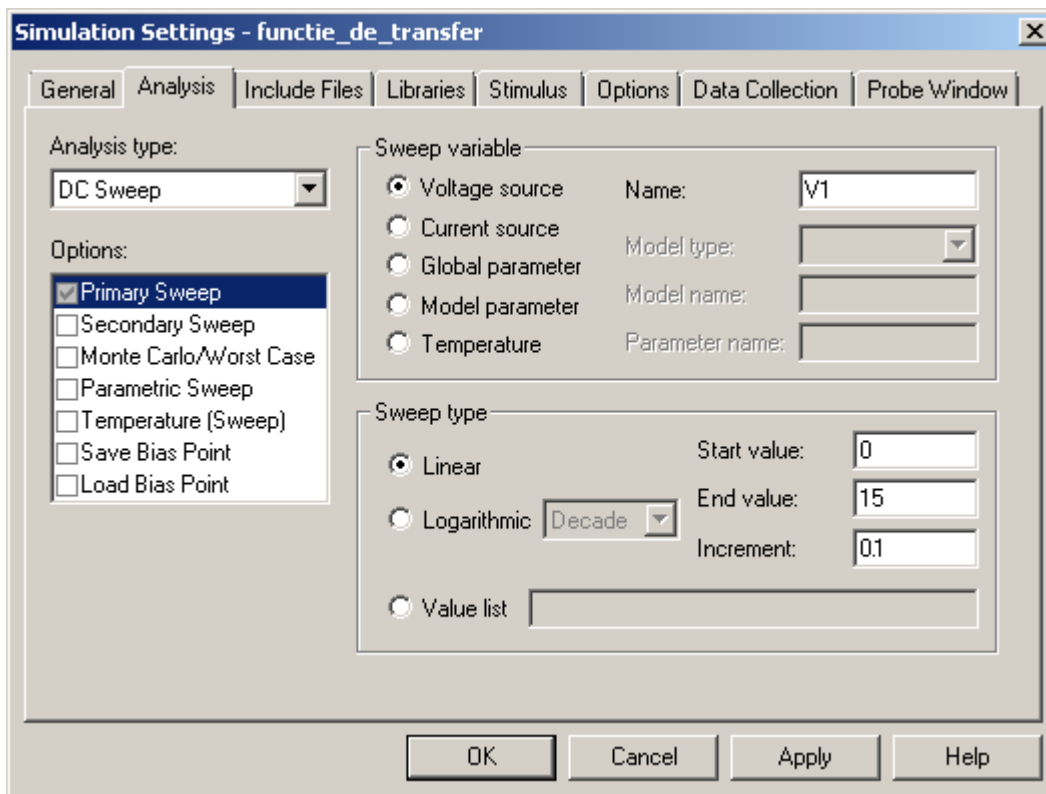


Figura 2.4. Fereastra Simulation Settings, tab-ul Analysis.

Pasul 5. Din meniul PSpice se va alege Run. În acest moment programul Orcad va estima caracteristica de transfer pentru circuitul electronic fundamental din figura 2.1.

Pasul 6. Pentru a vizualiza caracteristica de transfer, $V_o = V_o(V_i)$, în fereastra PSpice nou apărută se va alege Trace/Add Trace... . În continuare în noua fereastră, din lista din partea stângă, se va da click pe $V(V0)$, apoi se va da click pe OK. Pentru a utiliza un cursor se va alege Trace/Cursor/Display. În figura 2.5 este evidențiată cu verde caracteristica de transfer a circuitului din figura 2.1.

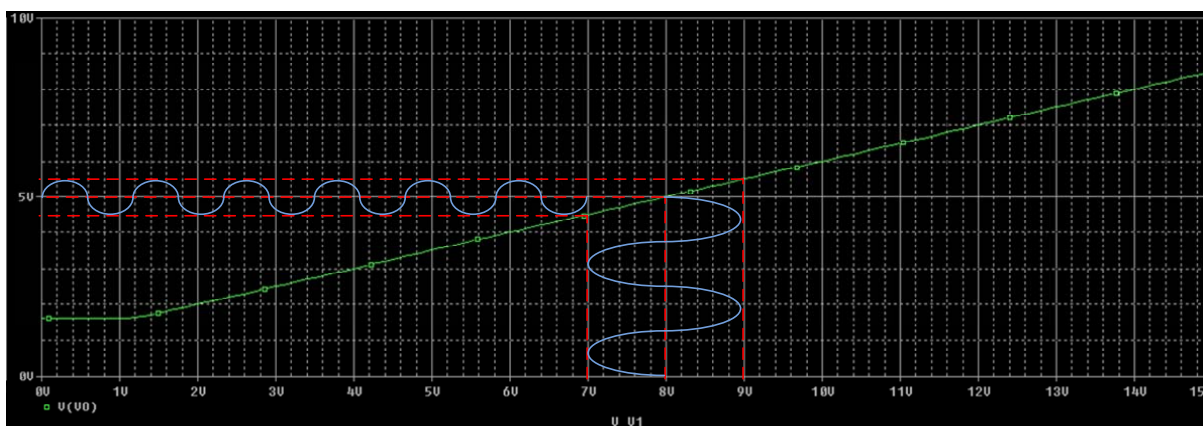


Figura 2.5. Caracteristica de transfer, $V_o = V_o(V_i)$, a circuitului cu diode semiconductoare din figura 2.1.

Pasul 7. Dacă se dorește schimbarea variabilei în funcție de care se face reprezentarea celorlalte variabile se va alege Plot/Axis Settings. În fereastra nou apărută se va da click pe Axis Variable... și din fereastra ce va apărea se va alege noua variabilă în funcție de care se va face reprezentarea altor variabile.

În această lucrare de laborator, după efectuarea simulărilor, se va găsi amplificarea incrementală în tensiune, $A_v = \left. \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \right|_{V_i}$.

Conceptul de amplificare incrementală în tensiune este evidențiat în figura 2.5 prin culorile roșu și albastru. Dacă la intrarea în circuit avem o tensiune (sinusoidală), care variază între două limite, atunci la ieșire vom găsi o tensiune (sinusoidală), a cărei variație va fi între alte două limite determinate de panta funcției evidențiată cu verde. Această pantă reprezintă amplificarea incrementală în tensiune la o anumită tensiune continuă de intrare.

Pentru estimarea amplificării incrementale în tensiune este necesară caracteristica de transfer $V_o = V_o(V_i)$. Se va completa tabelul 1 conform rezultatelor obținute în simulare.

Tabelul 1. Rezultatele simulării circuitului din figura 2.1.

Tensiunea de intrare (V1)	Variația tensiunii de intrare ($\Delta V1$)	Amplificarea incrementală în tensiune (A_v)
8 V	2V	

2.4.1.2 Modelarea circuitului cu diode semiconductoare

În figura 2.6 este evidențiat circuitul cu diode semiconductoare la semnal mare obținut cu ajutorul celui evidențiat în figura 2.1. Cele două diode au fost modelate cu ajutorul modelului de ordinul doi, ai cărei parametrii au fost estimați în lucrarea 1 în subcapitolul 1.4.1.2. Astfel avem $V_D = 0.8 \text{ V}$ și $R_D = 1 \Omega$. Sursa de tensiune continuă V1 (V_i) va fi parametrizată și în funcție de aceasta va fi calculată tensiunea de ieșire V_o .

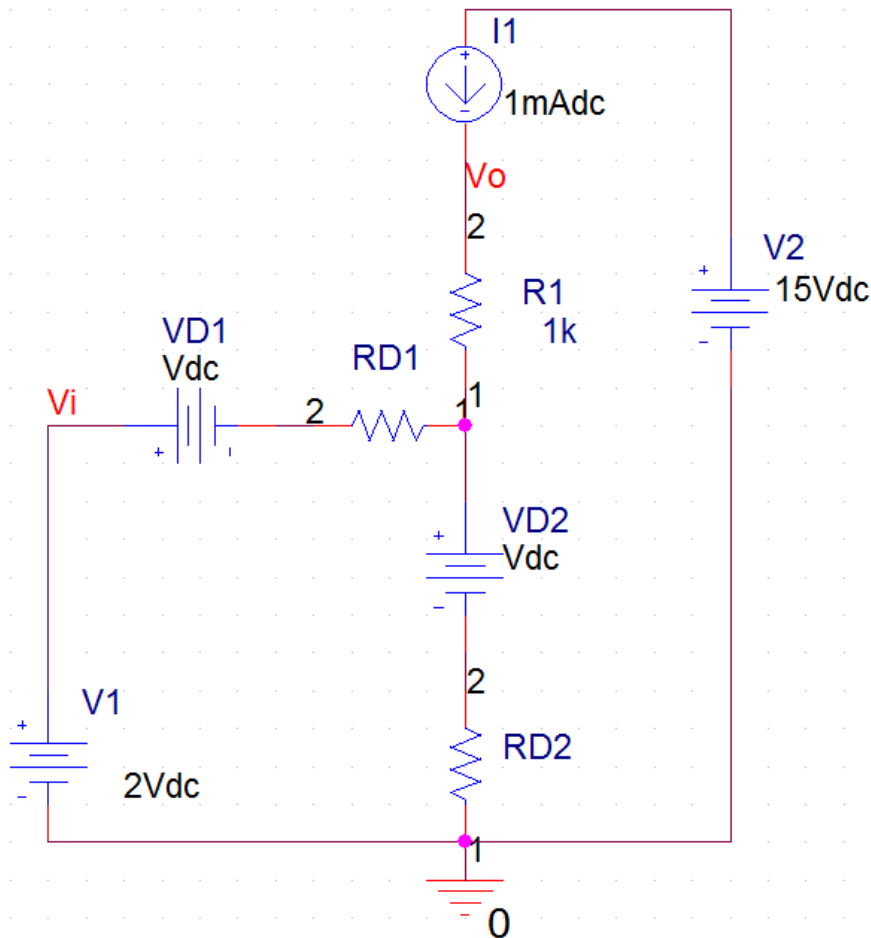


Figura 2.6. Circuitul din figura 2.1 liniarizat.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 2.6. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima caracteristica de transfer sau amplificarea în tensiune, respectând pașii evidențiați în subcapitolul 2.4.1.1. După efectuarea simulării, să se compare caracteristica de transfer obținută pentru circuitul din figura 2.6 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 2.1. De asemenea să se calculeze amplificarea incrementală în tensiune pentru valorile din tabelul 1 și să se compare cu cea obținută în subcapitolul 2.4.1.1.

2.4.2 Circuit cu tranzistor bipolar - Caracteristica de transfer

2.4.2.1 Configurația emitor comun

În figura 2.7 este evidențiată configurația emitor comun. Acest circuit cu tranzistor bipolar a fost studiat în lucrarea 1, pentru care a fost estimat punctul static de funcționare.

Acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, un tranzistor bipolar (Q1) ce poartă numele de Q2N3904 și trei rezistoare (R_c , R_e , R_b) de 1.1 k Ω , 0.24 k Ω și 14 k Ω . Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V1. Această sursă inițial are valoarea de 4 V.

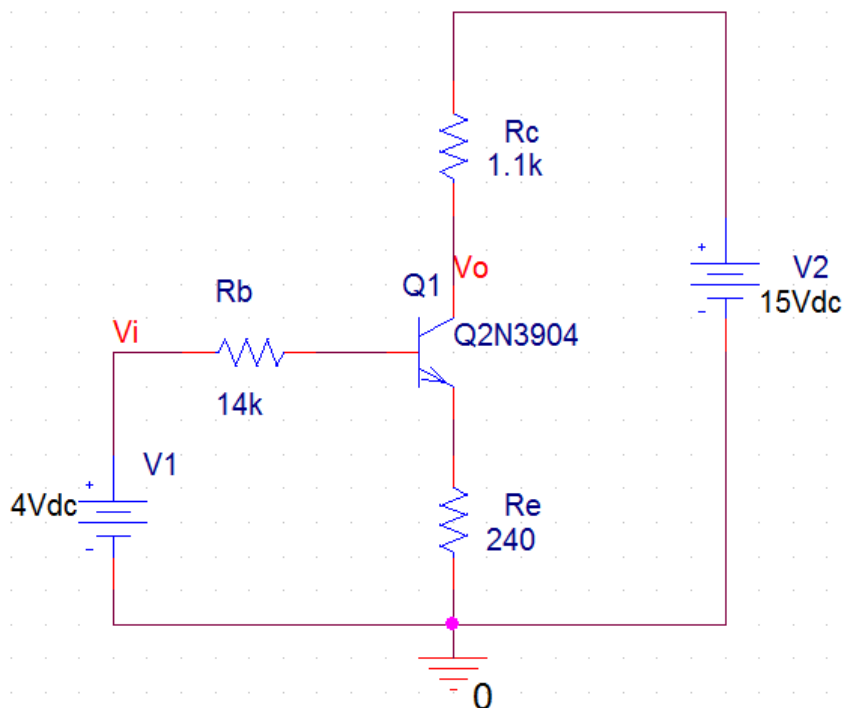


Figura 2.7. Circuit electronic fundamental cu tranzistor bipolar – configurația emitor comun.

După cum s-a precizat tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V_i . Tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o . Pentru a estima caracteristica de transfer a circuitului cu tranzistor bipolar tensiunea V_i va fi modificată de la o valoare minimă de 0 V la o valoare maximă de 15 V. Pasul simulării va fi egal cu 0.1 V.

2.4.2.1.1 Simularea configurației emitor comun

Se va crea, cu ajutorul programului Orcad Capture, circuitul evidențiat în figura 2.7. După cum se observă va fi utilizat tranzistorul bipolar NPN Q2N3904, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 2.7 se va estima caracteristica de transfer sau amplificarea incrementală în tensiune, $V_o = V_o(V_i)$. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea configurației emitor comun și pentru a găsi amplificarea incrementală în tensiune se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 2.4.1.1. Trebuie precizat că V_i va varia între 0 V și 15 V cu pasul de 0.1 V.

În figura 2.8 este evidențiată caracteristica de transfer, $V_o = V_o(V_{in})$, a configurației emitor comun obținută simulând circuitul din figura 2.7. După cum se observă sunt delimitate trei zone de polarizare. Să se găsească zona de blocare, zona de saturație și zona în care tranzistorul bipolar funcționează în regim activ normal (amplifică). În aceeași figură, în zona 2, este evidențiat modul în care se face transferul unei tensiuni (sinusoidale) de la intrare către ieșire. De asemenea să se completeze tabelul 2 conform rezultatelor obținute în simulare.

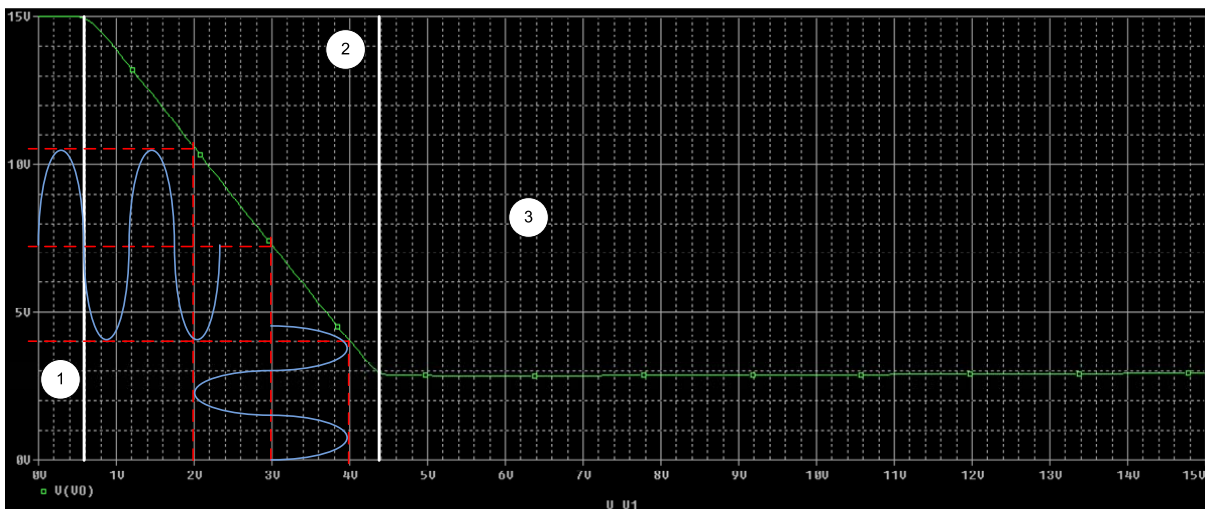


Figura 2.8. Caracteristica de transfer, $V_o = V_o(V_{in})$, a configurației emitor comun din figura 2.7.

Tabelul 2. Rezultatele simulării circuitului din figura 2.7.

Tensiunea de intrare (V1)	Variația tensiunii de intrare ($\Delta V1$)	Amplificarea incrementală în tensiune (A_v)
3 V	2V	

2.4.2.1.2 Modelarea configurației emitor comun

În figura 2.9 este evidențiat circuitul cu tranzistor bipolar, configurația emitor comun, la semnal mare, obținut cu ajutorul circuitului evidențiat în figura 2.7. Tranzistorul bipolar a fost modelat cu ajutorul modelului evidențiat în lucrarea 1, subcapitolul 1.4.2.1.2, figura 1.9. Astfel avem $\beta = 160$ și $V_{be} = 0.72$ V. Sursa de tensiune continuă V1(Vi), care inițial este are valoarea de 4V, va fi parametrizată iar în funcție de aceasta va fi calculată tensiunea de ieșire, Vo.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 2.9. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima caracteristica de transfer sau amplificarea în tensiune, respectând pașii evidențiați în subcapitolul 2.4.1.1. După efectuarea simulării, să se compare caracteristica de transfer obținută pentru circuitul din figura 2.9 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 2.7. De asemenea să se calculeze amplificarea incrementală în tensiune pentru valorile din tabelul 2 și să se compare cu cea obținută în subcapitolul 2.4.2.1.1 .

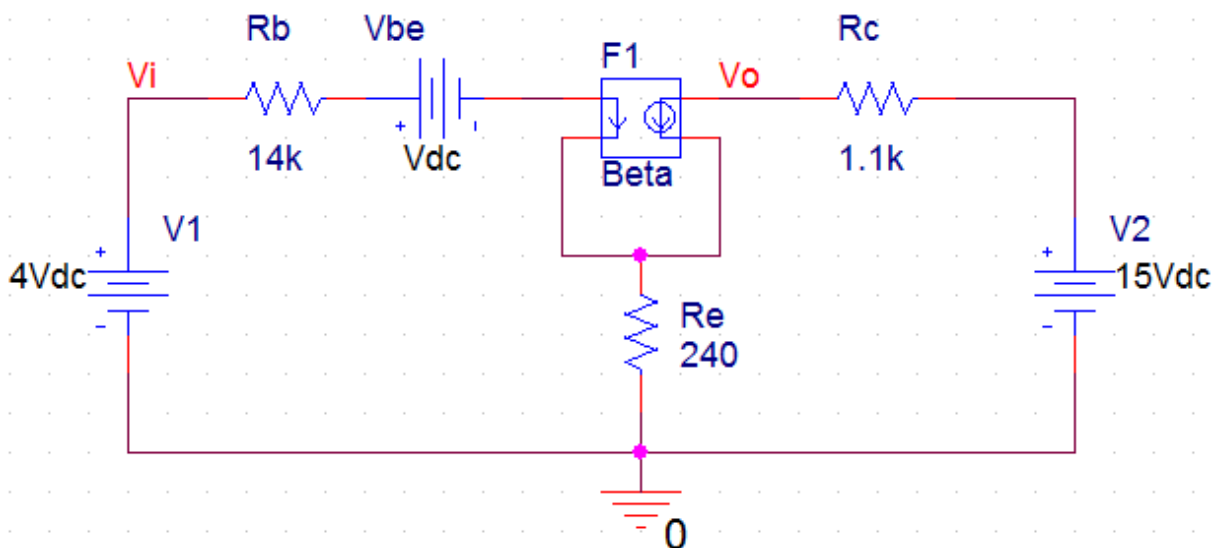


Figura 2.9. Circuitul din figura 2.7 liniarizat.

Se poate încerca determinarea caracteristicii de transfer pentru configurația emitor comun prin modelarea tranzistorului bipolar cu ajutorul modelului de ordinul doi. Dioda dintre bază și emitor va fi modelată ca o sursă de tensiune continuă în serie cu o rezistență.

2.4.2.2 Configurația repetoare pe emitor

În figura 2.10 este evidențiată configurația repetoare pe emitor. Acest circuit cu tranzistor bipolar a fost studiat în lucrarea 1, pentru care a fost estimat punctul static de funcționare.

Acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, un tranzistor bipolar (Q1) ce poartă numele de Q2N3904 și două rezistoare (Re, Rb) de 1.1 k Ω respectiv 10 k Ω . Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V1. Această sursă inițial are valoarea de 11.35 V.

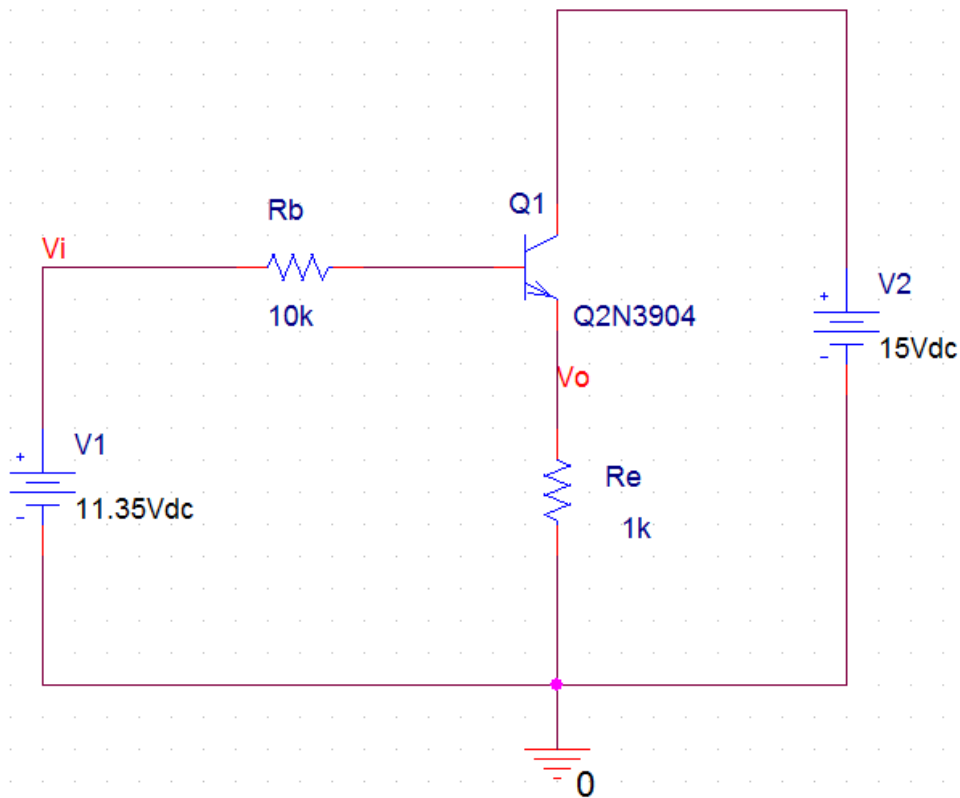


Figura 2.10. Circuit electronic fundamental cu tranzistor bipolar – configurația repetoare pe emitor.

După cum s-a precizat tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune continuă V1(Vi). Tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului Vo. Pentru a estima

caracteristica de transfer a circuitului cu tranzistor bipolar tensiunea V_i va fi modificată de la o valoare minimă de 0 V la o valoare maximă de 15 V. Pasul simulării va fi egal cu 0.1 V.

2.4.2.2.1 Simularea configurației repelor pe emitor

Se va crea, cu ajutorul programului Orcad Capture, circuitul evidențiat în figura 2.10. După cum se observă va fi utilizat tranzistorul bipolar NPN Q2N3904, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 2.10 se va estima caracteristica de transfer sau amplificarea incrementală în tensiune, $V_o = V_o(V_i)$. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea configurației repelor pe emitor și pentru a găsi amplificarea incrementală în tensiune se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 2.4.1.1. Trebuie precizat că V_1 va varia între 0 V și 15 V cu pasul de 0.1 V.

În figura 2.11 este evidențiată caracteristica de transfer, $V_o = V_o(V_{in})$, a configurației repelor pe emitor obținută simulând circuitul din figura 2.10. După cum se observă sunt delimitate două zone de polarizare. Să se găsească zona de blocare, zona de saturație și zona în care tranzistorul bipolar funcționează în regim activ normal (amplifică). În aceeași figură, în zona 2, este evidențiat modul în care se face transferul unei tensiuni (sinusoidale) de la intrare către ieșire. De asemenea să se completeze tabelul 3 conform rezultatelor obținute în simulare.

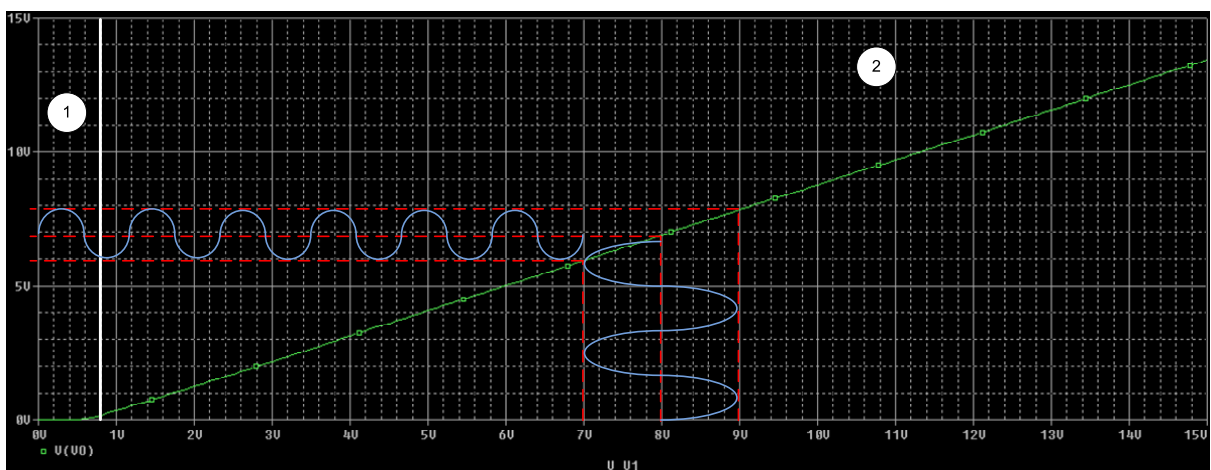


Figura 2.11. Caracteristica de transfer, $V_o = V_o(V_{in})$, a configurației repelor pe emitor din figura 2.10.

Tabelul 3. Rezultatele simulării circuitului din figura 2.10.

Tensiunea de intrare (V1)	Variația tensiunii de intrare ($\Delta V1$)	Amplificarea incrementală în tensiune (A_v)
8 V	2V	

2.4.2.2.2 Modelarea configurației repetor pe emitor

În figura 2.12 este evidențiat circuitul cu tranzistor bipolar, configurația emitor comun, la semnal mare, obținut cu ajutorul circuitului evidențiat în figura 2.10. Tranzistorul bipolar a fost modelat cu ajutorul modelului evidențiat în lucrarea 1, subcapitolul 1.4.2.1.2, figura 1.9. Astfel avem $\beta = 160$ și $V_{be} = 0.72 \text{ V}$. Sursa de tensiune continuă V1 (V_i), care inițial este are valoarea de 11.35V, va fi parametrizată iar în funcție de aceasta va fi calculată tensiunea de ieșire, V_o .

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 2.12. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima caracteristica de transfer sau amplificarea în tensiune, respectând pașii evidențiați în subcapitolul 2.4.1.1. După efectuarea simulării, să se compare caracteristica de transfer obținută pentru circuitul din figura 2.12 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 2.10. De asemenea să se calculeze amplificarea incrementală în tensiune pentru valorile din tabelul 3 și să se compare cu cea obținută în subcapitolul 2.4.2.2.1 .

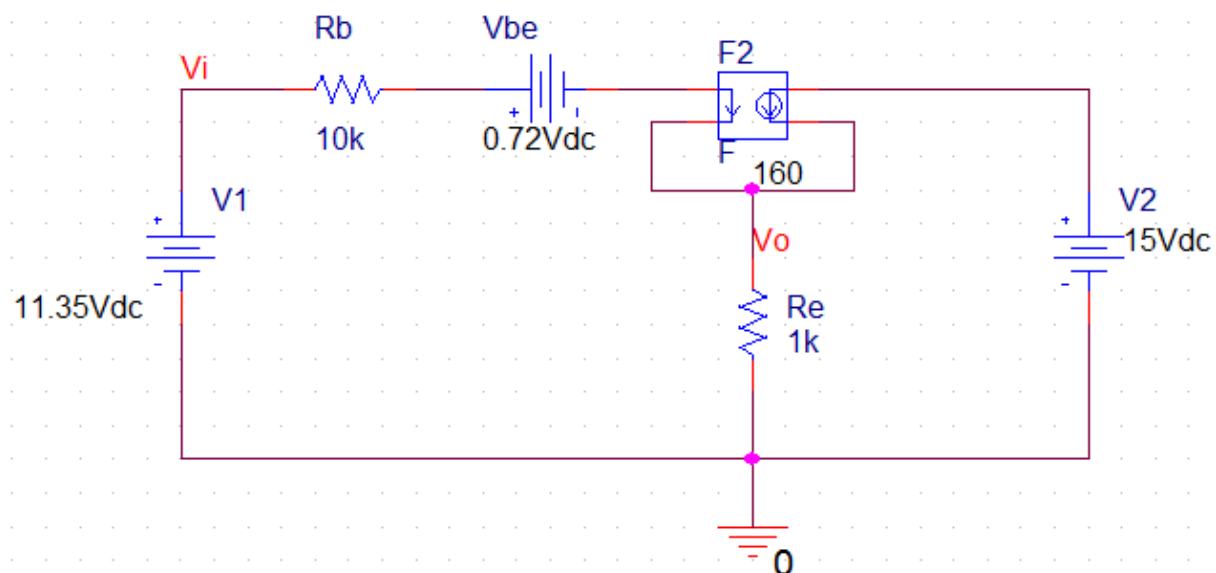


Figura 2.12. Circuitul din figura 2.10 liniarizat.

Se poate încerca determinarea caracteristicii de transfer pentru configurația repetor pe emitor prin modelarea tranzistorului bipolar cu ajutorul modelului de ordinul doi. Dioda dintre bază și emitor va fi modelată ca o sursă de tensiune continuă în serie cu o rezistență.

Lucrarea 3

Estimarea caracteristicii spectrale

3.1 Obiective operaționale

Obiectivul principal al acestei lucrări reprezintă însușirea modului în care se poate estima caracteristica spectrală pentru câteva circuite electronice fundamentale.

Studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, trei circuite electronice fundamentale. Un circuit cu diodă semiconductoare și două circuite cu tranzistoare bipolare.

Mai întâi studentul va găsi caracteristica spectrală pentru circuitul electronic fundamental nemodelat, după care acesta va modela circuitul, va estima caracteristica spectrală și o va compara cu cea obținută anterior pentru circuitul nemodelat.

Cele trei circuite utilizează componente reale de circuit, astfel încât studentul va putea simula comportamentul unor circuite electronice fundamentale reale. De asemenea studentul va putea înțelege conceptele de frecvență centrală, frecvență de tăiere, bandă de frecvențe sau amplificare la frecvența centrală.

3.2 Instrumente necesare

Pentru efectuarea acestei lucrări sunt necesare programele din pachetul Orcad, ce poartă numele de Capture și PSpice.

3.3 Noțiuni teoretice

Aceste referințe bibliografice [1] – [7] sunt necesare însușirii noțiunilor teoretice despre caracteristica spectrală, modul în care acesta se calculează și felul în care se poate modela un circuit electronic fundamental pentru a estima această caracteristică.

3.4 Desfășurarea lucrării

3.4.1 Circuit cu diodă semiconductoare – Caracteristică spectrală

În figura 3.1 este evidențiat circuitul electronic fundamental cu diodă semiconductoare. Acesta este alcătuit dintr-o sursă de tensiune compusă, V1 (Vi). Sursa de tensiune are o componentă continuă de 2 V și o componentă alternativă, de semnal mic, de 10 mV. Componenta alternativă se mai numește sursă de tensiune incrementală. În Orcad Capture sursa de tensiune V1 poartă numele de VAC. De asemenea circuitul din figura 3.1 conține o diodă semiconductoare (D1), o bobină (L1) de 10 mH și un rezistor (R1) de 10 Ω.

Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune V1 (Vi), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului Vo și reprezintă căderea de tensiune pe rezistorul R1.

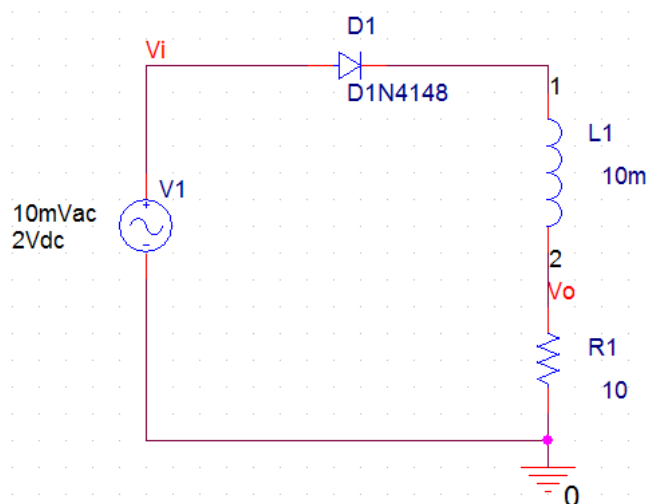


Figura 3.1. Circuit electronic fundamental cu diodă semiconductoare.

3.4.1.1 Simularea circuitului cu diodă semiconductoare

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 3.1. După cum se observă va fi utilizată dioda D1N4148, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. Pentru circuitul din figura 3.1 se va estima caracteristica spectrală

$H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_{in}(j\omega)}$. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat

în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea circuitului cu diodă semiconductoare și pentru a găsi caracteristica spectrală $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_{in}(j\omega)}$ se vor respecta următorii pași:

Pasul 1. Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul din figura 3.1. Elementele de circuit se pot găsi cu ajutorul comenzii Place/Part... . În Orcad Capture sursa de tensiune V1 poartă numele de VAC. Terminalul comun sau “Ground-ul” se poate selecta cu ajutorul meniului Place Ground (pictograma cu GND), ce se găsește în partea dreaptă a ferestrei de lucru. Se va alege cel care are simbolul terminalului comun și valoarea 0.

Pasul 2. După crearea circuitului cu diode semiconductoare din figura 3.1, din meniul PSpice se va alege New Simulation Profile, pentru a efectua o simulare. Figura 3.2 evidențiază modul în care se poate crea o nouă simulare.

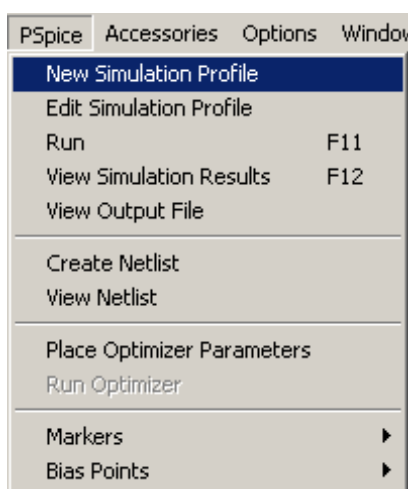


Figura 3.2. Meniul PSpice și tabul New Simulation Profile.

Pasul 3. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 3.3, în căsuța Name se va scrie numele simulării (“caracteristica_spectrala”), iar în căsuța Inherit From se va alege “none”. Se va apăsa apoi pe butonul Create.

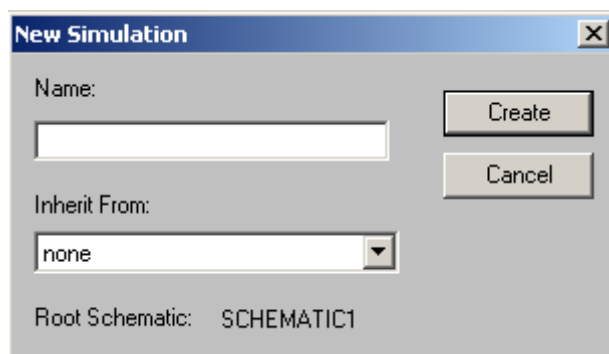


Figura 3.3. Fereastra New Simulation.

Pasul 4. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 3.4, din tabul Analysis, din căsuța Analysis type: se va alege AC Sweep. Se vor face modificările necesare, adică în tab-ul Start Frequency se va scrie valoarea 0.1 (în Hz), în tab-ul End Frequency se va scrie valoarea 1000Meg (1 GHz), în tab-ul Points/Decade se va scrie valoarea 101. Apoi se va apăsa pe Apply, după care pe OK.

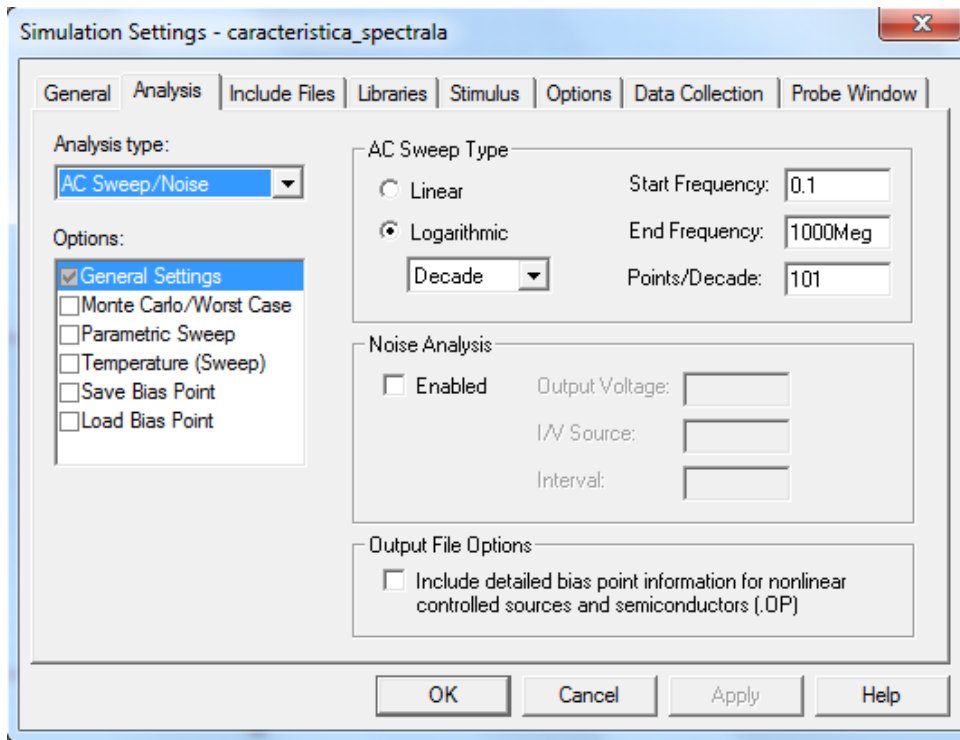


Figura 3.4. Fereastra Simulation Settings tab-ul Analysis.

Pasul 5. Din meniul PSpice se va alege Run. În acest moment programul Orcad va estima caracteristica spectrală pentru circuitul electronic fundamental din figura 3.1.

Pasul 6. Pentru a vizualiza caracteristica spectrală $H(j\omega)$, în fereastra PSpice nou apărută se va alege Trace/Add Trace... . În continuare în noua fereastră, evidențiată în figura 3.5, din interiorul tab-ului Simulation Output Variables se vor alege tensiunile V(V0) respectiv V(VI). Apoi în tab-ul Trace Expression, se va modifica expresia astfel – $V(V0)/V(VI)$ – variabila V(V0) se împarte la variabila V(VI) pentru a afla caracteristica spectrală. Apoi se va da click pe OK. Pentru a utiliza un cursor se va alege Trace/Cursor/Display. În figura 3.6 este evidențiată cu verde caracteristica de transfer a circuitului din figura 3.1.

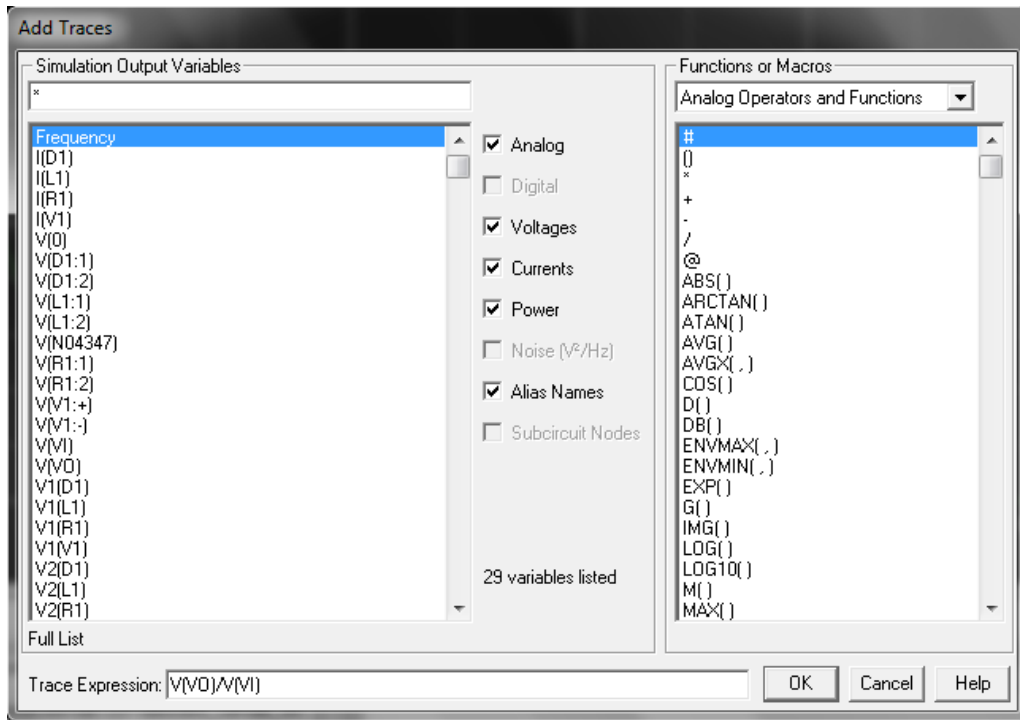


Figura 3.5. Fereastra Modify Trace.

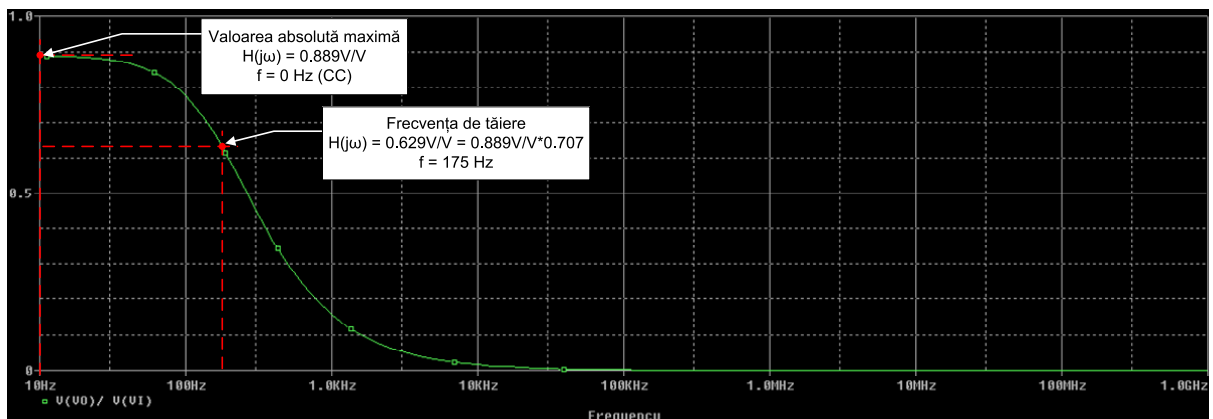


Figura 3.6. Caracteristica spectrală, $H(j\omega)$, a circuitului electronic fundamental din figura 3.1.

Cu ajutorul figurii 3.6 să se explice comportamentul circuitului din figura 3.1, atunci când sursa de tensiune incrementală generează o tensiune de frecvență joasă și atunci când generează o tensiune de frecvență ridicată. De asemenea să se găsească frecvența de tăiere. După cum se poate observa în figura 3.6, amplitudinea caracteristicii spectrale pentru frecvența de tăiere se poate afla dacă înmulțim valoarea absolută maximă cu 0.707 (sau o împărțim la $\sqrt{2}$).

3.4.1.2 Modelarea circuitului cu diodă semiconductoare

În figura 3.7 este evidențiat circuitul cu diodă semiconductoare la semnal mic obținut cu ajutorul celui evidențiat în figura 3.1. Dioda semiconductoare a fost modelată cu ajutorul configurației paralel rezistor-condensator, ce este valabilă la frecvențe ridicate. La frecvențe foarte joase condensatorul C1 se poate elimina, acest lucru înseamnă că poate fi modelat ca un gol de circuit. Valoarea rezistenței incrementale, reprezentată în figura 3.7 de R1, se poate calcula cu ajutorul formulei $r_d = \frac{V_T}{I_D}$, unde $V_T = 25\text{ mV}$, reprezintă tensiunea termică iar I_D reprezintă curentul ce trece prin dioda semiconductoare în regim cvasistatic, cu alte cuvinte reprezintă punctul static de funcționare. Curentul I_D are o valoare de 100 mA. Cu ajutorul graficului din figura 3.8 se poate găsi rezistența incrementală a diodei semiconductoare D1N4148. Valoarea condensatorului incremental, reprezentat în figura 3.7 de C1, se poate calcula cu ajutorul formulei $C \cong 2C_{j0} + C_d$, unde C_{j0} (capacitatea joncțiunii) se poate obține din catalogul diodei D1N4148 (figura 3.9) și are o valoare de 4 nF, iar C_d (capacitatea de difuzie) se poate calcula cu ajutorul relației, $C_d = \frac{\tau_T I_D}{V_T} = \frac{\tau_T}{r_d}$, unde τ_T este timpul de tranzit. Pentru dioda D1N4148 timpul de tranzit este egal cu 11.54 ns, astfel cu aproximație C_d are o valoare de 8 nF.

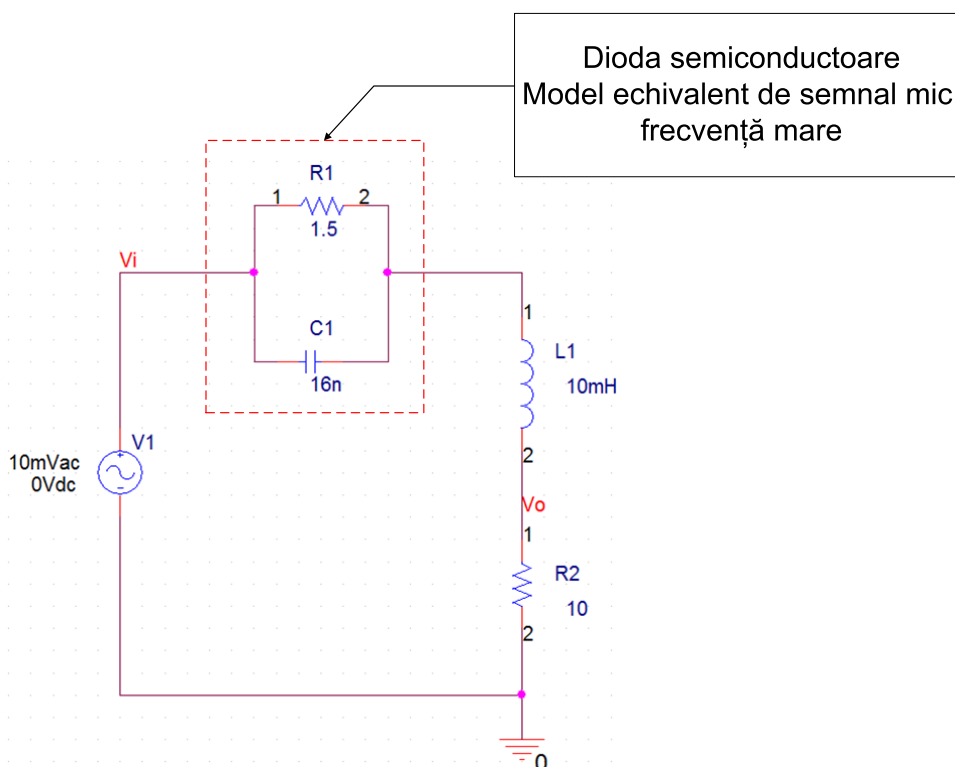


Figura 3.7. Circuitul din figura 3.1 modelat.

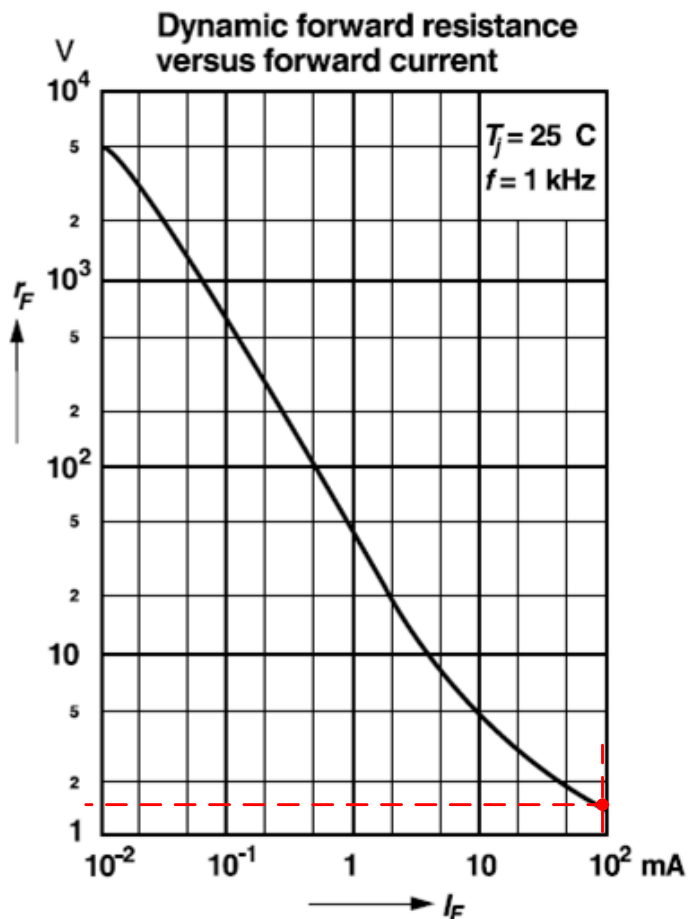


Figura 3.8. Rezistența incrementală, $r_d(r_F)$, a diodei DIN4148 în funcție de curentul $I_D (I_F)$.

Caracteristica este preluată din <http://doc.chipfind.ru/ge/1n4148.htm>

	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Capacitance at $V_F = V_R = 0 V$	C_{tot}	-	-	4	pF

Figura 3.9. Capacitatea joncțiunii, $C_{j0} (C_{tot})$.

Tabelul este preluat din <http://doc.chipfind.ru/ge/1n4148.htm>

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 3.7. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima caracteristica spectrală, respectând pașii evidențiați în subcapitolul 3.4.1.1.

După efectuarea simulării, să se compare caracteristica spectrală obținută pentru circuitul din figura 3.7 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 3.1. De asemenea să se găsească frecvența de tăiere.

3.4.2 Circuit cu tranzistor bipolar – Caracteristica spectrală

3.4.2.1 Configurația emitor comun

În figura 3.10 este evidențiată configurația emitor comun. Acest circuit cu tranzistor bipolar a fost studiat în lucrarea 1, pentru care a fost estimat punctul static de funcționare, și în lucrarea 2, pentru care a fost estimată caracteristica de tranfer.

Acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, un tranzistor bipolar (Q1) ce poartă numele de Q2N3904, patru rezistoare (Rc, Re, Rb1, Rb2) de 1.1 kΩ, 240 Ω, 51 kΩ respectiv 20 kΩ, două condensatoare de cuplaj (C1, C3) de 10 uF respectiv 0.15 uF și un condensator de derivație (C2) de 330 uF. Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune incrementală V1 (Vi) ce generează semnal (sinusoidal) între limitele ±10 mV. Tensiunea de ieșire, Vo, poate fi obținută de pe rezistorul de sarcină (RL). Acest rezistor are valoarea de 100 kΩ.

3.4.2.1.1 Simularea configurației emitor comun

Se va crea, cu ajutorul programului Orcad Capture, circuitul evidențiat în figura 3.10. După cum se observă va fi utilizat tranzistorul bipolar NPN Q2N3904, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 3.10 se va estima caracteristica spectrală, $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$.

În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea configurației emitor comun și pentru a găsi caracteristica spectrală se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 3.4.1.1. Trebuie precizat că frecvența tensiunii de intrare va varia între 0.1 Hz și 1 GHz cu 101 pași pe decadă.

În figura 3.11 este evidențiată caracteristica spectrală, $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$, a configurației emitor comun. După cum se observă sunt evidențiate frecvența de tăiere inferioară, frecvența de tăiere superioară, respectiv frecvența centrală. Diferența dintre frecvența de tăiere superioară și frecvența de tăiere inferioară se numește bandă de frecvențe.

Să se găsească frecvența de tăiere inferioară, frecvența de tăiere superioară, frecvența centrală, amplitudinea maximă la frecvența centrală și banda de frecvențe.

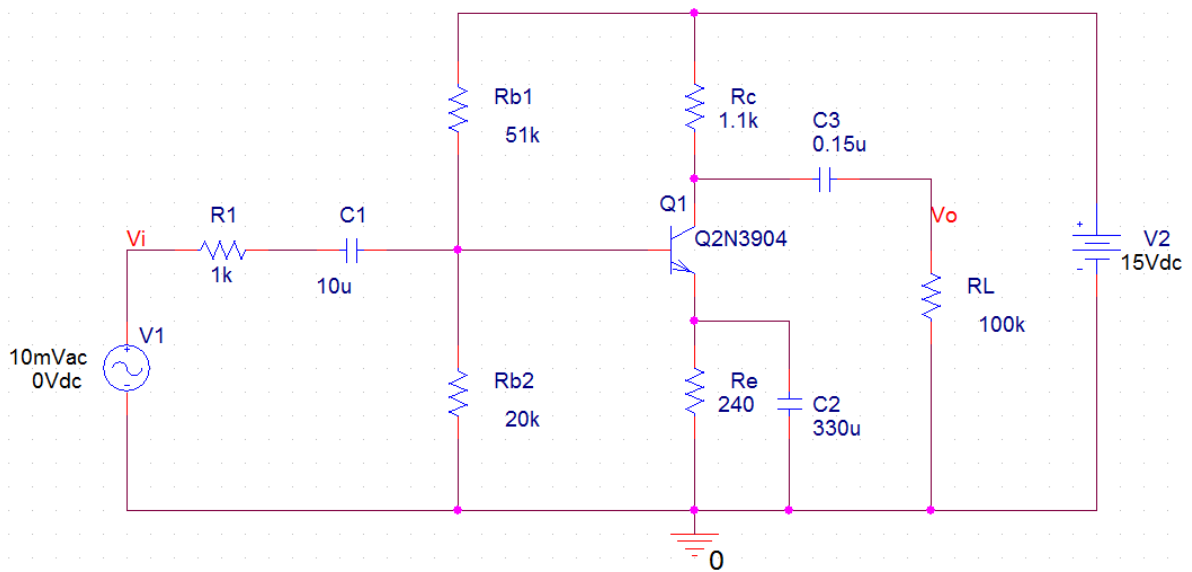


Figura 3.10. Circuit electronic fundamental cu tranzistor bipolar – configurația emitor comun.

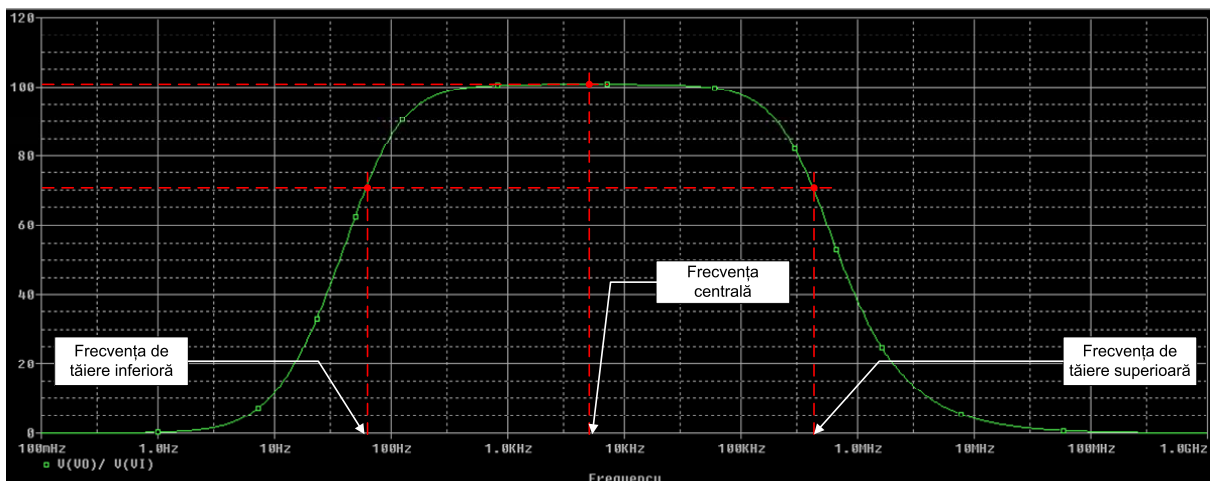


Figura 3.11. Caracteristica spectrală, $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$, a configurației emitor comun din figura 3.10.

3.4.2.1.2 Modelarea configurației emitor comun

În figura 3.12 este evidențiat circuitul cu tranzistor bipolar, configurația emitor comun, la semnal mic frecvență mare, obținut cu ajutorul circuitului evidențiat în figura 3.10. După cum se observă în figura 3.12 tranzistorul bipolar a fost modelat între bază și emitor cu o configurație RC. Valoarea rezistorului r_π se poate obține cu ajutorul formulei $r_\pi = \frac{V_T \beta}{I_C}$, unde V_T este tensiunea termică egală cu 25 mV, $\beta = 160$ iar $I_C = 10$ mA. Valoarea capacității condensatorului C_π se poate obține cu ajutorul formulei $C_\pi = \frac{I_C}{V_T \cdot 2\pi \cdot f_T} - C_\mu$, unde f_T

reprezintă frecvența la amplificarea unitară și poate fi obținută din catalogul tranzistorului (figura 3.13), iar C_{μ} reprezintă capacitatea condensatorului dintre bază și colector și de asemenea poate fi obținută din catalogul tranzistorului (figura 3.14). Se mai poate observa în figura 3.12 că sursa de tensiune continuă V2 a fost scurtcircuitată.

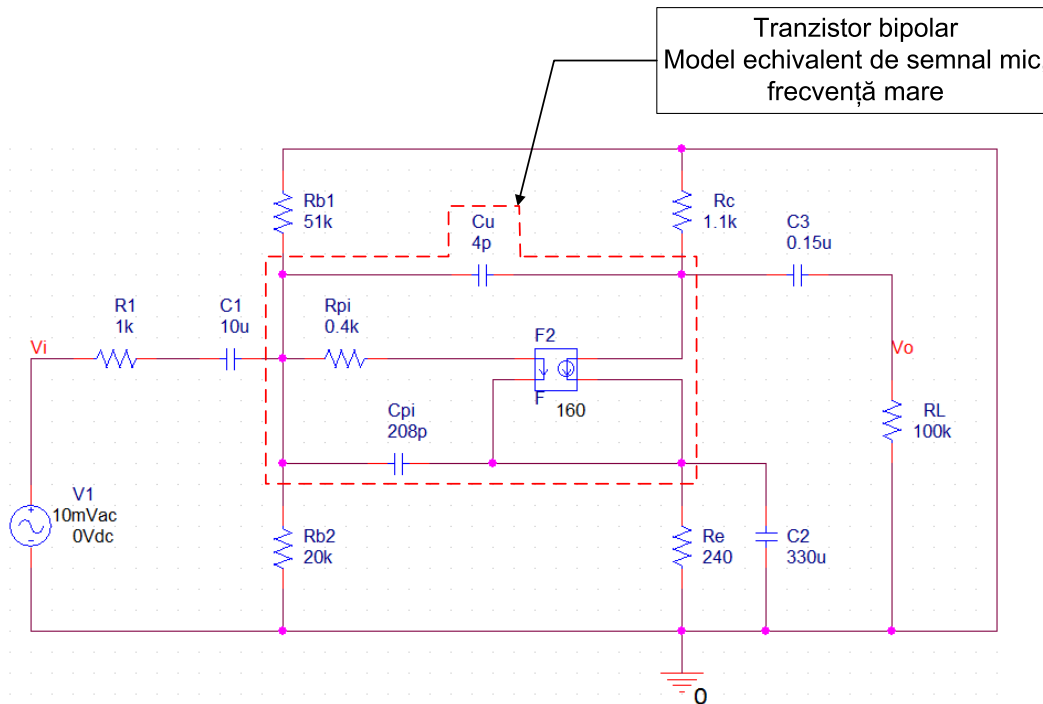


Figura 3.12. Circuitul din figura 3.10 modelat.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 3.12. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima caracteristica spectrală, respectând pașii evidențiați în subcapitolul 3.4.1.1.

După efectuarea simulării, să se compare caracteristica spectrală obținută pentru circuitul din figura 3.12 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 3.10. De asemenea să se găsească frecvența de tăiere inferioară, frecvența de tăiere superioară, frecvența centrală, amplitudinea maximă la frecvența centrală și banda de frecvențe. Să se compare aceste valori cu cele obținute pentru circuitul din figura 3.10.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Transition frequency	f_T	300	-	-	MHz	$V_{CE} = 20V, I_E = -10mA, f = 100MHz$

Figura 3.13. f_T - frecvența la amplificarea unitară.

Tabelul este preluat din
<http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/bjt/2N3904-rohm.pdf>

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Collector output capacitance	C_{ob}	-	-	4	pF	$V_{ce} = 10V, f = 100kHz$

Figura 3.14. C_{μ} - capacitatea condensatorului dintre bază și colector.

Tabelul este preluat din

<http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/bjt/2N3904-rohm.pdf>

3.4.2.2 Configurația repelor pe emitor

În figura 3.15 este evidențiată configurația repelor pe emitor. Acest circuit cu tranzistor bipolar a fost studiat în lucrarea 1, pentru care a fost estimat punctul static de funcționare, și în lucrarea 2, pentru care a fost estimată caracteristica de transfer.

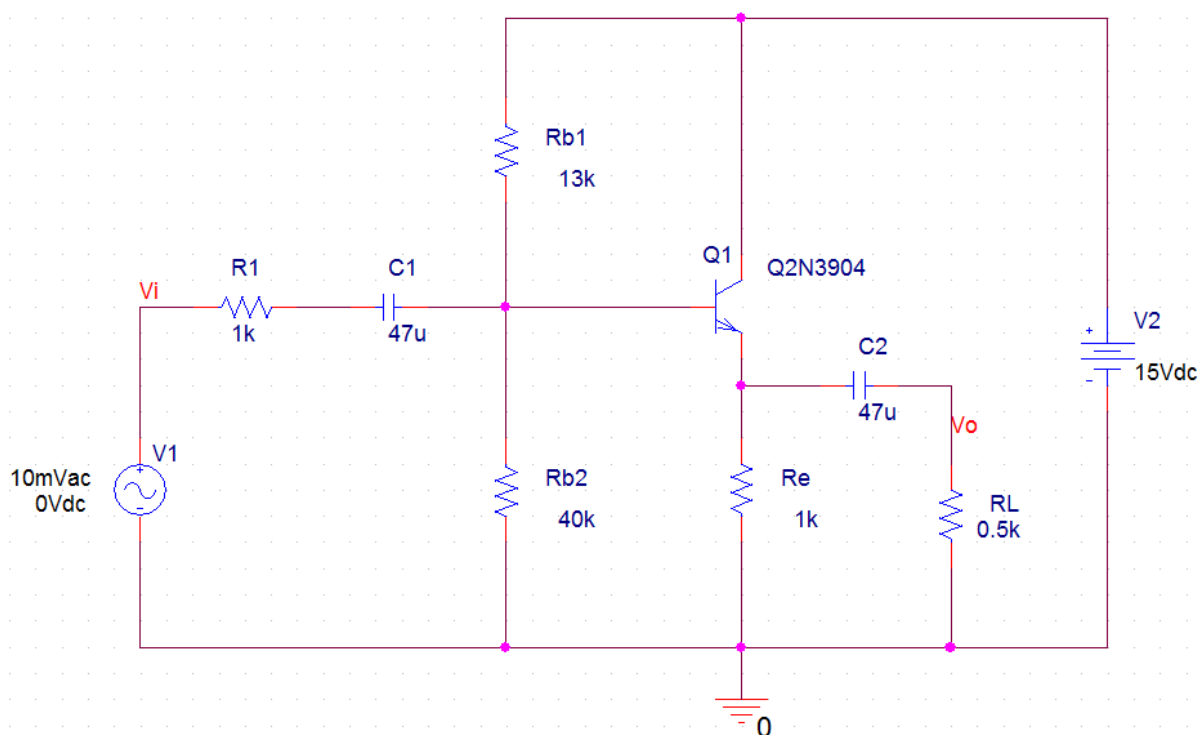


Figura 3.15. Circuit electronic fundamental cu tranzistor bipolar – configurația repelor pe emitor.

Acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă (V2) de 15 V, un tranzistor bipolar (Q1) ce poartă numele de Q2N3904, trei rezistoare (Re, Rb1, Rb2) de 1 kΩ, 13 kΩ respectiv 40 kΩ, două condensatoare de cuplaj (C1, C2) de 47. Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune incrementală V1 (Vi) ce generează semnal (sinusoidal) între limitele ± 10 mV. Tensiunea de ieșire, Vo, poate fi obținută de pe rezistorul de sarcină (RL). Acest rezistor are valoarea de 0.5 kΩ.

3.4.2.2.1 Simularea configurației repelor pe emitor

Se va crea, cu ajutorul programului Orcad Capture, circuitul evidențiat în figura 3.15. După cum se observă va fi utilizat tranzistorul bipolar NPN Q2N3904, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 3.15 se va estima caracteristica spectrală, $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$.

În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua simularea configurației repelor pe emitor și pentru a găsi caracteristica spectrală se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 3.4.1.1. Trebuie precizat că frecvența tensiunii de intrare va varia între 0.1 Hz și 1 GHz cu 101 pași pe decadă.

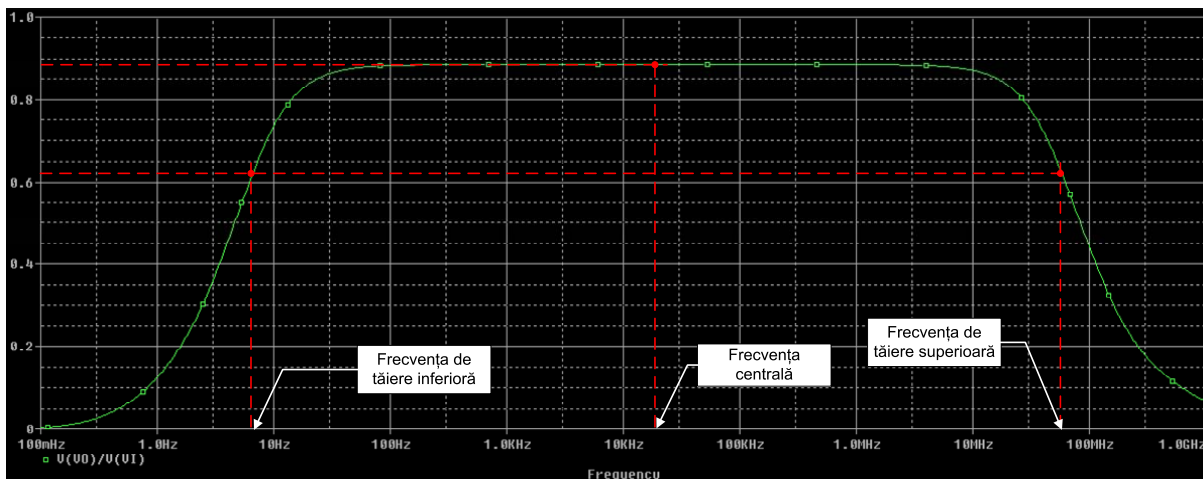


Figura 3.16. Caracteristica spectrală, $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$, a configurației repelor pe emitor din figura 3.15.

În figura 3.16 este evidențiată caracteristica spectrală, $H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)}$, a configurației repelor pe emitor. După cum se observă sunt evidențiate frecvența de tăiere inferioară, frecvența de tăiere superioară, respectiv frecvența centrală. Diferența dintre frecvența de tăiere superioară și frecvența de tăiere inferioară se numește bandă de frecvențe.

3.4.2.2.2 Modelarea configurației repelor pe emitor

În figura 3.17 este evidențiat circuitul cu tranzistor bipolar, configurația repelor pe emitor, la semnal mic frecvență mare, obținut cu ajutorul circuitului evidențiat în figura 3.15. După cum se observă în figura 3.17 tranzistorul bipolar a fost modelat între bază și emitor cu

o configurație RC. Valoarea rezistorului r_{π} se poate obține cu ajutorul formulei $r_{\pi} = \frac{V_T \beta}{I_C}$, unde V_T este tensiunea termică egală cu 25 mV, $\beta = 160$ iar $I_C = 10$ mA. Valoarea capacității condensatorului C_{π} se poate obține cu ajutorul formulei $C_{\pi} + C_{\mu} = \frac{V_T}{I_C \cdot 2\pi \cdot f_T}$, unde f_T reprezintă frecvența la amplificarea unitară și poate fi obținută din catalogul tranzistorului (figura 3.13), iar C_{μ} reprezintă capacitatea condensatorului dintre bază și colector și de asemenea poate fi obținută din catalogul tranzistorului (figura 3.14). Se mai poate observa în figura 3.17 că sursa de tensiune continuă V2 a fost scurtcircuitată.

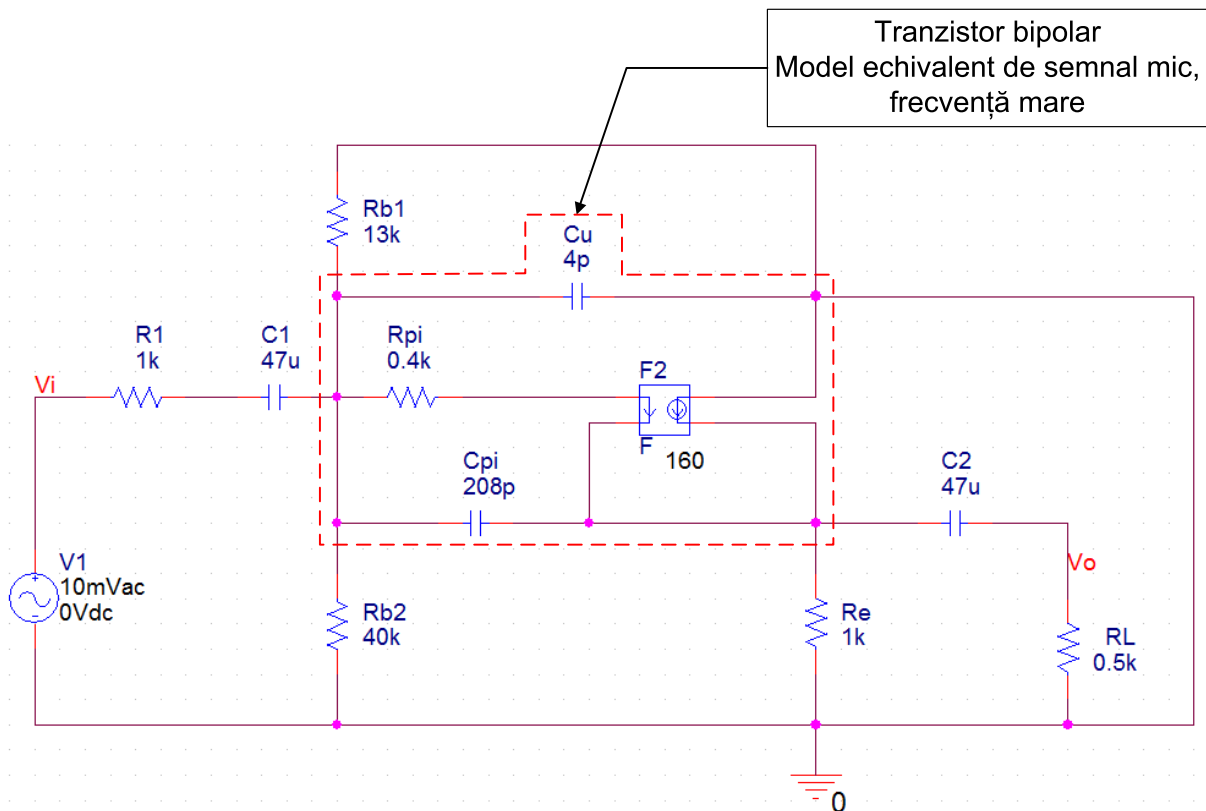


Figura 3.17. Circuitul din figura 3.15 modelat.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 3.17. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima caracteristica spectrală, respectând pașii evidențiați în subcapitolul 3.4.1.1.

După efectuarea simulării, să se compare caracteristica spectrală obținută pentru circuitul din figura 3.17 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 3.15. De asemenea să se găsească frecvența de tăiere inferioară, frecvența de tăiere superioară,

Circuite electronice fundamentale. Îndrumar de laborator

frecvența centrală, amplitudinea maximă la frecvența centrală și banda de frecvențe. Să se compare aceste valori cu cele obținute pentru circuitul din figura 3.15.

Lucrarea 4

Analiza temporală tranzitorie – Prima parte

4.1 Obiective operaționale

Obiectivul principal al acestei lucrări reprezintă însușirea modului în care sunt utilizate amplificatoarele operaționale în circuite de amplificare și condiționare a semnalelor de intrare. De asemenea va putea fi studiat comportamentul acestor circuite din punctul de vedere al analizei temporale tranzitorii.

Studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, șase circuite electronice fundamentale cu amplificator operațional și un circuit care încorporează modelul echivalent al acestuia. Cele șase circuite se numesc: inversor, sumator cu ponderi, neinversor, buffer, integrator și derivator. Circuitul ce încorporează modelul echivalent al amplificatorului operațional va modela inversorul. Mai întâi studentul va analiza din punct de vedere temporal cele șase circuite electronice fundamentale nemodelate, după care acesta va modela inversorul și va compara comportamentul temporal al circuitului modelat cu cel al circuitului nemodelat studiat anterior. Cele șase circuite utilizează componente reale de circuit, astfel încât studentul va putea simula comportamentul unor circuite electronice fundamentale reale.

4.2 Instrumente necesare

Pentru efectuarea acestei lucrări sunt necesare programele din pachetul Orcad, ce poartă numele de Capture și PSpice.

4.3 Noțiuni teoretice

Aceste referințe bibliografice [1] – [7] sunt necesare însușirii noțiunilor teoretice despre analiza temporală tranzistorie, modul în care se utilizează amplificatorul operațional în circuite de amplificare și condiționare.

4.4 Desfășurarea lucrării

4.4.1 Amplificatorul operațional – Simularea inversorului

În figura 4.1 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de configurația inversoare. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă diferențială (V2-V3) de ± 15 V, o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) (V1) de amplitudine 1V și frecvență de 50 Hz, un amplificator operațional (U1) și două rezistorare (R1) și (R2) de $1\text{k}\Omega$, respectiv $5\text{k}\Omega$.

Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune alternativă V1 (V_i), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o . Circuitul din figura 4.1 va fi creat cu ajutorul Orcad Capture și simulat cu ajutorul Orcad PSpice. În cadrul simulării se va vizualiza variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire și se va estima amplificarea în tensiune a circuitului cu amplificator operațional.

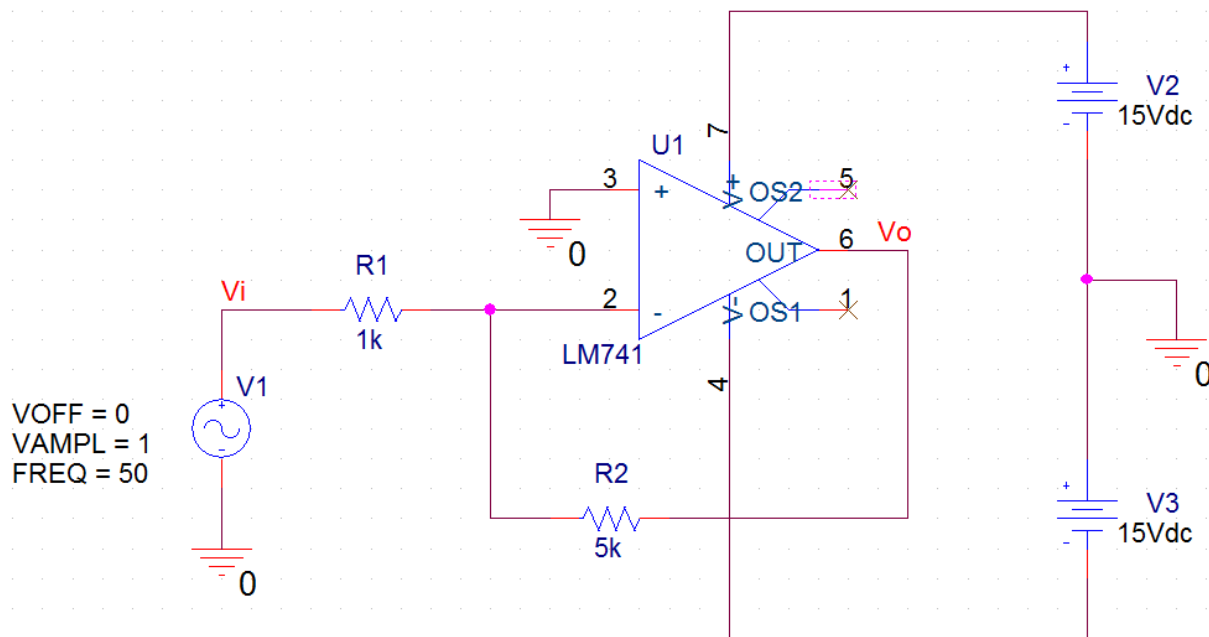


Figura 4.1. Circuitul electronic fundamental cu amplificator operațional – configurația inversoare.

După cum se observă va fi utilizat amplificatorul operațional LM741, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. În prealabil a fost creat un proiect în

Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua o analiză temporală tranzitorie se vor respecta următorii pași:

Pasul 1. Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul din figura 4.1. Elementele de circuit se pot găsi cu ajutorul comenzii Place/Part... . Terminalul comun sau “Ground-ul” se poate selecta cu ajutorul meniului Place Ground (pictograma cu GND), ce se găsește în partea dreaptă a ferestrei de lucru. Se va alege cel care are simbolul terminalului comun și valoarea 0. Neconectarea unui fir se poate efectua cu ajutorul comenzii Place/ No connect și se va da click pe terminalul ce se dorește neconectat, în cazul nostru terminalele 1 și 5 ale amplificatorului operațional LM741. Sursa de tensiune alternativă poartă numele de VSIN.

Pasul 2. După crearea circuitului cu amplificator operațional din figura 4.1, din meniul PSpice se va alege New Simulation Profile, pentru a efectua o simulare. Figura 4.2 evidențiază modul în care se poate crea o nouă simulare.

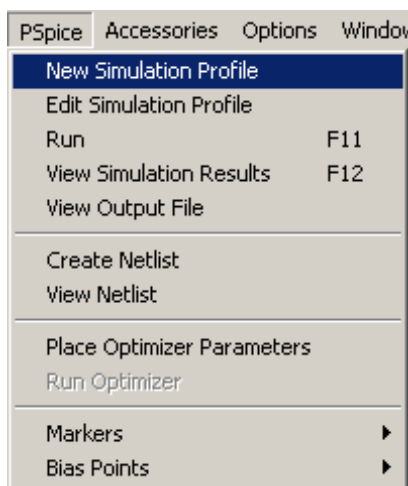


Figura 4.2. Meniul PSpice și tabul New Simulation Profile.

Pasul 3. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 4.3, în căsuța Name se va scrie numele simulării (“analiza_tranzitorie”), iar în căsuța Inherit From se va alege ”none”. Se va apăsa apoi pe butonul Create.

Pasul 4. În fereastra nou apărută, evidențiată în figura 4.4, din tabul Analysis, din căsuța Analysis type: se va alege Time Domain (Transient). Se vor face modificările necesare, adică în tab-ul Run to time se va scrie 100 ms și reprezintă durata de timp pentru care vor fi afișate

Dispozitive electronice. Îndrumar de laborator

rezultatele simulării, în tab-ul Start saving data after se va scrie 0, iar în tab-ul Maximum step size se va scrie 10us și reprezintă pasul de incrementare al simulării. Apoi se va apăsa pe Apply, după care pe OK.

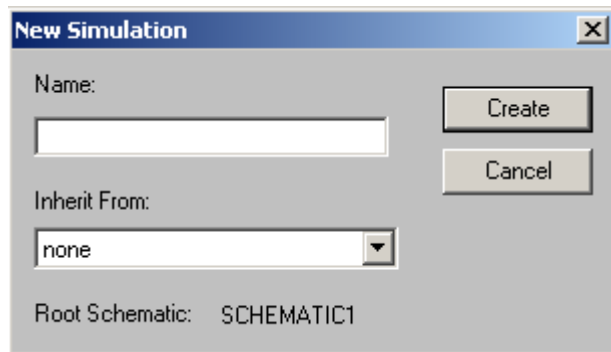


Figura 4.3. Fereastra New Simulation.

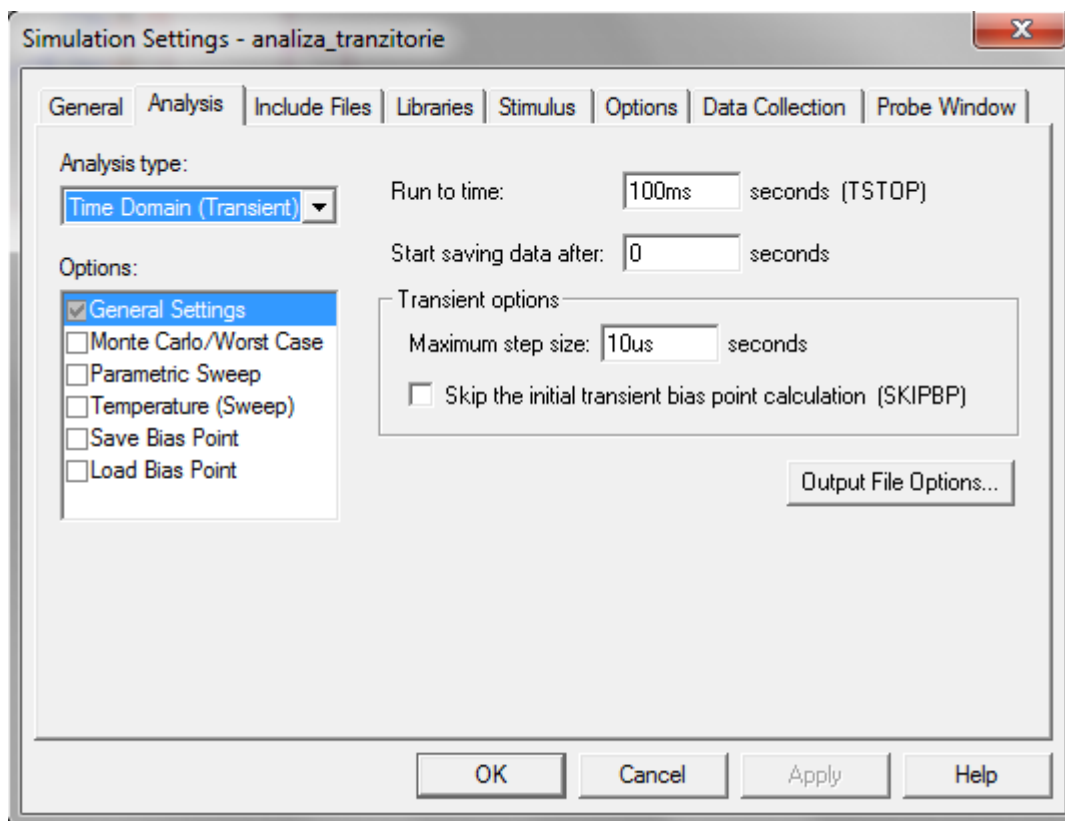


Figura 4.4. Fereastra Simulation Settings tab-ul Analysis.

Pasul 5. Din meniul PSpice se va alege Run. În acest moment programul Orcad va calcula variația temporală a tensiunii de ieșire în funcție de elementele de circuit din figura 4.1 și variația tensiunii de intrare.

Pasul 6. Pentru a vizualiza variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire, în fereastra PSpice nou apărută se va alege Trace/Add Trace... . În continuare în noua fereastră, din lista din partea stângă, se va da click pe V(V0) și V(VI), apoi se va da click pe OK. Pentru a utiliza un cursor se va alege Trace/Cursor/Display. În figura 4.5 este evidențiată cu verde variația tensiunii de ieșire, iar cu roșu este evidențiată variația tensiunii de intrare.

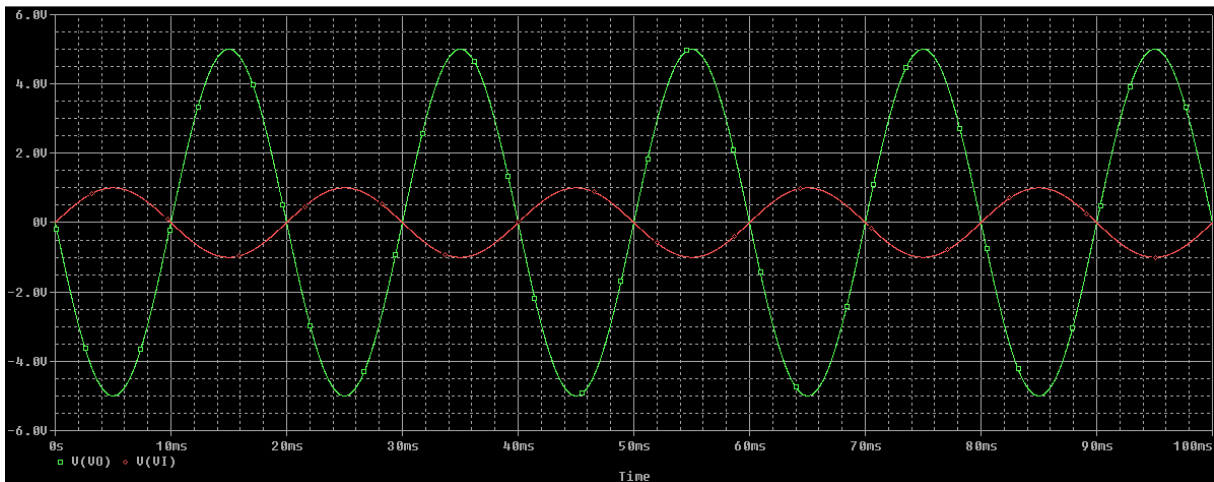


Figura 4.5. Variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire a circuitului electronic fundamental din figura 4.1.

Amplificarea în tensiunea a configurației inversoare poate fi obținută cu ajutorul următoarei formule $A_v = \frac{V_0}{V_I} = -\frac{R_2}{R_1}$. Dacă se cunosc valorile celor două rezistoare, valoarea amplificării în tensiune se poate obține prin împărțirea valorii rezistorului R2 la valoarea rezistorului R1. De asemenea cu ajutorul rezultatelor obținute în simulare, evidențiate în figura 4.5, să se găsească amplificarea în tensiune pentru circuitul simulat și să se compare cu cea calculată.

4.4.2 Amplificatorul operațional – Simularea sumatorului cu ponderi

În figura 4.6 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de sumator cu ponderi. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă diferențială (V7-V8) de ± 15 V, șase surse de tensiune alternativă (sinusoidală) (V1-V6) de amplitudini diferite și frecvențe diferite, un amplificator operațional (U1) și șapte rezistorare (R1-R6) și (Rf) de $1k\Omega$.

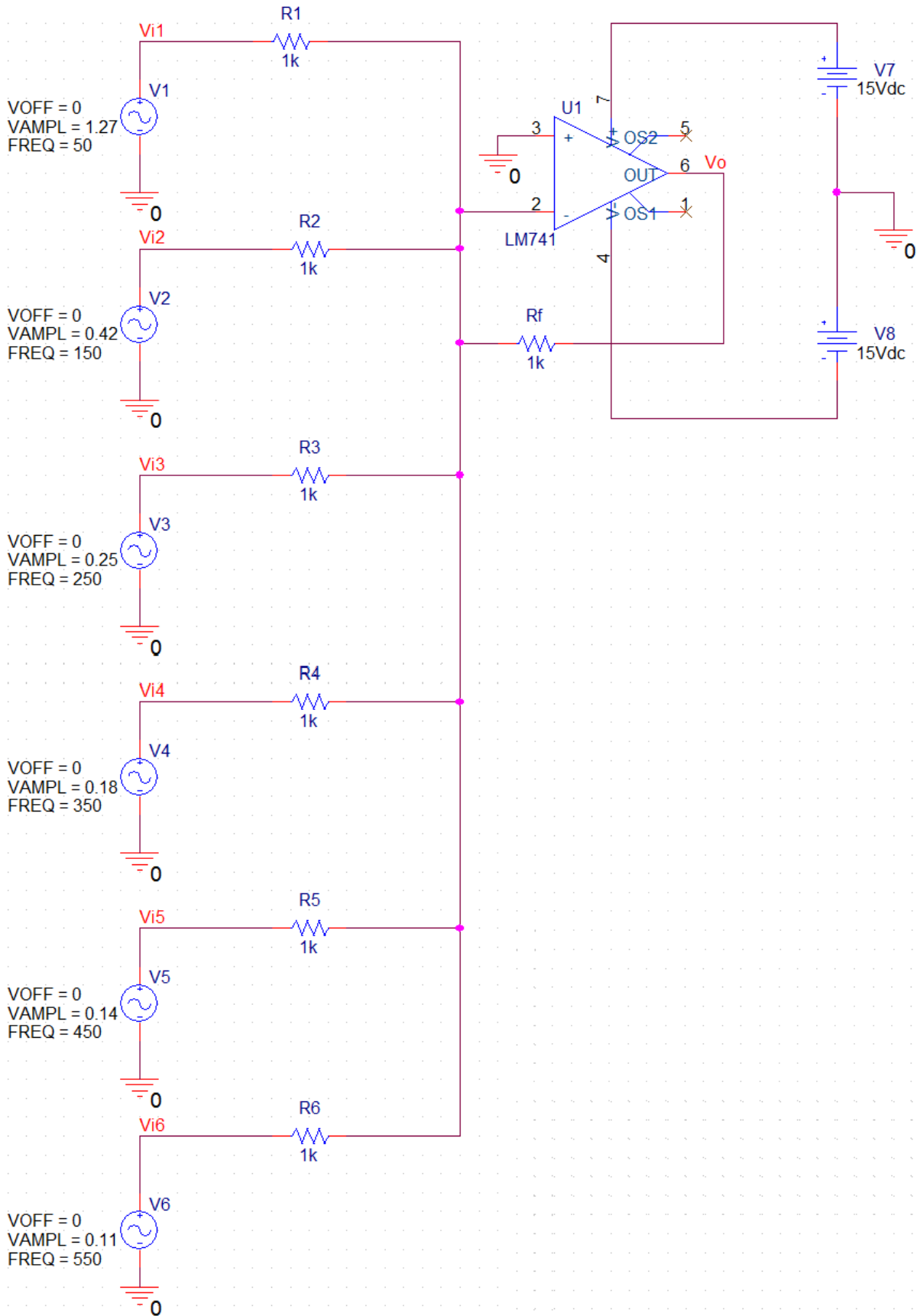


Figura 4.6. Circuitul electronic fundamental cu amplificator operațional – sumatorul cu ponderi.

Tensiunea de intrare este asigurată de sursele de tensiune alternativă V1-V6 (Vi1-Vi6), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului Vo. Circuitul din figura 4.1 va fi creat cu ajutorul Orcad Capture și simulat cu ajutorul Orcad PSpice. În cadrul simulării se vor vizualiza, în două ferestre separate, variația temporală a tensiunilor de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire, totodată vizualizându-se forma acestor tensiuni. De asemenea cu ajutorul relației următoare se va calcula valoarea tensiunii de ieșire, dacă se cunosc valorile rezistoarelor din circuit R1-R6, Rf și valorile tensiunilor de intrare V1-V6,

$$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3} + \dots + \frac{R_f}{R_n}V_n\right).$$

După cum se observă în figura 4.6 va fi utilizat amplificatorul operațional LM741, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua o analiză temporală tranzitorie se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 4.4.1.

În Orcad PSpice în cazul în care se dorește utilizarea mai multor ferestre de vizualizare a rezultatelor simulărilor se va alege Plot/Add Plot to Window. În prima figură va fi reprezentată variația tensiunilor de intrare V1-V6, iar a doua figură se va reprezenta variația tensiunii de ieșire. Aceste două figuri sunt reprezentate în figura 4.7. Să se găsească valoarea amplificării în tensiune pentru fiecare tensiune de intrare în sumatorul cu ponderi, utilizând relația evidențiată mai sus.

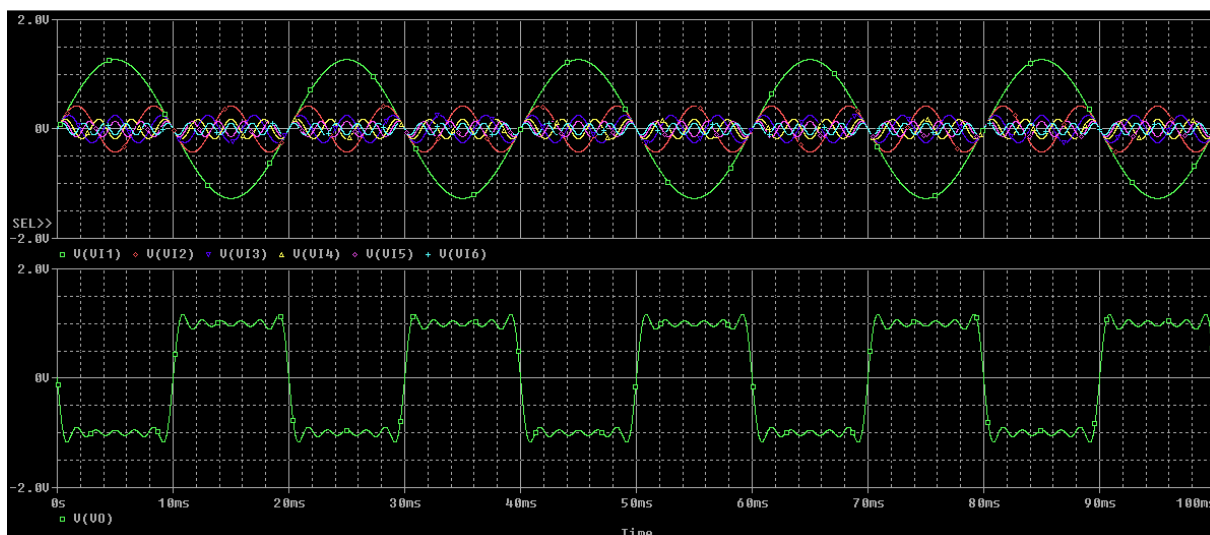


Figura 4.7. Variația tensiunilor de intrare (graficul de sus), respectiv variația tensiunii de ieșire (graficul de jos) pentru sumatorul cu ponderi.

4.4.3 Amplificatorul operațional – Simularea neinversorului

În figura 4.8 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de configurația neinversoare. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă diferențială (V2-V3) de ± 15 V, o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) (V1) de amplitudine 1V și frecvență de 50 Hz, un amplificator operațional (U1) și două rezistorare (R1) și (R2) de 1k Ω , respectiv 5 k Ω .

Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune alternativă V1 (Vi), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului Vo. Circuitul din figura 4.8 va fi creat cu ajutorul Orcad Capture și simulat cu ajutorul Orcad PSpice. În cadrul simulării se va vizualiza variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire și se va estima amplificarea în tensiune a circuitului cu amplificator operațional.

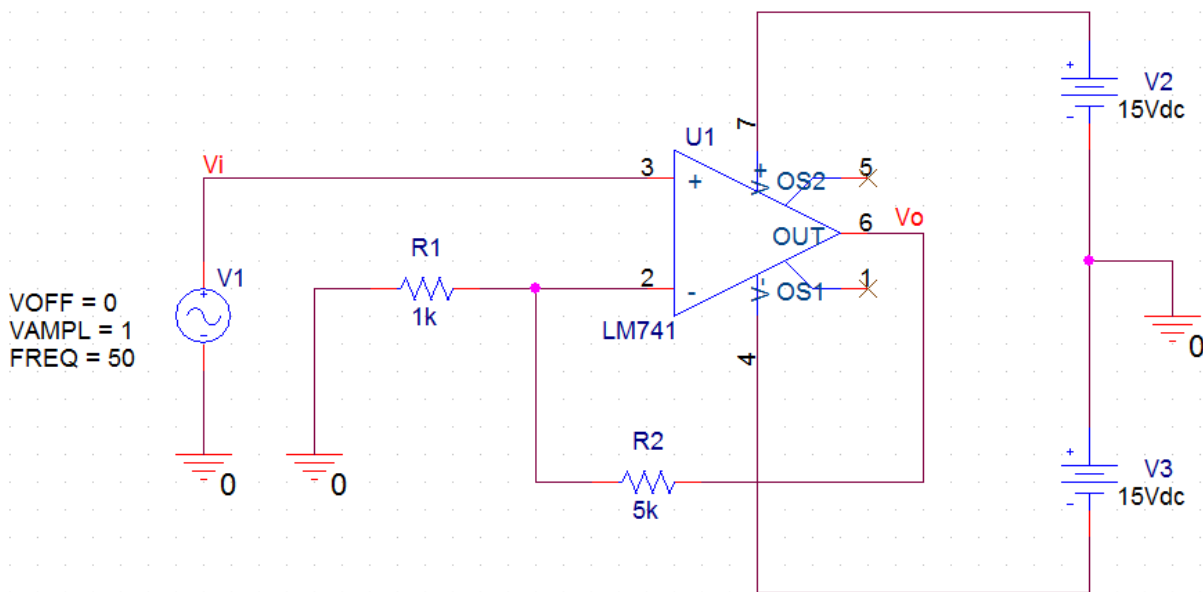


Figura 4.8. Circuitul electronic fundamental cu amplificator operațional – configurația neinversoare.

După cum se observă va fi utilizat amplificatorul operațional LM741, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua o analiză temporală tranzitorie se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 4.4.1.

Amplificarea în tensiunea a configurației neinversoare poate fi obținută cu ajutorul următoarei formule $A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$. Dacă se cunosc valorile celor două rezistoare, valoarea

amplificării în tensiune se poate obține prin adunarea valorii 1 la rezultatul împărțirii valorii rezistorului R2 la valoarea rezistorului R1. De asemenea cu ajutorul rezultatelor obținute în simulare, evidențiate în figura 4.9, să se găsească amplificarea în tensiune pentru circuitul simulat și să se compare cu cea calculată.

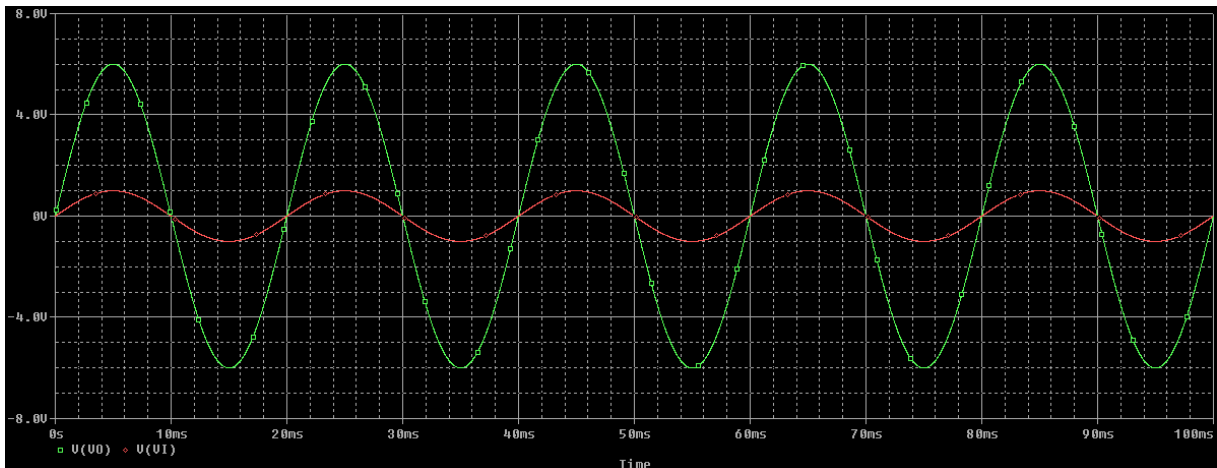


Figura 4.9. Variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire a circuitului electronic fundamental din figura 4.8.

4.4.4 Amplificatorul operațional – Simularea buffer-ului

În figura 4.10 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de buffer sau circuitul tampon. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă diferențială (V2-V3) de ± 15 V, o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) (V1) de amplitudine 1V și frecvență de 50 Hz și un amplificator operațional (U1).

Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune alternativă V1 (V_i), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o . Se observă că între intrare și ieșire există un fir de legătură, prin intermediul căruia valoarea tensiunii de intrare este copiată la ieșire.

Circuitul din figura 4.10 va fi creat cu ajutorul Orcad Capture și simulat cu ajutorul Orcad PSpice. În cadrul simulării se va vizualiza, în ferestre separate, variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire și se va estima amplificarea în tensiune a circuitului cu amplificator operațional.

După cum se observă va fi utilizat amplificatorul operațional LM741, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. În prealabil a fost creat un proiect în

Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua o analiză temporală tranzitorie se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 4.4.1.

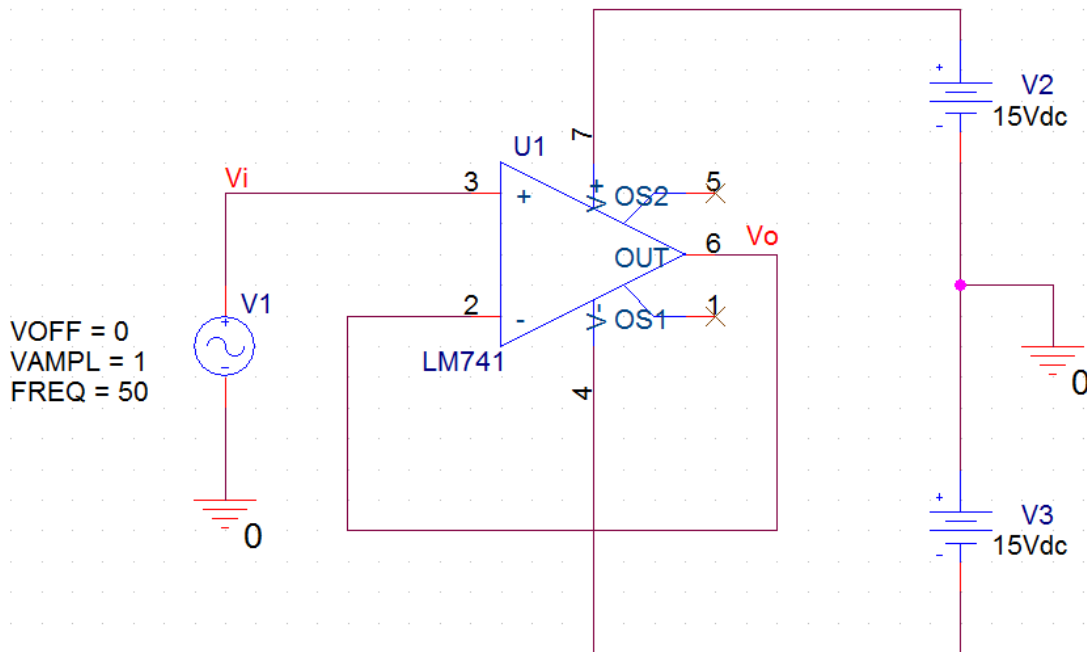


Figura 4.10. Circuitul electronic fundamental cu amplificator operațional – buffer-ul.

Amplificarea în tensiunea a circuitului tampon cu amplificator operațional este unitară, adică $A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1$. Cu ajutorul rezultatelor obținute în simulare, evidențiate în figura 4.11, să se găsească amplificarea în tensiune pentru circuitul simulat și să se compare cu cea calculată.

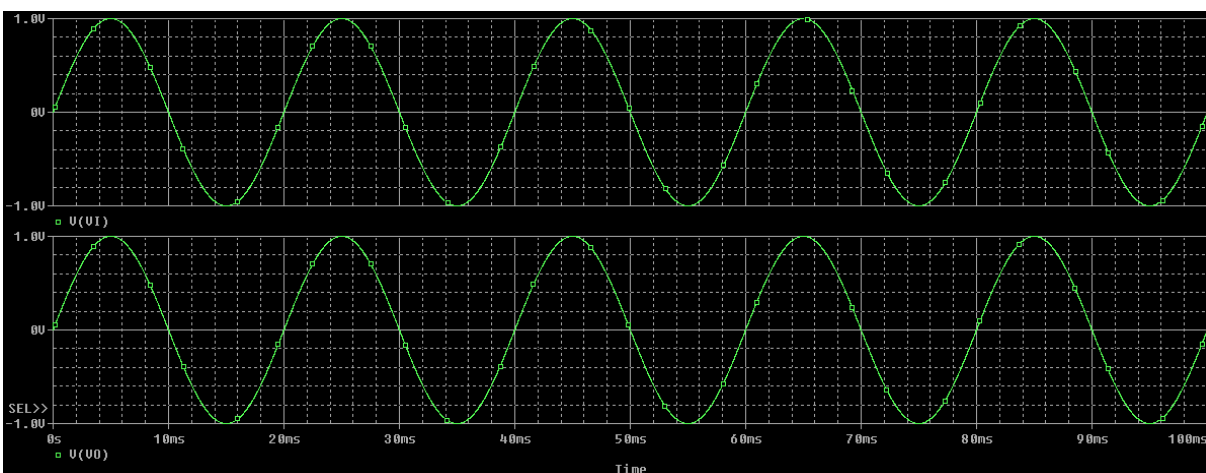


Figura 4.11. Variația temporală a tensiunii de intrare (graficul de sus), respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire (graficul de jos) a circuitului electronic fundamental din figura 4.10.

4.4.5 Amplificatorul operațional – Simularea integratorului

În figura 4.12 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de integrator. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă diferențială (V2-V3) de ± 15 V, o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) (V1) de amplitudine 1V și frecvență de 50 Hz, un amplificator operațional (U1), un condensator (C1) de 10 μ F și două rezistențe (R1), (R2) de 1k Ω , respectiv 2k Ω .

Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune alternativă V1 (Vi), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului Vo. Se observă că între intrare și ieșire există o configurație RC. Această configurație are rolul de a integra tensiunea de intrare și de a furniza rezultatul integrării la ieșire.

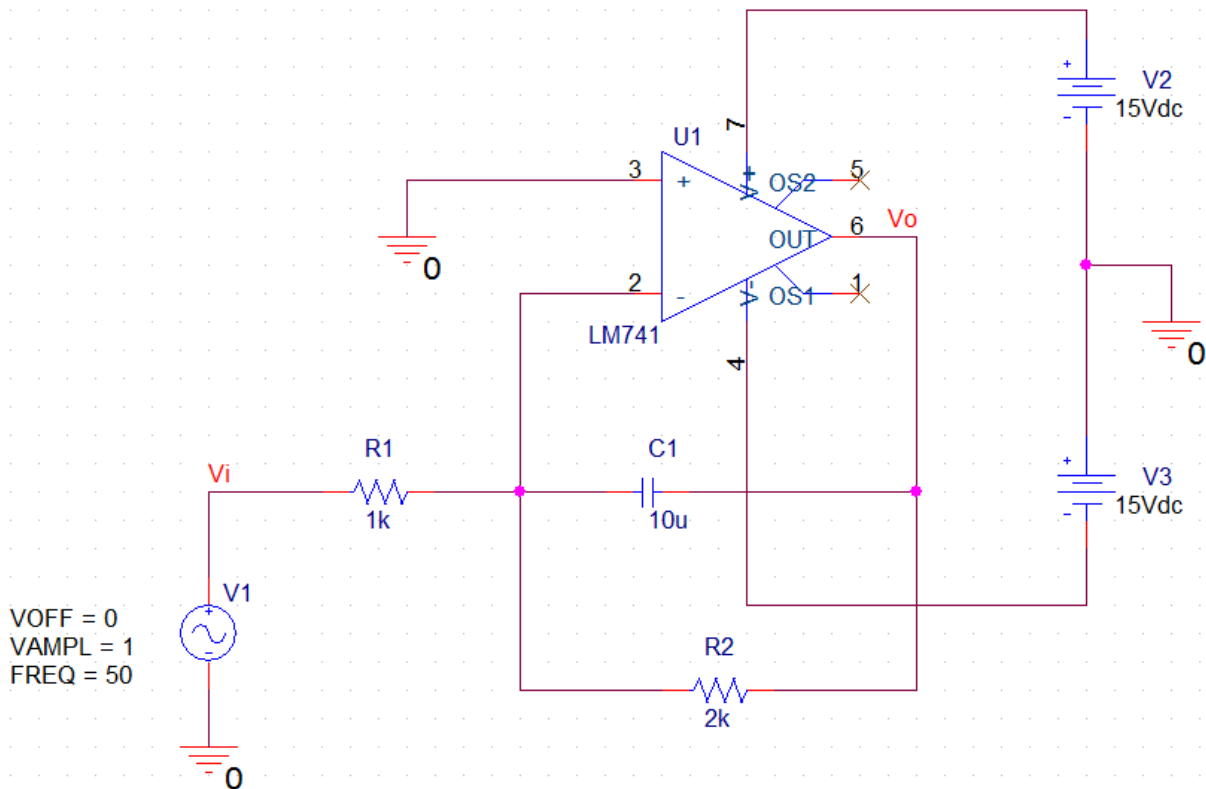


Figura 4.12. Circuitul electronic fundamental cu amplificator operațional – integratorul.

Circuitul din figura 4.12 va fi creat cu ajutorul Orcad Capture și simulat cu ajutorul Orcad PSpice. În cadrul simulării se va vizualiza, în ferestre separate, variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire. De asemenea se va estima defazajul dintre tensiunea de intrare și cea de ieșire.

După cum se observă va fi utilizat amplificatorul operațional LM741, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua o analiză temporală tranzitorie se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 4.4.1. Run to time va fi 200 ms.

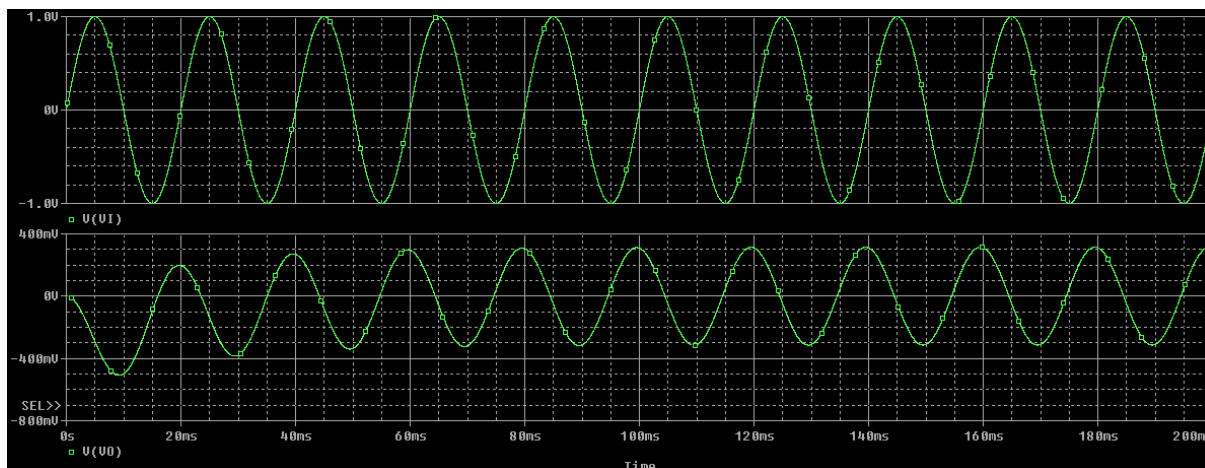


Figura 4.13. Variația temporală a tensiunii de intrare (graficul de sus), respectiv a tensiunii de ieșire (graficul de jos) a circuitului electronic fundamental din figura 4.12.

În figura 4.13 este evidențiată variația tensiunii de intrare, respectiv variația tensiunii de ieșire. Se observă că tensiunea de ieșire are un comportament tranzitoriu, în primele 60 ms, după care integratorul oferă la ieșire o tensiune sinusoidală stabilă.

4.4.6 Amplificatorul operațional – Simularea derivatorului

În figura 4.14 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de derivator. După cum se observă în figura de mai jos acest circuit este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă diferențială (V2-V3) de ± 15 V, o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) (V1) de amplitudine 1V și frecvență de 50 Hz, un amplificator operațional (U1), un condensator (C1) de 10 μ F și două rezistențe (R1) și (R2) de 1k Ω , respectiv 2k Ω .

Tensiunea de intrare este asigurată de sursa de tensiune alternativă V1 (V_i), iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o . Se observă că la intrarea în circuit există o configurație RC. Această configurație are rolul de a deriva tensiunea de intrare și de a furniza rezultatul derivării la ieșire prin rezistorul R2.

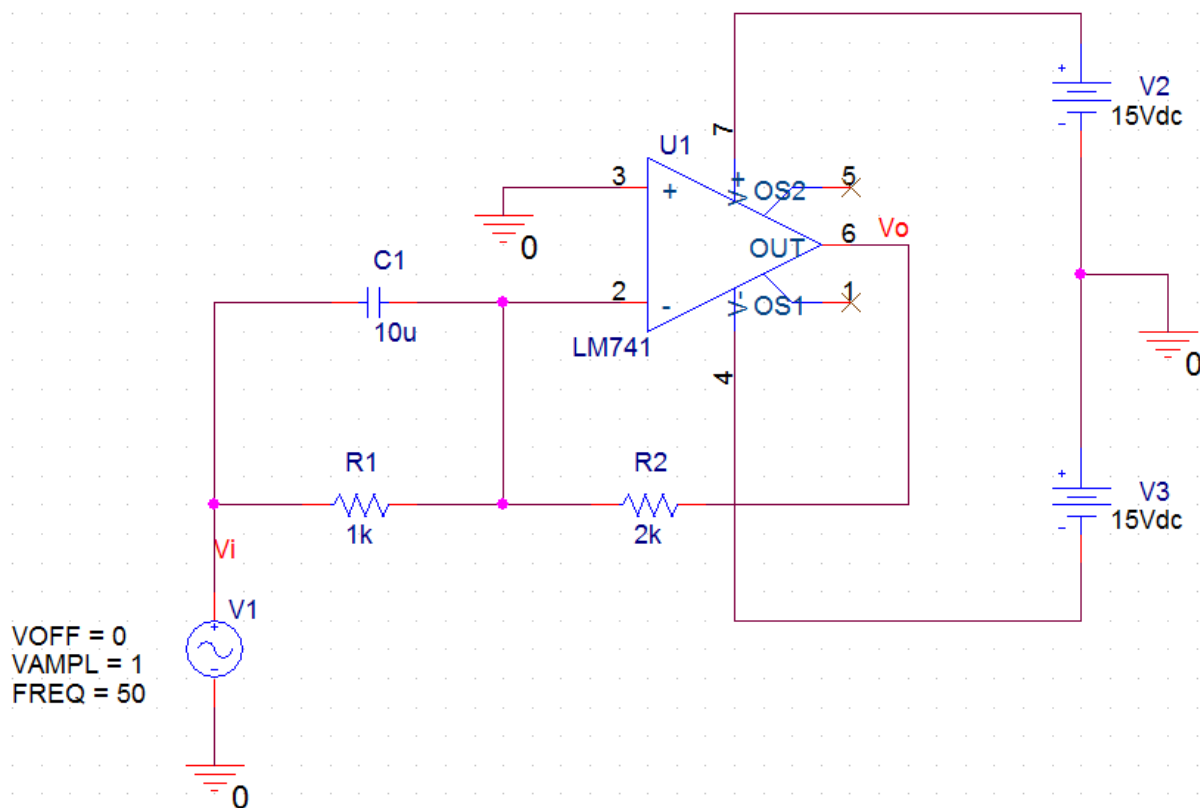


Figura 4.14. Circuitul electronic fundamental cu amplificator operațional – derivatorul.

Circuitul din figura 4.14 va fi creat cu ajutorul Orcad Capture și simulat cu ajutorul Orcad PSpice. În cadrul simulării se va vizualiza, în ferestre separate, variația temporală a tensiunii de intrare, respectiv variația temporală a tensiunii de ieșire. De asemenea se va estima defazajul dintre tensiunea de intrare și cea de ieșire.

După cum se observă va fi utilizat amplificatorul operațional LM741, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. În prealabil a fost creat un proiect în Orcad Capture, așa cum este evidențiat în lucrarea Utilizarea programului Orcad. Pentru a efectua o analiză temporală tranzitorie se vor respecta pașii evidențiați în subcapitolul 4.4.1.

În figura 4.15 este evidențiată variația tensiunii de intrare, respectiv variația tensiunii de ieșire. Se observă că tensiunea de ieșire are un comportament tranzitoriu, în primele 60 ms, după care derivatorul oferă la ieșire o tensiune sinusoidală stabilă.

4.4.7 Modelarea amplificatorului operațional

În figura 4.16 este evidențiată configurația inversoare obținută cu ajutorul circuitului din figura 4.1. După cum se observă în figura 4.16 modelul amplificatorului operațional

Dispozitive electronice. Îndrumar de laborator

conține un rezistor de intrare, R_i , de valoare $2\text{ M}\Omega$, o sursă de tensiune comandată în tensiune, cu amplificarea de 200 V/mV și o rezistență de ieșire, R_o , a cărei valoare este evidențiată în figura 4.17. După cum se observă valoarea rezistorului R_o a fost aleasă $75\ \Omega$. Circuitul mai conține două rezistoare (R_1) și (R_2) de $1\text{ k}\Omega$, respectiv $5\text{ k}\Omega$ și o sursă de tensiune alternativă V_1 de amplitudine 1 V și frecvență 50 Hz .

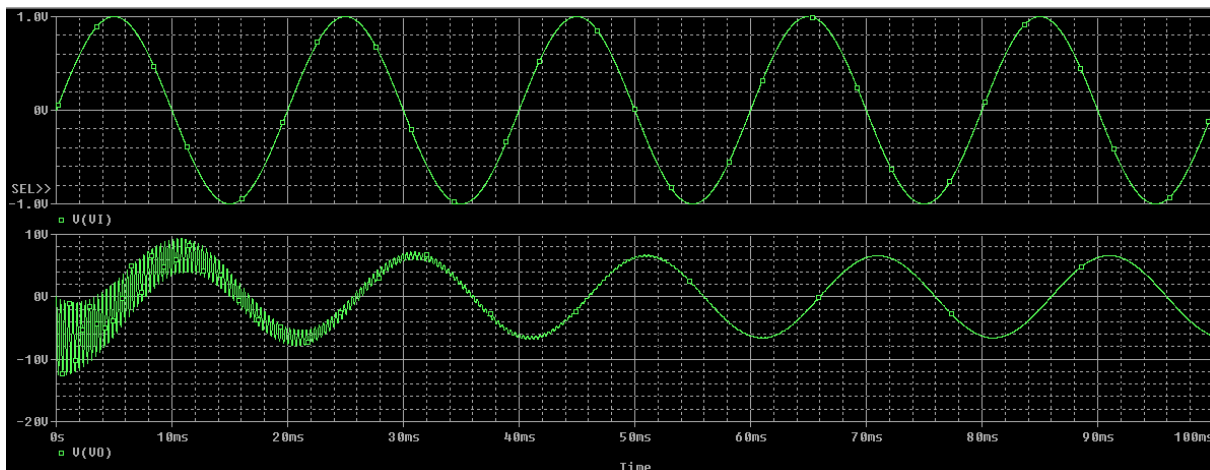


Figura 4.15. Variația temporală a tensiunii de intrare (graficul de sus), respectiv a tensiunii de ieșire (graficul de jos) a circuitului electronic fundamental din figura 4.14.

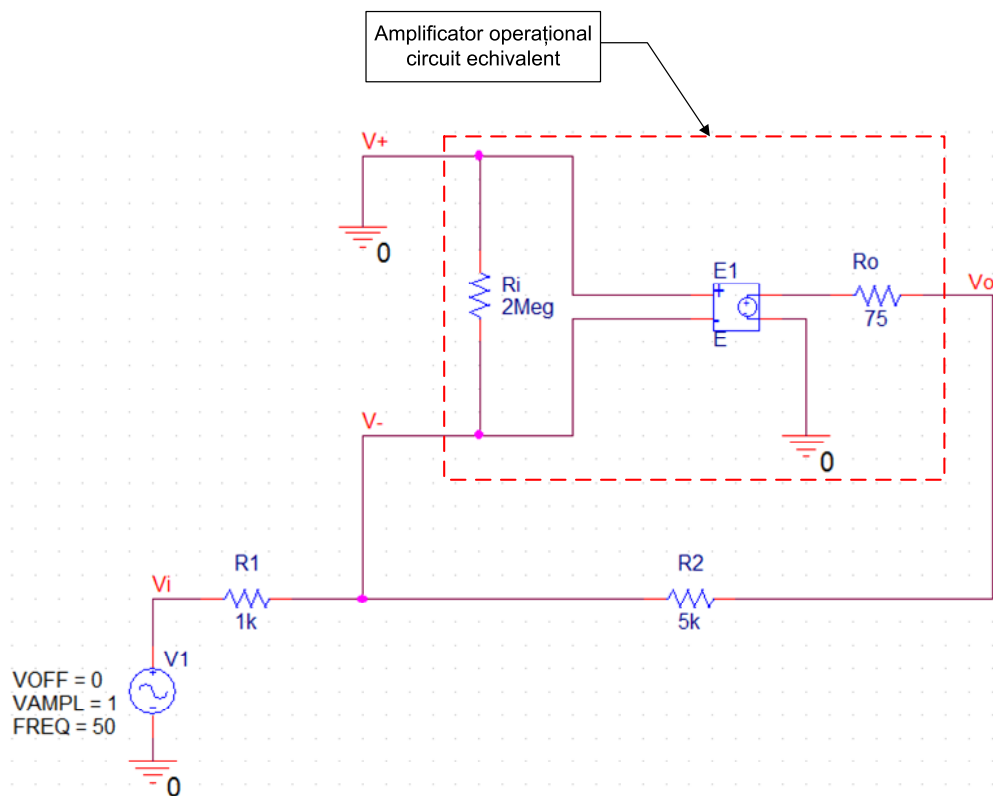


Figura 4.16. Circuitul din figura 4.1 modelat.

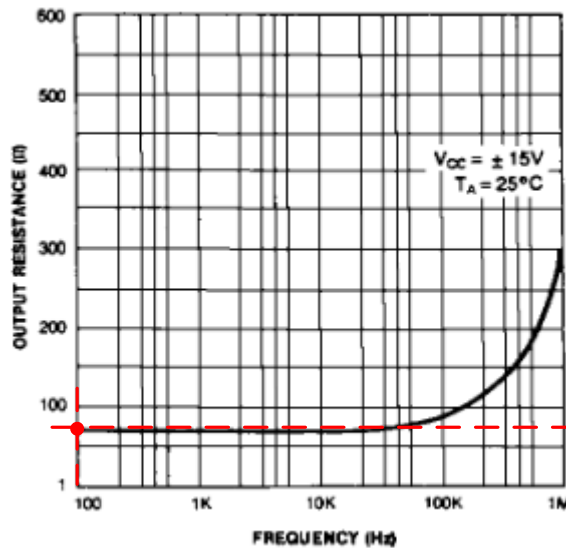


Figura 4.17. Rezistența de ieșire, R_o , a amplificatorului operațional LM741.

Caracteristica este preluată din

<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/LM741.pdf>

În figura 4.18 este evidențiată variația tensiunii de intrare, respectiv variația tensiunii de ieșire pentru circuitul cu amplificator operațional modelat evidențiat în figura 4.16. Să se compare aceste rezultate cu rezultatele obținute în subcapitolul 4.4.1.

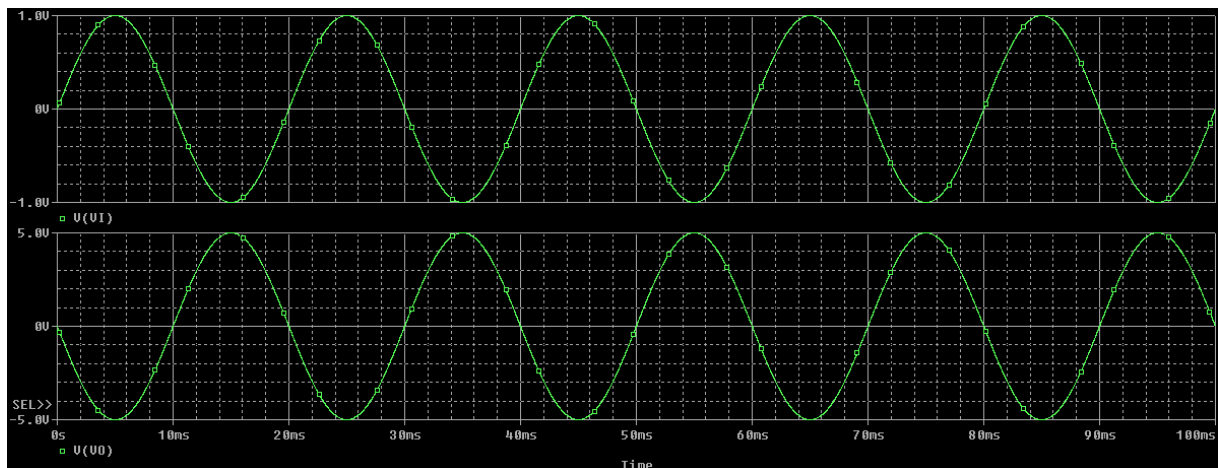


Figura 4.18. Variația temporală a tensiunii de intrare (graficul de sus), respectiv a tensiunii de ieșire (graficul de jos) a circuitului electronic fundamental din figura 4.16.

Lucrarea 5

Analiza temporală tranzitorie – A doua parte

5.1 Obiective operaționale

Obiectivul principal al acestei lucrări reprezintă însușirea modului în care sunt utilizate dioda Zener, tranzistorul bipolar și amplificatorul operațional în circuite de stabilizare a tensiunilor obținute de la ieșirea redresoarelor. Studentul va putea studia comportamentul acestor circuite din punctul de vedere al analizei statice, se va găsi punctul static de funcționare și din punctul de vedere al analizei temporale tranzitorii, se va găsi variația în timp a tensiunii de ieșire de ieșire.

Studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, trei circuite electronice fundamentale, numite stabilizatoare, ce au în componență dioda Zener, tranzistorul bipolar sau amplificatorul operațional. Aceste circuite vor putea fi simulate și modelate. Se vor utiliza modelele la semnal mare și semnal mic pentru dioda Zener, tranzistorul bipolar și amplificatorul operațional. Cele trei circuite utilizează componente reale de circuit, astfel încât studentul va putea simula comportamentul unor circuite electronice fundamentale reale.

5.2 Instrumente necesare

Pentru efectuarea acestei lucrări sunt necesare programele din pachetul Orcad, ce poartă numele de Capture și PSpice.

5.3 Noțiuni teoretice

Aceste referințe bibliografice [1] – [7] sunt necesare însușirii noțiunilor teoretice despre analiza temporală tranzitorie, modul în care se utilizează dioda Zener, tranzistorul bipolar și amplificatorul operațional în circuite de stabilizare.

5.4 Desfășurarea lucrării

5.4.1 Stabilizator parametric cu diodă Zener

În figura 5.1 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu diodă Zener, ce poartă numele de stabilizator parametric. Pentru acest circuit se va găsi punctul static de funcționare, modelul echivalent la semnal mic și comportamentul temporal tranzitoriu.

După cum se observă în figura de mai jos acest circuit primește tensiune de la o sursă compusă (V_i) alcătuită dintr-o sursă de tensiune continuă (V_1) de 8 V și o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) de amplitudine 100 mV și frecvență 50 Hz. Circuitul din figura 5.1 mai conține o diodă Zener D1N5231 (D_1) de tensiune nominală 5.1V și două rezistoare (R_1 , R_L) de 430 Ω , respectiv 1k Ω . Trebuie observat că anodul diodei Zener este conectat la potențialul comun, iar catodul este conectat la potențialul pozitiv, astfel acest dispozitiv va funcționa în zona de avalanșă.

Tensiunea de intrare este asigurată de sursele de tensiune V_1 și V_2 , iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o .

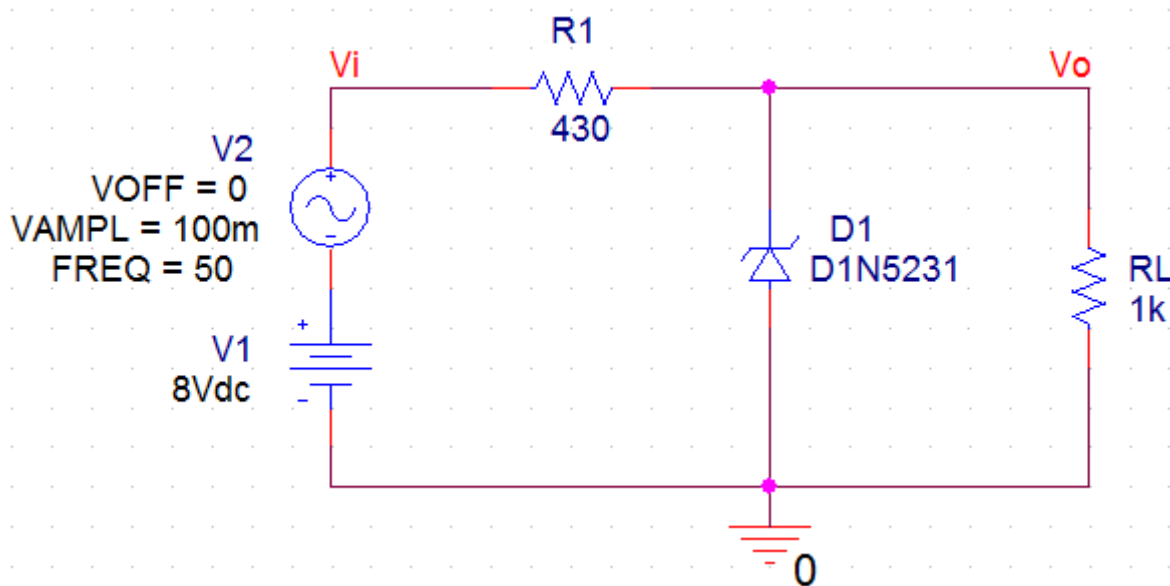


Figura 5.1. Circuit electronic fundamental cu diodă Zener.

Tensiunea de intrare a sursei compuse poate fi obținută de la ieșirea unui circuit electronic fundamental cu diodă sau diode semiconductoare, ce poartă numele de redresor. În figurile 5.2 și 5.3 sunt evidențiate două circuite clasice de redresare. Primul circuit poartă numele de redresor monofazat monoalternanță cu filtru capacitiv, iar cel de al doilea circuit se

numește redresor monofazat dublă alternanță cu filtru capacitiv. Tensiunea de intrare în redresor este obținută de la o sursă de tensiune alternativă de amplitudine $220 V_{\text{rms}}$ și frecvență 50 Hz. Tensiunea de ieșire din redresor are o componentă continuă de o anumită valoare și o componentă alternativă de amplitudine mult mai mică și frecvență de 50 Hz. Circuit din figura 5.1 are rolul de a stabili tensiunea redresată, adică de a oferi unui consumator (RL) o tensiune cu o componentă continuă de o anumită valoare și practic o componentă alternativă de amplitudine proximativ egală cu zero.

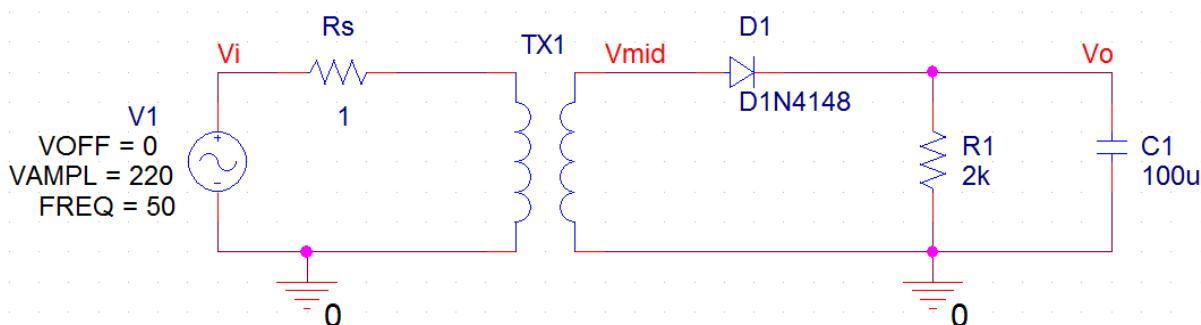


Figura 5.2. Redresor monofazat monoalternanță cu filtru capacitiv.

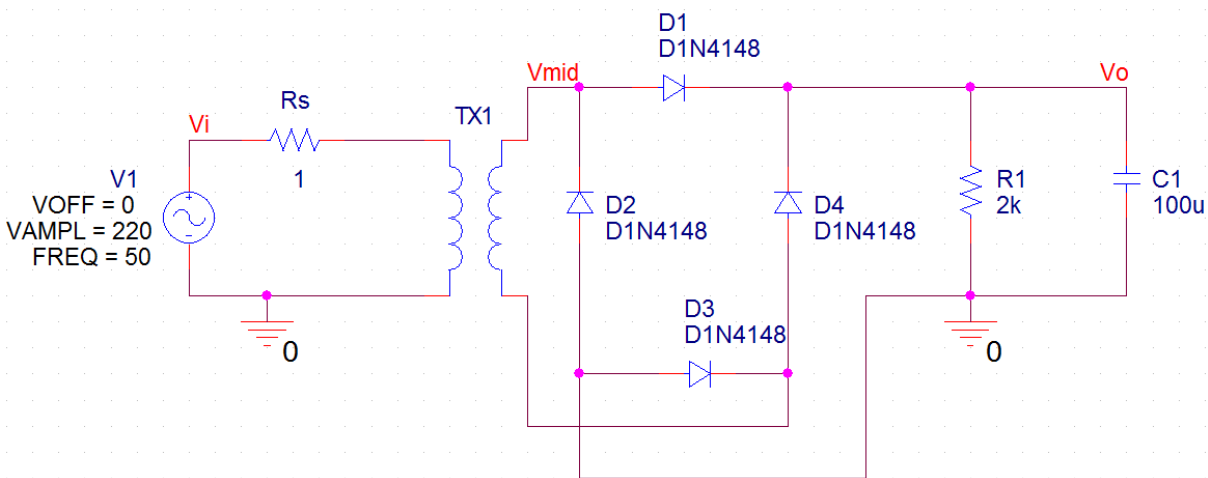


Figura 5.3. Redresor monofazat dublă alternanță cu filtru capacitiv.

5.4.1.1 Simularea circuitului cu diodă Zener

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 5.1. După cum se observă va fi utilizată dioda Zener D1N5231, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 5.1 se va estima punctul static de funcționare, așa cum este evidențiat în lucrarea 1 și se va determina curentul prin dioda Zener și tensiunea la bornele ei, și curentul prin rezistorul de ieșire (RL) și tensiunea la bornele lui. Acest circuit ar putea fi folosit pentru a alimenta circuite digitale clasice ce folosesc ca valoare logică 1 o tensiune mai mare ca 4.5 V.

După determinarea punctului static de funcționare, se va estima comportamentul temporal tranzistoriu, așa cum este evidențiat în lucrarea 4. Se va vizualiza tensiunea compusă a sursei de intrare și variația temporală a tensiunii stabilizate de la ieșirea circuitului din figura 5.1. Acest comportament este evidențiat în figura 5.4.

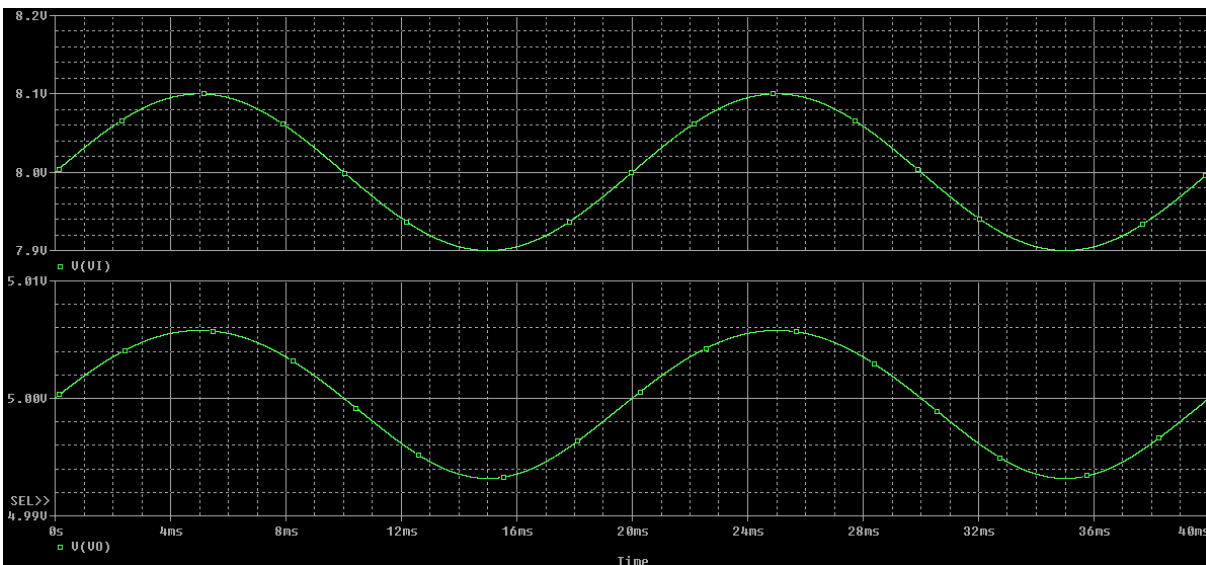


Figura 5.4. Variația tensiunii de intrare (graficul de sus) și variația tensiunii de ieșire (graficul de jos) pentru circuitul din figura 5.1.

5.4.1.2 Modelarea circuitului cu diodă Zener

În figura 5.5 este evidențiat circuitul echivalent la semnal mare obținut cu ajutorul circuitului din figura 5.1. După cum se observă modelul echivalent la semnal mare al diodei Zener este alcătuit dintr-un rezistor R_z de valoare foarte mică și o sursă de tensiune continuă V_{zo} .

Valoarea rezistorului echivalent R_z se poate alege din catalogul diodei Zener 1N5231B. Această valoare este reprezentată în figura 5.6 de variabila Z_z . De asemenea în aceeași figură sunt reprezentate tensiunea nominală de testare, V_z , care este egală cu 5.1 V, curentul nominal de testare, I_z , care este egal cu 20 mA, și curentul de prag, I_{zk} , care este egal cu 0.25 mA. Valoarea sursei de tensiune continuă V_{zo} se va calcula cu ajutorul următoarei

formule, $V_{zo} = V_Z - I_Z R_Z$. Această valoare este 4.76 V. În figura 5.5 se mai poate observa că sursa de tensiune alternativă V2 a fost scurtcircuitată.

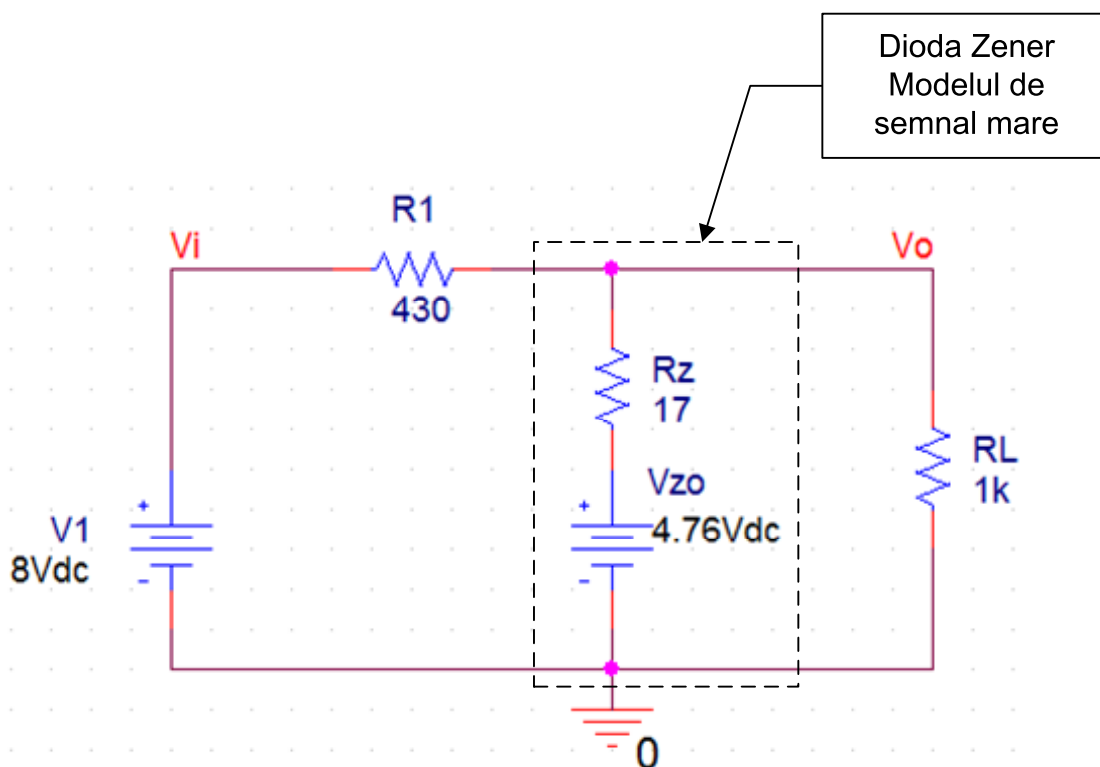


Figure 5.5. Circuitul din figura 5.1 liniarizat cu ajutorul modelului de semnal mare al diodei Zener 1N5231B.

Device	V_Z (V) @ I_Z			Z_Z (Ω) @ I_Z (mA)		Z_{ZK} (Ω) @ I_{ZK} (mA)		I_R (μ A) @ V_R (V)		T_C (%/°C)
	Min.	Typ.	Max.							
1N5231B	4.845	5.1	5.355	17	20	1,600	0.25	5.0	2.0	+/-0.03

Figure 5.6. Valorile rezistorului echivalent, R_z , a tensiunii nominale de testare, V_z , a curentului nominal de testare, I_z , și a curentului de prag, I_{zk} pentru dioda Zener 1N5231B.

Caracteristica este preluată din
<http://www.fairchildsemi.com/ds/1N/1N5221B.pdf>

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 5.5. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima punctul static de funcționare, respectând pașii evidențiați în lucrarea 1. După efectuarea simulării, să se compare valoarea continuă a tensiunii de ieșire obținută pentru circuitul din figura 5.5 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 5.1. Valorile sunt asemănătoare?

În figura 5.7 este evidențiat circuitul echivalent la semnal mic obținut cu ajutorul circuitului din figura 5.1. După cum se observă modelul echivalent la semnal mic al diodei Zener este alcătuit dintr-un rezistor r_z de valoare foarte mică, egală cu valoarea rezistorului echivalent al modelului de semnal mare. Valoarea rezistorului echivalent r_z este reprezentată în figura 5.6 de variabila Z_z . În figura 5.7 se mai poate observa că sursa de tensiune continuă V_1 a fost scurtcircuitată.

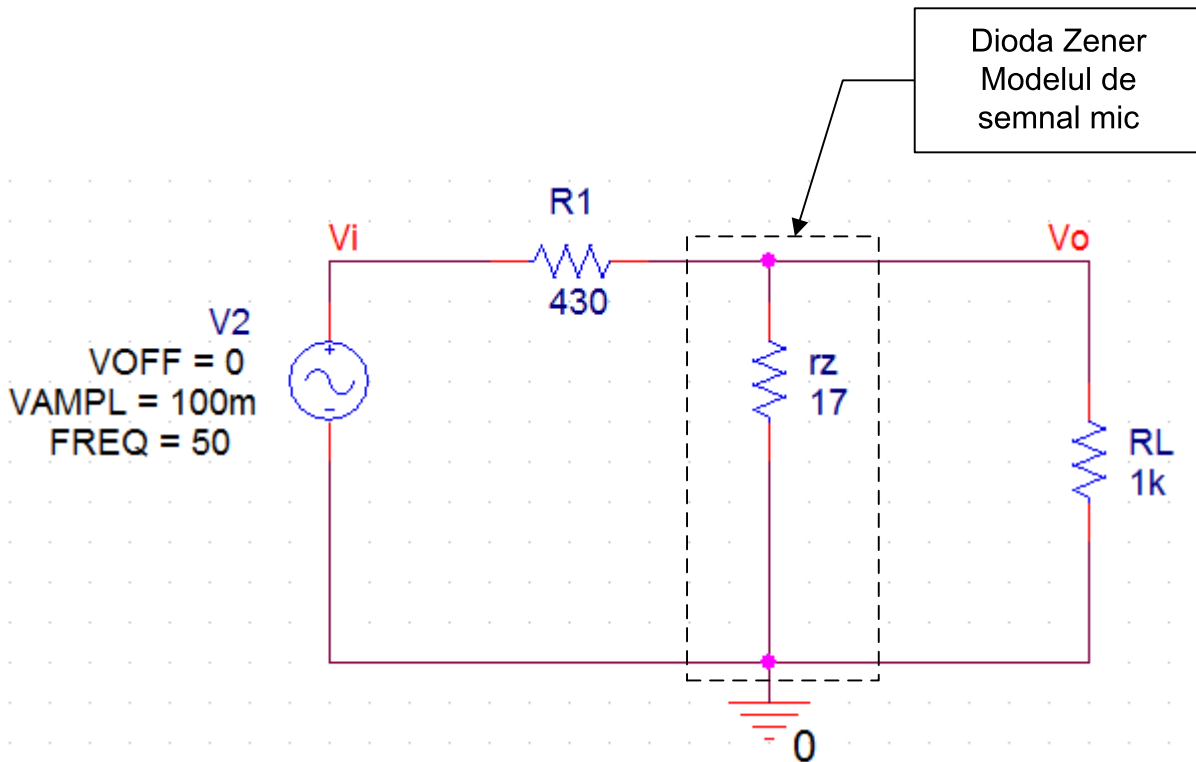


Figure 5.7. Circuitul din figura 5.1 liniarizat cu ajutorul modelului de semnal mic al diodei Zener 1N5231B.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 5.7. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima comportamentul temporal tranzistoriu, respectând pașii evidențiați în lucrarea 4. După efectuarea simulării, să se compare variația tensiunii de ieșire obținută pentru circuitul din figura 5.7 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 5.1. Valorile sunt asemănătoare?

5.4.2 Stabilizator parametric cu dioda Zener și tranzistor bipolar

În figura 5.8 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu diodă Zener și tranzistor bipolar, ce poartă numele de stabilizator parametric. Pentru acest circuit se va găsi

punctul static de funcționare, modelul echivalent la semnal mic și comportamentul temporal tranzitoriu.

După cum se observă în figura 5.8 acest circuit primește tensiune de la o sursă compusă (V_i) alcătuită dintr-o sursă de tensiune continuă (V_1) de 8 V și o sursă de tensiune alternativă (sinusoidală) de amplitudine 100 mV și frecvență 50 Hz. Circuitul mai conține o diodă Zener D1N5233 (D_1) de tensiune nominală 6 V, un tranzistor bipolar NPN Q2N3904 și două rezistoare (R_1 , R_L) de 11 k Ω , respectiv 1k Ω . Trebuie observat că anodul diodei Zener este conectat la potențialul comun, iar catodul este conectat la potențialul pozitiv, astfel acest dispozitiv va funcționa în zona de avalanșă. Tranzistorul bipolar funcționează în regim activ normal.

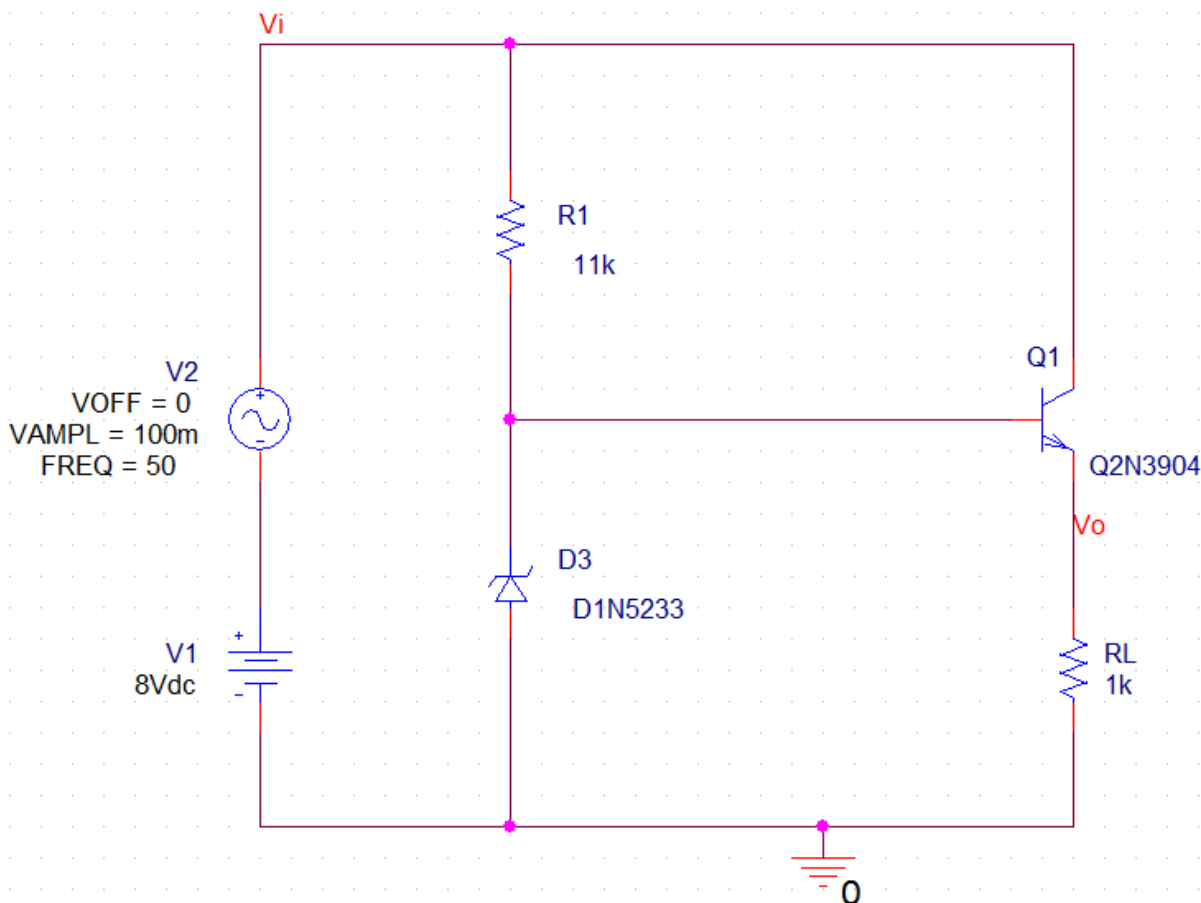


Figura 5.8. Circuit electronic fundamental cu diodă Zener și tranzistor bipolar.

Tensiunea de intrare este asigurată de sursele de tensiune V_1 și V_2 , iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului V_o .

5.4.2.1 Simularea circuitului cu diodă Zener și tranzistor bipolar

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 5.8. După cum se observă va fi utilizată dioda Zener D1N5233, ale cărei caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente.

Pentru circuitul din figura 5.8 se va estima punctul static de funcționare, așa cum este evidențiat în lucrarea 1 și se va determina curentul prin dioda Zener și tensiunea la bornele ei, și curentul prin rezistorul de ieșire (RL) și tensiunea la bornele lui. Acest circuit ar putea fi folosit pentru a alimenta circuite digitale clasice ce folosesc ca valoare logică 1 o tensiune mai mare ca 4.5 V.

După determinarea punctului static de funcționare, se va estima comportamentul temporal tranzistoriu, așa cum este evidențiat în lucrarea 4. Se va vizualiza tensiunea compusă a sursei de intrare și variația temporală a tensiunii stabilizate de la ieșirea circuitului din figura 5.8. Acest comportament este evidențiat în figura 5.9.

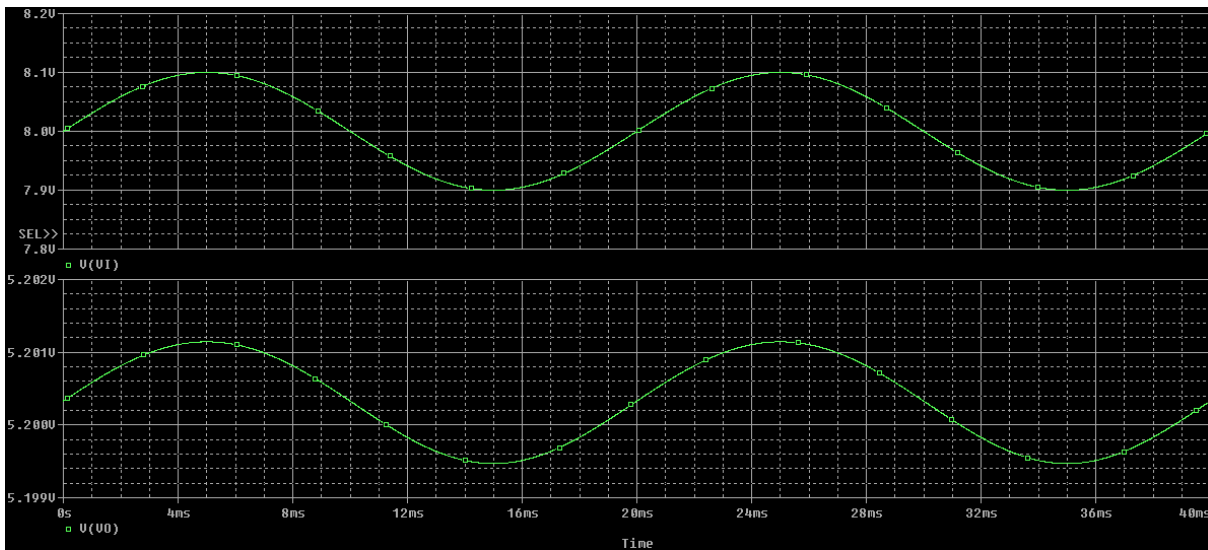


Figura 5.9. Variația tensiunii de intrare (graficul de sus) și variația tensiunii de ieșire (graficul de jos) pentru circuitul din figura 5.8.

5.4.2.2 Modelarea circuitului cu diodă Zener și tranzistor bipolar

În figura 5.10 este evidențiat circuitul echivalent la semnal mare obținut cu ajutorul circuitului din figura 5.8. După cum se observă modelul echivalent la semnal mare al diodei Zener este alcătuit dintr-un rezistor R_z de valoare foarte mică și o sursă de tensiune continuă V_{zo} . Se mai poate observa că tranzistorul bipolar a fost modelat între bază și emitor cu o

sursă de tensiune continuă de 0.7 V, iar între colector și emitor cu o sursă de curent comandată în curent cu amplificarea în curent egală cu 155 mA/mA.

Valoarea rezistorului echivalent R_z se poate alege din catalogul diodei Zener 1N5233B. Această valoare este reprezentată în figura 5.11 de variabila Z_z . De asemenea în aceeași figură sunt reprezentate tensiunea nominală de testare, V_z , care este egală cu 6 V, curentul nominal de testare, I_z , care este egal cu 20 mA, și curentul de prag, I_{zk} , care este egal cu 0.25 mA. Valoarea sursei de tensiune continuă V_{zo} se va calcula cu ajutorul următoarei formule, $V_{zo} = V_z - I_z R_z$. Această valoare este 5.86 V. În figura 5.10 se mai poate observa că sursa de tensiune alternativă V_2 a fost scurtcircuitată.

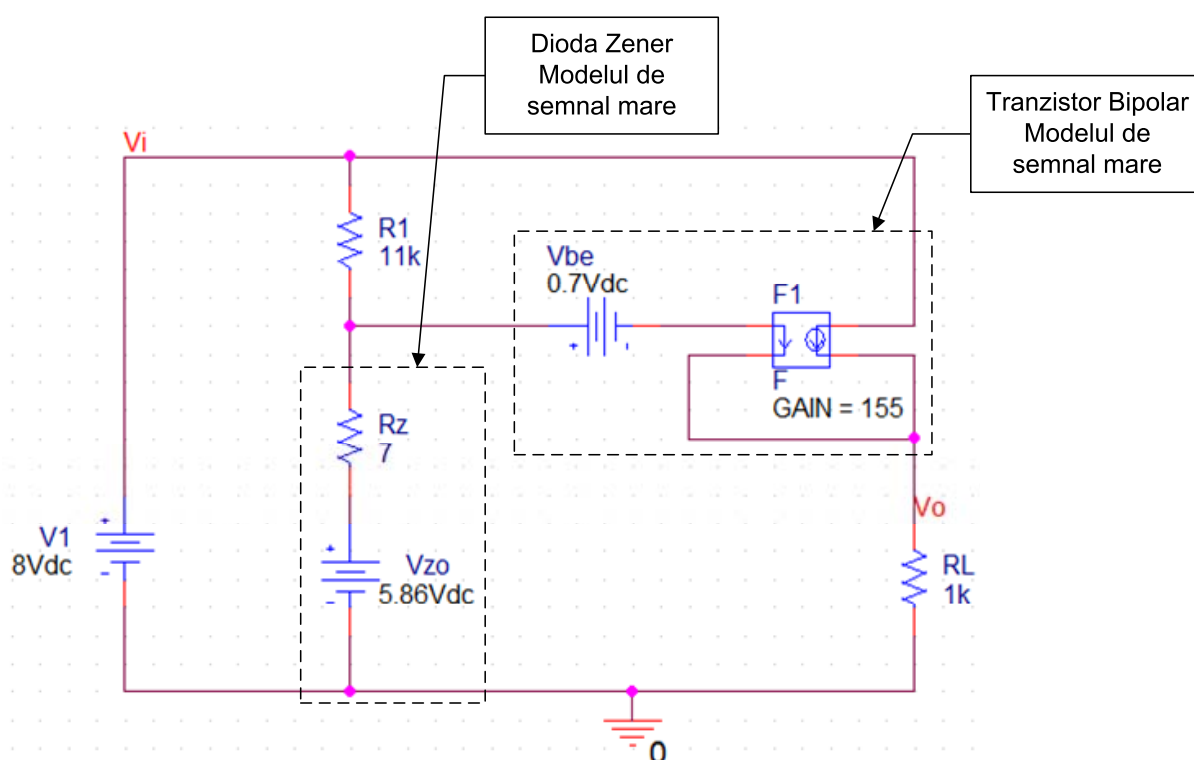


Figure 5.10. Circuitul din figura 5.8 liniarizat cu ajutorul modelului de semnal mare al diodei Zener 1N5233B și al tranzistorului bipolar 2N3904.

Device	V_z (V) @ I_z ⁽²⁾			Z_z (Ω) @ I_z (mA)	Z_{zk} (Ω) @ I_{zk} (mA)	I_R (μ A) @ V_R (V)	T_c (%/°C)			
	Min.	Typ.	Max.							
1N5233B	5.7	6	6.3	7.0	20	1,600	0.25	5.0	3.5	0.038

Figure 5.11. Valorile rezistorului echivalent, R_z , a tensiunii nomilale de testare, V_z , a curentului nominal de testare, I_z , și a curentului de prag, I_{zk} pentru dioda Zener 1N5233B.

Caracteristica este preluată din
<http://www.fairchildsemi.com/ds/1N/1N5221B.pdf>

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 5.10. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima punctul static de funcționare, respectând pașii evidențiați în lucrarea 1.

După efectuarea simulării, să se compare valoarea continuă a tensiunii de ieșire obținută pentru circuitul din figura 5.10 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 5.8. Valorile sunt asemănătoare?

În figura 5.12 este evidențiat circuitul echivalent la semnal mic obținut cu ajutorul circuitului din figura 5.8. După cum se observă modelul echivalent la semnal mic al diodei Zener este alcătuit dintr-un rezistor r_z de valoare foarte mică, egală cu valoarea rezistorului echivalent al modelului de semnal mare. De asemenea modelul de semnal mic al tranzistorului bipolar este alcătuit dintr-un rezistor incremental, r_{pi} , între bază și emitor și o sursă incrementală de curent comandată în curent între colector și emitor.

Valoarea rezistorului echivalent r_z este reprezentată în figura 5.11 de variabila Z_z . În figura 5.12 se mai poate observa că sursa de tensiune continuă V_1 a fost scurtcircuitată.

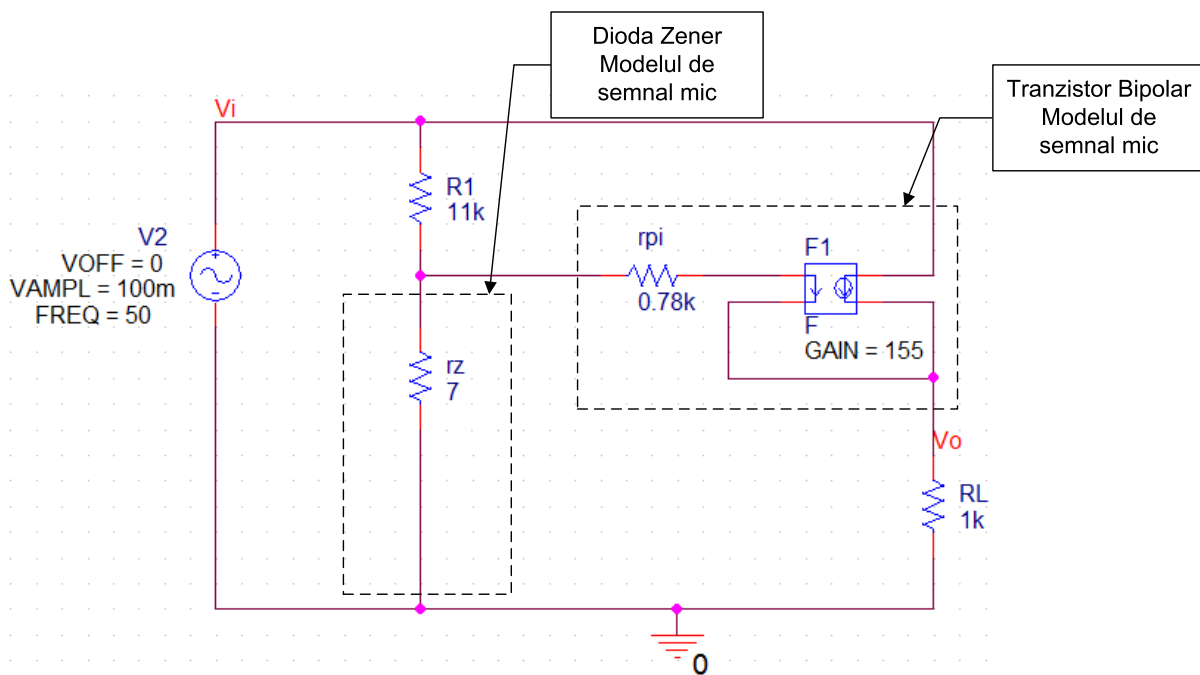


Figure 5.12. Circuitul din figura 5.8 liniarizat cu ajutorul modelului de semnal mic al diodei Zener 1N5233B și al tranzistorului bipolar 2N3904.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 5.12. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima comportamentul temporal

tranzistoriu, respectând pașii evidențiați în lucrarea 4. După efectuarea simulării, să se compare variația tensiunii de ieșire obținută pentru circuitul din figura 5.12 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 5.8. Valorile sunt asemănătoare?

5.4.3 Stabilizator cu reacție cu amplificator operațional

În figura 5.13 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu diodă Zener, tranzistor bipolar și amplificator operațional, ce poartă numele de stabilizator cu reacție. Pentru acest circuit se va găsi punctul static de funcționare, modelul echivalent la semnal mic și comportamentul temporal tranzistoriu.

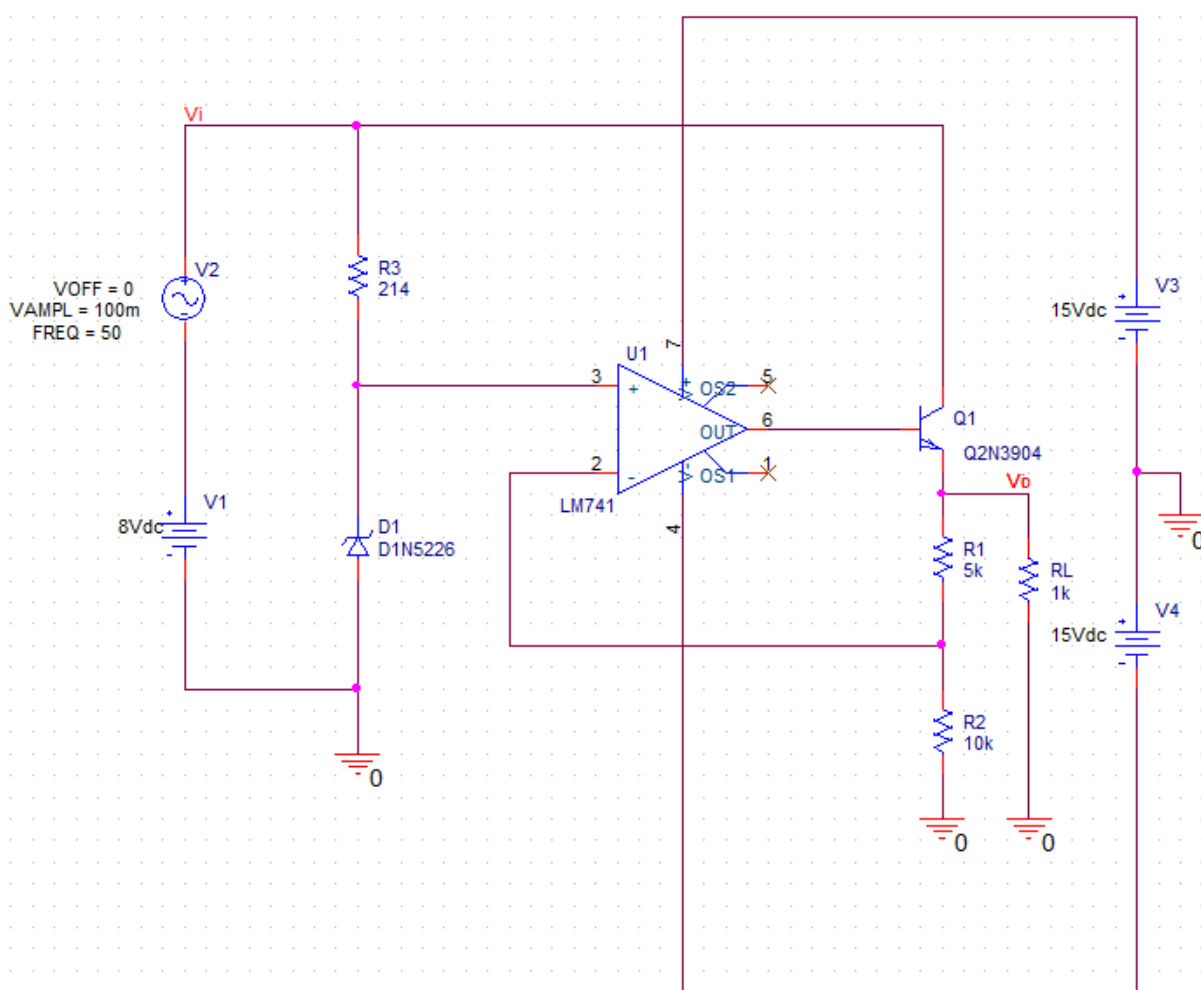


Figura 5.13. Circuit electronic fundamental cu diodă Zener, tranzistor bipolar și amplificator operațional.

După cum se observă în figura 5.13 acest circuit primește tensiune de la o sursă compusă (V_i) alcătuită dintr-o sursă de tensiune continuă (V_1) de 8 V și o sursă de tensiune

alternativă (sinusoidală) de amplitudine 100 mV și frecvență 50 Hz. Circuitul mai conține o diodă Zener D1N5226 (D1) de tensiune nominală 3.3 V, un tranzistor bipolar NPN Q2N3904, un amplificator operațional LM741 și patru rezistoare (R1, R2, R3 și RL) de 5 kΩ, 10 kΩ, 214, respectiv 1kΩ. Trebuie observat că anodul diodei Zener este conectat la potențialul comun, iar catodul este conectat la potențialul pozitiv, astfel acest dispozitiv va funcționa în zona de avalanșă. Tranzistorul bipolar funcționează în regim activ normal. Amplificatorul operațional funcționează în configurația neinversoare. Tensiunea de intrare este asigurată de sursele de tensiune V1 și V2, iar tensiunea de ieșire poate fi obținută cu ajutorul terminalului Vo.

5.4.3.1 Simularea circuitului cu amplificator operațional

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 5.13. După cum se observă va fi utilizată dioda Zener D1N5226, tranzistorul bipolar 2N3904 și amplificatorul operațional LM741, ale căror caracteristici se pot găsi în cataloagele de componente. Pentru circuitul din figura 5.13 se va estima punctul static de funcționare, așa cum este evidențiat în lucrarea 1, se va determina curentul prin dioda Zener și tensiunea la bornele ei, curentul prin rezistorul de ieșire (RL) și tensiunea la bornele lui. Acest circuit ar putea fi folosit pentru a alimenta circuite digitale clasice ce folosesc ca valoare logică 1 o tensiune mai mare ca 4.5 V.

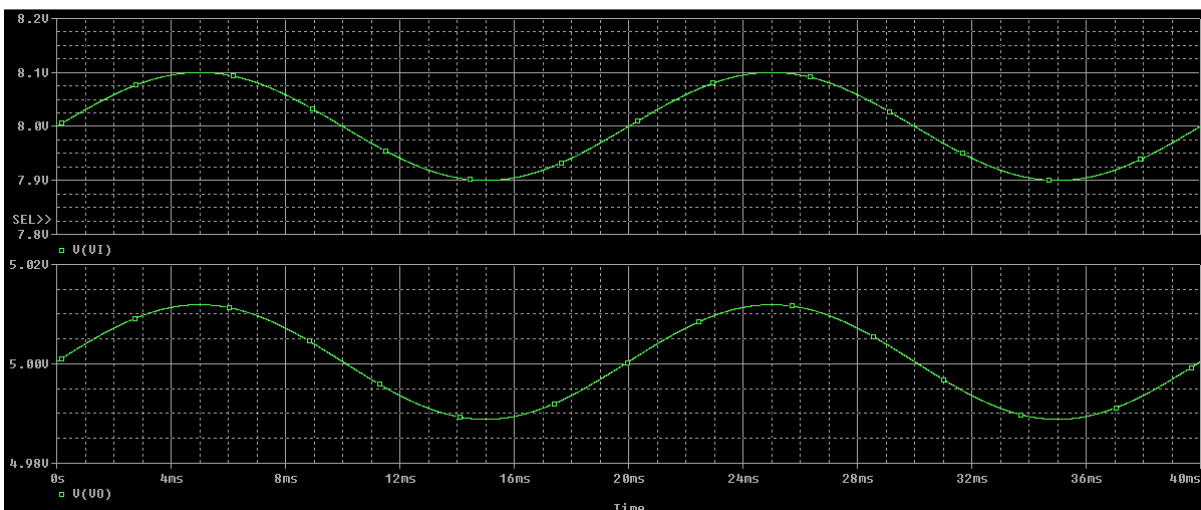


Figura 5.14. Variația tensiunii de intrare (graficul de sus) și variația tensiunii de ieșire (graficul de jos) pentru circuitul din figura 5.13.

După determinarea punctului static de funcționare, se va estima comportamentul temporal tranzistoriu, așa cum este evidențiat în lucrarea 4. Se va vizualiza tensiunea compusă a sursei de intrare și variația temporală a tensiunii stabilizate de la ieșirea circuitului din figura 5.13. Acest comportament este evidențiat în figura 5.14.

5.4.3.2 Modelarea circuitului cu amplificator operațional

În figura 5.15 este evidențiat circuitul echivalent la semnal mare obținut cu ajutorul circuitului din figura 5.13. După cum se observă modelul echivalent la semnal mare al diodei Zener este alcătuit dintr-un rezistor R_z de valoare foarte mică și o sursă de tensiune continuă V_{zo} . Tranzistorul bipolar a fost modelat între bază și emitor cu o sursă de tensiune continuă de 0.71 V, iar între colector și emitor cu o sursă de curent comandată în curent cu amplificarea în curent egală cu 161 mA/mA.

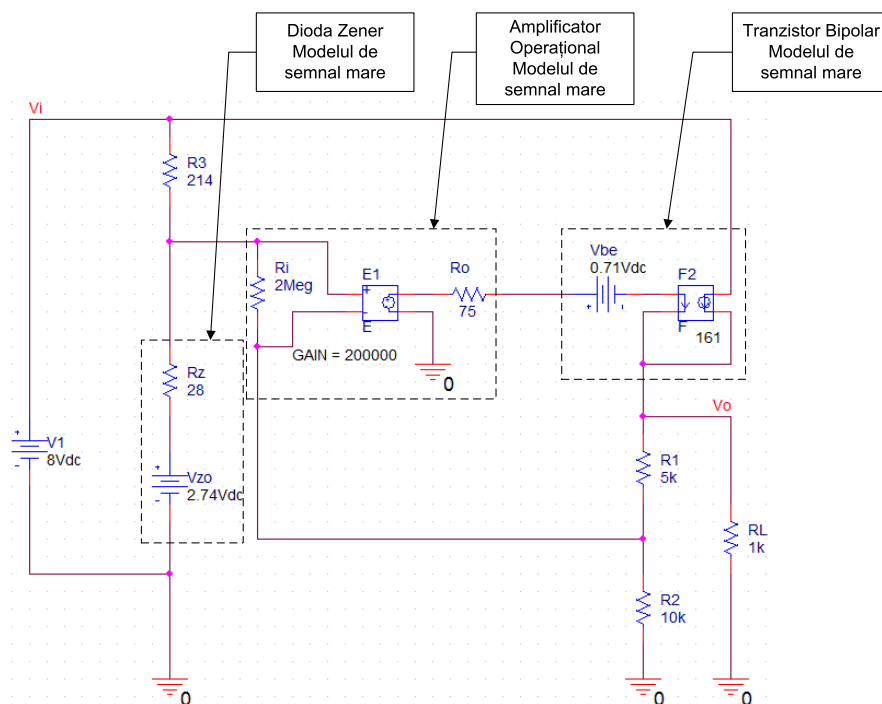


Figure 5.15. Circuitul din figura 5.13 liniarizat cu ajutorul modelului de semnal mare al diodei Zener 1N5226B, al tranzistorului bipolar 2N3904 și al amplificatorului operațional LM741.

Valoarea rezistorului echivalent R_z se poate alege din catalogul diodei Zener 1N5226B. Această valoare este reprezentată în figura 5.16 de variabila Z_z . De asemenea în aceeași figură sunt reprezentate tensiunea nominală de testare, V_z , care este egală cu 3.3 V,

Dispozitive electronice. Îndrumar de laborator

curentul nominal de testare, I_z , care este egal cu 20 mA, și curentul de prag, I_{zk} , care este egal cu 0.25 mA. Valoarea sursei de tensiune continuă V_{zo} se va calcula cu ajutorul următoarelor formule, $V_{zo} = V_z - I_z R_z$. Această valoare este 2.74 V. În figura 5.15 se mai poate observa că sursa de tensiune alternativă V_2 a fost scurtcircuitată.

Device	V_z (V) @ I_z (2)			Z_z (Ω) @ I_z (mA)		Z_{zk} (Ω) @ I_{zk} (mA)		I_R (μ A) @ V_R (V)		T_c (%/°C)
	Min.	Typ.	Max.							
1N5233B	5.7	6	6.3	7.0	20	1.600	0.25	5.0	3.5	0.038

Figure 5.16. Valorile rezistorului echivalent, R_z , a tensiunii nominale de testare, V_z , a curentului nominal de testare, I_z , și a curentului de prag, I_{zk} pentru dioda Zener 1N5226B.

Caracteristica este preluată din
<http://www.fairchildsemi.com/ds/1N/1N5221B.pdf>

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 5.15. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima punctul static de funcționare, respectând pașii evidențiați în lucrarea 1. După efectuarea simulării, să se compare valoarea continuă a tensiunii de ieșire obținută pentru circuitul din figura 5.15 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 5.13. Valorile sunt asemănătoare?

În figura 5.17 este evidențiat circuitul echivalent la semnal mic obținut cu ajutorul circuitului din figura 5.13.

După cum se observă în figura 5.17 modelul echivalent la semnal mic al diodei Zener este alcătuit dintr-un rezistor r_z de valoare foarte mică, egală cu valoarea rezistorului echivalent al modelului de semnal mare. Modelul de semnal mic al tranzistorului bipolar este alcătuit dintr-un rezistor incremental, r_{pi} , între bază și emitor și o sursă incrementală de curent comandată în curent între colector și emitor. De asemenea modelul de semnal mic al amplificatorului operațional este același cu cel de semnal mare.

Valoarea rezistorului echivalent r_z este reprezentată în figura 5.16 de variabila Z_z . În figura 5.17 se mai poate observa că sursa de tensiune continuă V_1 a fost scurtcircuitată.

Să se creeze, cu ajutorul Orcad Capture, circuitul din figura 5.17. De asemenea să se simuleze același circuit, cu ajutorul Orcad PSpice, pentru a estima comportamentul temporal tranzistoriu, respectând pașii evidențiați în lucrarea 4.

După efectuarea simulării, să se compare variația tensiunii de ieșire obținută pentru circuitul din figura 5.17 cu cea obținută în subcapitolul anterior pentru circuitul din figura 5.13. Valorile sunt asemănătoare?

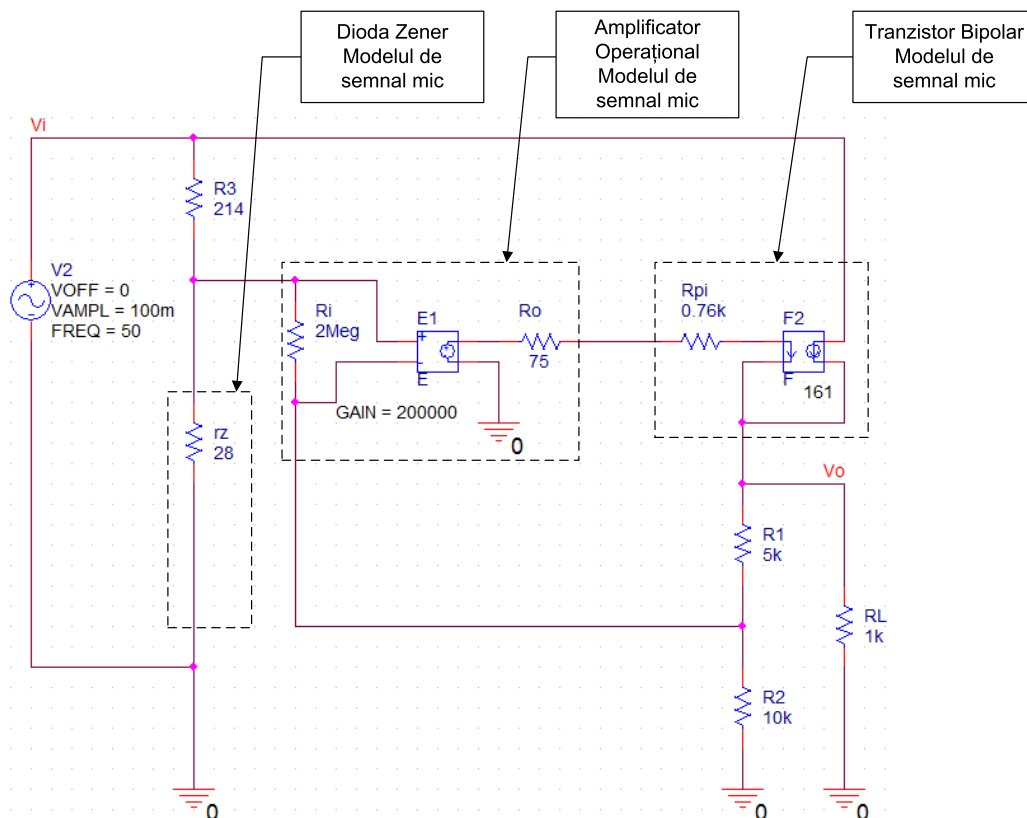


Figure 5.17. Circuitul din figura 5.13 liniarizat cu ajutorul modelului de semnal mic al diodei Zener 1N5226B, al tranzistorului bipolar 2N3904 și al amplificatorului operațional LM741.

Lucrarea 6

Analiza parametrică

6.1 Obiective operaționale

Obiectivul principal al acestei lucrări reprezintă însușirea modului în care este utilizat amplificatorul operațional în circuite de filtrare, numite filtre active. Studentul va putea studia comportamentul acestor circuite din punctul de vedere al caracteristicii spectrale și va putea parametriza aceste caracteristici, modificând valoarea unui rezistor sau a unui condensator între anumite limite.

Studentul va putea crea, într-un mediu virtual de proiectare, două circuite electronice fundamentale, numite filtrul trece jos și filtrul trece bandă, ambele fiind în configurația Sallen-Key, ce au în componență amplificatorul operațional. Aceste circuite vor putea fi simulate. Cele trei circuite utilizează componente reale de circuit, astfel încât studentul va putea simula comportamentul unor circuite electronice fundamentale reale.

6.2 Instrumente necesare

Pentru efectuarea acestei lucrări sunt necesare programele din pachetul Orcad, ce poartă numele de Capture și PSpice.

6.3 Noțiuni teoretice

Aceste referințe bibliografice [1] – [7] sunt necesare însușirii noțiunilor teoretice despre caracteristica spectrală parametrică și modul în care se utilizează amplificatorul operațional în circuite de filtrare.

6.4 Desfășurarea lucrării

6.4.1 Filtrul trece jos – Configurația Sallen-Key

În figura 6.1 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele filtru trece jos – configurația Sallen-Key. Pentru acest circuit se va găsi caracteristica spectrală și frecvența de tăiere a filtrului trece jos. De asemenea se va determina modul în care frecvența de tăiere își modifică valoarea, atunci când valoarea unui elemente de circuit este variată, cum ar fi rezistența unui rezistor sau capacitatea unui condensator.

După cum se observă în figura de mai jos acest circuit primește tensiune de la o sursă de tensiune alternativă (V3) de 1 V. Aceasta reprezintă tensiunea de intrare (V_i). Circuitul din figura 6.1 mai conține un amplificator operațional LM741, două rezistoare (R1) și (R2) de 8 k Ω și două condensatoare (C1) și (C2) de 1 nF. Trebuie observat că amplificatorul operațional este alimentat de la o sursă diferențială (V1), (V2) de ± 15 V, iar tensiunea de ieșire se poate obține cu ajutorul terminalului V_o .

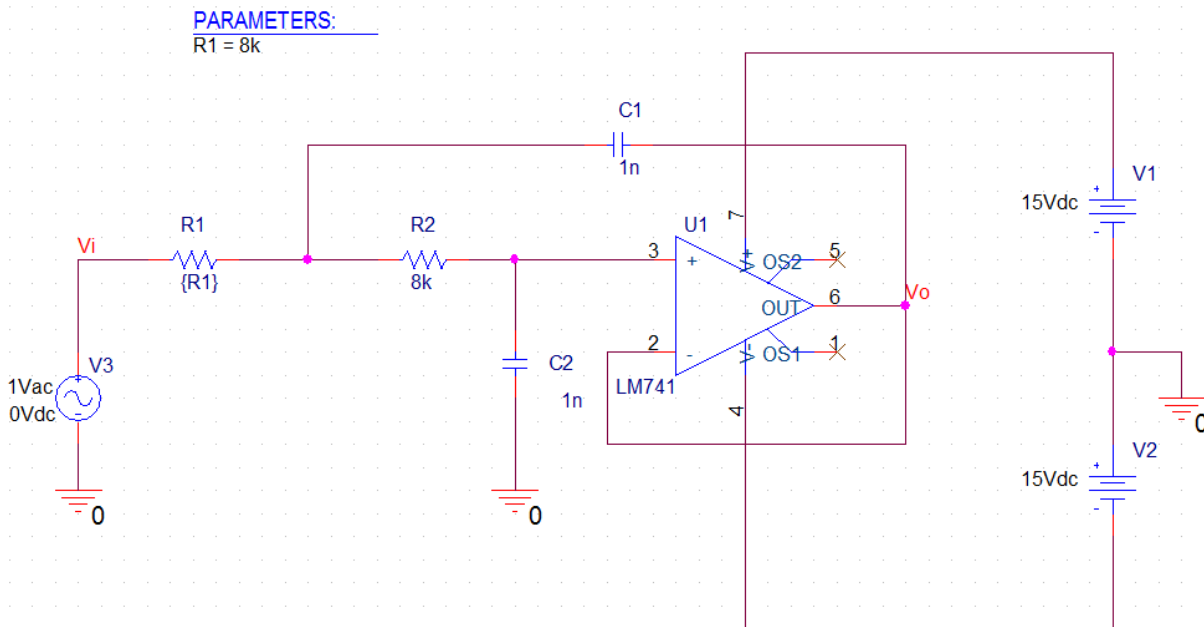


Figura 6.1. Circuit electronic fundamental cu amplificator operațional – filtrul trece jos – configurația Sallen-Key.

În figura 6.1 se mai poate observă că valoarea rezistorului R1 a fost parametrizată, având o valoarea implicită de 8 k Ω . Modul în care se poate parametriza valoarea unei componente de circuit va fi evidențiat în subcapitolul următor.

6.4.1.1 Simularea filtrului trece jos

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 6.1. Același circuit se va simula cu ajutorul Orcad PSpice pentru a estima caracteristica spectrală, respectând pașii evidențiați în lucrarea 3. De asemenea se va efectua o analiză parametrică.

În cadrul unei caracteristici spectrale, pentru a efectua o analiză parametrică, se vor respecta următorii pași:

Pasul 1. Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul din figura 6.1. Elementele de circuit se pot găsi cu ajutorul comenzii Place/Part... . Terminalul comun sau “Ground-ul” se poate selecta cu ajutorul meniului Place Ground (pictograma cu GND), ce se găsește în partea dreaptă a ferestrei de lucru. Se va alege cel care are simbolul terminalului comun și valoarea 0.

Pasul 2. După crearea circuitului din figura 6.1, se va da dublu click pe valoarea componentei R1 și se va tasta {R1}. Acest lucru este evidențiat în figura 6.2. Astfel valoarea rezistenței R1 va fi parametrizată.

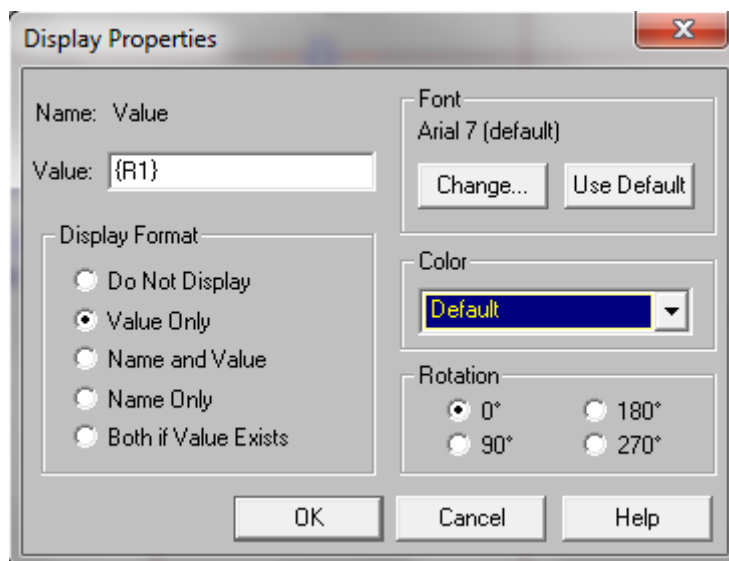


Figura 6.2. Parametrizarea valorii componentei R1.

Pasul 3. După efectuarea unei caracteristici spectrale, respectând pașii evidențiați în lucrarea 3, în fereastra Simulation Settings, din tab-ul Options, se va selecta Parametric Sweep. Apoi de la Sweep Variable se va alege Global Parameter, iar în căsuța Parameter Name se va tasta R1. Apoi de la Sweep Type se va alege Linear, iar în căsuța Start Value se va tasta 6k, în căsuța End Value se va tasta 10k, în căsuța Increment se va tasta 2k. În cazul în care se dorește introducerea unor valori aleatoare, de la Sweep Type se va alege Value List și acolo se vor tasta aceste valori delimitate cu virgulă, spre exemplu 3.3k, 5.1k, 7.6k, 9.4k. Apoi se va alege Apply și apoi OK.

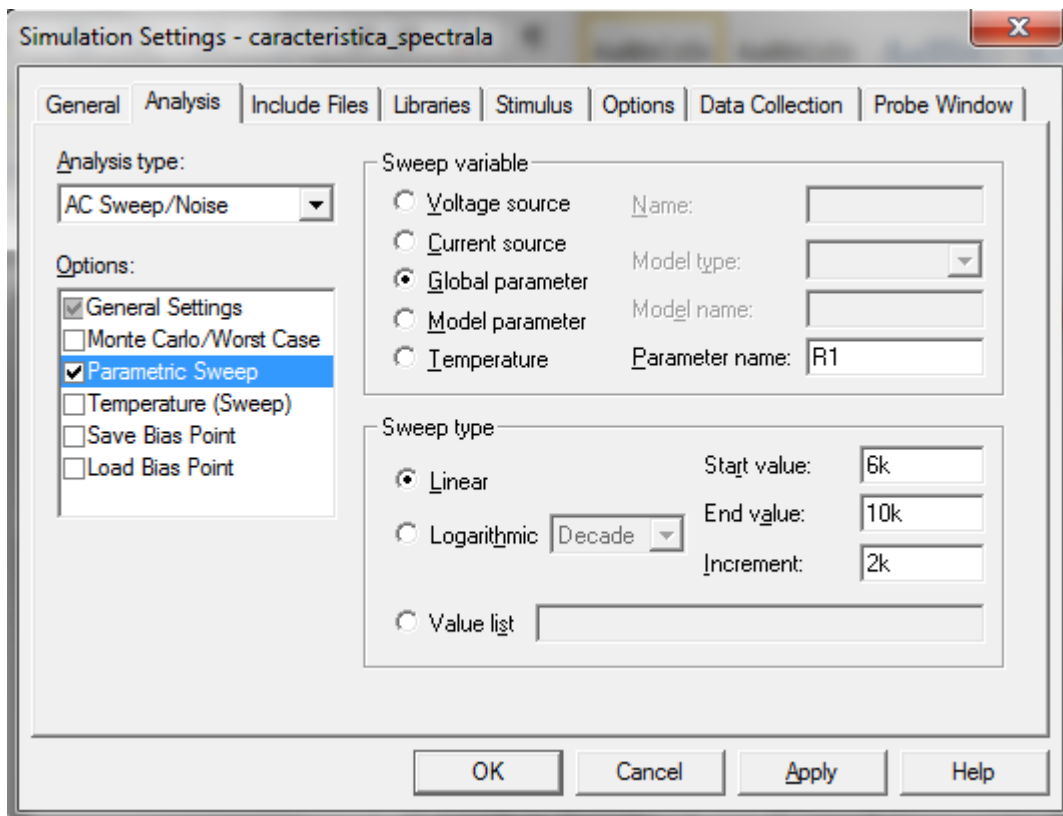


Figura 6.3. Fereastra Simulation Settings, tab-ul Options, analiza Parametric Sweep.

Pasul 4. În continuare se va alege Place/Part... . În fereastra nou apărută, în tab-ul Part:, se va tasta Param și se va da OK. Astfel componenta aleasă se va apleasa lângă circuitul electronic fundamental, ca în figura 6.1.

Pasul 5. Se va da dublu click pe componenta PARAMETERS:. În fereastra nou apărută se va da click pe New Column..., așa cum este evidențiat în figura 6.4. Apoi în fereastara nou apărută, evidențiată în figura 6.5, în tab-ul Name se va tasta R1, în tab-ul Value se va tasta

valoarea implicită a rezistorului R1, adică 8k. Se va alege Apply, apoi Cancel. Apoi se va da click dreapta pe coloana nou creată și se va alege Display... .Acest lucru este evidențiat în figura 6.6. În fereastra nou apărută de la Display Value se va da click pe Name and Value și se va da OK. După efectuarea acestor pași fereastra cu proprietăți a componentei PARAMETERS: se va închide de la butonul reprezentat cu X.

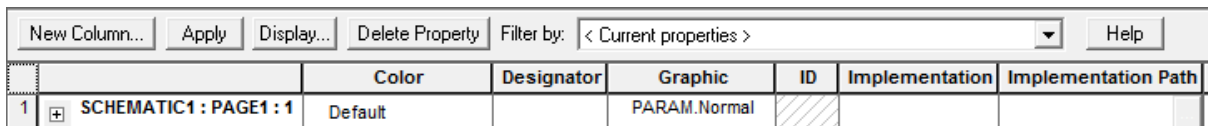


Figura 6.4. Tab-ul New Column...

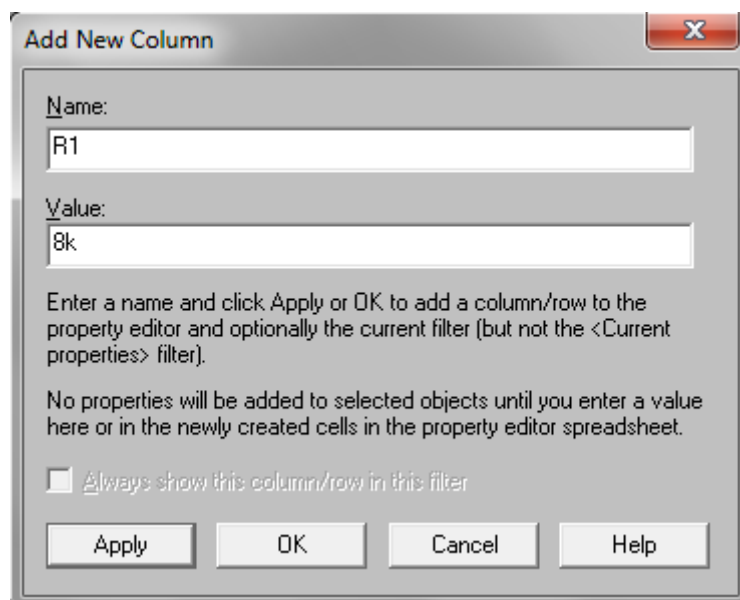


Figura 6.5. Fereastra Add New Column.

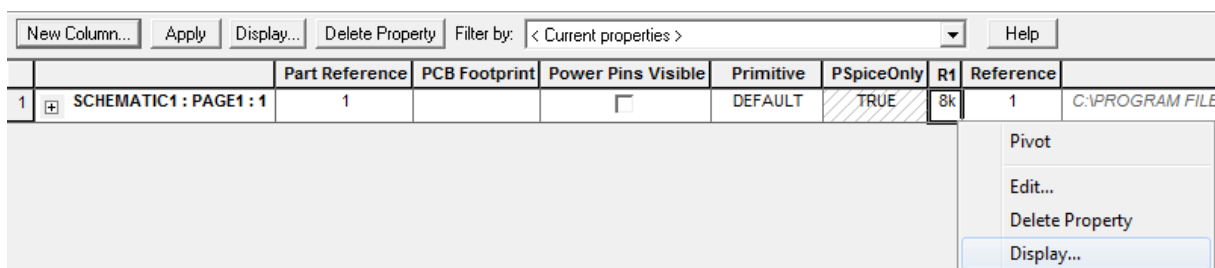


Figura 6.6. Evidențierea valorii rezistorului R1 în fereastra de lucru.

Pasul 6. Se va simula filtrul trece jos. Apoi în fereastra de simulare PSpice se va vizualiza caracteristica spectrală $V(V_o)/V(V_i)$, evidențiată în figura 6.7. Vor apărea trei caracteristici

spectrale pentru cele trei valori ale rezistorului R1 (6 k Ω , 8 k Ω , 10 k Ω). De asemenea în figura 6.7 sunt evidențiate frecvențele de tăiere pentru cele trei caracteristici spectrale.

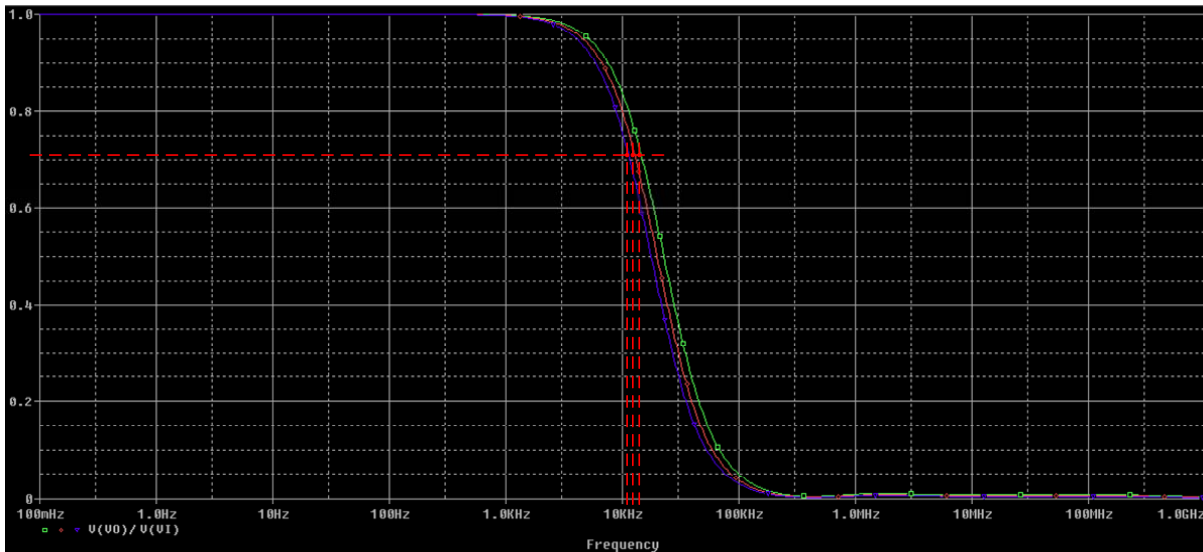


Figura 6.7. Caracteristica spectrală parametrică pentru circuitul din figura 6.1.

Ce se întâmplă cu frecvența de tăiere, atunci când valoarea rezistorului R1 crește? Să se găsească valorile frecvențelor de tăiere.

6.4.2 Filtrul trece bandă – Configurația Sallen-Key

În figura 6.8 este evidențiat un circuit electronic fundamental cu amplificator operațional, ce poartă numele de filtru trece bandă – configurația Sallen-Key. Pentru acest circuit se va găsi caracteristica spectrală și frecvențele de tăiere. De asemenea se va determina modul în care frecvențele de tăiere sau amplificarea în banda de bază își modifică valorile, atunci când valoarea unui elemente de circuit este variată, cum ar fi rezistența unui rezistor sau capacitatea unui condensator.

După cum se observă în figura 6.8 acest circuit primește tensiune de la o sursă de tensiune alternativă (V3) de 1 V. Aceasta reprezintă tensiunea de intrare (Vi). Circuitul din figura 6.8 mai conține un amplificator operațional LM741, cinci rezistoare (R1), (R2), (Rf), (Rb) și (Ra) de 8 k Ω , 8 k Ω , 10 k Ω , 3 k Ω , respectiv 1 k Ω și două condensatoare (C1) și (C2) de 1 nF.

Trebuie observat că amplificatorul operațional este alimentat de la o sursă diferențială (V1), (V2) de ± 15 V, iar tensiunea de ieșire se poate obține cu ajutorul terminalului Vo.

În figura 6.8 se mai poate observa că valoarea rezistorului R_f a fost parametrizată, având o valoarea implicită de $10\text{ k}\Omega$. Valoarea rezistorului R_f va fi variată în intervalul $1\text{ k} - 19\text{ k}$ cu pasul de 9 k . Modul în care se poate parametriza valoarea unei componente de circuit a fost evidențiat în subcapitolul 6.4.1.1.

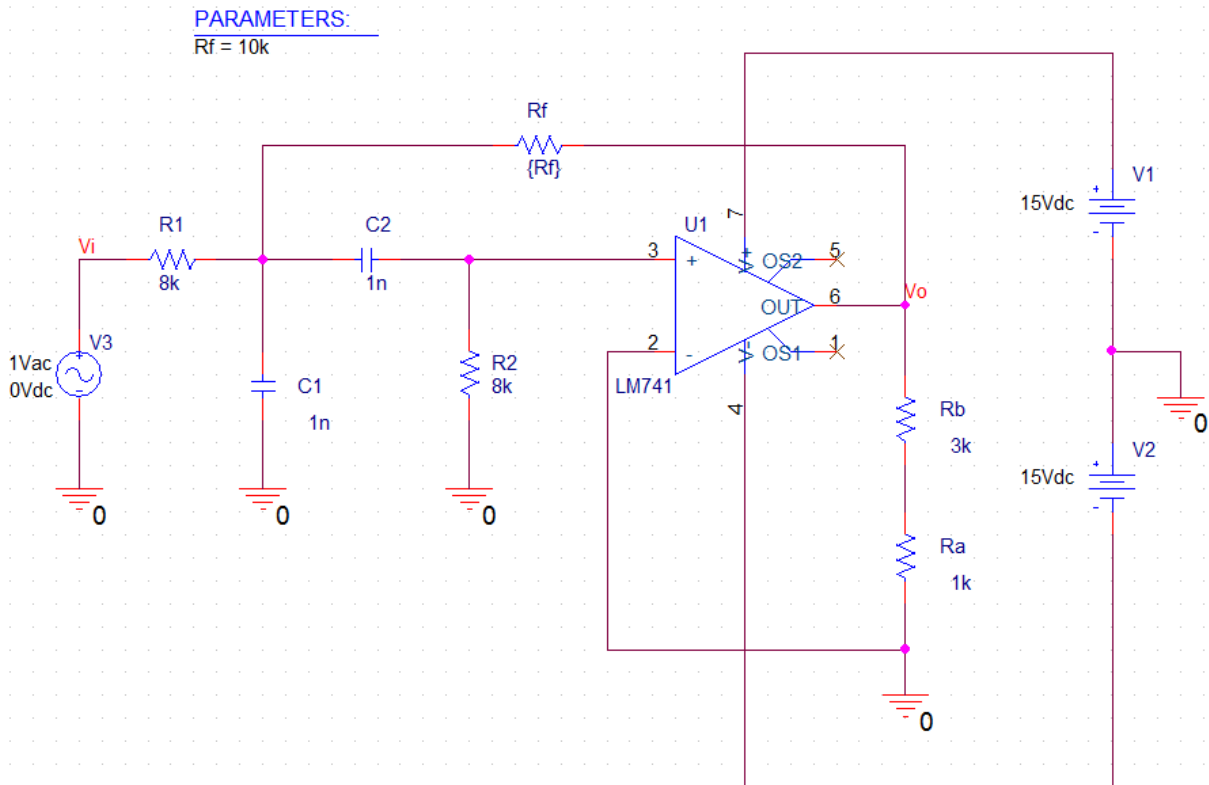


Figura 6.8. Circuit electronic fundamental cu amplificator operațional – filtrul trece bandă – configurația Sallen-Key.

6.4.2.1 Simularea filtrului trece bandă

Se va crea cu ajutorul programului Orcad Capture circuitul evidențiat în figura 6.8. Același circuit se va simula cu ajutorul Orcad PSpice pentru a estima caracteristica spectrală parametrică, respectând pașii evidențiați în lucrarea 3 și în subcapitolul 6.4.1.1.

În figura 6.9 este evidențiată caracteristica spectrală parametrică. De asemenea sunt reprezentate frecvența centrală și frecvențele de tăiere.

Ce se întâmplă cu amplitudinea în banda de bază și cu frecvențele de tăiere, atunci când valoarea rezistorului R_f crește? Să se găsească valorile amplitudinilor în banda de bază și a frecvențelor de tăiere.

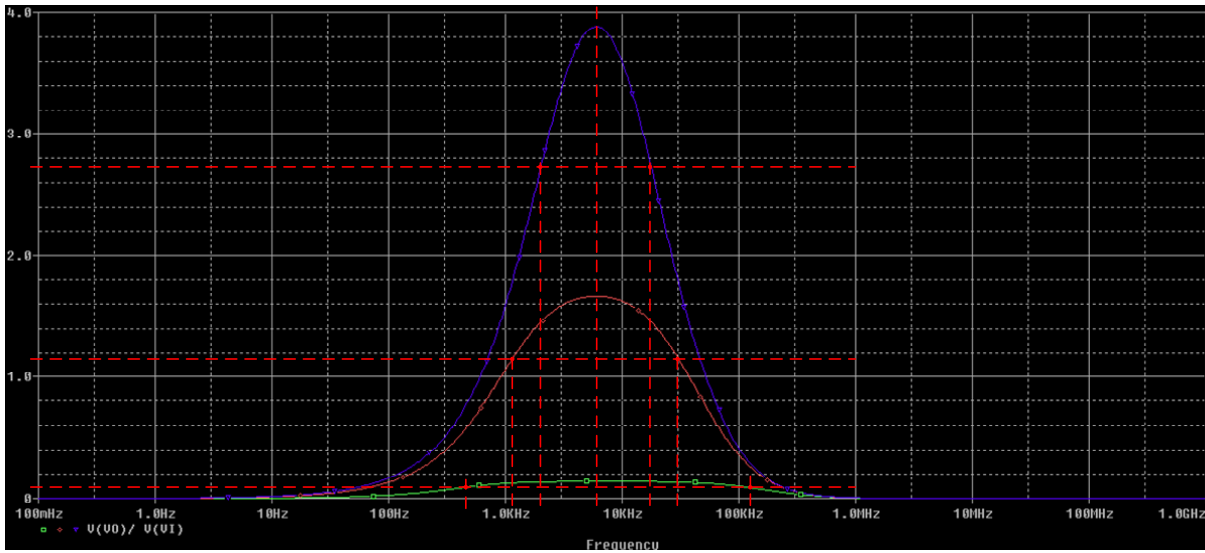


Figura 6.9. Caracteristica spectrală parametrică pentru circuitul din figura 6.8.

Bibliografie

1. Agarwal A., Lang H. J., *Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits*, Editura Elsevier, 2005.
2. Băluț L., *Elemente de Electronică Analogică*, Editura Nautica, Constanța, 2006.
3. Sedra S. A., Smith C. K., *Microelectronic Circuits*, 6th, ed., Editura Oxford University Press, 2009.
4. Thompson M., *Intuitive Analog Circuit Design*, 2nd ed., Editura Newnes Elsevier, 2013.
5. *** Capture User Guide OrCAD.
6. *** PSpice User Guide OrCAD.
7. *** Wikipedia – <http://en.wikipedia.org/>.

