

ბ. დებუშაძე

ზოგადი ელექტრონიკა

ლაბორატორიული სამუშაოები კომპიუტერზე

თბილისი

2014

წინასიტყვაობა

ლაბორატორიულ სამუშაოთა ეს ციკლი შედგენილია ზოგადი ელექტრონიკის დისციპლინის სასწავლო პროგრამის მიხედვით და განკუთვნილია ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის მეორე კურსის სტუდენტებისათვის.

ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოების შესასრულებლად გამოყენებულია მაღალეფექტური და ამავდროულად ადვილად ათვისებადი კომპიუტერული პროგრამა **Electronics Workbench (EWB)**. პროგრამის ერთ-ერთ ღირსებად უნდა ჩაითვალოს ის, რომ მასში გამოყენებული მზომი – მაკონტროლებელი ხელსაწყოები გარე ხედით, მართვის ორგანოებით და მახასიათებლებით მაქსიმალურადაა მიახლოებული მათ ფიზიკურ ანალოგებთან. ამით სტუდენტს საშუალება ეძლევა შეიძინოს პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებულ ისეთ ხელსაწყოებთან მუშაობის პრაქტიკული უნარ-ჩვევები, როგორიცაა ვოლტმეტრები და ამპერმეტრები, მულტიმეტრები, ოსცილოგრაფი, ფუნქციური გენერატორი და სხ.

მაღალი სასწავლო ეფექტის გარდა, კომპიუტერული პროგრამის გამოყენება ისეთი პრობლემების გადაჭრის საშუალებას იძლევა, როგორიცაა: ლაბორატორიულ სამუშაოს ჩასატარებლად მოსამზადებელი დროის მნიშვნელოვანი შემცირება, ისეთი ექსპერიმენტების ჩატარება, რაც ფიზიკურ ლაბორატორიულ დანადგარზე შეუძლებელია, ავტომატიზებული დაპროექტების უნარჩვევების შეძენა, ლაბორატორიული პრაქტიკუმის ცალკეული ფრაგმენტების სტუდენტებისათვის საშინაო დავალების სახით მიცემა, სტუდენტისათვის ინდივიდუალური დავალების მიცემა.

1. Electronics Workbench კომპიუტერულ პროგრამასთან მუშაობის მოკლე ინსტრუქცია

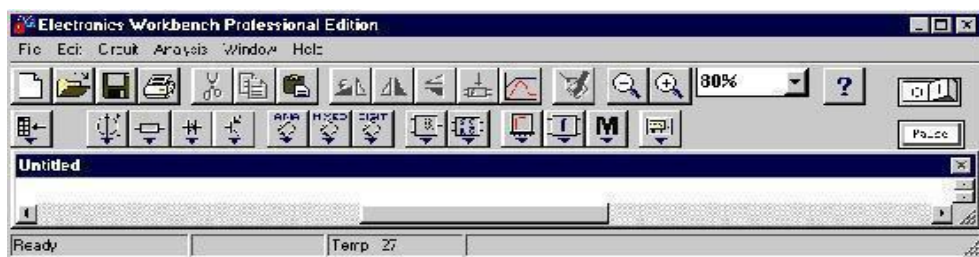
1.1. პროგრამის ბიბლიოთეკა

Electronics Workbench კომპიუტერული პროგრამა წარმოადგენს ანალოგური და ციფრული ელექტრონული მოწყობილობების სქემების მოდელირების და ანალიზის საშუალებას. პროგრამაში არსებული ბიბლიოთეკები შეიცავს ელექტრონულ კომპონენტების ფართო სპექტრს.

კომპონენტების პარამეტრების ცვლილება შესაძლებელია საკმაოდ დიდ დიაპაზონში. პასიური კომპონენტები აღიწერება პარამეტრებით, რომელთა მნიშვნელობის შეცვლა შესაძლებელია კლავიატურის საშუალებით. აქტიური ელემენტები წარმოდგენილია მოდელის სახით.

მოდელირების შედეგების გამოტანა შესაძლებელია პრინტერზე, ხოლო ტექსტური ან გრაფიკული რედაქტორის საშუალებით ხდება მისი იმპორტირება შემდგომი უფრო სრულყოფილი დამუშავებისათვის, მაგალითად **MATLAB-ში**, **MATCAD-ში** და სხვ.

კომპიუტერული პროგრამის სტანდარტული პანელი შემდეგი სახისაა:



პროგრამის გაშვება ხდება მონიტორის ეკრანზე (**Desktop**) განთავსებული პროგრამის ხატულაზე თავით ორჯერ დაწკაპვით, რის შემდეგაც მონიტორზე აისახება **EWB** პროგრამის მუშა ფანჯარა. მუშა ფანჯარა ორადაა გაყოფილი: მთავარი და სამუშაო. მთავარი ფანჯარა შეიცავს: მენიუების (**File**, **Edit**, **Circuit**, **Analysis**, **Window**, **Help**) ველს; ვინდოუსის სტანდარტული ღილაკებიდან შედგენილ პანელს, კომპონენტებისა და მაკონტროლებელი საზომი ხელსაწყოების ქვეჯგუფების აღმნიშვნელი ღილაკებისაგან შედგენილ პანელს, სქემის მოდელირების გამშვებ, მოდელირების შემწყვეტ (**●●**) და მოდელირების დროებით შემჩერებელ (**Pause**) ღილაკებს.

კომპონენტებისა და მაკონტროლებელი საზომი ხელსაწყოების პანელის თითოეული ღილაკის გააქტიურებით ეკრანზე ჩნდება შესაბამის ქვეჯგუფში შემავალი კომპონენტების ბიბლიოთეკა, გრაფიკული აღნიშვნით და ქვეჯგუფის დასახელებით. თითოეული ბიბლიოთეკის კომპონენტის გრაფიკულ აღნიშვნაზე თავის კურსორის მიტანით ჩნდება ამ კომპონენტის დასახელება. სამუშაო ფანჯარაში ხდება გამოსაკვლევი მოწყობილობის ელექტრული პრინციპული სქემის შედგენა. ქვემოთ განხილულია მუშა ფანჯარაში განლაგებული ღილაკების, აგრეთვე კომპონენტთა ქვეჯგუფებისა და საზომი - მაკონტროლებელი ხელსაწყოების სახეობები და დანიშნულება.

სტანდარტული ღილაკების პანელი შეიცავს:



ღილაკი **"New"** (შექმნა) ახალი დოკუმენტის შექმნა **[Ctrl + N]**.



ღილაკი **"Save"** (დამახსოვრება) - მოცემული დოკუმენტის დამახსოვრება **[Ctrl + S]**.



ღილაკი **"Print"** (ბეჭდვა) - მოცემული დოკუმენტის ამობეჭდვა **[Ctrl + P]**.



ღილაკი **"Cut"** (ამოჭრა), -კლავიშების კომბინაცია **[Ctrl + X]**.



ღილაკი **"Copy"** (კოპირება) - -კლავიშების კომბინაცია **[Ctrl + C]**.



ღილაკი **"Paste"** (ჩადგმა) - ბუფერიდან გადატანა მონიშნულ ადგილას **[Ctrl + V]**.



ღილაკი **"Rotate"** (მობრუნება) -მონიშნული ობიექტის მობრუნება **[Ctrl + R]**.



ღილაკი **"Flip Horizontal"** (მობრუნება მარცხნიდან მარჯვნივ).



ღილაკი **"Flip Vertical"** (მობრუნება ზევითიდან ქვემოთ).



ღილაკი **"Create Sub circuit"** (ქვესქემის შექმნა), **[Ctrl + B]**.



ღილაკი **"Display Graphs"** (გრაფიკები).



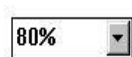
ღილაკი **"Component Properties"** (კომპონენტთა დახასიათება).



ღილაკი **"Zoom Out"** (შემცირება)-მასშტაბი.



ღილაკი **"Zoom In"** (გაზრდა)-მასშტაბი.



მოცემული ღილაკი იძლევა მასშტაბის გაზრდის ან შემცირების პროცენტულ სიდიდეს



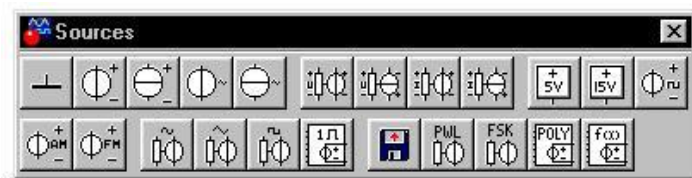
ლილაკი **"Help"** (დახმარება)-მოცემული პანელის შესახებ ცნობის გამოძახება.

კომპონენტების და ინსტრუმენტების პანელი შეიცავს ლილაკებს, რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია სამუშაო ფანჯარაში კომპონენტებისა და ხელსაწყოების გამოტანა.

ესენია:



ლილაკი **"Sources"** - „სიგნალების წყაროები“. სიგნალების წყაროების ცნების ქვეშ იგულისხმება არა მარტო კვების წყაროები, არამედ მართვადი წყაროებიც.



დამიწება.



ბატარეა (ძაბვის წყარო).



მუდმივი დენის წყარო



ცვლადი ძაბვის გენერატორი.



ცვლადი დენის წყარო.



ფიქსირებული ძაბვის წყარო **+5B.**



ფიქსირებული ძაბვის წყარო **+15B.**



ამპლიტუტით მოდულირებული რხევების გენერატორი.



სიხშირით მოდულირებული რხევების გენერატორი.



სინუსოიდური დენის წყარო.



ხერხისებური ძაბვის წყარო.



მართკუთხა იმპულსების გენერატორი.



უბან-უბან წრფივი ძაბვის წყარო.



მართვადი ერთჯერადი იმპულსის წყარო.



პოლინომური წყარო.



არაწრფივი სიგნალების წყარო.



ძაბვით მართვადი უბან-უბან წრფივი ძაბვის წყარო.



სიხშირული მანიპულატორი.



დენით მართვადი დენის წყარო.



ძაბვით მართვადი დენის წყარო.



დენით მართვადი ძაბვის გენერატორი.



ლილაკზე **"Basic"** (ძირითადი) დაწკაპვით გამოჩნდება მოცემული დასახელების ქვეშ არსებული კომპონენტები:



გამტარების შემადგენელი წერტილი.



რეზისტორი.



კონდენსატორი.



ინდუქციურობის კოჭა.



ტრანსფორმატორი.



ცვლადი ტევადობის კონდენსატორი.



ელექტროლიტური კონდენსატორი.



ცვლადი ინდუქციურობის კოჭა.



ერთნაირი წინააღობის რვა დამოუკიდებელი რეზისტორისაგან შემდგენი ნაკრები.



მუდმივი ძაბვის წყარო მიმდევრობით შეერთებული რეზისტორით.



პოტენციომეტრი.



არაწრფივი ტრასფორმატორი.



გადამრთველი.



რელე.



გადამრთველი დროითი დაყოვნებით.



დენით მართვადი გადამრთველი.



კოჭა გულარის გარეშე.



მაბვით მართვადი ანალოგური გადამრთველი.



მაბვით მართვადი გადამრთველი.



ლილაკი „დიოდი“ გამოიძახებს ქვემოთ მოცემულ პანელს:



ნახევარგამტარული დიოდი.



სტაბილიტრონი.



შუქდიოდი.



გამმართველი ბოგა.



შოკლის დიოდი.



ერთოპერაციული ტირისტორი.



დინისტორი.



სიმისტორი.



ლილაკზე „Transistors“-ის დაწკაპვით გამოიძახება ქვემოთ მოცემული პანელი:



NPN ტრანზისტორი.



PNP ტრანზისტორი.



P-N გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი (N არხიანი).



P-N გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი (**P** არხიანი).



ლდნ ჩაშენებული **N**-არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრისა და სათავის გაერთიანებული გამოსასვლელით.



ლდნ ჩაშენებული **P** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრისა და სათავის გაერთიანებული გამოსასვლელით.



ლდნ ჩაშენებული **N** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრის დაცალკეებული გამოსასვლელით.



ლდნ ჩაშენებული **P** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრის დაცალკეებული გამოსასვლელით.



ლდნ დაინდუქციებული **N** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრისა და სათავის გაერთიანებული გამოსასვლელით.



ლდნ დაინდუქციებული **P** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრისა და სათავის გაერთიანებული გამოსასვლელით.



ლდნ დაინდუქციებული **N** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრის დაცალკეებული გამოსასვლელით.



ლდნ დაინდუქციებული **P** არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი ფუძე შრის დაცალკეებული გამოსასვლელით.



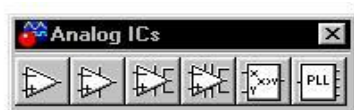
ველით მართვადი **N** არხიანი და გალიუმის არსენიდიანი ტრანზისტორი.



ველით მართვადი **P** არხიანი და გალიუმის არსენიდიანი ტრანზისტორი.



ლილაკზე „**Analog ICs**” (ანალოგური ინტეგრალური მიკროსქემები): დაწკაპვით გამოიძახება ქვემოთ მოცემული პანელი:



ოპერაციული მაძლიერებლის წრფივი მოდელი (3-გამომყვანიანი).



ოპერაციული მაძლიერებლის არაწრფივი მოდელი (5-გამომყვანიანი).



ოპერაციული მაძლიერებელი შვიდი გამომყვანით.



ოპერაციული მაძლიერებელი ცხრა გამომყვანით.



კომპარატორი.



სიხშირების ავტომატური ფაზური სინქრონიზაციის სქემა.



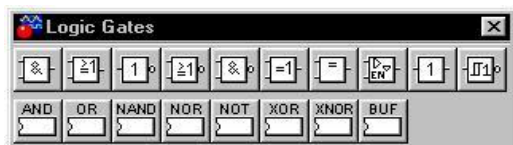
ლილაკი „Mixed ICs“ (შერეული ტიპის მიკროსქემები). გამოიძახება: ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი (ADC), ციფრულ-ანალოგური გარდამქმნელი (DAC), ციფრულ-ანალოგური გარდამქმნელი გარეშე საყრდენი ძაბვით (DAC-V), მომლოდინე მულტივიზრატორი (MONO), ინტეგრალური ტაიმერი.



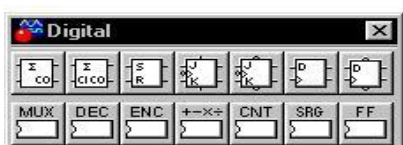
ლილაკი "Digital ICs" -ციფრული ინტეგრალური მიკროსქემები. ეს განყოფილება შეიცავს პროგრამაში შეტანილ ტტლ (77xx ... 744xx) და ლონ (4xxx) ლოგიკის მქონე ციფრული მიკროსქემების მოდელებს.



ლილაკი "Logic Gates" -ლოგიკური ელემენტები და ამ ელემენტების შემცველი სერიული მიკროსქემები:



ლილაკი "Digital" (ციფრული სქემები). ამ განყოფილებაში გაერთიანებულია: ნახევრად მაჯამებელი, სრულად მაჯამებელი, RS ტრიგერი, JK ტრიგერი, D ტრიგერი და ისეთი სერიული მიკროსქემები, რომლებიც შეიცავენ მულტიპლექსორებს (MUX), დეშიფრატორებს (DEC), შიფრატორებს (ENC), არითმეტიკულ-ლოგიკურ მოწყობილობებს (+ - x :):



ლილაკი "Indicators"(ინდიკატორული მოწყობილობები):





ვოლტმეტრი.



ამპერმეტრი.



ვარვარების ნათურა.



ლოგიკური სასინჯი.



შვიდსეგმენტიანი ინდიკატორი.



შვიდსეგმენტიანი ინდიკატორი დეშიფრატორი.



ხმოვანი ინდიკატორი.



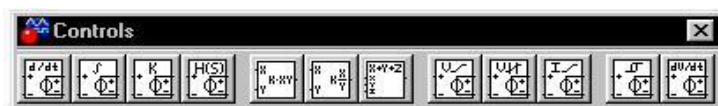
დონის გამზომი ინდიკატორი (ათი დამოუკიდებელი შუქდიოდი).



ათი შუქდიოდი ანალოგურ-ციფრული გარდამსახით.



ლილაკი **"Controls"** (მართვის ანალოგური მოწყობილობები):



ლილაკი **"Miscellaneous"** (შერეული ტიპის კომპონენტები):



მცველი.



მონაცემების ჩამწერი.



მიკრომოდულების ნაკრები(ქვესისტემა).



გადაცემის ხაზი დანაკარგებით.



გადაცემის ხაზი დანაკარგების გარეშე.



კვარციანი რეზონატორი.



მუდმივი დენის კოლექტორული მანქანა.



ელექტროვაკუუმიანი ტრიოდი.



ამაღლებელი იმპულსური სტაბილიზატორი.



დამადაბლებელი იმპულსური სტაბილიზატორი.



ამაღლებელ-დამადაბლებელი სტაბილიზატორი.



ტექსტის შედგენა.



ნახაზის შედგენა.



ლილაკი "Instruments" (ხელსაწყოები):



მულტიმეტრი.



ფუნქციური გენერატორი.



ორარხიანი ოსცილოსკოპი.



ამპლიდუტურ-სიხშირული და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლების მზომი.



სიტყვების გენერატორი.



ლოგიკური ანალიზატორი.



ლოგიკური გარდამქმნელი.

1.2. მოწყობილობის მოდელის სქემების შედგენის მეთოდობა

ELEQTRONICS WORCBENCH პროგრამის საშუალებით ელექტრული პრინციპული სქემის შედგენამდე საჭიროა ქაღალდის ფურცელზე სქემის შესაბამისი ისეთი ესკიზის მომზადება, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება როგორც კომპონენტების განლაგება, ისე ცალკეული ფრაგმენტების ქვესქემების სახით გაფორმების შესაძლებლობები. სქემის შედგენის პროცესი იწყება ფანჯარაში იმ კომპონენტების განლაგებით, რომლებიც გამოსახულია ესკიზზე. კომპონენტების ბიბლიოთეკის სასურველი განყოფილების გახსნის შემდეგ ხდება საჭირო კომპონენტის ნიშნაკზე თავის კურსორის მიტანა და თავის მარცხენა ღილაკზე დაჭერა. კომპონენტის რუხი ფერის წითელი ფერით შეცვლის შემდეგ შერჩეული კომპონენტის ნიშნაკი გადაადგილდება თავის კურსორის მეშვეობით სამუშაო ფანჯრის სასურველ ადგილზე და მარცხენა ღილაკის განთავისუფლების შემდეგ ის დაფიქსირდება.

კომპონენტის ნიშნაკზე თავის ორჯერ დაწკაპვით ხდება მისი შესაბამისი დიალოგური ფანჯრის გამოძახება. ამ უკანასკნელის მეშვეობით კომპონენტს მიენიჭება პოზიციური აღნიშვნა და შეირჩევა პარამეტრების სასურველი მნიშვნელობები.

შერჩეული პარამეტრების დადასტურებისათვის გამოიყენება ღილაკი **Accept** ან კლავიში **Enter**. კომპონენტების განლაგებისას საჭიროა აგრეთვე საკონტროლო წერტილებისა და მზომი-მაკონტროლებელი ხელსაწყოების განლაგების გათვალისწინება.

კომპონენტების განლაგების შემდეგ საჭიროა მათი გამომყვანების ერთმანეთთან დაკავშირება გამტარების მეშვეობით. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ კომპონენტის თითოეულ გამომყვანთან შესაძლებელია მხოლოდ ერთი გამტარის მიერთება.

შეერთების მოსახდენად საჭიროა თავის კურსორის მიტანა კომპონენტის გამომყვანთან და პატარა შავი ბურთულის გამოჩენის შემდეგ თავის მარცხენა ღილაკზე დაჭერა. კომპონენტის გამომყვანთან წარმოქმნილი გამტარი, თავის მეშვეობით მიიტანება მეორე კომპონენტის გამომყვანთან და ამ უკანასკნელთან პატარა შავი ბურთულის გამოჩენისთანავე თავის მარცხენა ღილაკი თავისუფლდება.

ამ ოპერაციის შესრულებით ორი კომპონენტის თითო გამომყვანი ერთმანეთს უკავშირდება გამტარის მეშვეობით. თუ საჭიროა კომპონენტის გამომყვანის დაკავშირება რამდენიმე კომპონენტის გამომყვანთან (ან ერთი კომპონენტის რამდენიმე გამომყვანთან), მაშინ **Basic** განყოფილებიდან გამოიტანება შეერთების წერტილი წითელი ფონით და იგი დაიტანება გატარებულ გამტარზე. სამუშაო ფანჯრის თავისუფალ ადგილზე თავის ორჯერ დაწკაპვით წერტილი გაშვდება. თუ ამ წერტილსა და გამტარს შორის ელექტრული შეერთება განხორციელდება, მაშინ წერტილი მთლიანად შვდება. თუ შეერთების წერტილზე ჩანს გადამკვეთი გამტარის კვალი, მაშინ შეერთება არ არის განხორციელებული და საჭიროა წერტილის განთავსების ოპერაციის ხელახალი შესრულება.

შეერთების წერტილის დასმის შემდეგ, შესაძლებელია გატარებულ გამტართან კიდევ ორი გამტარის დაკავშირება. თუ საჭიროა გამტარის გაუქმება, მაშინ თავის კურსორი მიიტანება ერთ-ერთი კომპონენტის გამომყვანთან ან შეერთების წერტილთან და ამ უკანასკნელთან შავი წერტილის გაჩენის შემდეგ ხდება თავის მარცხენა ღილაკზე დაჭერა. ერთი ბოლოდან განთავსებული გამტარი გადაადგილდება თავის მეშვეობით სამუშაო ფანჯრის თავისუფალ ადგილზე და მარცხენა ღილაკი თავისუფლდება.

თუ საჭიროა კომპონენტის გამომყვანის დაკავშირება უკვე გატარებულ გამტართან, მაშინ კომპონენტის გამომყვანიდან აიღება ახალი გამტარი და ეს უკანასკნელი მიიტანება არსებულ გამტართან. შეერთების წერტილის წარმოქმნის შემდეგ თავის მარცხენა ღილაკი თავისუფლდება.

შეერთების წერტილის გამოყენება შეიძლება არა მხოლოდ გამტარების შესაერთებლად, არამედ სქემაზე წარწერის დასატანად (მაგალითად, გამტარში დენის მნიშვნელობის მითითება, გამტარის ფუნქციური დანიშნულება და სხვ.). წარწერის დასატანად საჭიროა წერტილზე თავის ორჯერ დაწკაპვა და გახსნილ დიალოგურ ფანჯარაში შესაბამისი მონაცემების შეტანა.

წარწერაში შემავალი სიმბოლოების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს თოთხმეტს და წარწერის დამკვრე შესაძლებელია მარჯვნივ, მარცხნიდან საჭირო რაოდენობის “ცარიელი სიმბოლოს” შეტანის შემდეგ. ეს თვისება შეიძლება გამოყენებული იქნეს იმ შემთხვევაში, როდესაც კომპონენტის პოზიციური აღნიშვნა (მაგალითად R1, C10) ეხება გვერდით გამავალ გამტარს ან სქემის სხვა ელემენტს.

გამტარის ცალკეული სეგმენტის გადაადგილება შესაძლებელია განხორციელდეს შემდეგნაირად: თავის კურსორი მიიტანება გამტართან, დაეჭირება მარცხენა ღილაკს და ვერტიკალური ან ჰორიზონტალური მიმართულებით ორმაგი კურსორის გაჩენის შემდეგ შესრულდება გამტარის სეგმენტის გადაადგილება.

სქემასთან მაკონტროლებელი საზომი ხელსაწყოების მიერთება ხდება ანალოგიურად. ამასთან, ისეთი ხელსაწყოების შეერთება, როგორიცაა ოსცილოსკოპი და ლოგიკური ანალიზატორი, მიზანშეწონილია შესრულდეს ფერადი გამტარებით, რადგან გამტარის ფერი განსაზღვრავს ოსცილოსკოპის ეკრანზე მიღებული გამოსახულების ფერს.

გამტარის ფერის შესაცვლელად შესაბამის გამტარზე უნდა განხორციელდეს თავის ორჯერ დაწკაპვა. ამის შემდეგ გაიხსნება ფანჯარა, სადაც უნდა მოხდეს სასურველ ფერზე თავის ერთხელ დაწკაპვა.

სქემაში გამოყენებული ფუნქციური გენერატორისა და ოსცილოსკოპის საჭირო რეჟიმში ჩასაყენებლად საჭიროა მათ ხატულაზე ორჯერ დაწკაპვა. სამუშაო ფანჯარაში აისახება ფუნქციური გენერატორისა და ოსცილოსკოპის წინა პანელი, რომელზეც უნდა განხორციელდეს საჭირო რეჟიმის შერჩევა.

პროგრამის მუშა ფანჯრის დასახურად საჭიროა მარჯვენა ზედა კუთხეში განთავსებულ  ნიშნაკზე თავით დაწკაპვა.

ლაბორატორიული სამუშაო №1

ნახევარგამტარული დიოდების გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

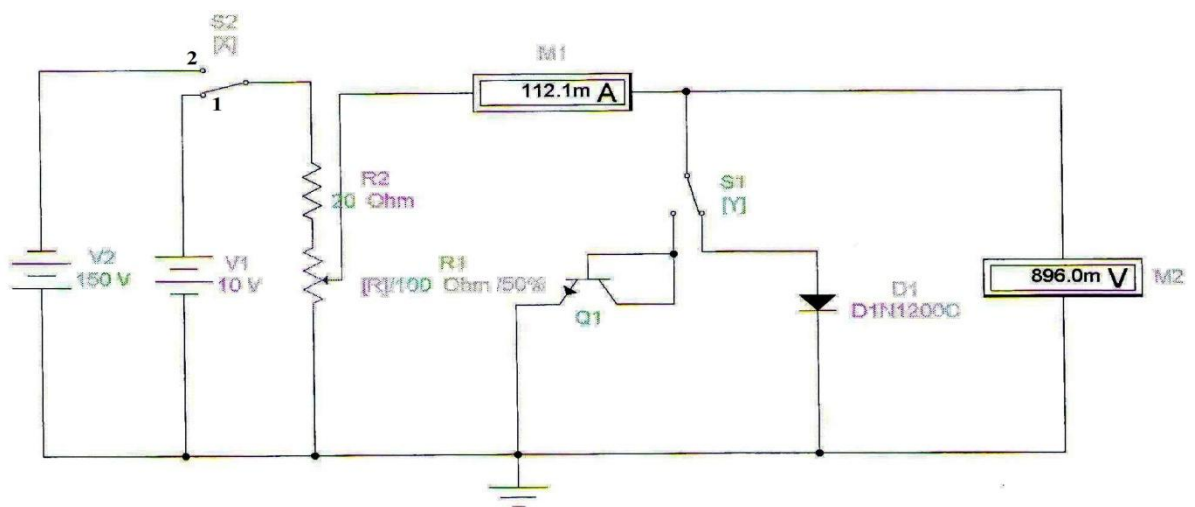
ნახევარგამტარული დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის მახასიათებლების გადღევა, პარამეტრების განსაზღვრა და მიღებული შედეგების ანალიზი.

2. სამუშაოს შინაარსი

- 2.1. დიოდის სრული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღევა;
- 2.2. დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღევა;
- 2.3. დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

3. გამოსაკვლევი ხელსაწყოების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღევა ვირტუალური სქემის ადგილზე

დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღევა ვირტუალური სქემის აწეობა ხდება 1.1 ნახაზზე წარმოდგენილი ესკიზის მიხედვით.

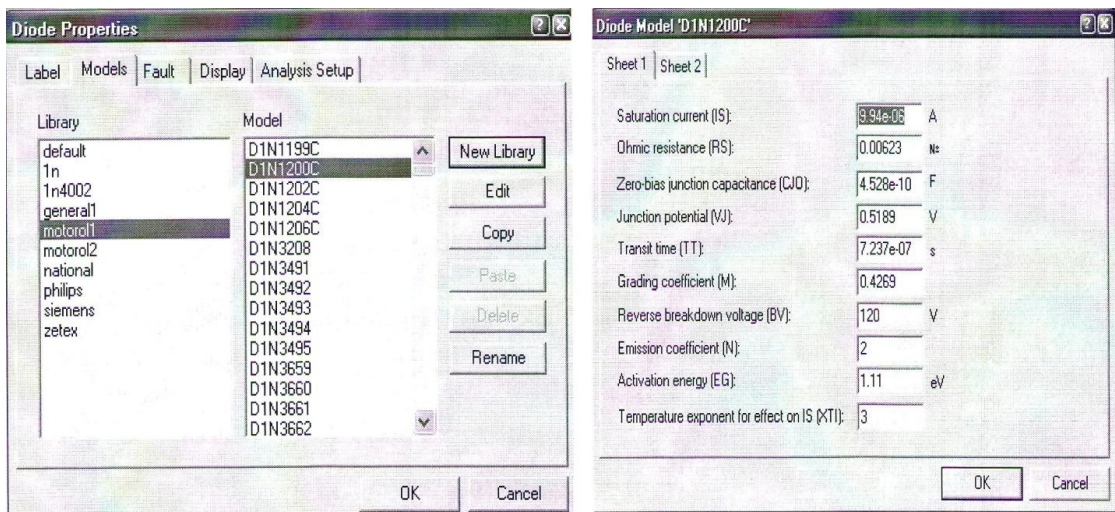


ნახ.1.1. დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღევა ვირტუალური სქემა

ვირტუალური სქემა შეიცავს:

- გამოსაკვლევი დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის ვირტუალურ მოდელებს (**D1, Q1**);
- მუდმივი ძაბვის წყაროების ვირტუალურ მოდელებს, დიოდების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი და უკუშტოების გადასაღებად (**V1, V2**);
- გადამრთველების ვირტუალურ მოდელებს (**[X], [Y]**);
- პოტენციომეტრს, დიოდებზე მიწოდებული ძაბვის სიდიდის სარეგულირებლად;
- ვირტუალურ სქემურ ხელსაწყოებს: ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრს.

ვირტუალურ სქემაში ჩართული დიოდის (**D1N1200C**) სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა ნაჩვენებია 1.2 ნახაზზე.

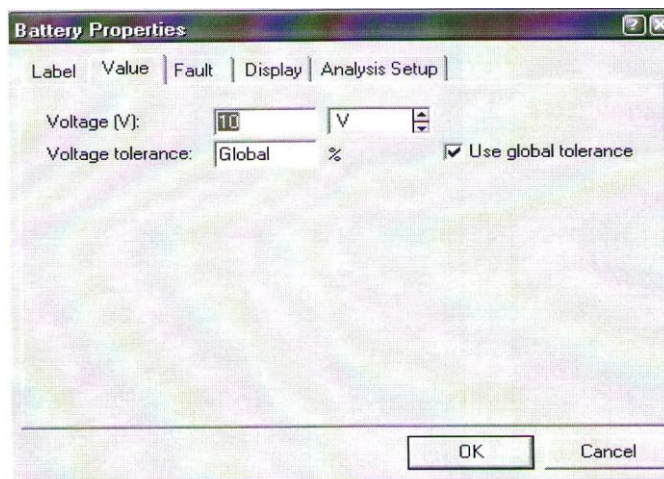


ნახ.1.2. D1N1200C ტიპის დიოდის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

სადიალოგო ფანჯარაში შეტანილია დიოდის შემდეგი პარამეტრები:

- გაჯერების უკუდენი (**Saturation current [IS]**);
 - გადასასვლელის პოტენციალური ბარიერი (**Junction potential [V]**);
 - გამრღვევი უკუძაბვა (**Reverse breakdown Voltage [BV]**);
- და სხვ.

მუდმივი ძაბვის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში (ნახ.1.3) შეტანილი უნდა იქნას ძაბვის საჭირო სიდიდე.



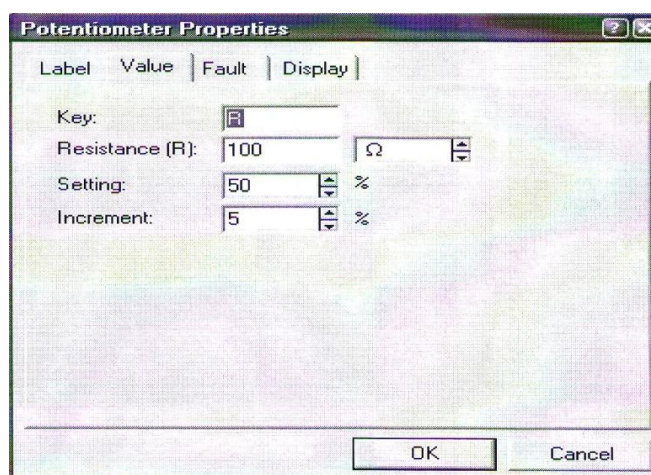
ნახ.13. მუდმივი ძაბვის წყაროს სადიალოგო ფანჯარა

ვირტუალურ სქემაში გამოყენებული პოტენციომეტრის ვირტუალური მოდელის სადიალოგო ფანჯარაში (ნახ.14) შეტანილია შემდეგი პარამეტრები:

- **Key** (გასაღები) განსაზღვრავს კლავიატურის კლავიშის სიმბოლოს (დუმილის რეჟიმში ეს სიმბოლოა **R**), რომელზეც დაჭერის დროს პოტენციომეტრის წინაღობა მცირდება განსაზღვრული სიდიდით %-ში (დამოკიდებულია ცვლილების ბიჯის (**Increment**) ველში დაფიქსირებულ %-ზე), ანდა იზრდება იგივე სიდიდით **Shift+R** კლავიშების კომბინაციაზე დაჭერისას;

- მეორე პარამეტრია ნომინალური წინაღობა, რომელიც ფიქსირდება **Resistance [R]** ველში;

- მესამე პარამეტრია წინაღობის საწყისი სიდიდე (**Setting**) %-ში (დუმილის რეჟიმში 50%).



ნახ.14. პოტენციომეტრის პარამეტრების დაკვეთის სადიალოგო ფანჯარა

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღებას ვახდენთ 1.1 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადაღებისას [X] უნდა გადაირთოს 1-მდგომარეობაში.

ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების დროს გამოსაკვლევი დიოდისა და ტრანზისტორის ტიპს, ინდივიდუალური დავალების სახით, სტუდენტი ღებულობს მასწავლებლისგან. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს ის შეიძლება აღებული იქნას ისეთი, როგორიც 1.1 ნახაზზეა ნაჩვენები. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი და უკუშტოების გადაღების დროს შესავალი ძაბვის ($V1, V2$) სიდიდე სტუდენტმა უნდა შეირჩიოს დიოდის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებული პარამეტრების გათვალისწინებით.

დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადაღებისას პოტენციომეტრზე მიერთებულია $V1$ ძაბვის წყარო. პოტენციომეტრიდან გამოსული ძაბვა იცვლება 0-დან 100%-მდე, 5%-ის ტოლი ბიჯით. გაზომვითა და გაანგარიშებით მიღებული შედეგები შეიტანება №1 ცხრილში.

ცხრილი 1

დიოდი								ტრანზისტორი დიოდურ რეჟიმში							
მოცემულობა		გაზომვით			გაანგარიშებით			მოცემულობა		გაზომვით			გაანგარიშებით		
u_1	[R]	u_0	I_a	u_a	r	R	β	u_1	[R]	u_0	I_a	u_a	r	R	β
ვ	%	მლვ	მლა	მლვ	ომ	ომ	-	ვ	%	მლვ	მლა	მლვ	ომ	ომ	-

ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის უკუშტოს გადაღების დროს [R] პოტენციომეტრს $S2$ გადამრთველით უნდა მიუერთდეს $V2$ ძაბვის წყარო, რის შემდეგაც დიოდზე იმოქმედებს უკუძაბვა. უკუშტოს საწყისი უბნის გადაღებას ვახდენთ [R] პოტენციომეტრის პარამეტრთა ფანჯარაში ძაბვის ცვლილების 1%-ის ტოლი ბიჯის დაფიქსირებით და დიოდზე მიწოდებული $V2$ უკუძაბვის 0-დან 5% -მდე ცვლილებით. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის უკუშტოს საწყისი უბნის გადაღების შემდეგ, უკუძაბვის ცვლილების ბიჯს გავზრდით 5%-მდე და ვზრდით დიოდზე მიწოდებულ უკუძაბვას ვიდრე იგი არ გადააჭარბებს დიოდის პარამეტრთა ფანჯარაში დაფიქსირებულ გამრღვევი უკუძაბვის მნიშვნელობას. ჩაეინიშნავთ დიოდის გამრღვევი

უკუდაბვის ფაქტიურ მნიშვნელობას. გაზომვებით მიღებული შედეგები შეგვაქვს №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

მოცემულობა		გაზომვით			გაანგარიშებით
$V2$	$[R]$	$u_{\text{უ}}$	$u_{\text{უ გარ}}$	$I_{\text{უ}}$	$R_{\text{უ}}$
ვ	%	ვ	ვ	მკა	კომ

შედგენილი №1 და №2 ცხრილების მიხედვით აიგება ნახევარგამტარული დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი და უკუ შტოები, აგრეთვე დიოდურად ჩართული ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტო. მახასიათებლები უნდა აიგოს ერთ კოორდინატთა სისტემაში, ძაბვისა და დენის ღერძებზე მასშტაბის სათანადო შერჩევით.

ნახევარგამტარული დიოდისა და დიოდურად ჩართული ტრანზისტორის პარამეტრების განსაზღვრა უნდა მოხდეს შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

- დია დიოდისა და დიოდურად ჩართული ტრანზისტორის დიფერენციალური წინაღობა;

$$r = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a};$$

- დია დიოდისა და დიოდურად ჩართული ტრანზისტორის სტატიკური წინაღობა

$$R = \frac{U_a}{I_a};$$

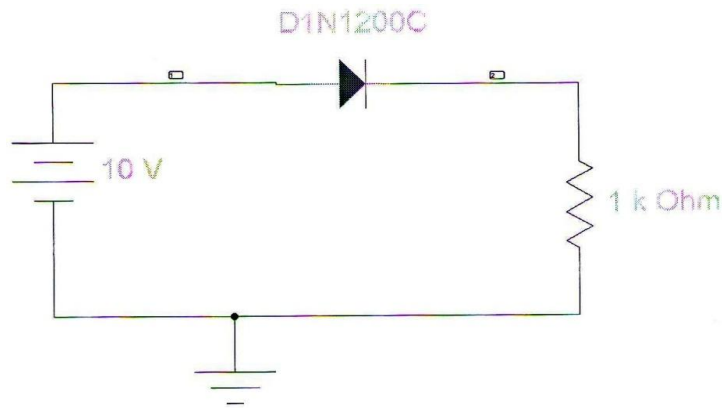
- ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს არაწრფივობის კოეფიციენტი

$$\beta = \frac{R}{r};$$

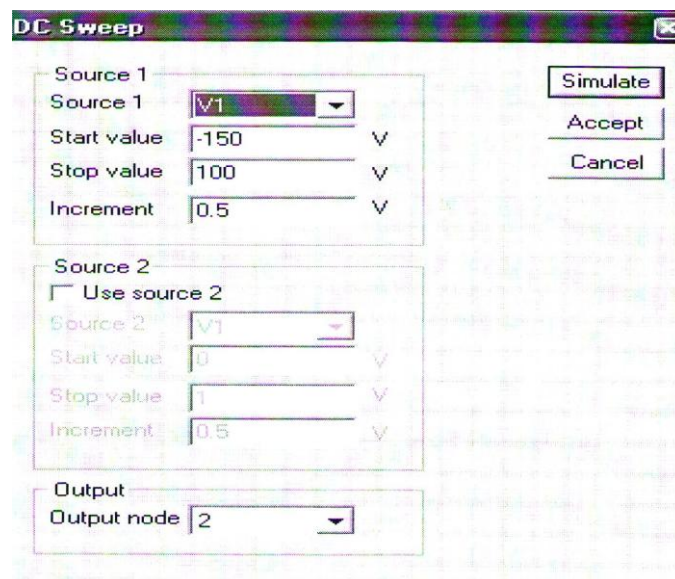
- უკუდაბვით ჩაკეტილი დიოდის ნომინალური სტატიკური წინაღობა

$$R_{\text{უ}} = \frac{0,8U_{\text{უ გარ}}}{I_{\text{უ}0}}.$$

დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი შეიძლება მიღებულ იქნას უმარტივესი ვირტუალური სქემის საფუძველზე (ნახ.1.5), თუ გამოვიყენებთ **EWB** პროგრამის მუდმივი დენის მიხედვით მრავალვარიანტული ანალიზის შესაძლებლობებს. ამისათვის საჭიროა **Analysis** (ანალიზი) მენიუში შესვლა და ჩამოშლილ **DC (Direct Current – მუდმივი დენი)** მენიუში **DC Sweep** (პარამეტრების ვარიაცია) პოზიციის შერჩევა.

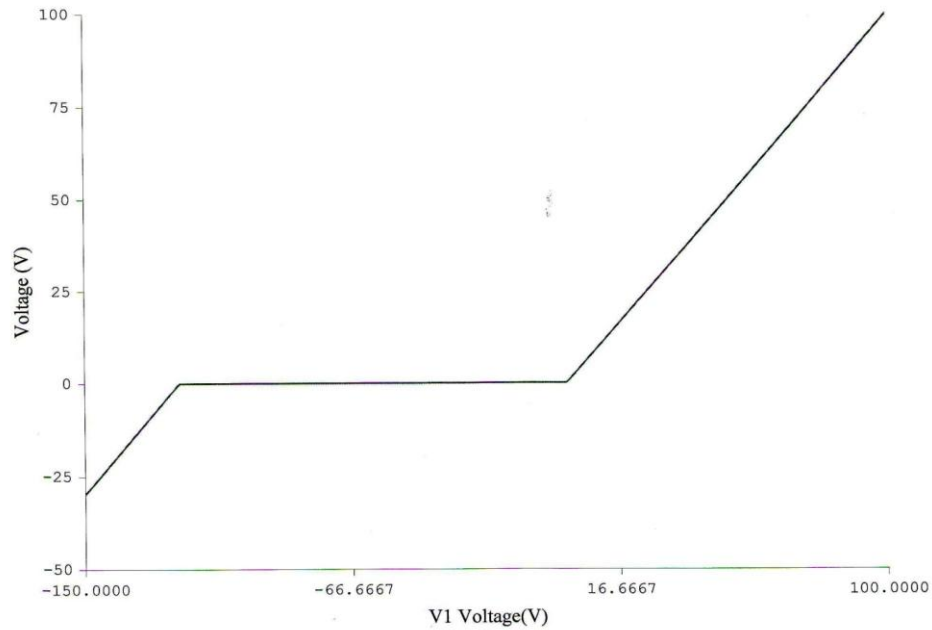


ნახ.1.5.



ნახ.1.6. DC Sweep სადიალოგო ფანჯარა

გახსნილ ფანჯარაში (ნახ.1.6) შეტანილი უნდა იქნას დიოდზე მოქმედი ძაბვის საწყისი (**Start value**) და საბოლოო (**Stop value**) მნიშვნელობები, ძაბვის ცვლილების ბიჯის (**Increment**) მითითებით. მოთხოვნილი მახასიათებლის მისაღებად აუცილებელია გახსნილი ფანჯრის ქვედა ნაწილში სწორად იქნას შეტანილი გამოსავალი კვანძის (**Output node**) ნომერი. ნომრები ვირტუალური სქემის საკვანძო წერტილებზე, დაისმება **Circuit >Schematic Options** მენიუში შესვლით და ჩამოშლილ მენიუში **Show nodes** გააქტიურებით. გახსნილი ფანჯრის **Simulate** (მოდელირება) ღილაკზე დაჭერის შემდეგ მიიღება დიოდის იდეალიზებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი (ნახ.1.7)



ნახ.1.7. EWB პროგრამის DC Sweep – მრავალვარიანტული ანალიზის შესრულებით მიღებული დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

5. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შენაარსი

- 5.1. დიოდისა და დიოდურად ჩართული ტრანზისტორის ვირტუალური სქემა და მისი აღწერა;
- 5.2. შედგენილი ცხრილები და აგებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები;
- 5.3. დიოდისა და დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორის მახასიათებლებისა და პარამეტრების ანალიზი. დასკვნები.

ლაბორატორიული სამუშაო №2
მასტაბილიზებული დიოდის (სტაბილიტრონის)
გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

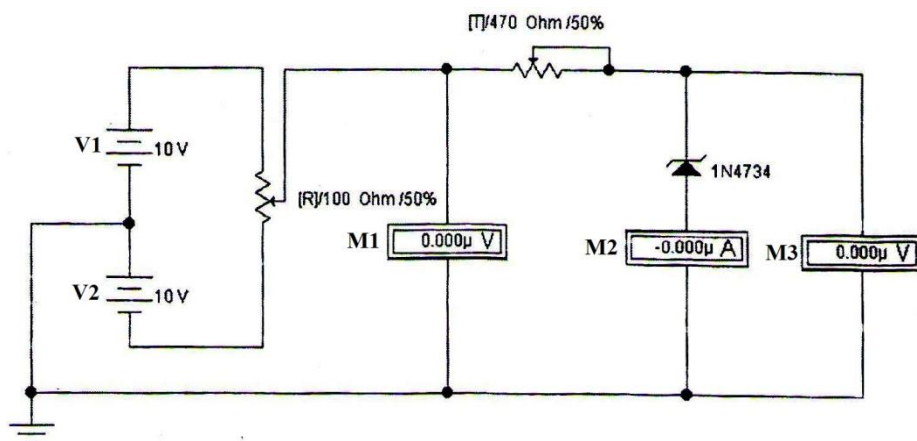
მასტაბილიზებული დიოდის (სტაბილიტრონის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღება, პარამეტრების განსაზღვრა და მიღებული შედეგების ანალიზი.

2. სამუშაოს შინაარსი

- 2.1. მასტაბილიზებული დიოდის სრული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღება;
- 2.2. მასტაბილიზებული დიოდის პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

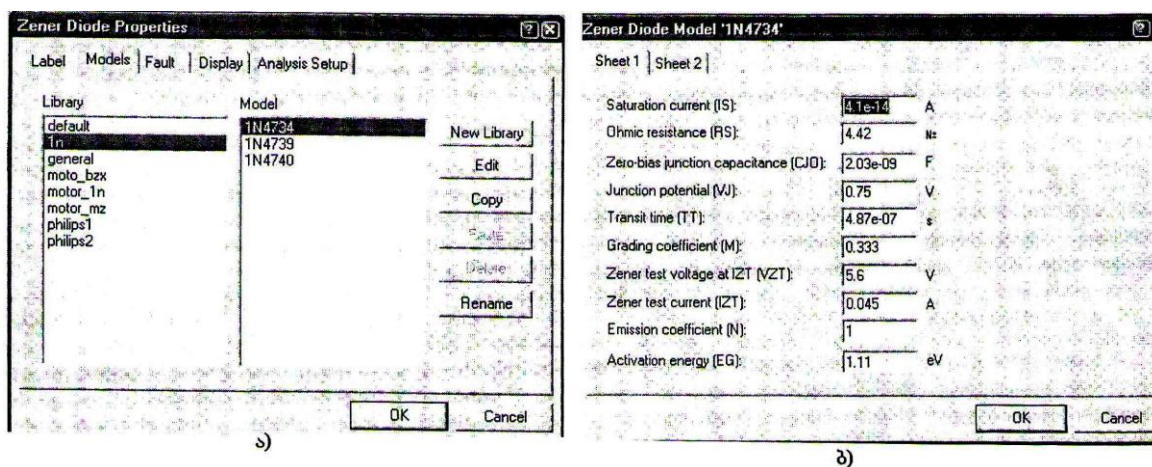
3. გამოსაკვლევი მასტაბილიზებული დიოდის (სტაბილიტრონის)
ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადსაღები
ვირტუალური სქემის აღწერა

მასტაბილიზებული დიოდის (სტაბილიტრონის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადსაღები ვირტუალური სქემა შესაძლებელია აიწყოს 2.1 ნახაზზე ნაჩვენები ესკიზის მიხედვით.



ნახ.2.1. სტაბილიტრონის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადსაღები
ვირტუალური სქემა

სქემაში ჩართულია **1N4734** ტიპის სტაბილიტრონის ვირტუალური მოდელი. 2.2 ნახაზზე მოცემულია ამ სტაბილიტრონის პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარა, რომელშიც შეტანილია:



ნახ.2.2. 1N4734 ტიპის სტაბილიტრონის პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარა

- გაჯერების უკუდენი (**Saturation current [IS]**);
- გადასასვლელის პოტენციალური ბარიერი (**Junction potential [VJ]**);
- სტაბილიზაციის ძაბვა (**Zener test voltage [VZ]**);
- სტაბილიზაციის ნომინალური დენი (**Zener test current [IZT]**);
- ინექციის კოეფიციენტი (**Emission coefficient [N]**) და სხვ.

სქემაში გამოყენებული სხვა ვირტუალური კომპონენტის პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარა და მასთან მუშაობის წესი განხილული იყო №1 ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების დროს.

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

მასტაბილიზებული დიოდის (სტაბილიტრონის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის როგორც უკუ, ისე პირდაპირი შტოს გადაღება შესაძლებელია განხორციელდეს 2.1 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების დროს გამოსაკვლევი სტაბილიტრონის ტიპის დასახელებას სტუდენტი დებულობს მასწავლებლისაგან ინდივიდუალური დავალების სახით. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს ის შეიძლება აღებული იქნას იგივე, რაც 2.1 ნახაზზეა ნაჩვენები. **V1 (V2)** წყაროს ძაბვის სიდიდეს სტუდენტი შეარჩევს ინდივიდუალური დავალების სახით მიღებული სტაბილიტრონის პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებული

სტაბილიზაციის ძაბვის სიდიდის გათვალისწინებით. ეს უკანასკნელი 4 – 5 ვ-ით ნაკლები უნდა იყოს **V1 (V2)** წყაროს ძაბვაზე.

სტაბილიტრონის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის უკუ შტოს (მუშა მახასიათებლის) გადაღების დროს **[R]** პოტენციომეტრის წინაღობა, რომლის საწყისი მნიშვნელობა პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარაში წინასწარ ფიქსირდება 50%-ის დონეზე, საჭიროა შეიცვალოს 50% – 100% ფარგლებში. ამის შემდეგ სტაბილიტრონის მიმდევრობით ჩართული შემზღუდი **[T]** პოტენციომეტრის წინაღობა შესაძლებელია შემცირდეს 50%-დან 20%-მდე, სტაბილიტრონში გამავალი დენის გაზრდის მიზნით. სქემაში გამოყენებული ვირტუალური ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებები შეიტანება №1 ცხრილში.

ცხრილი 1

მოცემულობა			გაზომვით			გაანგარიშებით					
V1(V2)	[R]	[T]	$u_{\text{შ}}$	$u_{\text{სტ}}$	$I_{\text{სტ ნომ}}$	$I_{\text{სტ ნომ}}$	$u_{\text{სტ ნომ}}$	r	R	$K_{\text{სტ}}$	ძტკ
ვ	%	%	ვ	ვ	მა	მა	ვ	ომ	ომ	-	-

სტაბილიტრონის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადაღებისას **[R]** პოტენციომეტრი წინასწარ უნდა დაბრუნდეს 50%-ის ნიშნულზე. ამის შემდეგ, მისი წინაღობა უნდა შემცირდეს 50%-დან 0%-მდე. **[T]** პოტენციომეტრი შესაძლებელია დატოვებული იქნას 20%-ის ნიშნულაზე. სქემაში ჩართული ვირტუალური მზომი ხელსაწყოების ჩვენებები შეიტანება №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

მოცემულობა			გაზომვით			გაანგარიშებით	
V1(V2)	[R]	[T]	$u_{\text{გაღ}}$	I_a	u_a	$r_{\text{ჰ}}$	$R_{\text{ჰ}}$
ვ	%	%	ვ	მა	მლვ	ომ	ომ

№1 და №2 ცხრილების მონაცემების მიხედვით აიგება სტაბილიტრონის სრული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ერთ კოორდინატოა სისტემაში.

სტაბილიტრონის პარამეტრების განსაზღვრა უნდა მოხდეს შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

- სტაბილიტრონის მუშა რეჟიმის დენის ნომინალური მნიშვნელობა

$$I_{\text{სტ ნომ}} = \frac{I_{\text{სტ min}} + I_{\text{სტ max}}}{2};$$

- სტაბილიტრონის გამოსავალი ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობა განისაზღვრება №1 ცხრილიდან $I_{\text{სტ ნომ}}$ დენის მნიშვნელობის მიხედვით;

- სტაბილიტრონის დინამიკური (დიფერენციალური) წინაღობა სტაბილიზაციის ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობის შესაბამის წერტილში

$$r = \frac{\Delta U_{\text{სტ}}}{\Delta I_{\text{სტ}}};$$

- სტაბილიტრონის სტატიკური წინაღობა სტაბილიზაციის ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობის შესაბამის წერტილში

$$R = \frac{U_{\text{სტ ნომ}}}{I_{\text{სტ ნომ}}};$$

- ძაბვის სტაბილიზაციის კოეფიციენტი

$$K_{\text{სტ}} = \frac{\Delta u_{\text{ჟ}}}{\Delta u_{\text{სტ}}} \cdot \frac{u_{\text{ჟ ნომ}}}{u_{\text{სტ ნომ}}};$$

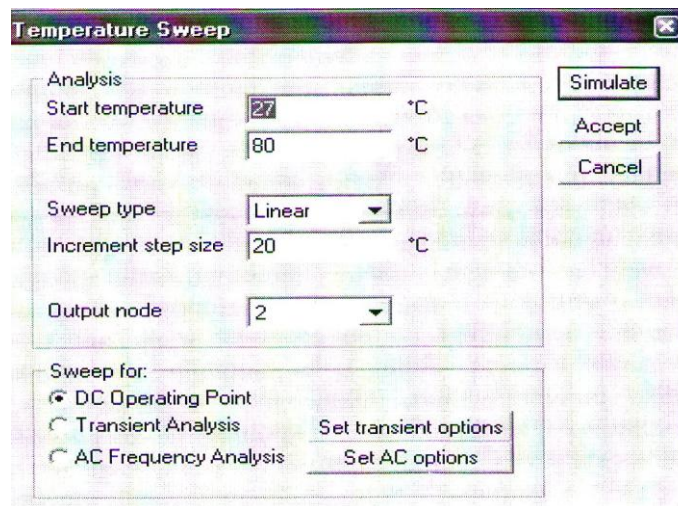
- სტაბილიტრონის დიფერენციალური წინაღობა პირდაპირი ძაბვის მოქმედების დროს

$$r_{\text{ა}} = \frac{\Delta U_{\text{ა}}}{\Delta I_{\text{ა}}};$$

- სტაბილიტრონის სტატიკური წინაღობა პირდაპირი ძაბვის მოქმედების დროს

$$R_{\text{ა}} = \frac{U_{\text{ა}}}{I_{\text{ა}}}.$$

გამოსაკვლევი სტაბილიტრონის ძაბვის ტემპერატურული კოეფიციენტის (ძტკ) განსაზღვრის უმოკლეს გზას წარმოადგენს **EWB** პროგრამაში მრავალვარიანტული ტემპერატურული ანალიზის (**Temperature Sweep**) ჩატარება. ამისათვის თავის მარცხენა ღილაკზე დაჭერით ვააქტიურებთ მენიუს **Analysis>Temperature Sweep** და გახსნილ ფანჯარაში (ნახ.2.3) ვაფიქსირებთ ტემპერატურის ცვლილების ბიჯს (ველში **Increment**) ტემპერატურის ცვლილების ფარგლებში და საკონტაქტო წერტილის ნომერს.



Temperature Sweep

Analysis

Start temperature: 27 °C

End temperature: 80 °C

Sweep type: Linear

Increment step size: 20 °C

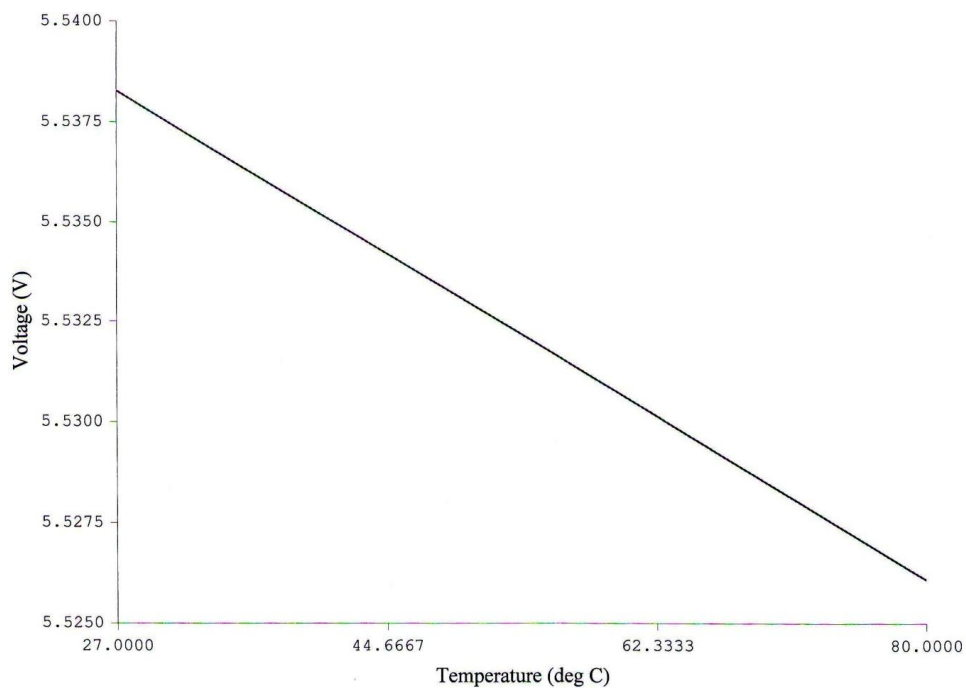
Output node: 2

Buttons: Simulate, Accept, Cancel

Sweep for:

- ☒ DC Operating Point
- ☐ Transient Analysis (Set transient options)
- ☐ AC Frequency Analysis (Set AC options)

ნახ.2.3. Temperature Sweep სადიალოგო ფანჯარა



ნახ.2.4. 1N4734 ტიპის სტაბილიტრონის სტაბილიზაციის ძაბვის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი

Simulate (მოდელირება) ღილაკზე დაჭერის შემდეგ მიიღება სტაბილიტრონის გამოსავალი (სტაბილიზაციის) ძაბვის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ.2.4), საიდანაც განისაზღვრება სტაბილიზაციის ძაბვის ტემპერატურული კოეფიციენტი

$$\text{d}\% = \frac{\Delta U_{\text{სტ}}}{\Delta T}.$$

5. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 5.1. სტაბილიტრონის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადასაღები ვირტუალური სქემა და მისი აღწერა;
- 5.2. შედგენილი ცხრილები და აგებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი;
- 5.3. სტაბილიტრონის მახასიათებლისა და პარამეტრების ანალიზი და დასკვნები.

ლაბორატორიული სამუშაო №3
ტირისტორული სტრუქტურის ნახევარგამტარული
ხელსაწყოების გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

დიოდური და ტრიოდული ტირისტორების მახასიათებლების გადღეუბა, პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა და გამოკვლევის შედეგების ანალიზი.

2. სამუშაოს შინაარსი

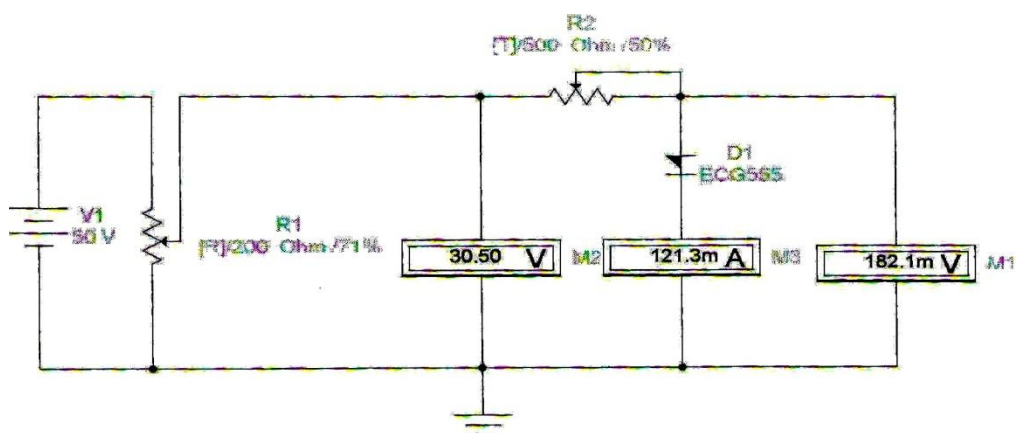
2.1. დინისტორის (შოკლის დიოდის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადღეუბა და პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

2.2. სიმეტრიული დინისტორის (დიაკის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღეუბა და პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

2.3. ტრიოდული ტირისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადღეუბა და პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

3. ტირისტორული სტრუქტურის ნახევარგამტარული ხელსაწყოების
ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადსაღები
ვირტუალური სქემების აღწერა

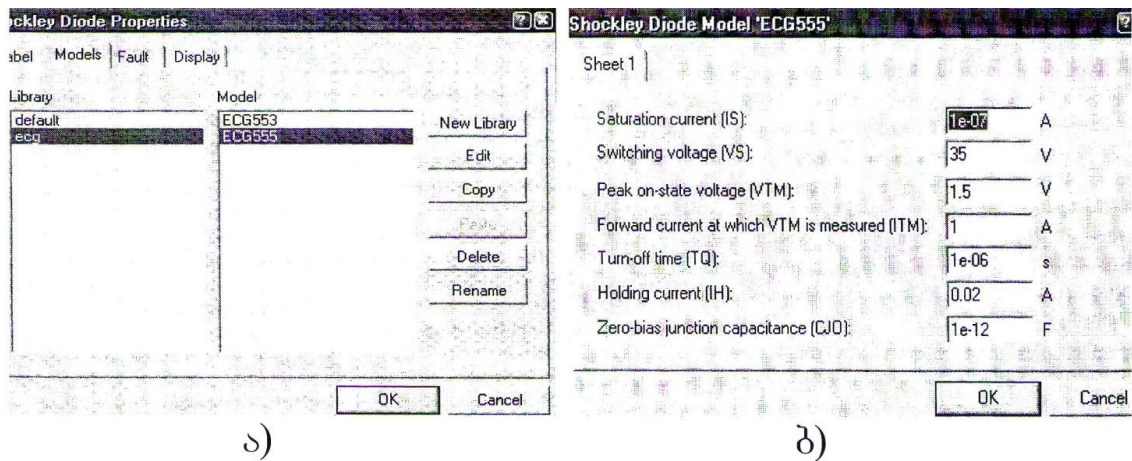
3.1. დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადსაღები სქემა შეიძლება აიწყოს 3.1 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.3.1. დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი
შტოს გადსაღები ვირტუალური სქემა

ვირტუალურ სქემაში გამოყენებულია ECG555 ტიპის შოკლის დიოდის (დინისტორის) ვირტუალური მოდელი, რომლის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულია შემდეგი პარამეტრები:

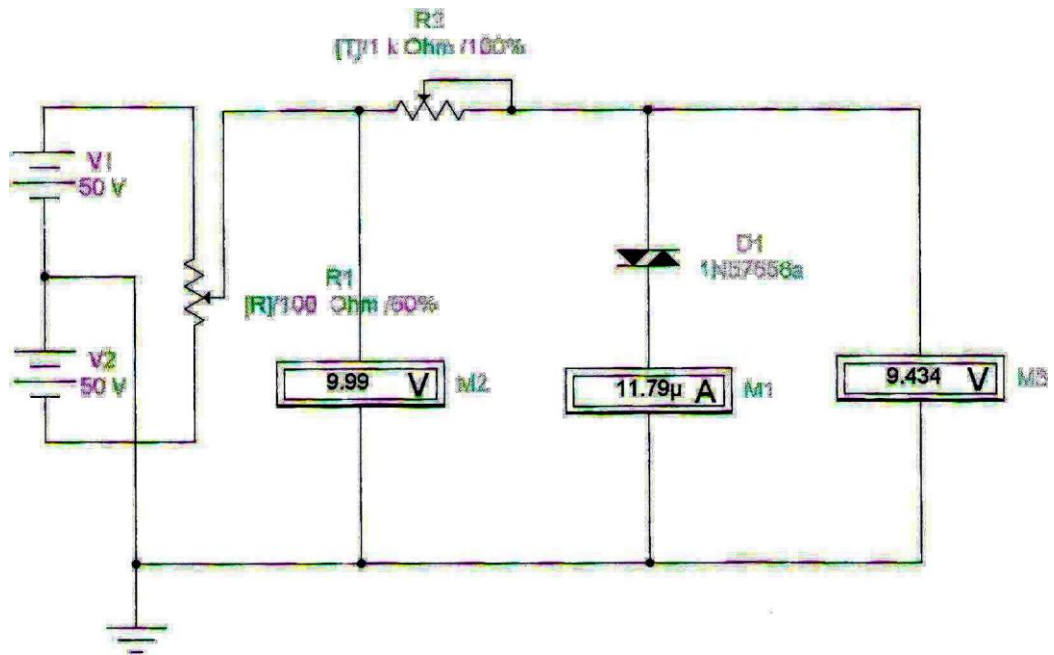
- გაჯერების უკუდენი (**Saturation Current [IS]**);
- ძაბვა, რომლის დროსაც დინისტორი გადაირთვება ღია მდგომარეობაში (**Switching Voltage [VS]**);
- ძაბვის ვარდნა ღია მდგომარეობის დროს (**Peak On-state voltage [VTM]**);
- მინიმალური დენი ღია მდგომარეობის დროს (**Holding current [IH]**);
- ჩაკეტილი მდგომარეობაში გადართვის ხანგრძლივობა (**Turn off time [TG]**).



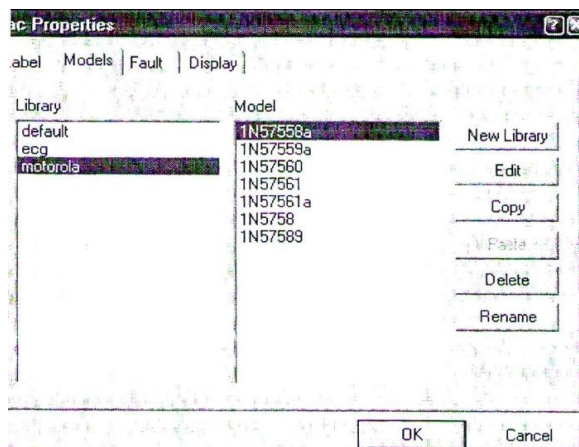
ნახ.32. ECG555 ტიპის შოკლის დიოდის სადიალოგო ფანჯარა

3.2. სიმეტრიული დინისტორის (დიაკის) ფოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადასადები სქემა შეიძლება აიწყოს 3.3 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.

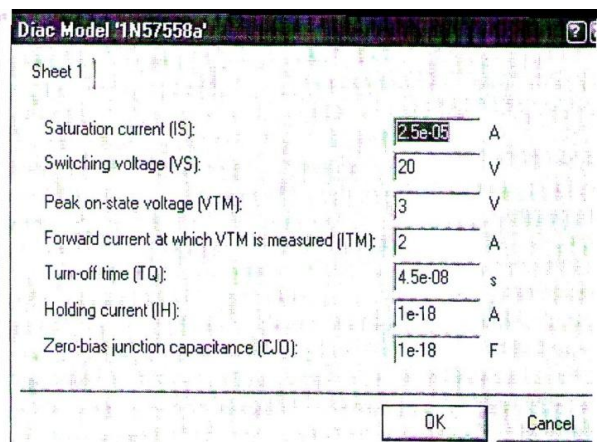
სიმეტრიული დინისტორის სადიალოგო ფანჯარაში შეტანილია იგივე დასახელების პარამეტრები, როგორიც დინისტორის სადიალოგო ფანჯარაშია. 3.4 ნახაზზე ნაჩვენებია 1N57558a ტიპის სიმეტრიული დინისტორის ვირტუალური მოდელის სადიალოგო ფანჯარა.



ნახ.3.3. სიმეტრიული დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადასაღების ვირტუალური სქემა



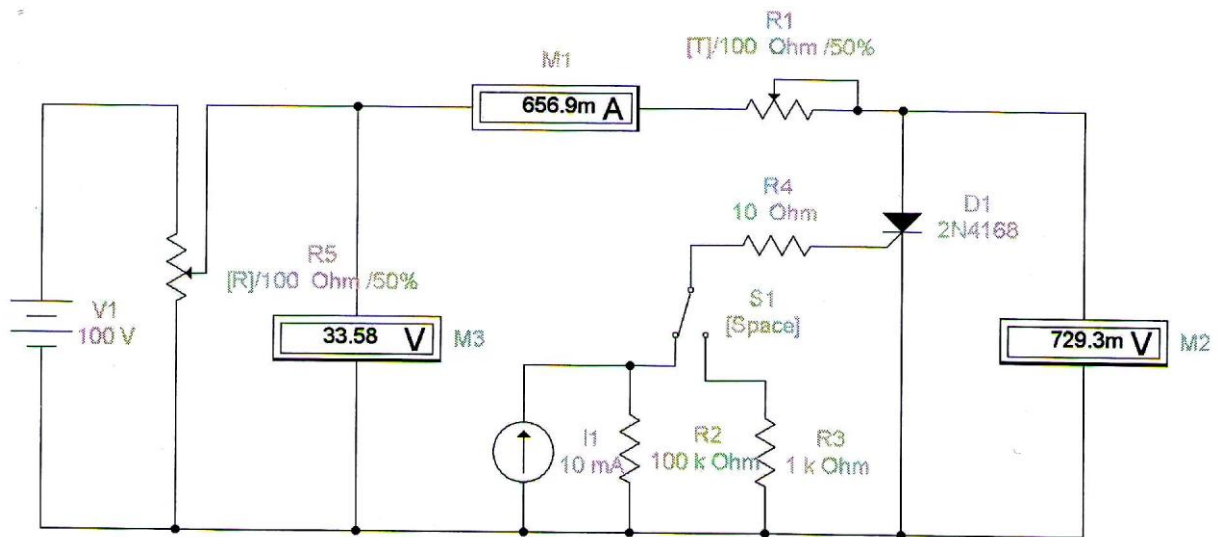
ა)



ბ)

ნახ.3.4. 1N57558a ტიპის სიმეტრიული დინისტორის სადიალოგო ფანჯარა

3.3. ტრიოდული ტირისტორის (რომელიც ტირისტორის სახელწოდებითაა ცნობილი) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადასაღები ვირტუალური სქემა შეიძლება აიწყოს 3.5 ნახაზზე წარმოდგენილი ესკიზის მიხედვით.



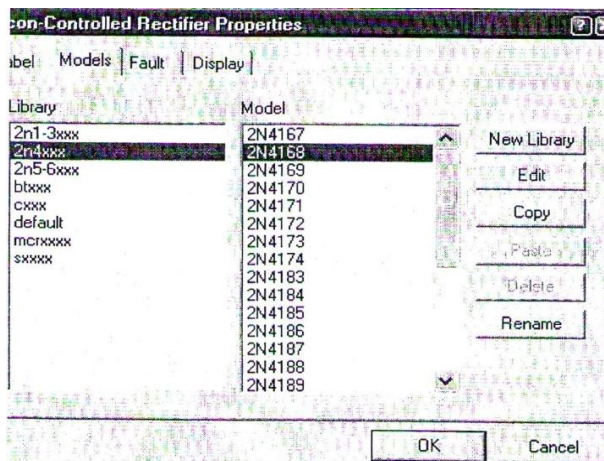
ნახ.3.5. ტრიოდული ტირისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადასაღები ვირტუალური სქემა

ვირტუალურ სქემაში გამოყენებულია **2N4167** ტიპის ტირისტორის ვირტუალური მოდელი. მის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულია შემდეგი პარამეტრები:

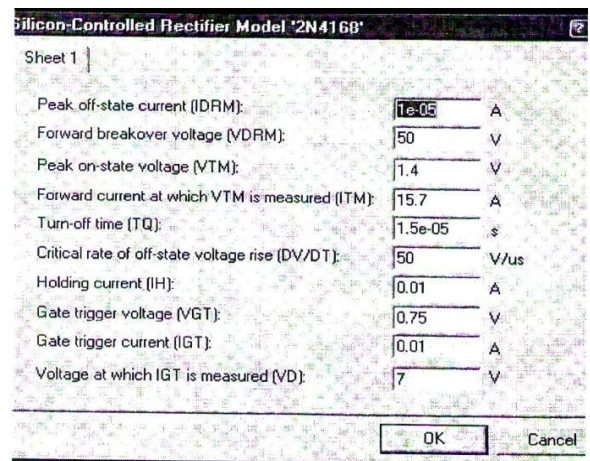
- ტირისტორის უკუდენის მაქსიმალური (გაჯერების) მნიშვნელობა (**Peak off-state Current [IDRM]**);
- ძაბვა, რომლის დროსაც ტირისტორი გადაირთვება ღია მდგომარეობაში, როცა მართვის ელექტროდზე ნულის ტოლი ძაბვაა (**Forward Breakover voltage [VDRM]**);
- ძაბვის მაქსიმალური ვარდნა ღია მდგომარეობის დროს (**Peak On-state voltage [VTM]**);
- დენი ღია მდგომარეობის დროს (**Forward Current at which is measured [ITM]**);
- მინიმალური დენი ღია მდგომარეობაში (**Holding current [IH]**);
- მართვის ელექტროდის დენი (**Gate Trigger current [IGT]**); და სხვ.

ტირისტორის ღია მდგომარეობაში გადართვისთვის საჭირო მართვის დენის გატარებას ახდენს მუდმივი დენის წყარო, რომლის სადიალოგო ფანჯარაში (ნახ.3.7) ფიქსირდება გამღები მართვის დენის სიდიდე.

გამოსაკვლევი ნახევარგამტარული ხელსაწყოების გარდა, ვირტუალურ სქემაში გამოყენებულია მუდმივი ძაბვის წყაროები, პოტენციომეტრები, გადამრთველები, ვირტუალური ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები, რომელთა სადიალოგო ფანჯრები და მათთან მუშაობის წესი განხილული იყო №1 და №2 ლაბორატორიულ სამუშაოებში.

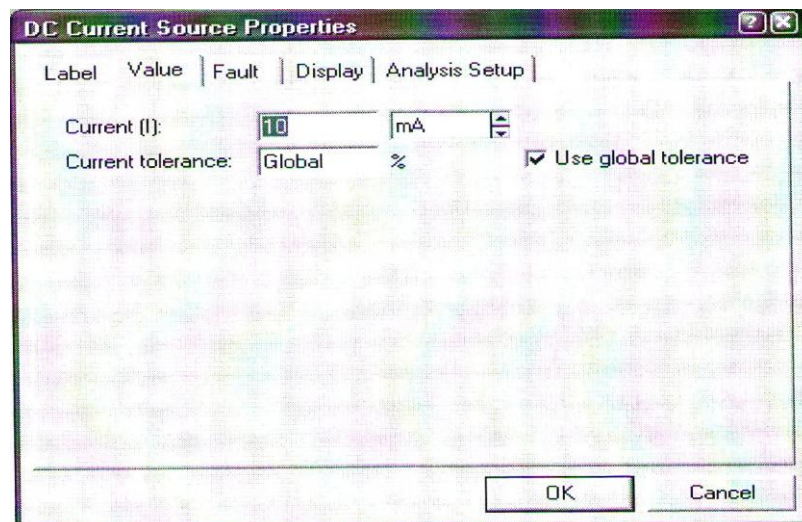


ა)



ბ)

ნახ.3.6. 2B4167 ტიპის ტირისტორის სადიალოგო ფანჯარა



ნახ.3.7. მუდმივი დენის წყაროს სადიალოგო ფანჯარა

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

4.1. დინისტორის (შოკლის დიოდის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადაღებას ვახდენთ 3.1 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების დროს გამოსაკვლევი დინისტორის ტიპის დასახელებას ინდივიდუალური დავალების სახით სტუდენტი ღებულობს მასწავლებლისგან. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს შეიძლება გამოკვლეული იქნას 3.1 ნახაზზე მითითებული ტიპის დინისტორი.

დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღების დროს პოტენციომეტრზე მიერთებული ძაბვის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში შეტანილი ძაბვის სიდიდე 15 - 20 ვით უნდა აღემატებოდეს გამოსაკვლევი დინისტორის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულ გადართვის ძაბვას. პოტენციომეტრიდან დინისტორზე მიწოდებული ძაბვა იცვლება 0-დან 100%-ის ფარგლებში. ძაბვის ცვლილების ბიჯი შეიძლება აღებულ იქნას (5-10)%-ის ტოლი, გარდა ღია მდგომარეობაში გადართვის ძაბვისაგან $\pm(1 \div 2)$ ვით განსხვავებული უბნისა, სადაც ძაბვის ცვლილების ბიჯი არ უნდა აღემატებოდეს 1%-ს, რაც საჭიროა დინისტორის ღია მდგომარეობაში გადართვის ძაბვის ზუსტი მნიშვნელობის დასაფიქსირებლად.

ღია მდგომარეობაში გადართვის შემდეგ, დინისტორში გამავალი დენის სიდიდის გაზრდა შესაძლებელია დინისტორის მიმდევრობით ჩართული [T] პოტენციომეტრის წინალობის შემცირებით, ვიდრე დენის სიდიდე არ მიაღწევს სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულ ღია მდგომარეობის დენის ნომინალურ სიდიდემდე. გაზომვებით და გაანგარიშებით მიღებული შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში

ცხრილი 1

მოცემულობა				გაზომვებით					გაანგარიშებით		
V1	[R]	[T]	$u_{გად}$	$u_{შ}$	u_a	$u_{გად}$	I_a	$\Delta U_{a\ max}$	r	R	β
ვ	%	%	ვ	ვ	ვ	ვ	ა	ვ	ომ	ომ	-

შედგენილი ცხრილის მიხედვით აიგება დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტო.

დინისტორის პარამეტრების განსაზღვრა უნდა მოხდეს შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

- ღია დინისტორის დიფერენციალური წინალობა

$$r = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a};$$

- ღია დინისტორის სტატიკური წინალობა

$$R = \frac{U_a}{I_a};$$

- ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს არაწრფივობის კოეფიციენტი

$$\beta = \frac{R}{r};$$

- ღია დინისტორზე ძაბვის ვარდნის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta U_{a \max} = U_{a \max} - U_{a \min}.$$

4.2. სიმეტრიული დინისტორის (დიაკის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღებას ვახდენთ 3.3 ნახაზზე ნაჩვენები ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების დროს გამოსაკვლევი დინისტორის ტიპი განისაზღვრება სტუდენტის ინდივიდუალური დავალების მიხედვით. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს შეიძლება გამოკვლეული იქნას 3.3 ნახაზზე მითითებული ტიპის სიმეტრიული დინისტორი.

ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღების დროს **V1** და **V2** ძაბვის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულ ძაბვის სიდიდე (20-30) ვით უნდა აღემატებოდეს გამოსაკვლევი სიმეტრიული დინისტორის ღია მდგომარეობაში გადართვის ძაბვის მნიშვნელობას. **[R]** პოტენციომეტრის წინაღობა, რომლის საწყისი მნიშვნელობა პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარაში წინასწარ ფიქსირდება 50%-ის ღონეზე, უნდა შეიცვალოს 50%-დან 100-მდე ფარგლებში. სიმეტრიულ დინისტორზე მიწოდებული ძაბვის ცვლილების ბიჯის შერჩევა უნდა მოხდეს 4.1 პუნქტის ანალოგიურად. ამის შემდეგ, შესაძლებელია **[T]** პოტენციომეტრის წინაღობის შემცირება ისე, რომ დიაკში გამავალი დენის სიდიდემ არ გადააჭარბოს სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებული დენის ნომინალურ სიდიდეს.

ანალოგიურად ხდება სიმეტრიული დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადღება შეცვლილი პოლარულობის ძაბვის დროს. ამისათვის **[R]** და **[T]** პოტენციომეტრები უნდა დაბრუნდეს 50%-ის ნიშნულზე და განხორციელდეს **[R]** წინაღობის შემცირება 50%-დან 0%-მდე. ძაბვის ცვლილების ბიჯის შერჩევა და დიაკში გამავალი დენის სიდიდის შეცვლა უნდა განხორციელდეს წინა შემთხვევის ანალოგიურად.

მიღებული შედეგები შეგვაქვს №2 ცხრილში

ცხრილი 2

მოცემულობა					გაზომვებით					გაანგარიშებით	
V1	V2	[R]	[T]	$u_{\text{გად}}$	$u_{\text{შეს}}$	u_a	$u_{\text{გად}}$	I_a	$\Delta U_{a \max}$	r	R
ვ	ვ	%	%	ვ	ვ	ვ	ვ	ა	ვ	ომ	ომ

შეღებნილი ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს სიმეტრიული დინისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი.

სიმეტრიული დინისტორის პარამეტრების განსაზღვრა უნდა მოხდეს შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

• ღია მდგომარეობაში მყოფი სიმეტრიული დინისტორის დიფერენციალური წინაღობა

$$r = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a};$$

• ღია სიმეტრიული დინისტორის სტატიკური წინაღობა

$$R = \frac{U_a}{I_a};$$

$$\Delta U_{a \max} = U_{a \max} - U_{a \min}.$$

4.3. ტირისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადასადგებად ვიყენებთ 3.5 ნახაზზე ნაჩვენებ ვირტუალურ სქემას.

გამოსაკვლევი ტირისტორის ტიპი განისაზღვრება სტუდენტის ინდივიდუალური დავალების მიხედვით. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს შეიძლება გამოკვლეული იქნას 3.5 ნახაზზე მითითებული ტიპის ტირისტორი.

ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოს გადაღების დროს **V1** წყაროს ძაბვა (20-30) ვ-ით უნდა აღემატებოდეს ტირისტორის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებული გადართვის ძაბვის სიდიდეს, როდესაც მართვის ელექტროდზე ნულის ტოლი ძაბვაა. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადაღებას ვახდენთ მართვის დენის ნულოვანი მნიშვნელობისა და ტირისტორის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებული მართვის დენის შესაბამისად. **[R]** პოტენციომეტრიდან ტირისტორზე მიწოდებული ძაბვის სიდიდეს ვცვლით 0-დან 100%-ის ფარგლებში. ძაბვის ცვლილების ბიჯის შერჩევას ვახდენთ 4.1 პუნქტში მითითებულის ანალოგიურად. ღია ტირისტორში გამავალი დენის სიდიდის ცვლილებას ვახდენთ **[T]** პოტენციომეტრის წინაღობის შეცვლით. გაზომვებითა და გაანგარიშებით მიღებული შედეგი შეგვაქვს №3 ცხრილში.

ცხრილი 3

მოცემულობა				გაზომვებით					გაანგარიშებით	
V1	[R]	[T]	I_{θ}	$u_{შეს}$	u_a	$u_{გად}$	I_a	$\Delta U_{a \max}$	r	R
ვ	%	%	ვ	ვ	ვ	ვ	ა	ვ	ომ	ომ

ცხრილის მონაცემების მიხედვით უნდა აიგოს ტირისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტოები.

5. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 5.1. ტირისტორული სტრუქტურის ხელსაწყოების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემები და მათი აღწერა.
- 5.2. შედგენილი ცხრილები და აგებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები.
- 5.3. გადაღებული მახასიათებლებისა და პარამეტრების დეტალური ანალიზი

ლაბორატორიული სამუშაო №4
საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული
ტრანზისტორის გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის მახასიათებლების გადღევა და პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

2. სამუშაოს შინაარსი

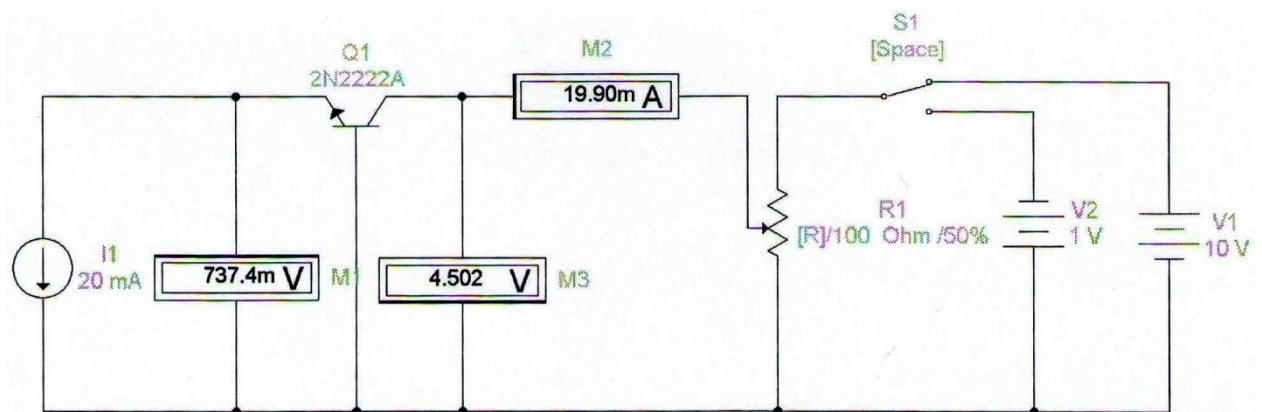
2.1. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის შესასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადღევა.

2.2. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადღევა.

2.3. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

3. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის
მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური
სქემის აღწერა

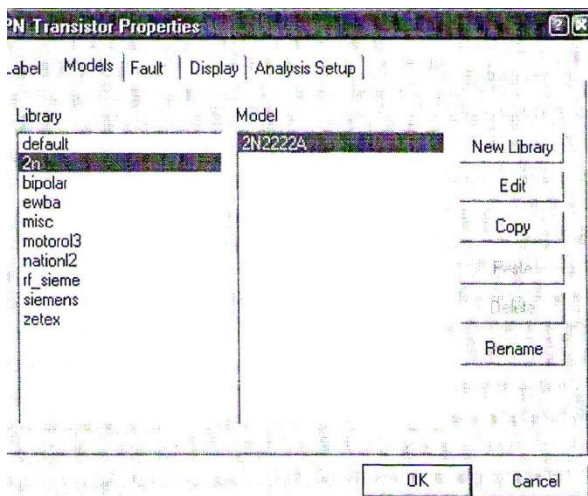
მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემა შეიძლება აიწყოს 4.1 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



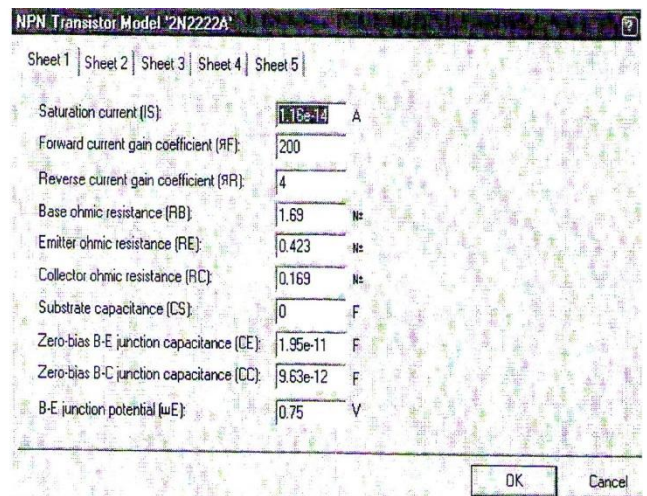
ნახ.4.1. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის
მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემა

ვირტუალური სქემით გათვალისწინებულია **2N2222A** ტიპის ბიპოლარული ტრანზისტორის მახასიათებლების გადაღება. ტრანზისტორის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულია შემდეგი პარამეტრები:

- კოლექტორული გადასასვლელის უკუდენი, ა (**Saturation Curent [IS]**);
 - დენის გაძლიერების კოეფიციენტი საერთო ემიტერით ჩართულ სქემაში $h_{21 \beta}$ (**Forward current gain coefficient [BF]**);
 - დენის გაძლიერების კოეფიციენტი საერთო ემიტერით ჩართულ სქემაში ტრანზისტორის ინვერსული ჩართვის დროს (**Reverse current gain coefficient [BR]**);
 - ბაზის მოცულობითი წინააღობა, ომ (**Base ohmic resistance [RB]**);
 - კოლექტორის მოცულობითი წინააღობა, ომ (**Collector ohmic resistance [RC]**);
 - ემიტერის მოცულობითი წინააღობა, ომ (**Emitter ohmic resistance [RE]**);
 - ბაზა-კოლექტორის საკონტაქტო პოტენციალთა სხვაობა (**B-C junction potential [VJC]**);
 - ბაზა-ემიტერის საკონტაქტო პოტენციალთა სხვაობა (**B-E junction potential [VJE]**);
- და სხვ.



ა)



ბ)

ნახ.4.2. 2N2222A ტიპის ბიპოლარული ტრანზისტორის სადიალოგო ფანჯარა

ვირტუალურ სქემაში, მცირე წინააღობიანი ბაზა – ემიტერის წრედში სხვადასხვა სიდიდის დენის გასატარებლად, გამოყენებულია იდეალური მუდმივი დენის წყარო – **I1**. კოლექტორული გადასასვლელი **[Space]** – გადამრთველისა და **[R]** – პოტენციომეტრის საშუალებით მიერთებულია **V1** და **V2** ძაბვის წყაროებთან. **V2** ძაბვის წყაროდან კოლექტორულ გადასასვლელს მიეწოდება პირდაპირი ძაბვა, ხოლო **V1**

წყაროდან – უკუდაბვა. **M2** ვირტუალური ამპერმეტრი ზომავს კოლექტორის დენს, **M1** ვირტუალური ვოლტმეტრი ზომავს ბაზა – ემიტერის გადასასვლელზე ძაბვის სიდიდეს და **M3** ვირტუალური ვოლტმეტრი ზომავს ბაზა – კოლექტორის გადასასვლელზე მოქმედი ძაბვის სიდიდეს.

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

4.1. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის შესავალის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღებას ვახდენთ 4.1 ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღების დროს გამოსაკვლევი ტრანზისტორის ტიპი შეირჩევა მასწავლებლის მიერ და დავალების სახით ეძლევა სტუდენტს. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს შეიძლება გამოკვლეული იქნას 4.1 ნახაზზე მითითებული ტიპის ტრანზისტორი.

ბიპოლარული ტრანზისტორის შესავალის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ($I_{\text{ე}} = f(u_{\text{კ}}, u_{\text{კ}} = \text{const})$) გადაღებული უნდა იქნას **V1** ძაბვის წყაროდან კოლექტორზე მიწოდებული $u_{\text{კ}}$ ძაბვის ნულოვანი და 10 ვ-ის ტოლი მნიშვნელობების დროს. $u_{\text{კ}}$ ძაბვის თითოეული მნიშვნელობისათვის ემიტერის წრედში გასატარებელი დენის სხვადასხვა სიდიდეს ვაფიქსირებთ **I1** მუდმივი დენის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში და ვინიშნავთ ვირტუალური მზომი ხელსაწყოების ჩვენებებს. გაზომვის შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში.

ცხრილი 1

$u_{\text{კ}} = 0$		$u_{\text{კ}} = 10 \text{ ვ}$		
$I_{\text{ე}}$	$u_{\text{კ}}$	$I_{\text{ე}}$	$u_{\text{კ}}$	$I_{\text{კ}}$
მა	მლვ	მა	მლვ	მა
0,1		0,1		
1		1		
5		5		
10		10		
20		20		
⋮		⋮		
50		50		

შედგენილი ცხრილის საფუძველზე უნდა აიგოს საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის შესავალის მახასიათებელი $I_g = f(U_{გ}), U_{გ} = const$ და ემიტერის დენის გადაცემის მახასიათებელი $I_g = f(I_g), U_{გ} = const$.

4.2. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის გამოსავალის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ($I_g = f(U_{გ}), I_g = const$) გადაღებას ვახდენთ, იგივე, 4.1 ნახაზზე მოცემული, ვირტუალური სქემის გამოყენებით. მახასიათებლები უნდა გადავიღოთ ემიტერის დენის არა ნაკლები ორი მნიშვნელობისათვის, ინდივიდუალური დაგაღების შესაბამისად. ემიტერში გასატარებელი დენის შესაბამისი სიდიდე წინასწარ ფიქსირდება $I1$ მუდმივი დენის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში. ემიტერის დენის თითოეული მნიშვნელობის დროს უნდა შეიცვალოს ჯერ $V1$ ძაბვის წყაროდან ტრანზისტორის კოლექტორულ გადასასვლელზე მიწოდებული უკუძაბვა 0%-დან 100%-მდე ფარგლებში, ხოლო შემდეგ უნდა მოხდეს $V2$ ძაბვის წყაროდან ტრანზისტორის კოლექტორულ გადასასვლელზე მიწოდებული პირდაპირი ძაბვის შეცვლა 40% – 80% ფარგლებში, 5%-ის ტოლი ბიჯით. ვირტუალური ხელსაწყოების ჩვენებები შეგვაქვს №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

$I_g =$				$I_g =$		
[R]	$U_{გ}$	$-U_{გ}$	I_g	$U_{გ}$	$-U_{გ}$	I_g
%	3	3	ა	3	3	მა
0		—			—	
.		.			.	
.		.			.	
.		.			—	
100		—				
70	—			—		
.	.			.		
.	.			.		
.	.			—		
80	.					
	—					

შედგენილი ცხრილის საფუძველზე უნდა აიგოს საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის გამოსავალის (კოლექტორის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები – $I_g = f(U_{გ}), I_g = const$.

4.3. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის პარამეტრების განსაზღვრა შესაძლებელია ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღების დროს შედგენილი ცხრილების გამოყენებით.

შესასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადაღების დროს შედგენილი №1 ცხრილის მონაცემების გამოყენებით შესაძლებელია შემდეგი პარამეტრების განსაზღვრა:

- შესავალი (ბაზა-ემიტერის) წრედის დიფერენციალური წინააღობა

$$r_{\text{ებ}} = \frac{\Delta U_{\text{ებ}}}{\Delta I_{\text{ე}}}, U_{\text{ებ}} = \text{const};$$

- ემიტერის დენის გადაცემის კოეფიციენტი

$$\alpha = \frac{\Delta I_{\text{ბ}}}{\Delta I_{\text{ე}}}, U_{\text{ებ}} = \text{const};$$

- შესავალ და გამოსავალ წრედებს შორის ძაბვით უკუკავშირის კოეფიციენტი

$$\mu = \frac{\Delta U_{\text{ებ}}}{\Delta u_{\text{ებ}}}, I_{\text{ე}} = \text{const}.$$

გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადაღების დროს შედგენილი №2 ცხრილის მონაცემების მიხედვით ვსაზღვრავთ:

- გამოსავალი (კოლექტორ-ბაზა) წრედის დიფერენციალურ წინააღობას

$$r_{\text{კ}} = \frac{\Delta U_{\text{ებ}}}{\Delta I_{\text{კ}}}, I_{\text{ე}} = \text{const}.$$

• კოლექტორული გაჯერების ძაბვის სიდიდეს, ემიტერის დენის სხვადასხვა მნიშვნელობის შემთხვევაში, როდესაც კოლექტორულ გადასასვლელზე პირდაპირი ძაბვა მოქმედებს.

5. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 5.1. საერთო ბაზით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემის აღწერა;
- 5.2. შედგენილი ცხრილები და ცხრილების მიხედვით აგებული შესავალი და გამოსავალი წრედების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები;
- 5.3. ექსპერიმენტულად განსაზღვრული პარამეტრები;
- 5.4. თეორიული და ექსპერიმენტით მიღებული მახასიათებლებისა და პარამეტრების შედარებითი დახასიათება.

ლაბორატორიული სამუშაო №5
საერთო ემიტერით ჩართული ტრანზისტორის
გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის მახასიათებლების გადღეუბა და პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

2. სამუშაოს შინაარსი

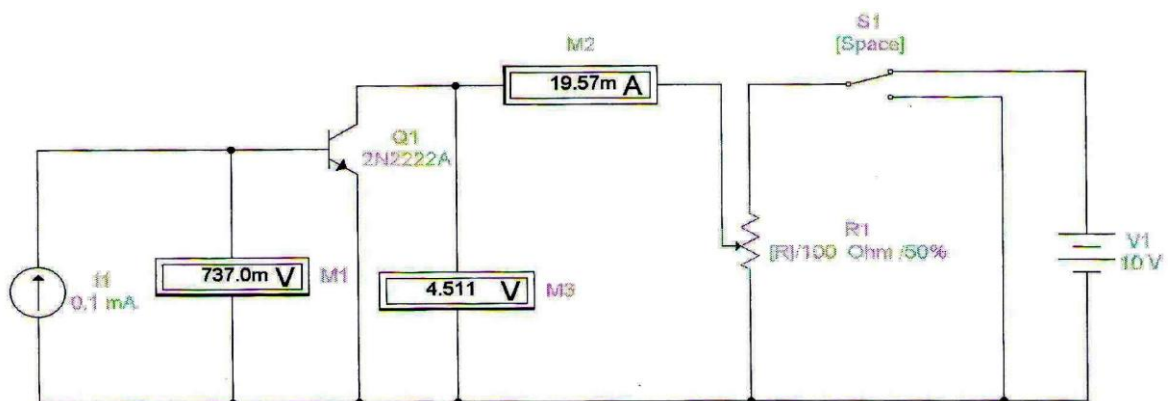
2.1. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის შესასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადღეუბა.

2.2. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადღეუბა.

2.3. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

3. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის
მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური
სქემა

მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემა შეიძლება აიწყოს 5.1 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.5.1. საერთო ემიტერით ჩართულ ბიპოლარული ტრანზისტორის
მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემა

ვირტუალურ სქემაში გამოყენებული ყველა კომპონენტი წარმოდგენს 4.1 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის კომპონენტების გამოვლენას.

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

4.1. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის შესავალის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღებას ვახდენთ 5.1 ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღების დროს გამოსაკვლევი ტრანზისტორის ტიპი შეირჩევა მასწავლებლის მიერ და დავალების სახით ეძლევა სტუდენტს. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს შეიძლება გამოკვლეული იქნას 5.1 ნახაზზე მითითებული ტიპის ტრანზისტორი.

ბიპოლარული ტრანზისტორის შესასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ($I_b = f(u_{be}), u_{ce} = const$) გადაღებული უნდა იქნას **V1** ძაბვის წყაროდან კოლექტორზე მიწოდებული u_{ce} ძაბვის ნულოვანი და 10 ვ-ის ტოლი მნიშვნელობების დროს. u_{ce} ძაბვის თითოეული მნიშვნელობისათვის ბაზაში გასატარებელი დენის სხვადასხვა სიდიდეს (0,1 მა-დან 1 მა-მდე, 0,1 მა-ის ტოლი ბიჯით) ვაფიქსირებთ **I1** მუდმივი დენის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში და ვინიშნავთ ვირტუალური მზომი ხელსაწყოების ჩვენებებს. გაზომვის შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში.

ცხრილი 1

$u_{ce} = 0$		$u_{ce} = 10ვ$		
I_b	U_{be}	I_b	U_{be}	I_c
მა	მლვ	მა	მლვ	მა

შედგენილი ცხრილის საფუძველზე უნდა აიგოს საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის შესასვლელის მახასიათებლები ($I_b = f(U_{be}), U_{ce} = const$) და ბაზის დენის გადაცემის მახასიათებელი ($I_c = f(I_b), U_{ce} = 10ვ$).

საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის გამოსავალის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებლის ($I_c = f(U_{ce}), I_b = const$) გადაღებას ვახდენთ, იგივე, 4.1 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით. მახასიათებლები უნდა

გადავიდეთ ბაზის დენის არა ნაკლები ორი მნიშვნელობისათვის, ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად. ბაზაში გასატარებელი დენის შესაბამისი სიდიდე წინასწარ ფიქსირდება I_1 მუდმივი დენის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში. ბაზის დენის თითოეული მნიშვნელობის დროს უნდა შეიცვალოს ტრანზისტორის კოლექტორულ გადასასვლელზე მიწოდებული უკუძაბვა 0%-დან 100%-მდე ფარგლებში, ჯერ 1%-ის ტოლი ბიჯით (1 ვოლტამდე), ხოლო შემდეგ 5%-ის ტოლი ბიჯით. ვირტუალური ხელსაწყოების ჩვენებები შეგვაქვს №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

$I_b =$			$I_b =$	
[R]	$U_{კვ}$	$I_კ$	$U_{კვ}$	$I_კ$
%	ვ	მა	ვ	მა

შედგენილი ცხრილის საფუძველზე უნდა აიგოს საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის გამოსავალის (კოლექტორის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები: $I_კ = f(U_{კვ})$, $I_b = const$.

4.3. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის პარამეტრების განსაზღვრა შესაძლებელია ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღების დროს შედგენილი ცხრილების გამოყენებით.

შესასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღების დროს შედგენილი №1 ცხრილის მონაცემების გამოყენებით ვსაზღვრავთ შემდეგ პარამეტრებს:

- შესასვლელი (ბაზა-ემიტერის) წრედის დიფერენციალური წინააღობა

$$I_{ბკ} = \frac{\Delta U_{ბკ}}{\Delta I_b}, \quad U_{კვ} = 10 \text{ ვ;}$$

- ბაზის დენის გადაცემის (გაძლიერების) ინტეგრალური კოეფიციენტს

$$\beta' = \frac{I_კ}{I_b}, \quad U_{კვ} = 10 \text{ ვ;}$$

- ბაზის დენის გადაცემის დიფერენციალურ კოეფიციენტს

$$\beta'' = \frac{\Delta I_კ}{\Delta I_b}, \quad U_{კვ} = 10 \text{ ვ;}$$

- შესავალი და გამოსავალი წრედების ძაბვით უკუკავშირის კოეფიციენტს

$$\mu = \frac{\Delta U_{\text{ბგ}}}{\Delta U_{\text{მ}}}, \quad I_{\text{ფ}} = \text{const}.$$

გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღების დროს შედგენილი №2 ცხრილის მონაცემების მიხედვით ვსაზღვრავთ:

- გამოსავალი (კოლექტორ-ემიტერი) წრედის დიფერენციალურ წინააღობას

$$r_{\text{კ}} = \frac{\Delta U_{\text{მ}}}{\Delta I_{\text{კ}}}, \quad I_{\text{ფ}} = \text{const};$$

- კოლექტორული გაჯერების ძაბვას.

5. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 5.1. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემის აღწერა;
- 5.2. შედგენილი ცხრილები და ცხრილების მიხედვით აგებული შესავალი და გამოსავალი წრედების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები. მახასიათებლების ანალიზი;
- 5.3. ექსპერიმენტულად განსაზღვრული პარამეტრები. პარამეტრების ანალიზი;
- 5.4. საერთო ბაზით და საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორის მახასიათებლებისა და პარამეტრების შედარებითი დახასიათება.

ლაბორატორიული სამუშაო №6
ველით მართვადი ტრანზისტორების გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი და დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღება და პარამეტრების განსაზღვრა.

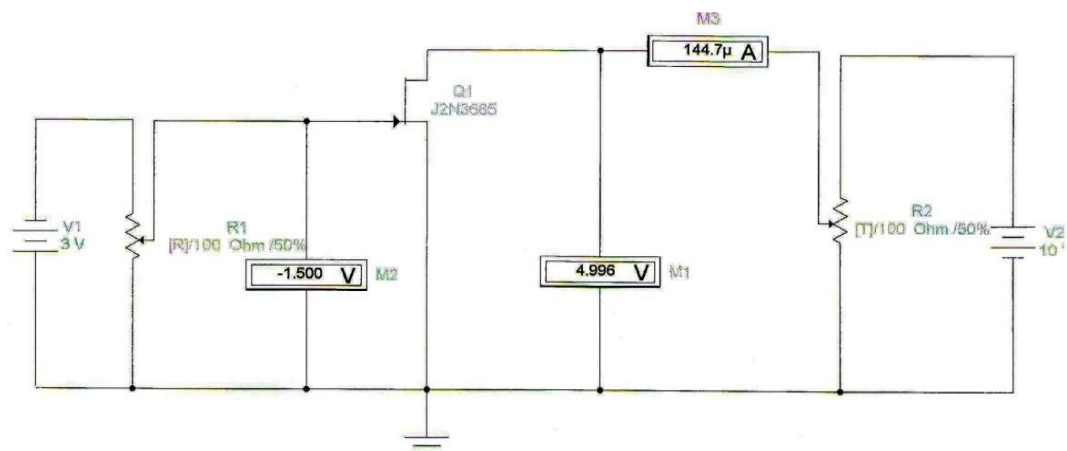
2. სამუშაოს შინაარსი

2.1. მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის გადაცემის და გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღება და პარამეტრების განსაზღვრა.

2.2. დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის გადაცემის და გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღება და პარამეტრების განსაზღვრა.

3. ველით მართვადი ტრანზისტორების ვოლტ-ამპერული
მახასიათებლების გადასაღები სქემის აღწერა

3.1. მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღებად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ვირტუალური სქემა, რომელიც აიწყოფა 6.1 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.

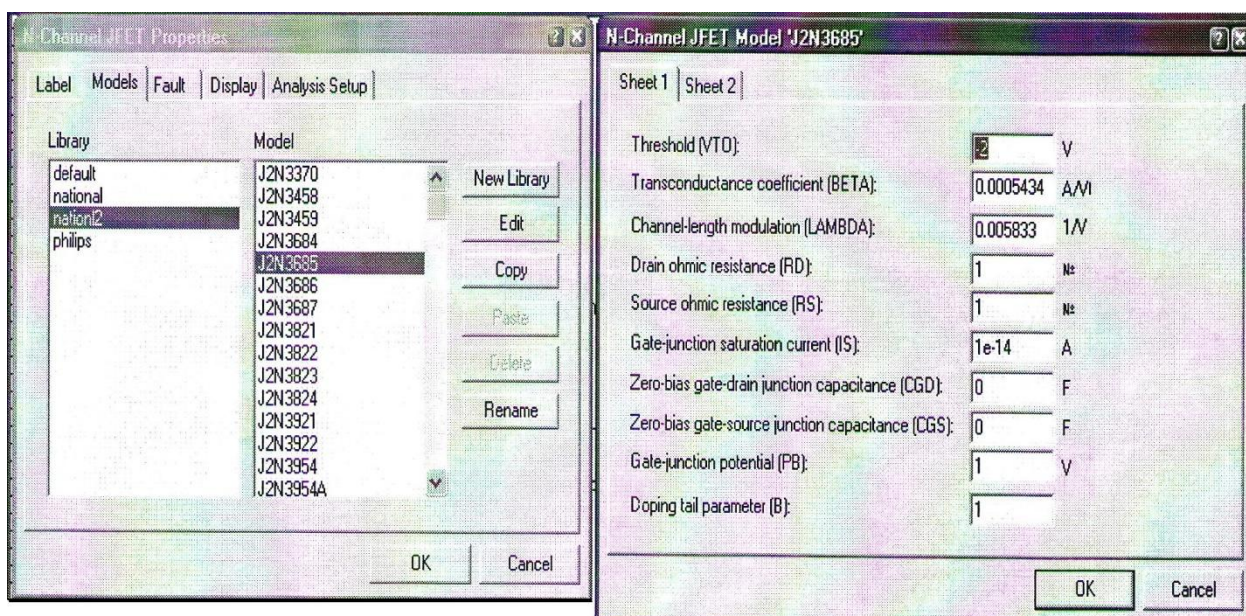


ნახ.6.1 მმართველი p-n გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის
ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღები ვირტუალური სქემა

ვირტუალურ სქემაში გამოყენებულია **J2N3685** ტიპის ველით მართვადი ტრანზისტორის ვირტუალური მოდელი. ასეთი ტრანზისტორების პარამეტრთა სადიალოგო ფანჯარაში შეტანილია პარამეტრები:

- მოკვეთის ძაბვა, **V (Threshold voltage [VTOI]);**
- დახრილობის პროპორციულობის კოეფიციენტი, **A/V (Transconductance coefficient [BETA]);**
- არხის სიგრძის მოდულაციის პარამეტრები, **1/V (Channel-length modulation [LAMDA]);**
- ჩასადინარის უბნის მოცულობითი წინაღობა, ომ (**Drain ohmic resistance [RD]);**
- სათავის უბნის მოცულობითი წინაღობა, ომ (**Source ohmic resistance [RS];**
- **p-n** გადასასვლელის გაჯერების დენი, **A (Gate-Junction saturation current [IS])** და სხვ.

6.2 ნახაზზე მოცემულია **J2N3685** ტიპის ველით მართვადი ტრანზისტორის პარამეტრების სადიალოგო ფანჯარა.



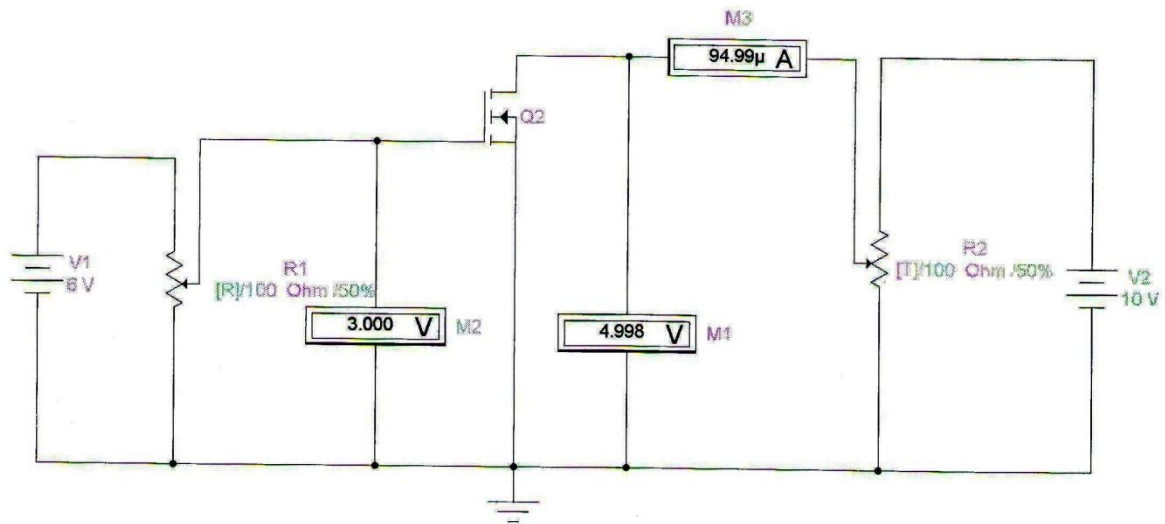
ნახ.6.2. J2N3685 ტიპის ველით მართვადი ტრანზისტორის სადიალოგო ფანჯარა

ვირტუალური სქემის დანარჩენი კომპონენტები აღწერილი იყო წინა ლაბორატორიულ სამუშაოებში.

გამოსაკვლევი ველით მართვადი ტრანზისტორი **n**-არხიანია. ამიტომ შესავალ წრედს (საკეტ-სათავის წრედი) მიეწოდება უარყოფითი წანაცვლების ძაბვა **V1** მუდმივი

ძაბვის წყაროდან და ეს ძაბვა რეგულირდება [R] პოტენციომეტრით. გამოსავალი წრედი (ჩასადინარი) მიერთებულია V2 წყაროს დადებით ძაბვასთან, რომელიც რეგულირდება [T] პოტენციომეტრით.

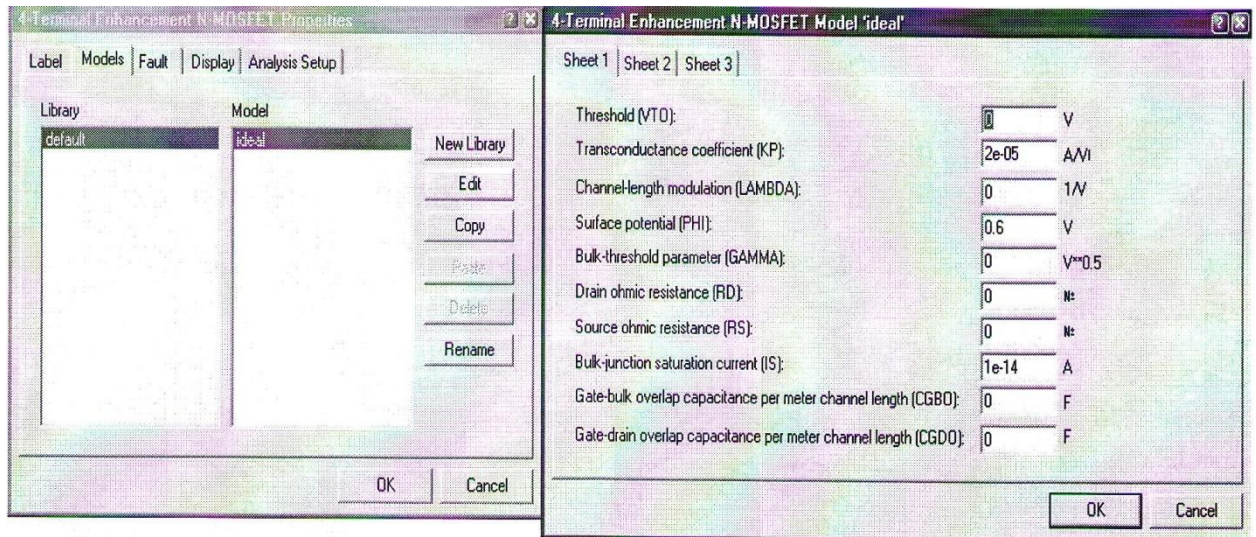
3.2. დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღებად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ვირტუალური სქემა, რომელიც აიწყობა 6.3 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.6.3. დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის
ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადასაღები
ვირტუალური სქემა

ვირტუალურ სქემაში გამოყენებულია **n**-არხიანი იდეალური (**ideal**) ტიპის დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი. ამ სახის ტრანზისტორების სადიალოგო ფანჯარას აქვს მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორების პარამეტრთა სადიალოგო ფანჯრის ანალოგური სახე (ნახ.6.4), მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ სადიალოგო ფანჯრის პირველ გრაფაში (**Threshold voltage [VTO]**) შეტანილი პარამეტრი წარმოადგენს ზღურბლურ ძაბვას, რომლის დროსაც **n**-არხი იწყებს დენის გატარებას და არა დენის შეწყვეტას (მოკვეთას), რასაც ადგილი აქვს მმართველ **p-n** გადასასვლელიან ველით მართვად ტრანზისტორში. გარდა ამისა, დამატებულია სხვა პარამეტრებიც.

გამოსაკვლევი ტრანზისტორის მართვის ელექტროდს (საკეტს) მიეწოდება დადებითი მუდმივი ძაბვა V1 წყაროდან. დადებითი ძაბვა მიეწოდება აგრეთვე გამოსავალ ელექტროდს – ჩასადინარს V2 ძაბვის წყაროდან.



ნახ.6.4. იდეალური (ideal) ტიპის დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის სადიალოგო ფანჯარა

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

4.1. მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის როგორც გადაცემის, ისე გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადღებას ვახდენთ 6.1 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადღების დროს გამოსაკვლევი ველით მართვადი ტრანზისტორის ტიპის დასახელებას ინდივიდუალური დავალების სახით სტუდენტი ღებულობს მასწავლებლისაგან.

გადაცემის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების ($I_{b,s} = f(U_{b,bs})$, $U_{b,bs} = \text{const}$) გადღება უნდა მოხდეს ჩასადინარ – სათავეს შორის მოქმედი ძაბვის ორი სხვადასხვა სიდიდის დროს (ინდივიდუალური დავალების მიხედვით). ჩასადინარსა და სათავეს შორის მისაერთებელ ძაბვას აყენებს **[T]** პოტენციომეტრი. საკეტსა და სათავეს შორის მოქმედ უარყოფით ძაბვას არეგულირებს **V1** წყაროსთან მიერთებული **[R]** პოტენციომეტრი 0-დან 100% ფარგლებში, 5%-ის ტოლი ბიჯით. **[R]** –ის ცვლილებისა გაზომვებით და პარამეტრების გაანგარიშებით მიღებული შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში.

მოცემულობა			გაზომვით				გაანგარიშებით		
			$U'_{\text{ჩახ.სთ}} =$			$U''_{\text{ჩახ.სთ}} =$			
V1	[R]	$U_{\text{ს.სთ. მოკვ}}$	$U_{\text{ს.სთ}}$	$I_{\text{ჩახ}}$	$U_{\text{ს.სთ. მოკვ}}$	$I_{\text{ჩახ}}$	$S_{\text{ს}}$	$S_{\text{ბ}}$	R_{min}
ვ	%	ვ	ვ	მა	ვ	მა	მვ/ვ	მვ/ვ	ომ

შედგენილი ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის გადაცემის მახასიათებლები – $I_{\text{ჩახ}} = f(u_{\text{ს.სთ}})$, $u_{\text{ჩახ.სთ}} = \text{const}$ და განისაზღვროს პარამეტრები. ამ ცხრილის მიხედვით ვსაზღვრავთ შემდეგ პარამეტრებს:

- ველით მართვადი ტრანზისტორის საკეტსა და სათავეს შორის ძაბვის იმ უარყოფით მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ჩასადინარის დენი ნულის ტოლი ხდება (მოკვეთის ძაბვა $-U_{\text{ს.სთ.მოკვ}}$);

- ველით მართვადი ტრანზისტორის მახასიათებლის დახრილობას მის საწყის და ბოლო უბნებზე ($S_{\text{ს}}$, $S_{\text{ბ}}$)

$$S = \frac{\Delta I_{\text{ჩახ}}}{\Delta U_{\text{ს.სთ}}}, \quad U_{\text{ჩახ.სთ}} = \text{const}.$$

- ველით მართვადი ტრანზისტორის არხის მინიმალურ წინააღობას (არხის წინააღობას საკეტსა და სათავეს შორის მოქმედი ძაბვის ნულის სიახლოვეს)

$$R_{\text{min}} = \frac{U_{\text{ჩახ.სთ}}}{I_{\text{ჩახ. max}}}.$$

მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის გამოსასვლელის (ჩასადინარის) მახასიათებლის გადაღებას ვახდენთ საკეტ-სათავეს უარყოფითი ძაბვის ორი სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. ამ ძაბვის თითოეული მნიშვნელობის შემთხვევაში ვცვლით **V2** მუდმივი ძაბვის წყაროდან ჩასადინარზე მიწოდებული ძაბვის სიდიდეს 0 – 100%-ის ფარგლებში, 5%-ის ტოლი ბიჯით. ჩასადინარის ძაბვისა და დენის მნიშვნელობები შეგვაქვს №2 ცხრილში.

მოცემულობა		$U'_{\text{ს.სთ}} =$					$U''_{\text{ს.სთ}} =$				
		გაზომვით		გაანგარიშებით			გაზომვით		გაანგარიშებით		
V2	[T]	$U_{\text{ჩას.სთ}}$	$I_{\text{ჩას}}$	r'_i	S'	μ'	$U_{\text{ჩას.სთ}}$	$I_{\text{ჩას}}$	r''_i	S''	μ''
ვ	%	ვ	მკა	ომ	მვ/ვ	-	ვ	მკა	ომ	მვ/ვ	-

შედგენილი ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის ჩასადინარის (გამოსასვლელის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები – $I_{\text{ჩას}} = f(U_{\text{ჩას.სთ}})$, $U_{\text{ს.სთ}} = \text{const}$ და განისაზღვროს პარამეტრები. ამ ცხრილის მიხედვით ვსაზღვრავთ შემდეგ პარამეტრებს:

- ველით მართვადი ტრანზისტორის დენგამტარი არხის დიფერენციალურ წინაღობას აქტიურ რეჟიმში მუშაობის დროს

$$r'_i = \frac{\Delta U_{\text{ჩას.სთ}}}{\Delta I_{\text{ჩას}}}, \quad U_{\text{ს.სთ}} = U'_{\text{ს.სთ}};$$

$$r''_i = \frac{\Delta U_{\text{ჩას.სთ}}}{\Delta I_{\text{ჩას}}}, \quad U_{\text{ს.სთ}} = U''_{\text{ს.სთ}};$$

- მახასიათებლების დახრილობას

$$S' = \frac{1}{R_{\min}} \left[1 - \frac{|U'_{\text{ს.სთ}}|}{|U_{\text{მოკ}}|} \right];$$

$$S'' = \frac{1}{R_{\min}} \left[1 - \frac{|U''_{\text{ს.სთ}}|}{|U_{\text{მოკ}}|} \right];$$

- გაძლიერების სტატიკურ კოეფიციენტს

$$\mu' = r'_i \cdot S', \quad \mu'' = r''_i \cdot S''.$$

4.2. დაინდუქციებული არხიანი ველით მართვადი ტრანზისტორის გადაცემისა და გამოსასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღებას ვახდენთ 6.3 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

გადაცემის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების ($I_{\text{ჩას}} = f(U_{\text{ს.სთ}})$, $U_{\text{ჩას.სთ}} = \text{const}$) გადაღება უნდა მოხდეს ჩასადინარ – სათავეს შორის მოქმედი ძაბვის ორი სხვადასხვა სიდიდის დროს (ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად). საკეტსა და სათავეს

შორის მოქმედი დადებითი ძაბვა, **[R]** პოტენციომეტრის საშუალებით, უნდა შეიცვალოს 0-დან 100%-მდე, 5%-ის ტოლი ბიჯით და გაზომვებით მიღებული შედეგები შეტანილი უნდა იქნას №1 ცხრილის ანალოგიურ №3 ცხრილში. შედგენილი ცხრილის საფუძველზე უნდა აიგოს გადაცემის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები და განისაზღვროს მახასიათებლების დახრილობა საწყის და ბოლო უბნებზე (**S_ს**, **S**).

ჩასადინარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გადაღება უნდა მოხდეს საკეტსა და სათავეს შორის მიერთებული ძაბვის ორი სხვადასხვა სიდიდის დროს (ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად). ჩასადინარსა და სათავეს შორის მიერთებული ძაბვის სიდიდე უნდა შეიცვალოს **[T]** პოტენციომეტრის საშუალებით 0-დან 100%-მდე და გაზომვის შედეგები შეტანილი იქნას №2 ცხრილის ანალოგიურ №4 ცხრილში, რომლის საფუძველზეც უნდა აიგოს ჩასადინარის მახასიათებლები ($I_{b\>b} = f(U_{b\>b.bom})$, $U_{b.bom} = const$) და განისაზღვროს პარამეტრები.

5. ლაბორატორიული სამუშაოს ანბარიშის შინაარსი

- 5.1. მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი და დაინდუქციებული არხიანი კელით მართვადი ტრანზისტორების გადაცემისა და გამოსასვლელის მახასიათებლების გადასაღები სქემები და მათი აღწერა.
- 5.2. შედგენილი ცხრილები და ცხრილების მიხედვით აგებული გადაცემისა და გამოსასვლელის მახასიათებლები.
- 5.3. თეორიული და ვირტუალური მოდელირებით მიღებული მახასიათებლების შედარებითი ანალიზი.
- 5.4. მოდელირების შედეგად მიღებული პარამეტრების დახასიათება.
- 5.5. მმართველი **p-n** გადასასვლელიანი და დაინდუქციებული არხიანი პარამეტრების შედარებითი დახასიათება.

ლაბორატორიული სამუშაო №7
ერთფაზა კაპის ორნახევარპერიოდულიანი
გამმართველების გამოკვლევა

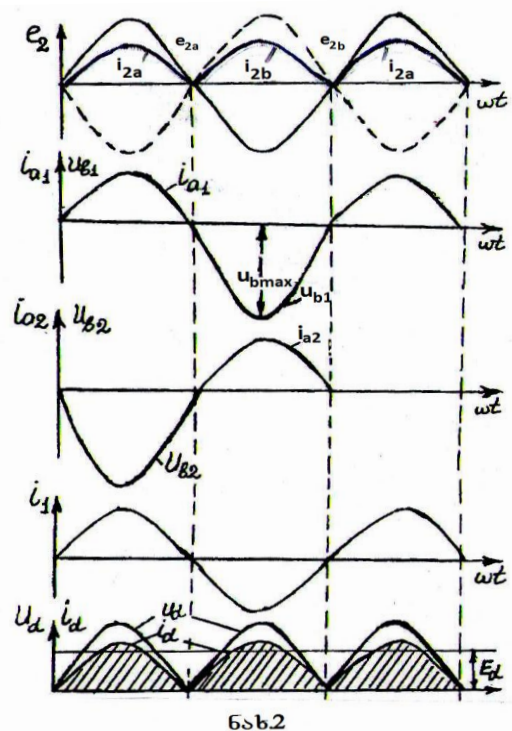
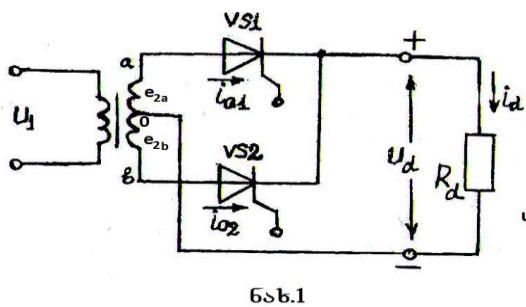
1. სამუშაოს მიზანი

ერთფაზა არამართვადი ტრანსფორმატორის ნულის გამოყვანიანი და ბოგური გამმართველების გამოკვლევა აქტიურ და აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე მუშაობის დროს.

2. თეორიული ცნობები

მცირე სიმძლავრის გამმართველები ერთფაზა შესრულებისაა. ერთფაზა გამმართველები ძირითადად შესრულებულია სრულპერიოდულიანი (ორნახევარპერიოდულიანი) სქემის მიხედვით:

1. სქემა ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის შუა წერტილის გამოყვანიტ (ერთფაზა ნულის გამოყვანიანი სქემა);
 2. ბოგური სქემა
1. ერთფაზა ნულის გამოყვანიანი გამმართველის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე. ნახ. 2-ზე კი მოცემულია სქემის მუშაობის ამსახველი ძაბვებისა და დენების დიაგრამები წმინდა აქტიური დატვირთვის დროს.



გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა იდეალური დიოდებისა და ტრანსფორმატორის შემთხვევაში

$$E_d = \frac{\sqrt{2}E_2}{\pi} \int_0^\pi \sin d\vartheta = \frac{2\sqrt{2}E_2}{\pi} = 0,9 E_2, \quad (1)$$

სადაც $\vartheta = \omega t$;

E_2 – იდეალური ტრანსფორმატორის მეორეული ნახევარგრაგნილის ე მ ძ-ის მოქმედი მნიშვნელობაა.

საიდანაც
$$E_2 = \frac{\pi E_d}{2\sqrt{2}} = 1,11 E_d \quad (2)$$

დატვირთვაში გამავალი დენის საშუალო მნიშვნელობა

$$I_d = \frac{E_d}{R_d}. \quad (3)$$

სქემის სიმეტრიულობიდან გამომდინარე, დიოდში გამავალი დენის საშუალო მნიშვნელობა

$$I_a = \frac{I_d}{2}. \quad (4)$$

დიოდში გამავალი დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$I_{a \max} = I_{d \max} = \frac{\pi}{2} I_d = \pi I_a \quad (5)$$

პერიოდის იმ ნაწილში, როცა იდეალური დიოდი ღიაა, მასზე არსებული ძაბვის ვარდნა ნულის ტოლია. პერიოდის არაგამტარ ნაწილში დიოდზე მოქმედებს ორივე ნახევარგრაგნილის ძაბვა, ამიტომ იგი ეტოლება მეორეული გრაგნილის ძაბვის ორმაგ ამპლიტუდას

$$U_{b \max} = 2\sqrt{2}E_2 = \pi E_d. \quad (6)$$

დიოდში და, მაშასადამე, მეორეულ ნახევარგრაგნილში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობა

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_2^2 d\omega t} = \frac{\pi I_d}{4} = \frac{\pi I_a}{2} \quad (7)$$

ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გამავალი დენი სინუსოიდური ფორმისაა. მისი მოქმედი მნიშვნელობა დამოკიდებულია გამართული (დატვირთვის) დენის საშუალო მნიშვნელობაზე და განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულების მიხედვით

$$I_1 = \frac{\pi I_a}{2\sqrt{2} k_{\text{ტრ}}} = 1,11 \frac{I_d}{k_{\text{ტრ}}}, \quad (8)$$

სადაც $k_{\text{ტრ}} = \frac{W_1}{W_2}$ – ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.

ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის საანგარიშო სიმძლავრე ეტოლება

$$S_2 = 2E_2 I_2 = \frac{2\pi}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\pi}{4} E_d I_d = 1,74 P_d \quad (9)$$

ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის საანგარიშო სიმძლავრე

$$S_1 = U_1 I_1 = \frac{\pi^2}{8} I_d E_d = 1,23 P_d . \quad (10)$$

ტრანსფორმატორის საანგარიშო სიმძლავრე

$$S_{\Sigma} = \frac{S_1 + S_2}{Q} = 1,48 P_d . \quad (11)$$

დატვირთვაში გამოყოფილი სრული აქტიური სიმძლავრე

$$P_d^I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_d i_d d\omega t = \frac{\pi^2}{8} P_d . \quad (12)$$

ზემოთ მოყვანილი გამოსახულებები ძალაშია წმინდა აქტიური დატვირთვის დროს. თუ დატვირთვა აქტიურ ინდუქციური ხასიათისაა და ინდუქციურობის სიდიდე იმდენად დიდია, რომ დატვირთვის დენს პულსაციები არ გააჩნია, მაშინ დიოდის დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$I_{a\max} = I_d . \quad (13)$$

დიოდისა და ტრანსფორმატორის მეორეული ნახევარგრაგნილების დენების მოქმედი მნიშვნელობა ამ შემთხვევაში არის

$$I_{a\vartheta} = I_2 = I_d / \sqrt{2} \quad (14)$$

ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის დენის მოქმედი მნიშვნელობა

$$I_1 = I_d / K_{\Sigma} . \quad (15)$$

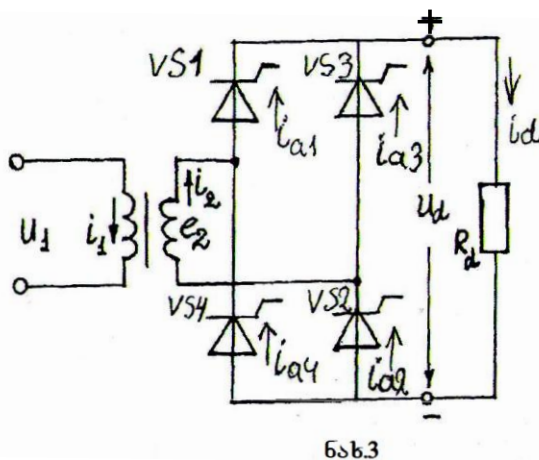
ტრანსფორმატორის საანგარიშო სიმძლავრე

$$S_{\Sigma} = S_1 = S_2 = 1,34 P_d . \quad (16)$$

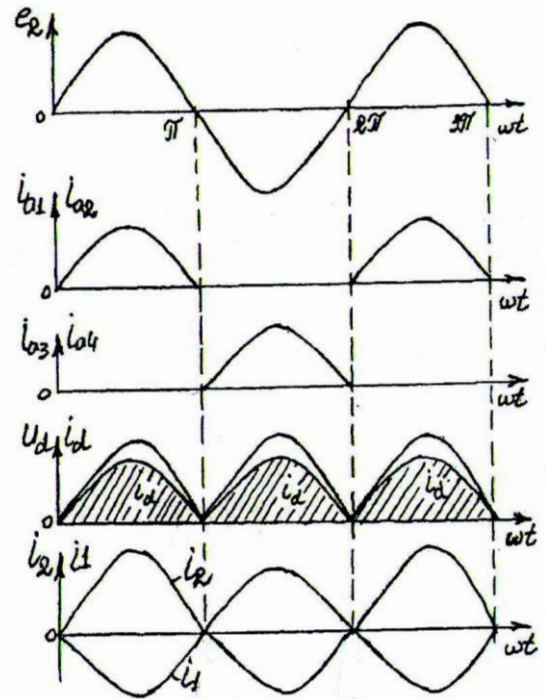
დატვირთვაში გამავალი დენის მოქმედი და საშუალო მნიშვნელობები ერთნაირია, ე.ი.

$$P_d^I = P_d . \quad (17)$$

2. ერთფაზა გამმართველის ბოგური სქემა მოცემულია ნახ. 3-ზე. ნახ. 4-ზე წარმოდგენილია ამ სქემის მუშაობის ამსახველი ძაბვებისა და დენების დიაგრამები წმინდა აქტიური დატვირთვის დროს.



ნახ.3



ნახ.4

გამართული ძაბვისა და დენის საშუალო მნიშვნელობები ამ სქემაში ისეთივეა, როგორიც ნულისგამომყვანიან სქემაში.

ბოგურ სქემაში დიოდზე მოქმედი უკუძაბვა, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ დიოდზე არსებულ პირდაპირი ძაბვის ვარდნას, განისაზღვრება ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ძაბვით:

$$U_{b\max} = \sqrt{2}E_2 = \frac{\pi}{2}E_d. \quad (18)$$

(6) და (13) გამოსახულებების შედარებიდან ჩანს, რომ დიოდებზე მოქმედი უკუძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა, გამართული ძაბვის ერთიდაიგივე სიდიდის დროს, ბოგური სქემაში 2-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ნულისგამომყვანიან სქემაში.

ბოგურ სქემაში ტრანსფორმატორის მეორეულ და პირველად გრაგნილებში გამავალი დენის ფორმები ერთნაირია (სინუსოიდურია), ამიტომ პირველადი გრაგნილის დენის მოქმედი მნიშვნელობა განსხვავდება მეორეული გრაგნილის დენის მოქმედი მნიშვნელობისაგან მხოლოდ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტჯერ.

$$I_2 = 1,11I_d, \quad I_1 = \frac{1,11}{k_{\text{ტრ}}}I_d \quad (19)$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ტრანსფორმატორის გრაგნილების საანგარიშო სიმძლავრეები ბოგურ სქემაში ერთნაირია

$$S_1 = S_2 = 1,23P_d. \quad (20)$$

გაანგარიშების შედეგების EWB პროგრამის გამოყენებით ექსპერიმენტული შემოწმებისას, გამოყენებულია დიოდის მოდელი „Ideal” რომელშიც პირდაპირი ძაბვის ვარდნა (ΔU_a) არ არის ნულის ტოლი. იგი შეადგენს დაახლოებით 0,8 ვ-ს.

ამიტომ გამოსავალი ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის ზუსტი გაანგარიშებისათვის, საჭიროა (1) გამოსახულების ნაცვლად შემდეგი გამოსახულებით სარგებლობა

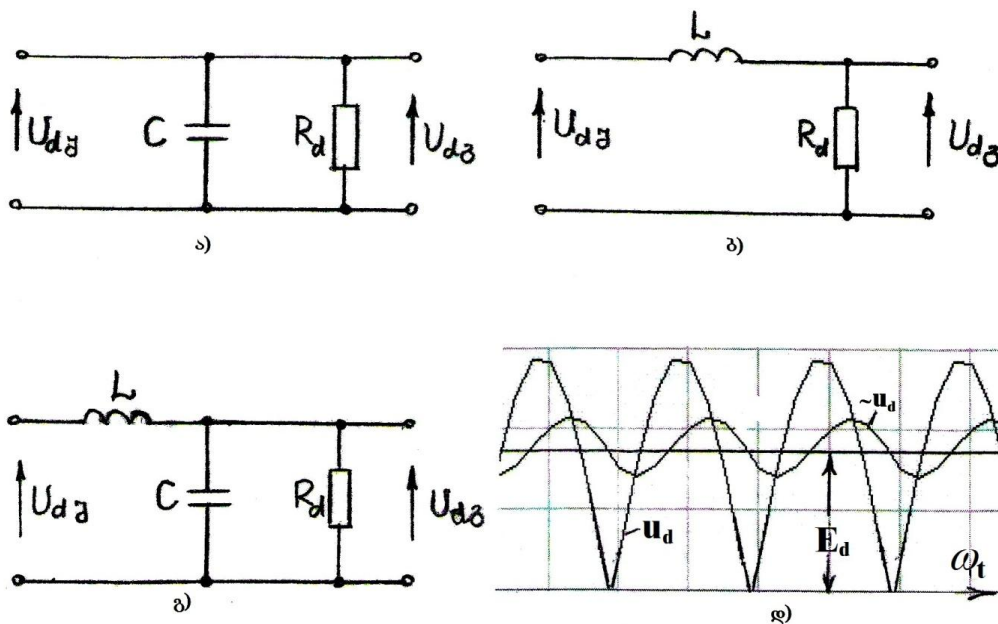
$$U_d = \frac{2\sqrt{2}E_2}{\pi} - \Delta u_a = 0,9 E_2 - \Delta u_a. \quad (21)$$

ამის გამო, საჭიროა ყველა სხვა ფორმულის კორექტირება. მაგრამ ცდომილება, რომელიც გამოწვეულია დიოდის არაიდეალურობით, არ აღემატება 5%-ს, რაც სავსებით დასაშვებია ინჟინრული გაანგარიშებების შესრულების დროს.

დატვირთვაზე მიღებულ გამართულ ძაბვასა და დენს აქვს პულსირებული ხასიათი. პულსაციების გასაგლუვებლად (გასასწორებლად) გამოიყენება ფილტრები. ფილტრის ფუნქციას ასრულებს სქემაში ჩართული რეაქტიული ელემენტები (კონდენსატორები, დროსელები). ნახ. 5-ზე ნაჩვენებია უმარტივესი ფილტრების სქემები:

- ინდუქციური ფილტრი (ნახ.5,ა);
- ტევადობითი ფილტრი (ნახ. 5,ბ);
- „L“-სებრი ფილტრი (ნახ. 5,გ).

ნახ. 5,დ-ზე ნაჩვენებია გამოსავალი (გამართული) ძაბვის ფორმა დატვირთვაზე ფილტრის გამოყენების შემთხვევაში



ნახ.5

პულსირებული გამართული ძაბვა შეიცავს მუდმივ და ცვლად შემადგენებს. ფილტრის ტევადობისა და ინდუქციურობის საკმაოდ დიდი სიდიდის დროს, მათ რეაქტიულ წინააღობაზე ვარდება გამართული ძაბვის ცვლადი შემადგენის დიდი ნაწილი (ნახ.5,დ). ინდუქციურობისა და ტევადობის კომბინაცია წარმოქმნის ე. წ. „L“-სებრი ფილტრს, რომელსაც გააჩნია ძაბვის გაფილტვრის საუკეთესო თვისება.

ერთვაზა ორნახევარპერიოდიანი გამმართველების გამოსავალი ძაბვის პულსაციის სიხშირე 2-ჯერ აღემატება მკვებავი ცვლადი ძაბვის ქსელის f სიხშირეს. ამიტომ ასეთი გამმართველების გამოსავალი ძაბვის ცვლადი შემდგენი შეიცავს მხოლოდ ლუწი რიგის ჰარმონიკებს. ამ ჰარმონიკებიდან უდიდესი ამპლიტუდა აქვს პირველ (ძირითად) ჰარმონიკას, რომლის სიხშირე 2-ჯერ აღემატება მკვებავი ქსელის სიხშირეს. სხვა მაღალი რიგის ჰარმონიკების ამპლიტუდები რიგითი ნომრის კვადრატის უკუპროპორციულია. ამიტომ ფილტრის პარამეტრების გაანგარიშებას ახდენენ მხოლოდ პირველი (ძირითადი) ჰარმონიკის გათვალისწინებით.

გამართული ძაბვის პირველი (ძირითადი) ჰარმონიკის ამპლიტუდის შეფარდებას გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობასთან უწოდებენ პულსაციის კოეფიციენტს

$$q_1 = \frac{U_{d(1)\max}}{U_d}. \quad (22)$$

წმინდა აქტიურ დატვირთვაზე მუშაობის დროს გამართული ძაბვის პულსაციის კოეფიციენტი: $q_1 = \frac{2}{3} \approx 0,67$.

ფილტრის გამოყენების შემთხვევაში დატვირთვაზე მოქმედი ძაბვის პულსაციის კოეფიციენტი

$$q_2 = \frac{U_{d(1)\max}^|}{U_d^|}, \quad (23)$$

სადაც $U_{d(1)\max}^|$ – პირველი (ძირითადი) ჰარმონიკის ამპლიტუდაა ფილტრის გამოსავალზე;

$U_d^|$ – გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ფილტრის გამოსავალზე.

ფილტრის შესავალზე და გამოსავალზე არსებული ძაბვების პულსაციათა კოეფიციენტების შეფარდებას უწოდებენ გასწორების (ფილტრაციის) კოეფიციენტს

$$S = \frac{q_1}{q_2} \quad (24)$$

ინდუქციური ფილტრის გამოყენების შემთხვევაში (ნახ.5,ა) გამმართველის გამოსავალი ძაბვის ცვლადი შემდგენის პირველი ჰარმონიკა განაწილდება ფილტრის X_L ინდუქციური წინააღობასა და დატვირთვის R_d აქტიურ წინააღობაზე. როდესაც $X_L \gg R_d$, დატვირთვაზე მოქმედი ძაბვის პულსაციები, მცირე სიდიდისაა (ნახ. 5,დ). ორნახევარპერიოდიანი გამართვის სქემებში ფილტრის გასწორების კოეფიციენტი

$$S = \frac{\sqrt{R_d^2 + (2\omega L)^2}}{R_d} \quad (25)$$

როდესაც ცნობილია გასწორების კოეფიციენტის საჭირო სიდიდე და დატვირთვის აქტიური წინააღობა, ფილტრის ინდუქციურობა შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებიდან

$$L \approx \frac{S R_d}{2\omega} = \frac{q_1 R_d}{q_2 \cdot 2\omega} = \frac{R_d}{3q_2\omega} \quad (26)$$

როდესაც საჭიროა ფილტრის გასწორების დიდი კოეფიციენტი, მაშინ მარტივი ფილტრების კონდენსატორის C ტევადობა ან L ინდუქციურობა ძალზე დიდი სიდიდის გამოდის და ფილტრს აქვს დიდი გაბრიტული ზომები, რაც ხშირად მიუღებელია. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილია „ Γ “-სებრი ფილტრის გამოყენება (ნახ.5,გ). „ Γ “-სებრი ფილტრის გასაანგარიშებლად გამოიყენება გამოსახულება

$$LC = \frac{S}{4\omega^2} \quad (27)$$

სადაც ω – გამართული ძაბვის პირველი (ძირითადი) ჰარმონიკის სიხშირეა;

$$L \text{ და } C \text{ განისაზღვრება გამოსახულებიდან } \omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

4. სამუშაოს უინაარსი

4.1. ერთფაზა ორნახევარპერიოდული გამმართველების მუშაობის გამოკვლევა აქტიურ დატვირთვაზე მუშაობის დროს უფილტროდ და ფილტრის გამოყენებით.

4.2. ერთფაზა ორნახევარპერიოდული გამმართველების მუშაობის გამოკვლევა აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე მუშაობის დროს.

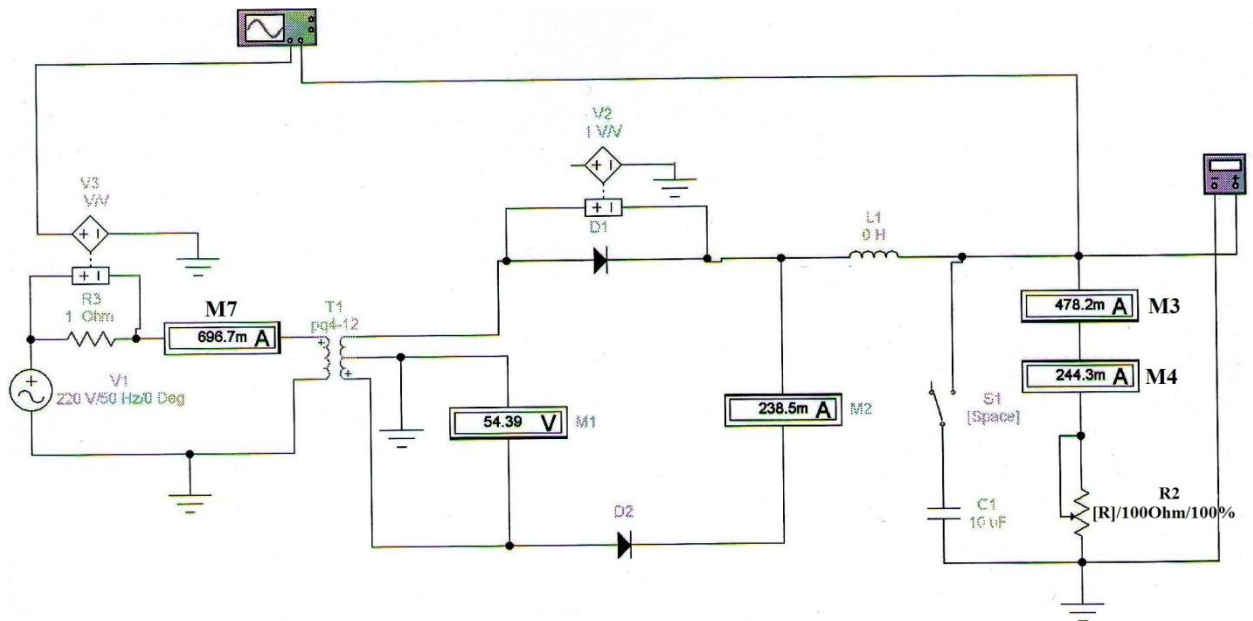
5. ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარის აღწერა

ერთფაზა გამმართველების ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარების სქემები მოცემულია 7.1, ა,ბ ნახაზებზე.

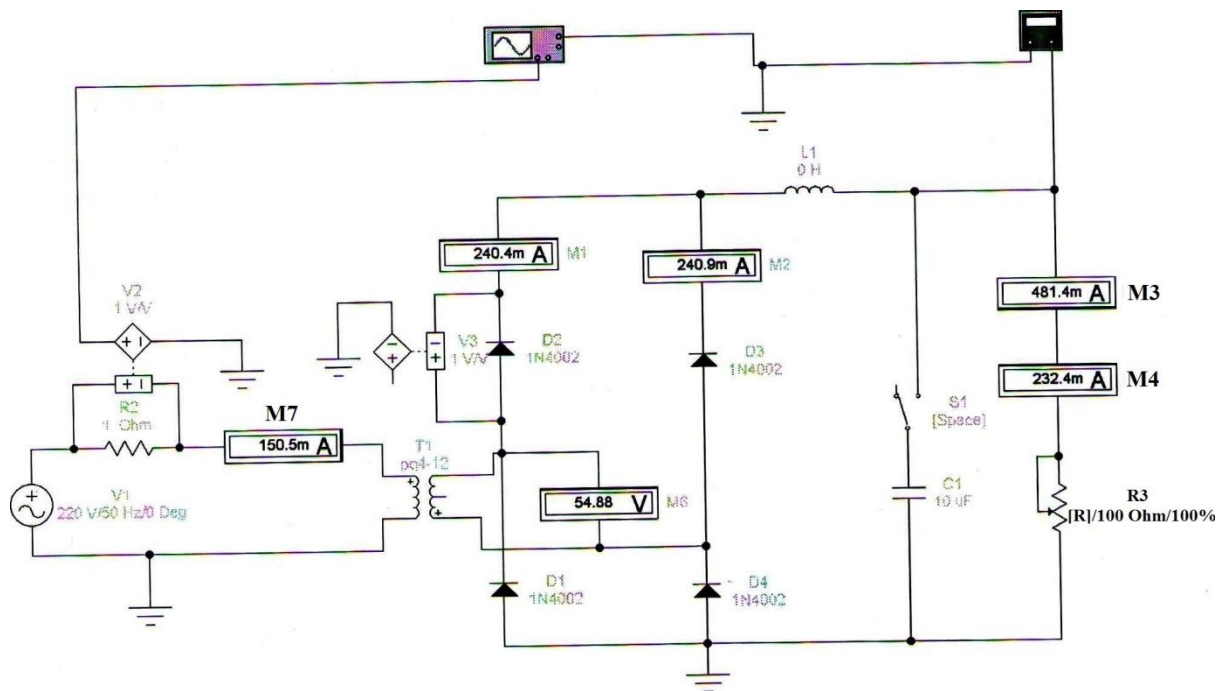
გამმართველების სქემაში გამოყენებული ვირტუალური კომპონენტების უმრავლესობა წინა ლაბორატორიულ სამუშაოებში იყო გამოყენებული. ახალი ვირტუალური კომპონენტებია: ერთფაზა ძაბვის დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი მეორეული გრაგნილის შუა წერტილის (ნულის) გამოყენებით, ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილთან მიერთებული ცვლადი ძაბვის წყარო, ძაბვით მართვადი ძაბვის წყარო ($1V/V$), მულტიმეტრი და ოსცილოსკოპი.

ტრანსფორმატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში შეტანილია:

- ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (**Primary – to secondary turns ratio [N]**);



ნახ.7.1.ა. ერთფაზა არამართვადი ტრანსფორმატორის ნულის გამოყენიანი გამმართველის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარის სქემა

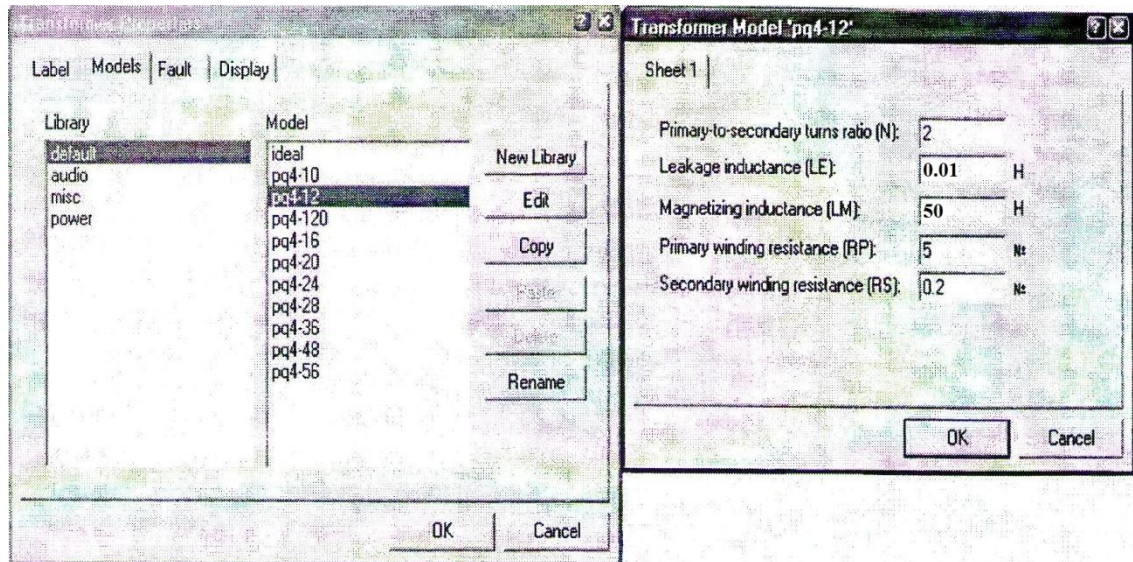


ნახ.7.1.ბ. ერთფაზა არამართვადი ბოგური გამმართველის ლაბორატორიული დანადგარის ვირტუალური სქემა

- გაბნევის უნდუქციურობა (**Leakage inductance [LE]**);
- დამაგნიტების ინდუქციურობა (**Magnetizing inductance [LM]**);

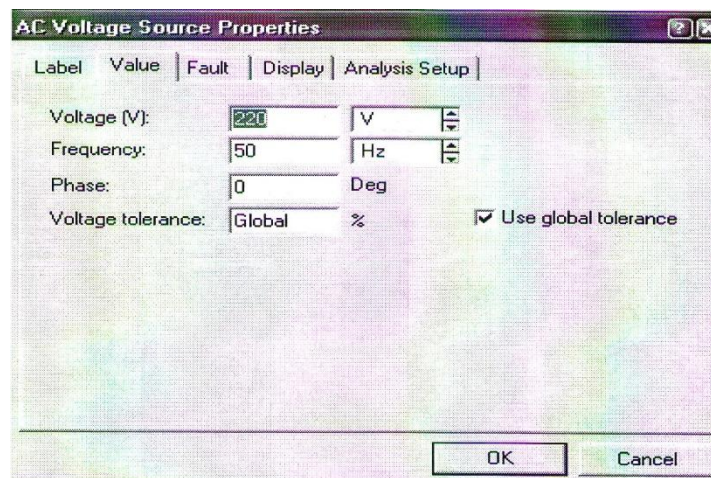
- პირველადი გრაგნილის წინაღობა (**Primary Winding resistance [RP]**);
- მეორეული გრაგნილის წინაღობა (**Secondary Winding resistance [RS]**).

ძაბვის დამადაბლებელი **pq4-12** ტიპის ტრანსფორმატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა ნახვენება 7.2 ნახაზზე



ნახ.7.2. Pq4-12 ტიპის ტრანსფორმატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

ცვლადი ძაბვის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში (ნახ.7.3) ფიქსირდება გამოსავალი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა (**Voltage [V]**), სიხშირე ჰერცებში (**Frequency**) და საწყისი ფაზა გრადუსებში (**Phas, dey.**).

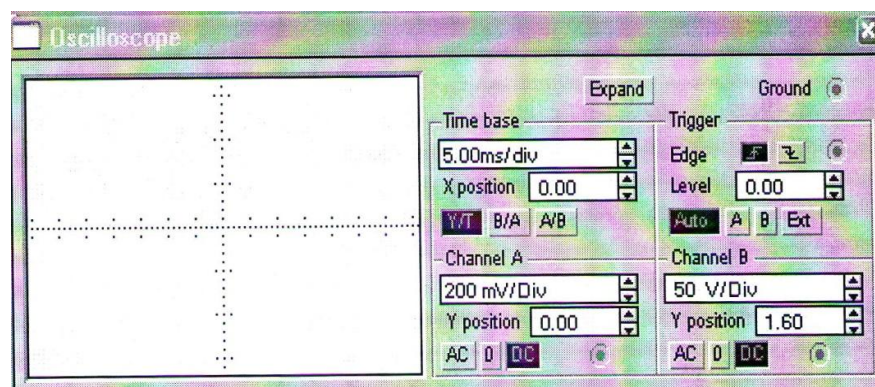


ნახ.7.3. ცვლადი ძაბვის წყაროს სადიალოგო ფანჯარა

ძაბვით მართვადი ძაბვის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში შეტანილია ერთი პარამეტრი – ძაბვის გადაცემის კოეფიციენტი (**Voltage gain, V/V**).

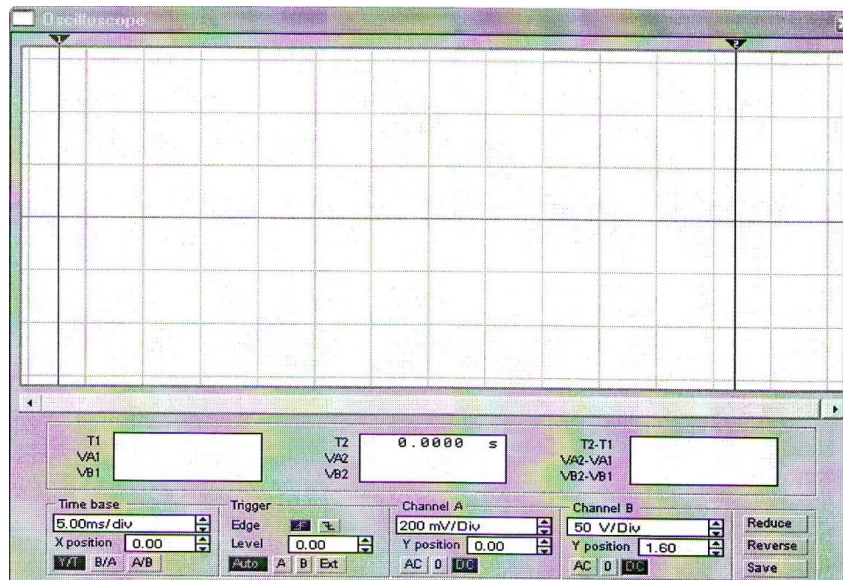
ოსცილოსკოპი (ოსცილოგრაფი) ორარხიანია (ორსხივიანია). ოსცილოსკოპის გამოყენების დროს, ცვლადი სიგნალის სიხშირის გათვალისწინებით, წინასწარ უნდა დაფიქსირდეს სხივის პორიზონტალური განშლადობის ხანგრძლივობა (**Time base**) მილიწამი ან მიკროწამი სკალის ერთ დანაყოფზე (**ms/div, μ s/div**) (ნახ.7.4). სიგნალის ძაბვისა და დენის მიხედვით უნდა დაფიქსირდეს ვერტიკალური განშლადობის მგრძნობიარობა (ვოლტი ან მილივოლტი დანაყოფზე, ამპერი ან მილიამპერი დანაყოფზე). საჭიროების შემთხვევაში ფიქსირდება აგრეთვე სხივის წანაცვლება ვერტიკალურად ზემოთ ან ქვემოთ (**position**).

ოსცილოსკოპს შეუძლია გაფართოებული ეკრანის რეჟიმში [EXPEND] მუშაობა. **EXPEND** ღილაკის გააქტიურების შემდეგ ეკრანზე მიიღება სიგნალების დიაგრამები გაზრდილი ზომებით. ამ შემთხვევაში თითოეული არხის (**A** და **B** არხები) სიგნალის მყისი მნიშვნელობის გასაზომად გამოიყენება სამიზნეული სახაზავები. ამავე სახაზავების საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს დროის შუალედი (**T2 – T1**) გასაზომ მყის მნიშვნელობათა შორის (ნახ.7.5)

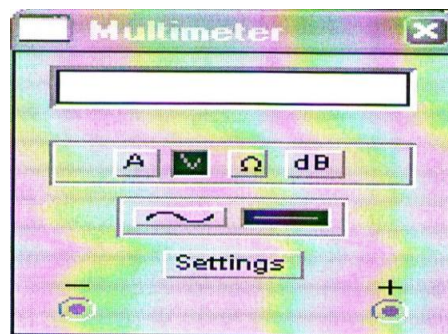


ნახ.7.4. ორარხიანი ოსცილოსკოპის სადიალოგო ფანჯარა

მულტიმეტრი შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ომმეტრის, ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ფუნქციის შესასრულებლად. მას შეუძლია იმუშაოს ცვლადი და მუდმივი სიგნალების გაზომვის რეჟიმებში.



ნახ.7.5. ორარხიანი ოსცილოსკოპის გაფართოებული ეკრანი



ნახ.7.6. მულტიმეტრის ფანჯარა

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. ერთფაზა ორნახევარპერიოდული გამმართველის აქტიურ დატვირთვაზე მუშაობის გამოკვლევას ვახორციელებთ 7.1 ნახაზებზე მოცემული ვირტუალური სქემების გამოყენებით. როდესაც გამმართველის გამოკვლევას ვახდენთ ფილტრის გამოუყენებლად, L ინდუქციურობის სადიალოგო ფანჯარაში შეტანილი უნდა იქნას 0 , ხოლო კონდენსატორი S_1 გადამრთველით იმყოფება გამორთულ მდგომარეობაში. მარტივი ინდუქციური ფილტრის გამოყენების შემთხვევაში, L ინდუქციურობის სადიალოგო ფანჯარაში ფიქსირდება ინდუქციურობის საჭირო სიდიდე, ხოლო „ F “-სებრი LC ფილტრის გამოყენების შემთხვევაში, დამატებით, C კონდენსატორის სადიალოგო ფანჯარაში ფიქსირდება ტევადობის საჭირო სიდიდე და იგი S_1 (Space) გადამრთველით უერთდება დატვირთვას.

ერთვაზა ორნახევარპერიოდის გამმართველის გამოსაკვლევი სქემური ვარიანტი, გამმართველის ტრანსფორმატორის ტიპი და მისი პარამეტრები, დიოდების ტიპი, აგრეთვე გამოყენებული ფილტრის სახეობა და მისი ფილტრაციის კოეფიციენტის მოთხოვნილი სიდიდე შედის სტუდენტზე გაცემულ ინდივიდუალურ დავალებათა ჩამონათვალში. დამოუკიდებელი შესწავლის დროს შეიძლება შეირჩეს გამართვის ერთ-ერთი სქემა და 7.2 ნახაზზე მოცემული ტიპის ტრანსფორმატორის სადიალოგო ფანჯარა.

უფილტრო, აქტიურ დატვირთვაზე მომუშავე, გამმართველის გამოკვლევისას იცვლება დატვირთვის $[R]$ წინაღობა 20 ომ-დან 100 ომ-მდე (20%-დან 100%-მდე) ფარგლებში, 10 ომ-ის ტოლი ბიჯით. დატვირთვის წინაღობის ყოველი მნიშვნელობის დროს უნდა გაიზომოს და გაანგარიშდეს გამმართველის მახასიათებელი პარამეტრები. მოდელირების შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში.

ცხრილი 1

მოცემულობა				გაზომვებით										თეორიული მნიშვნელობა						
U_1	U_2	$[R]$	R	I_d	$I_{d\sim}$	$I_{d\Phi}$	U_d	$U_{d\sim}$	I_1	U_{bm}	S_1	P'_d	q_1	U_d	I_d	I_1	U_{bm}	S_1	P'_d	q_1
ვ	ვ	%	ომ	ა	ა	ა	ვ	ვ	ა	ვ	ვა	ვბ	-	ვ	ა	ა	ვ	ვა	ვბ	
		100	100																	
		.	.																	
		20	20																	

ცხრილში შეტანილია როგორც მოდელირების (გაზომვების) შედეგად, ისე თეორიული გაანგარიშებით მიღებული სიდიდეთა მნიშვნელობები.

პირველად გრაგნილში გამავალი დენის ეფექტური მნიშვნელობის გაზომვას ვახდენთ $M7$ ცვლადი დენის გაზომვის რეჟიმში გადაყვანილი ამპერმეტრით. იგივე დენი გაანგარიშებით მიიღება (8) გამოსახულებიდან.

პირველადი გრაგნილის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე (S_1) განისაზღვრება ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში ჩართული ამპერმეტრის ჩვენების (I_1 დენი) მიხედვით.

$$S_1 = U_1 I_1.$$

იგივე სიმძლავრე თეორიული გაანგარიშებით მიიღება (10) გამოსახულებიდან.

აქტიური დატვირთვის შემთხვევაში დატვირთვაში გამავალი დენი შეიცავს მუდმივ და ცვლად შემდგენებს. მუდმივი შემდგენი იზომება $M3$ ამპერმეტრით (I_d), ხოლო ცვლადი შემდგენი – $M4$ ამპერმეტრით ($I_{d\sim}$). დატვირთვაში გამოყოფილი აქტიური

სიმძლავრე $P'_d = I_{d\beta} U_d$, სადაც $I_{d\beta} = \sqrt{I_d^2 + I_{d\sim}^2}$ – დატვირთვაში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობაა.

იგივე სიმძლავრე თეორიული გაანგარიშებით მიიღება (12) გამოსახულებიდან.

გამართული ძაბვის მუდმივი შემდგენის (U_d) გაზომვას ვახდენთ მუდმივი ძაბვის გაზომვის რეჟიმში ჩაყენებული მულტიმეტრით, ხოლო ამ ძაბვის თეორიული მნიშვნელობა $U_d = 0,9U_2$. გამართული ძაბვის ცვლადი შემდგენის ეფექტური მნიშვნელობის ($U_{d\sim}$) გაზომვას ვახდენთ იგივე მულტიმეტრის საშუალებით, ცვლადი ძაბვის გაზომვის რეჟიმში გადაყვანის შემდეგ.

გამართული დენის თეორიულ სიდიდეს ვანგარიშობთ $I_d = \frac{U_d}{R_d}$ გამოსახულებიდან.

$U_{b\max}$ შეიძლება განისაზღვროს გაფართოების რეჟიმში გადაყვანილი ოსცილოსკოპის ეკრანიდან, სამიზნეებელი სახაზავის დახმარებით. $U_{b\max}$ -ის თეორიული სიდიდე განისაზღვრება (6) გამოსახულების გამოყენებით.

ფილტრის მოდელირებას ვახორციელებთ დატვირთვის წინაღობის ($[R]$) ერთი გარკვეული სიდიდის დროს, რომელიც შეიტანება ინდივიდუალურ დავალებათა ნუსხაში ფილტრაციის S კოეფიციენტთან ერთად. დატვირთვის წინაღობისა და ფილტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობების მიხედვით (26) გამოსახულების გამოყენებით განისაზღვრება L ინდუქციურობის სიდიდე (მარტივი L ინდუქციური ფილტრის შემთხვევაში). (26) გამოსახულებაში შემავალი კუთხურ სიხშირის განსაზღვრის დროს შეტანილი უნდა იქნას ქსელის ძაბვის სიხშირე, (50 ჰც).

ფილტრის მოდელირების შედეგები შეგვაქვს №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

მოცემულობა			გაზომვებით მიღებული							თეორიული	
U_2	R	S	U_d	$U_{d\sim}$	q_1	U'_d	$U'_{d\sim}$	q_2	S	$L_{\text{ფ}}$	q_2
ვ	ომ	-	ვ	ვ	-	ვ	ვ	-	-	ჰნ	

გამართული ძაბვის პულსაციის კოეფიციენტი ფილტრის შესასვლელზე

$$q_1 = \frac{\sqrt{2}U_{d\sim}}{U_d},$$

სადაც U_d – ფილტრის შესასვლელზე მიერთებული და მუდმივი ძაბვის გაზომვის რეჟიმში გადართული მულტიმეტრის ჩვენებაა;

$U_{d\sim}$ – იგივე წერტილში მიერთებული მულტიმეტრის ჩვენებაა, ცვლადი ძაბვის რეჟიმში გადართვის შემდეგ.

აქტიურ დატვირთვაზე მომუშავე გამმართველის გამოსავალი ძაბვის პულსაციის კოეფიციენტის თეორიული მნიშვნელობა პირველი ჰარმონიკის მიხედვით 0,67-ის ტოლია.

ფილტრის გამოსასვლელზე გამართული ძაბვის პულსაციის კოეფიციენტი (q_2) განისაზღვრება q_1 – ის ანალოგიურად, ფილტრის გამოსასვლელზე მიერთებული მულტიმეტრის ჩვენებების მიხედვით

$$q_2 = \frac{\sqrt{2}U'_{d\sim}}{U_d}.$$

იგივე კოეფიციენტის თეორიული სიდიდე განისაზღვრება (26) გამოსახულების გამოყენებით.

შედგენილი №1 ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს:

- გამმართველის დატვირთვის მახასიათებელი

$$U_d = f(Id);$$

- ენერგეტიკული მახასიათებელი

$$S_1 = f(P'_d).$$

6.2. აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე მომუშავე ერთფაზა ორნახევარპერიოდული გამმართველების გამოკვლევას ვახდენთ იგივე, 7.1 ნახაზზე მოცემული, ვირტუალური სქემების გამოყენებით. ამჯერად, დატვირთვის მიმდევრობით ჩართული L_d (L_1) ინდუქციურობის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში უნდა დაფიქსირდეს ინდუქციურობის ნულისაგან განსხვავებული სიდიდეები, ხოლო C კონდენსატორი უნდა იყოს გამართულ მდგომარეობაში.

აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე მომუშავე გამმართველის გამოკვლევისას, ვცვლით დატვირთვის წინაღობას 20 ომ-დან 100 ომ-მდე ფარგლებში, 10 ომ-ის ტოლი ბიჯით. აქტიური დატვირთვის ცვლილებასთან ერთად უნდა შეიცვალოს L_d

ინდუქციურობის სიდიდე ისე, რომ დატვირთვის დროის მუდმივა $T_d = \frac{L_d}{R_d}$ დარჩეს

უცვლელი. მიზანშეწონილია ქსელის ცვლადი ძაბვის პერიოდზე (ე.ი. 0,02 წმ-ზე) არა ნაკლები 5-ჯერ მეტი სიდიდის დატვირთვის T_d დროის მუდმივას შერჩევა, რადგან ამ შემთხვევაში დიოდებში და დატვირთვაში გამავალი დენი მიახლოებულია იდეალურად გასწორებულ დენთან (იხილეთ ოსცილოსკოპის ეკრანზე).

დატვირთვის პარამეტრების ცვლილებისას, უნდა გაიზომოს და გაანგარიშდეს გამმართველის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრები. მოდელირება უნდა

განხორციელდეს დატვირთვის წინააღობის ცვლილების სრულ დიაპაზონში, ამ წინააღობის ყოველი მნიშვნელობის დროს. მოდელირების შედეგები შეგვაქვს №3 ცხრილში.

ცხრილი 3

მოცემულობა					გაზომვებით						თეორიული მნიშვნელობა		
U_2	$T_{\text{ქ}}$	$[R]$	R_d	L_d	I_d	U_d	I_1	$U_{b\max}$	S_1	P_d	I_1	S_1	P_d
ვ	ჰც	%	ომ	ჰენრი	ა	ვ	ა	ვ	ვა	ვტ	ა	ვა	ვტ
		100	100										
		.	.										
		20	20										

გაზომვები უნდა ჩატარდეს 6.1 პუნქტში აღწერილის ანალოგურად. თეორიული გაანგარიშების დროს ვსარგებლობთ (13) – (17) გამოსახულებით (იხ. თეორიული ცნობები).

შედგენილი ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს:

- გამმართველის დატვირთვის (გარე) მახასიათებელი

$$U_d = f(I_d);$$

- გამმართველის ენერგეტიკული მახასიათებელი

$$S_1 = f(P_d).$$

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარის სქემა. სქემის აღწერა.
- 7.2. გამოსახულებები გამმართველის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრების გასაანგარიშებლად.
- 7.3. შედგენილი ცხრილები. გაზომვებით და თეორიული გაანგარიშებით მიღებული სიდიდეების შედარებითი ანალიზი.
- 7.4. ცხრილების მიხედვით აგებული დატვირთვისა და ენერგეტიკული მახასიათებლები და მათი დახასიათება.

ლაბორატორიული სამუშაო №8
საბაზისო ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადების
გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორისა და საერთო სათავით ჩართული ველით მართვადი ტრანზისტორის საბაზისო მაძლიერებელი კასკადების ძირითადი ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრა და მახასიათებლების გამოკვლევა ვირტუალური მოდელირების **EWB** კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით.

2. თეორიული ცნობები

საბაზისო მაძლიერებელი კასკადები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ტრანზისტორების ჩართვის მეთოდის მიხედვით. პრაქტიკული გამოყენება აქვს ბიპოლარული ტრანზისტორის საერთო ემიტერით, საერთო ბაზით, საერთო კოლექტორით და ველით მართვადი ტრანზისტორების საერთო სათავით და საერთო ჩასადინარით ჩართვის სქემებს.

საბაზისო მაძლიერებელი კასკადები წარმოადგენენ წინასწარი გაძლიერების რეზისტორულ კასკადებს, რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა სიგნალის დენის ან ძაბვის მიხედვით გაძლიერება იმ დონემდე, რომელსაც მოითხოვს გაძლიერების მომდევნო რგოლი. ისინი გამოიყენებიან აგრეთვე მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის ცალკეულ საფეხურებს შორის შეთანხმების რეჟიმის მისაღწევად.

წინასწარი გაძლიერების კასკადები მცირე სიმძლავრისანი არიან და მუშაობენ A კლასის გაძლიერების რეჟიმში. იმისათვის, რომ მაძლიერებელმა კასკადმა A კლასის რეჟიმში იმუშაოს საჭიროა მის შესასვლელ წრედს მიეწოდოს სათანადოდ შერჩეული მუდმივი ძაბვა ან დენი, რის შედეგადაც საწყისი მუშა წერტილი (სიმშვიდის წერტილი) აღმოჩნდება მაძლიერებელი კასკადის გამჭოლი $I_{\text{გ.ა}} = f(U_{\text{ჰეს}})$ დინამიკური ან გამავალი $I_{\text{გ.ა}} = f(e_{\text{ჰეს}})$ დინამიკური მახასიათებლის წრფივი უბნის შუაში. ეს იმ შემთხვევაში მოხდება, თუ ძაბვის ვარდნა კოლექტორული დატვირთვის წინააღობაზე დაახლოებით ტრანზისტორზე არსებული ძაბვის ვარდნის ტოლი იქნება. A კლასის გაძლიერების რეჟიმში მუშაობის დროს გასაძლიერებელი სიგნალის არაწრფივი დამახინჯება (ფორმის დამახინჯება) მინიმალურია.

ცნობილია, რომ ტემპერატურის ცვლილებისას ტრანზისტორებისათვის დამახასიათებელია ფიზიკური პარამეტრების საგრძნობი ცვლილება. ამიტომ

ტრანზისტორული კასკადების ნორმალური მუშაობა მოითხოვს არა მხოლოდ საწყისი რეჟიმის უზრუნველყოფას, არამედ ამ რეჟიმის ტემპერატურულ სტაბილიზაციასაც.

ბიპოლარული ტრანზისტორული კასკადის საწყის რეჟიმში (სიმშვიდის რეჟიმი) ჩაყენების ერთ-ერთი მეთოდია ძაბვის გამყოფის გამოყენება, რომლის საშუალებითაც ფიქსირდება ბაზის პოტენციალი (8.1 ნახაზზე R_1 , R_2 რეზისტორები). აქ R_1 , R_2 ძაბვის გამყოფი ისეა შერჩეული, რომ ამ გამყოფის $I_g = V_1/(R_1 + R_2)$ დენი მნიშვნელოვნად აღემატება ბაზაში გამავალ I_{0b} დენს, რის გამოც ბაზის პოტენციალი საერთო წერტილის მიმართ პრაქტიკულად უცვლელია. კოლექტორული გადასასვლელის უკუდენის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გამო, კოლექტორის საწყისი (სიმშვიდის) რეჟიმის I_{0c} დენის არასტაბილურობის შესამცირებლად, ემიტერის წრედში ჩართულია R_5 რეზისტორი. R_5 რეზისტორით ხორციელდება მიმდევრობითი უარყოფითი უკუკავშირი დენის მიხედვით. ტემპერატურის შეცვლისას I_{c0} დენის შეცვლა გამოიწვევს R_5 წინაღობაზე ძაბვის ვარდნის ისეთ ცვლილებას, რომ ამის შედეგად შეცვლილი ბაზის დენი აღადგენს კოლექტორის დენს თითქმის პირვანდელ I_{c0} მნიშვნელობამდე.

ბიპოლარულ ტრანზისტორიანი მაძლიერებელი კასკადისაგან განსხვავებით, ველით მართვად ტრანზისტორზე აგებული მაძლიერებელი კასკადის მართვა ხდება ძაბვით, რომელიც მიუერთდება ან ჩაკეტილ $p-n$ გადასასვლელს (ტრანზისტორი მმართველი $p-n$ გადასასვლელით) ანდა ჩაერთდება იზოლირებულ საკეტსა და ფუძე შრეს შორის (ველით მართვადი ტრანზისტორი იზოლირებული მართვის ელექტროდით). მაძლიერებელი კასკადის საწყის (სიმშვიდის) რეჟიმში ჩაყენება ხდება ან სათავის წრედში ჩართულ წინაღობაზე ძაბვის ვარდნით (ნახ.8.4) ანდა საკეტზე დამატებითი ძაბვის მიწოდებით.

საბაზისო მაძლიერებელი კასკადების ელექტრული თვისებების შეფასება ხდება კასკადის შესასვლელის და გამოსასვლელის წინააღობებით ($R_{\text{შეს}}$ და $R_{\text{გამ}}$), ძაბვისა და დენის გაძლიერების კოეფიციენტებით (K_U და K_I), ამპლიტუდური მახასიათებლით $U_{\text{გამ}} = f(U_{\text{შეს } m})$, ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლით $[K_U = F(f)]$ და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლით $[\varphi = F(f)]$. ქვემოთ, საცნობარი ინფორმაციის სახით, მოცემულია $R_{\text{შეს}}$, $R_{\text{გამ}}$, K_U და K_I პარამეტრთა საანგარიშო მიახლოებითი თეორიული გამოსახულებები საერთო ემიტერიანი და საერთო სათავიანი მაძლიერებელი კასკადებისათვის.

საერთო ემიტერიანი მაძლიერებელი კასკადი. მაძლიერებელი კასკადის პრინციპული სქემა მოცემულია 8.1 ნახაზზე. სქემაში გამოყენებულია **2N2222A** ტიპის

ბიპოლარული ტრანზისტორი. ემიტერში ჩართული სიმშვიდის რეჟიმის თერმოსტაბილიზაციის $R5$ რეზისტორი დაშენებულია $C1$ კონდენსატორით, რის შედეგადაც თავიდანაა აცილებული კასკადის ცვლადი დენის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტის შემცირება (უარყოფითი უკუკავშირის არსებობის გამო). მაძლიერებელ კასკადში ჩართულია მუდმივი და ცვლადი სიგნალების განმრთავი $C2$ და $C3$ კონდენსატორები. კასკადი იკვებება $V1=20$ ვ ძაბვის წყაროდან.

მაძლიერებელი კასკადის ძირითადი ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშება შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგი გამოსახულებების გამოყენებით:

$$R'_{\text{მეს}} = \frac{R1 \parallel R2 \cdot R_{\text{მეს}}}{R1 \parallel R2 + R_{\text{მეს}}}; \quad R_{\text{მეს}} = r_{\text{ბ}} + (\beta + 1)r_{\text{ე}}; \quad R_{\text{გამ}} \approx R3; \quad K_{\text{ს}} \approx \beta;$$

$$K_U = -\beta \cdot (R3 \parallel R6) / (r_{\text{ბ}} + r_{\text{ე}}(\beta + 1)); \quad K_p = K_{\text{ს}} \cdot K_U, \quad (3)$$

სადაც $r_{\text{ბ}}$ – ბაზის შრის ომური წინაღობაა და $2N2222A$ ტრანზისტორში $r_{\text{ბ}} = 1,69\Omega$

$r_{\text{ე}}$ – ემიტერული გადასასვლელის წინაღობაა – $r_{\text{ე}} = \varphi_T / I_{\text{ე}}$. ოთახის

ტემპერატურის ($T = 300K$) დროს $\varphi_T = 0,026$ ვ .

β – ბაზის დენის გაძლიერების კოეფიციენტია. $2N222A$ ტრანზისტორის $\beta = 200$.

K_U -ს გამოსახულებაში „-“ ნიშანი მიანიშნებს მასზედ, რომ გაძლიერებული სიგნალი შესავალი სიგნალის საწინააღმდეგო ნიშნისაა (ფაზისაა).

საერთო სათავიანი მაძლიერებელი კასკადი. მაძლიერებელი კასკადის სქემა მოცემულია 8.4 ნახაზზე. მაძლიერებელი კასკადი აგებულია $p-n$ გადასასვლელიან $J2N3370$ ტიპის ველით მართვად ტრანზისტორზე. მუდმივი დენის მიხედვით საწყის რეჟიმს განსაზღვრავს $R1$ რეზისტორზე ძაბვის ვარდნა, რადგან $R2$ რეზისტორით საკეტს მიეწოდება საერთო საღტის პოტენციალი (ნული) და ამის გამო საკეტზე, სათავის მიმართ, მიერთებული აღმოჩნდება $R1$ რეზისტორზე ძაბვის ვარდნის ტოლი უარყოფითი ძაბვა. გასაძლიერებელი სიგნალი მიეწოდება საკეტს, ხოლო გაძლიერებული სიგნალი მოიხსნება ჩასადინარიდან. $C1$ და $C3$ კონდენსატორები ახდენენ მუდმივი და ცვლადი სიგნალების განრთვას. $C2$ კონდენსატორი ახდენს $R1$ რეზისტორის დაშენებას ცვლადი დენის მიხედვით, რითაც გამოირიცხება უარყოფითი უკუკავშირი ცვლადი სიგნალის დროს და მასთან დაკავშირებული გაძლიერების კოეფიციენტის შემცირება. კასკადი იკვებება $V1=12$ ვ მუდმივი ძაბვის წყაროდან.

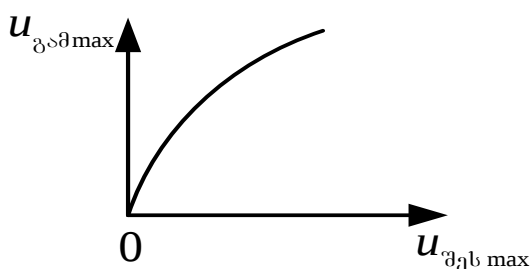
მაძლიერებელი კასკადის ძირითადი ელექტრული პარამეტრების გაანგარიშება შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

$$R_{\text{მეს}} = R2; \quad R_{\text{გამ}} \approx R4; \quad K_U = -S \cdot ((R4)^2 / (R4 + R1)),$$

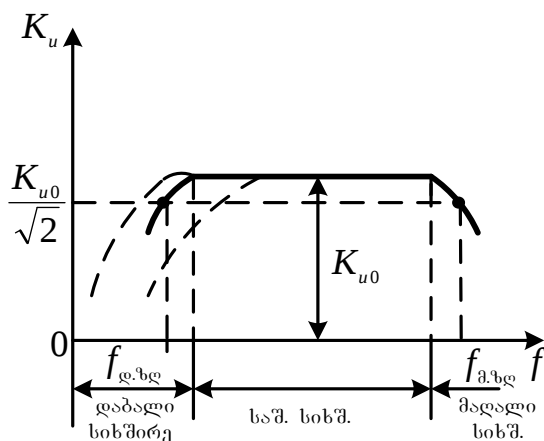
სადაც S – ტრანზისტორის მართვის მახასიათებლის დახრილობაა. მოცემული ტრანზისტორისათვის $S = 0,7668$ მა/ვ.

მაძლიერებელი კასკადების ამპლიტუდური და ამპლიტუდურ–სიხშირული მახასიათებლები.

ამპლიტუდური მახასიათებელი ამყარებს კავშირს მაძლიერებელი კასკადის გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდასა და შესავალზე მოქმედი გასაძლიერებელი სიგნალის (ძაბვის) ამპლიტუდას შორის. ამპლიტუდური მახასიათებლის ტიპური სახე ნახაზზეა ნაჩვენები.



ამპლიტუდურ–სიხშირული მახასიათებელი (**ასმ**) ამყარებს კავშირს გაძლიერების კოეფიციენტსა და გასაძლიერებელი სიგნალის სიხშირეს შორის, ხოლო ფაზურ–სიხშირული მახასიათებელი (**ფსმ**) – გაძლიერებულ (გამომავალ) და გასაძლიერებელ (შემავალ) სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის კუთხესა და გასაძლიერებელი სიგნალის სიხშირეს შორის. **ასმ** –ის ტიპური სახე ნახაზზეა ნაჩვენები.



ასმ დაყოფილია დაბალი, საშუალო და მაღალი სიხშირეების შესაბამის უბნებად. საშუალო სიხშირულ არეში გაძლიერების კოეფიციენტი (K_{u0}) მაქსიმალურია. დაბალ და მაღალ სიხშირულ არეებში კი გაძლიერების კოეფიციენტი განიცდის შემცირებას. დაბალ სიხშირულ არეში გაძლიერების კოეფიციენტის შემცირებას იწვევს შესასვლელ და გამოსასვლელ წრედებში ჩართული კონდენსატორების, აგრეთვე ემიტერში ჩართული სიმშვიდის რეჟიმის მასტაბილიზებული რეზისტორის პარალელურად მიერთებული

კონდენსატორის გაზრდილი წინაღობა. აღნიშნული კონდენსატორების ტევადობის სიდიდის მიხედვით **ასმ** -ის ცვლილება ნაჩვენებია პუნქტირული წირებით. მაღალ სიხშირულ არეში გადასვლისას მაძლიერებელი კასკადის მუშაობის რეჟიმზე გავლენას ახდენს, ერთის მხრივ, ტრანზისტორის კოლექტორული გადასასვლელის ტევადობის სიდიდე, მეორეს მხრივ, დენის გადაცემის კოეფიციენტის შემცირება.

მაძლიერებელი კასკადის მუშა სიხშირული დიაპაზონი განისაზღვრება $f_{ღ.ზღ}$ – სა და $f_{აზღ}$ –ს შორის მოთავსებული სიხშირეთა არეით, სადაც $f_{ღ.ზღ}$ და $f_{აზღ}$ წარმოადგენენ იმ ზღვრულ სიხშირეებს, რომლებზედაც გაძლიერების კოეფიციენტი გაძლიერების მაქსიმალურ კოეფიციენტზე ($K_{ს0}$) $\sqrt{2}$ –ჯერ ნაკლებია. ამ სიხშირულ არეს ეწოდება მაძლიერებელი კასკადის სიხშირეთა გატარების ზოლი.

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულება მიზანშეწონილია მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება საბაზისო მაძლიერებელი კასკადების მუშაობის თეორიული საფუძვლები.

4. სამუშაოს უინაარსი

4.1. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული მაძლიერებელი კასკადის ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრა და მახასიათებლების გამოკვლევა.

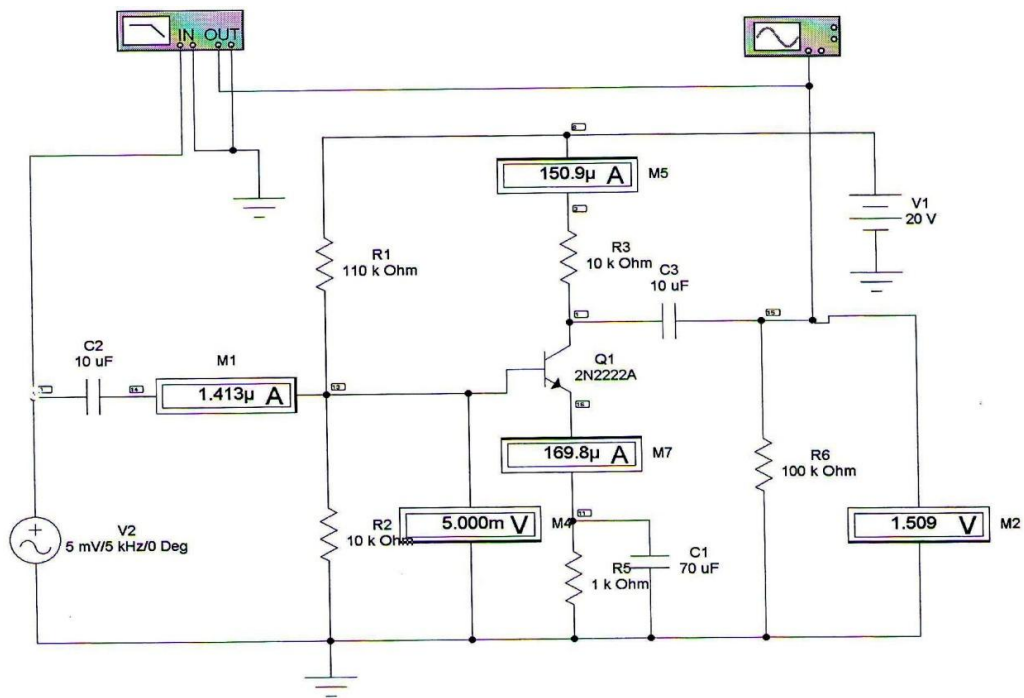
4.2. საერთო სათავით ჩართული ველით მართვადი ტრანზისტორიანი მაძლიერებელი კასკადის ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრა და მახასიათებლების გამოკვლევა.

5. საბაზისო ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის

ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარების

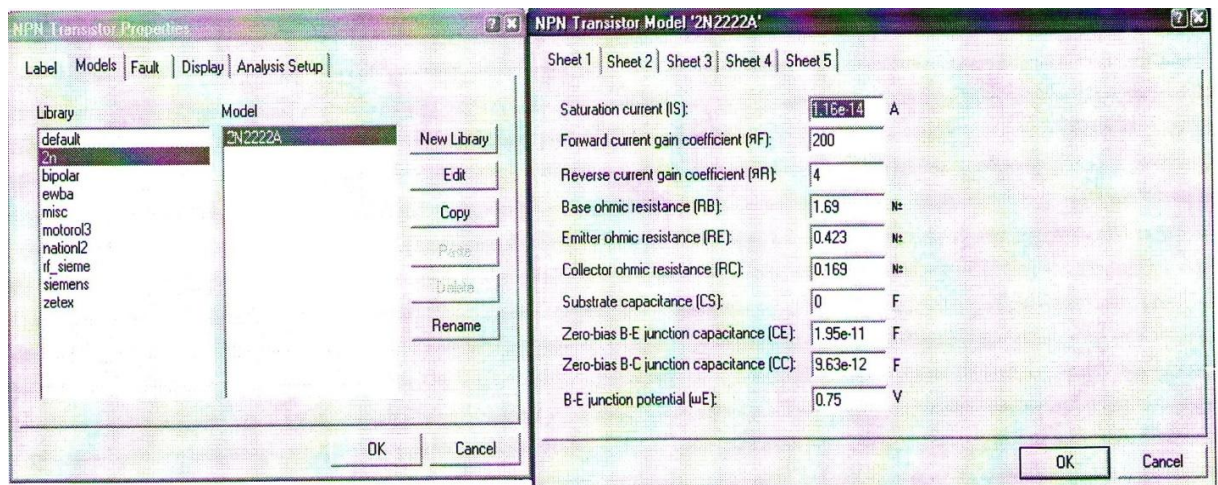
აღწერა

5.1. საერთო ემიტერით ჩართული ბიპოლარული ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარი აიწყო 8.1 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.8.1. საერთო ემიტერიანი ბიპოლარული ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის სქემა

სქემაში გამოყენებულია 2N2222A ტიპის ბიპოლარული ტრანზისტორის ვირტუალური მოდელი. მისი სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა ნაჩვენებია 8.2 ნახაზზე.

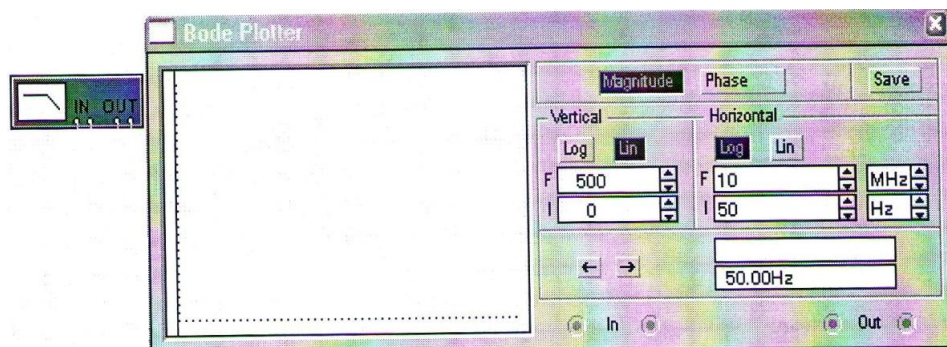


ნახ.8.2. 2N2222A ტიპის ბიპოლარული ტრანზისტორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

მაძლიერებელი კასკადის გამოსავალი წრედი იკვებება V1 მუდმივი ძაბვის წყაროდან. ამავე ძაბვის წყაროსთანაა მიერთებული მაძლიერებელი კასკადის სიმშვიდის

რეჟიმის განმსაზღვრელი $R1-R2$ ძაბვის გამყოფი. გასაძლიერებელი სიგნალის ფუნქციას ასრულებს $V2$ ცვლადი სინუსოიდური ძაბვის წყარო. სქემაში ჩართული ოსცილოსკოპი საშუალებას იძლევა დავაკვირდეთ შესავალი და გამოსავალი ძაბვების მყის მნიშვნელობათა ცვლილების ხასიათს და გაფართოებული ეკრანის რეჟიმში გადართვის შემდეგ, სამიზნეობელი სახაზავების საშუალებით, გაიზომოს მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები. სქემაში ჩართული ვირტუალური მზომი ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები გადართულია ცვლადი სიდიდეების გაზომვის რეჟიმში და აჩვენებს ძაბვებისა და დენების მოქმედ მნიშვნელობებს. ზემოაღნიშნულ ვირტუალურ კომპონენტებთან მუშაობის წესი განხილული იყო წინა ლაბორატორიულ სამუშაოებში.

მაძლიერებელი კასკადის სქემაში გამოყენებული გეაქვს ახალი ვირტუალური კომპონენტი – ამპლიტუდურ – სიხშირული და ფაზასიხშირული მზომი (**Bode Plotter**). მზომის წინა პანელი 8.3 ნახაზზეა ნაჩვენები.



ნახ.8.3. ამპლიტუდურ-სიხშირული და ფაზასიხშირული მახასიათებლის მზომის წინა პანელი

მზომი გამოიყენება ამპლიტუდურ – სიხშირული (**MAGNITUDE** დილაკზე დაჭერით) და ფაზასიხშირული (**PHASE** დილაკზე დაჭერით) მახასიათებლების გასაანალიზებლად, კოორდინატთა სისტემის ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ღერძებზე ლოგარითმული (დილაკი **LOG**) ან წრფივი (დილაკი **LIN**) სკალის გამოყენებით.

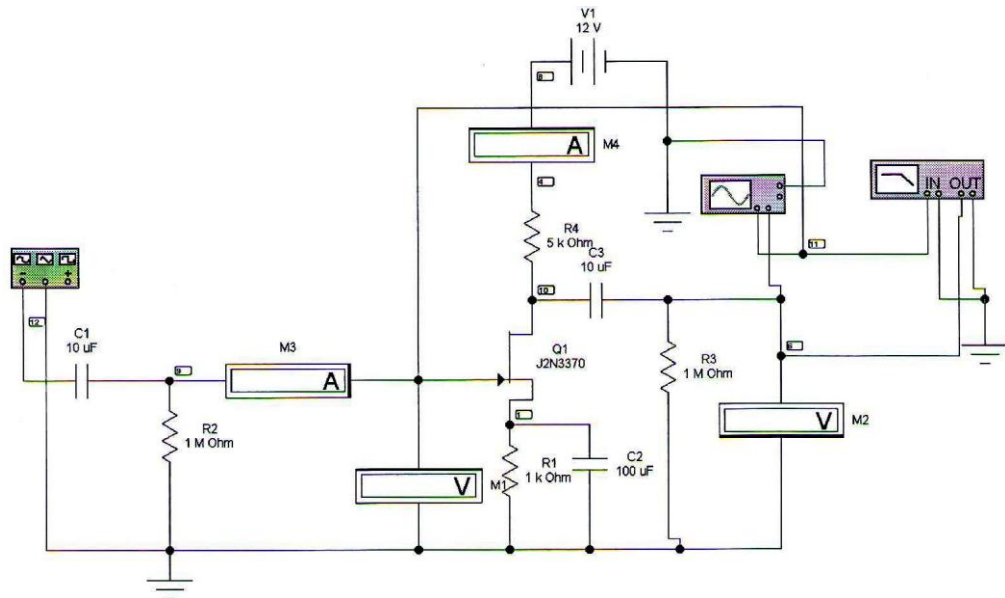
მზომი წინასწარ უნდა აიწყოს, რისთვისაც აუცილებელია გადაცემის კოეფიციენტის გაზომვისა და სიხშირის ცვლილების საზღვრების შერჩევა F -მაქსიმალური და I -მინიმალური ფანჯრების დილაკების დახმარებით. სიხშირისა და ამ სიხშირის შესაბამისი გადაცემის კოეფიციენტისა და ფაზის მნიშვნელობები აისახება მზომის ქვედა მარჯვენა კუთხეში მოთავსებულ ფანჯრებში.

ზემოაღნიშნულ სიდიდეთა მნიშვნელობები ამპლიტუდურ-სიხშირული ან ფაზასიხშირული მახასიათებლების ცალკეულ წერტილებში მიიღება ვერტიკალური სამიზნეობელი სახაზავის დახმარებით, რომელიც საწყის მდგომარეობაში მოთავსებულია კოორდინატთა სისტემის სათავეში და გრაფიკზე გადაადგილდება ← და →

დილაკზე დაჭერით.

ამ ხელსაწყოს მიერთება გამოსაკვლევი მაძლიერებელი კასკადის სქემასთან ხორციელდება **IN** (შესასვლელი) და **OUT** (გამოსასვლელი) მომჭერების დახმარებით. მომჭერების მარცხენა კლემები მიუერთდება, შესაბამისად, გამოსაკვლევი სქემის შესასვლელსა და გამოსასვლელს, მარჯვენა კლემები - საერთო (დამიწებულ) სალტეს. როდესაც გამოსაკვლევი კასკადის შესასვლელზე მიერთებულია ცვლადი ძაბვის წყარო, სქემაში რაიმე სხვა აწყობის განხორციელება საჭირო აღარ არის.

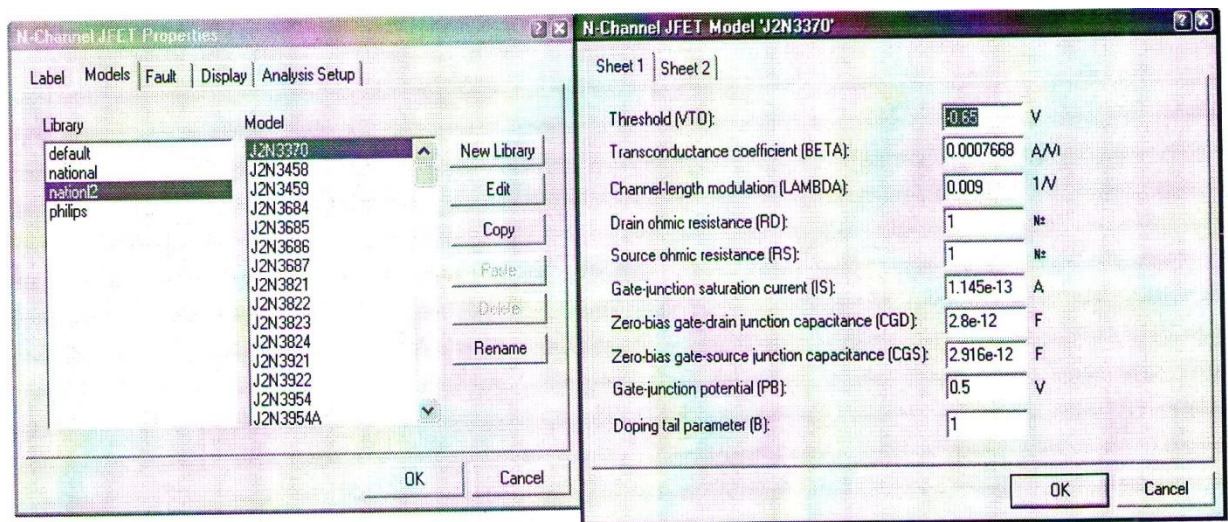
5.2. საერთო სათავით ჩართული ველით მართვადი ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარი აიწყო 8.4 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.8.4. საერთო სათავით ჩართული ველით მართვადი ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის სქემა

სქემაში გამოყენებულია **J2N3370** ტიპის, **p-n** გადასასვლელიანი, ველით მართვადი ტრანზისტორის ვირტუალური მოდელი. მისი სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა მოცემულია 8.5 ნახაზზე.

სქემაში გამოყენებული სხვა ვირტუალური კომპონენტები წარმოადგენენ საერთო ემიტერიანი ბიპოლარული ტრანზისტორული კასკადის სქემაში გამოყენებული ვირტუალური კომპონენტების გამეორებას.



ნახ.8.5. J2N3370 ტიპის ველით მართვადი ტრანზისტორის სადიאלოგო პარამეტრების ფანჯარა

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. საერთო ემიტერით ჩართული ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრას და მახასიათებლების გამოკვლევას ვახდენთ 8.1 ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემის გამოყენებით. მაძლიერებელ კასკადში გამოყენებული ბიპოლარული ტრანზისტორის ტიპის შერჩევას სტუდენტი ახდენს ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად.

მაძლიერებელი კასკადის ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრის დროს შესავალი ცვლადი სიგნალის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში წინასწარ ვაფიქსირებთ ძაბვისა (რამდენიმე მილივოლტის ფარგლებში) და სიხშირის (რამდენიმე კილოჰერცის ფარგლებში) გარკვეულ მნიშვნელობას და ჩავრთავთ მოდელირების რეჟიმს. მაძლიერებელი კასკადის სქემაში ჩართული შესავალ და გამოსავალ სიგნალები მზომი ვირტუალური ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრების ჩვენების მიხედვით განსაზღვრული ელექტრული სიდიდეები:

- $K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$ – ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი;
- $K_I = \frac{I_{\text{გამ}}}{I_{\text{შეს}}}$ – დენის გაძლიერების კოეფიციენტი;
- $R_{\text{შეს}} = \frac{U_{\text{შეს}}}{I_{\text{შეს}}}$ – შესავალის წინაღობა;

- $R_{\text{გამ}} = \frac{U_{\text{გამ}}}{I_{\text{გამ}}} - \text{გამოსავალის წინაღობა}$

შეგვაქვს №1 ცხრილში. ამავე ცხრილში უნდა შევიტანოთ თეორიულ ცნობებში მოცემული (3) გამოსახულებების მიხედვით განსაზღვრული ზემოაღნიშნული ელექტრული სიდიდეების მნიშვნელობები და მოვახდინოთ მათი შედარებითი ანალიზი.

ცხრილი 1

	K_u	K_I	$R_{\text{შეს}}$	$R_{\text{გამ}}$	$S_{U_{\text{შეს}}}$
გაზომვებით					
თეორიული გაანგარიშებით					

მაძლიერებელი კასკადის ოთხ ძირითად მახასიათებელ პარამეტრთან ერთად, №1 ცხრილში უნდა შევიტანოთ სიმშვიდის რეჟიმის ძაბვის ტემპერატურული არასტაბილურობის კოეფიციენტი. ამისათვის ვააქტიურებთ **Analysis>Temperature Sweep** მენიუს ველს და გახსნილ ფანჯარაში, სტაბილიტრონის გამოსავალი ძაბვის ტემპერატურული არასტაბილურობის გამოკვლევისას (ღაბ.სამუშაო №2) ჩატარებული მანიპულაციების გამეორების შემდეგ, ეკრანზე გამოსული სიმშვიდის რეჟიმის კოლექტორული ძაბვის ($U_{\text{შეს}}$) ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით

ვპოულობთ ამ ძაბვის ტემპერატურული არასტაბილურობის კოეფიციენტს $S_{U_{\text{შეს}}} = \frac{\Delta U_{\text{შეს}}}{\Delta T}$.

მაძლიერებელი კასკადის თვისებების შესაფასებლად საჭიროა ამპლიტუდური და ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის გადაღება.

ამპლიტუდური მახასიათებლის გადასაღებად საჭიროა გასაძლიერებელი სიგნალის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში დაფიქსირდეს სიხშირის გარკვეული სიდიდე (3 – 5 კჰც-ის ფარგლებში) და შეიცვალოს შესავალი ძაბვის სიდიდე 1-დან 20 მილვოლტამდე ფარგლებში, 2 მღვ-ის ტოლი ბიჯით, ამ მნიშვნელობების სიგნალის წყაროს ფანჯარაში თანამიმდევრობითი დაფიქსირების გზით. შესავალი ძაბვის ყოველი მნიშვნელობის დროს უნდა გაიზომოს გამოსავალი ძაბვის სიდიდე და შედეგები ჩაიწეროს №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

$U_{\text{შეს}}$, მღვ										
$U_{\text{გამ}}$, მღვ										

ამ ცხრილის მონაცემების მიხედვით უნდა აიგოს ამპლიტუდური მახასიათებელი $U_{გამ} = F(U_{შეს}), f = const.$

ამპლიტუდურ – სიხშირული მახასიათებლის გადაღების დროს გასაძლიერებელი სიგნალის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯრის ძაბვის გრაფაში უნდა დაფიქსირდეს ძაბვის ერთი გარკვეული სიდიდე (3 – 5 მლვ-ის ფარგლებში), ხოლო სიხშირის გრაფაში უნდა დაფიქსირდეს სხვადასხვა სიხშირეები 10 კც-დან 10 მეგაჰერცამდე დიაპაზონში. დაბალ სიხშირულ დიაპაზონში (1-დან 1000 კც-მდე) სიხშირის მნიშვნელობები უნდა დაფიქსირდეს 200 კც-ის ტოლი ბიჯით, საშუალო სიხშირულ დიაპაზონში (1 კც-დან 1 მეგაჰერცამდე) 200 კც-ის ტოლი ბიჯით, ხოლო მაღალ სიხშირულ დიაპაზონში (1 მეგაჰერციდან 10 მეგაჰერცამდე) – 2 მეგაჰერცის ტოლი ბიჯით. სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში დაფიქსირებული სიხშირის თითოეული მნიშვნელობის დროს უნდა გაიზომოს გამოსავალი ძაბვის სიდიდე და ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი. ზემოაღწერილი სამუშაო უნდა შესრულდეს სიგნალის მუდმივი და ცვლადი შემდგენლების დამაცალკევებელი (განმრთავი) C2, C3 კონდენსატორების ტევადობის ორი სხვადასხვა სიდიდის დროს (ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად). გაზომვის შედეგები შეგვაქვს №3 ცხრილში.

ცხრილი 3

C2 = C3 =				C2 = C3 =			
$U_{შეს}$	f	$U_{გამ}$	K_U	$U_{შეს}$	f	$U_{გამ}$	K_U
მლვ	კც	მლვ	-	მლვ	კც	მლვ	-

ამპლიტუდურ – სიხშირული მახასიათებლის გადაღების დროს უნდა განისაზღვროს დაბალი და მაღალი სიხშირული დიაპაზონის ის სიხშირეები, რომლებზედაც გაძლიერების კოეფიციენტი $\sqrt{2}$ – ჯერ ნაკლებია გაძლიერების მაქსიმალურ კოეფიციენტზე (ზღვრული სიხშირეები) და ამ სიხშირეებს შორის არსებული სიხშირული დიაპაზონი და დადგინდეს სიხშირეთა გატარების ზოლი.

№3 ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი $K_u = F(f), U_{შეს} = const.$

მაძლიერებელი კასკადის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის გადაღების უმარტივეს ტექნიკურ საშუალებას წარმოადგენს ამპლიტუდურ-სიხშირული მზომი (**Bode Plotter**). ამ მზომის გამოყენების შემთხვევაში უნდა გავითვალისწინოთ მაძლიერებელი კასკადის მახასიათებელი ელექტრული პარამეტრების ცნობილი მნიშვნელობები და მოვახდინოთ მზომის აწეობა ადრე განხილული წესის მიხედვით. მზომის ეკრანზე

მიღებულ გრაფიკზე ვერტიკალური სამიზნეხელი სახაზავის გადაადგილებით შეგვიძლია შევამოწმოთ ხელით და მზომით აგებული ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების იდენტურობა.

6.2. საერთო სათავით ჩართული ველით მართვადი ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრას და მახასიათებლების გამოკვლევას ვახდენთ 8.4 ნახაზზე მოცემული სქემის გამოყენებით. მაძლიერებელ კასკადში გამოყენებული ველით მართვადი ტრანზისტორის ტიპს სტუდენტი შეირჩევს ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად.

საერთო სათავით ჩართული ველით მართვადი ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრა და მახასიათებლების გამოკვლევა ხორციელდება იგივე მეთოდიკითა და მოცულობით, რომელიც საერთო ემიტერით ჩართული ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადისთვის იყო გამოყენებული.

უნდა შევადგინოთ №1, №2 და №3 ცხრილების ანალოგიური ცხრილები, რომელთა საფუძველზეც დავადგენთ მაძლიერებელი კასკადის ელექტრულ პარამეტრებს (K_u , K_I , $R_{\text{შეს}}$, $R_{\text{გამ}}$, $S_{U_{\text{ჩ.სთ0}}}$) და ავაგებთ ამპლიტუდურ და ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებლებს. შესავალი სიგნალის სიხშირე და ამპლიტუდის ცვლილების ფარგლები ამპლიტუდური მახასიათებლის გადაღების დროს, აგრეთვე შესავალი სიგნალის ამპლიტუდა და სიხშირის ცვლილების ფარგლები ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების გადაღების დროს, სტუდენტს ეძლევა ინდივიდუალური დავალების სახით.

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. საერთო ემიტერიანი ბიპოლარული ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადისა და საერთო სათავიანი ველით მართვადი ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარების სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2. მაძლიერებელი ტრანზისტორული კასკადების ელექტრული პარამეტრების საანგარიშო გამოსახულებები.
- 7.3. შედგენილი ცხრილები და ცხრილების მიხედვით აგებული ამპლიტუდური და ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლები და მათი დახასიათება.
- 7.4. ბიპოლარული და ველით მართვადი ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადების ელექტრული პარამეტრებისა და მახასიათებლების შედარებითი დახასიათება.

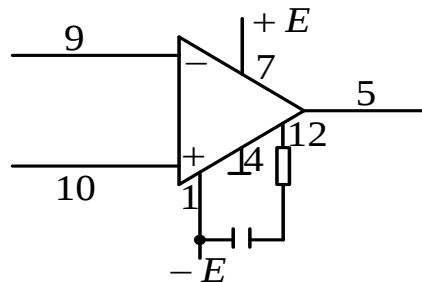
ლაბორატორიული სამუშაო №9
სიბნალის წრფივში გაძლიერების რეჟიმში მომუშავე
ოპერაციული მაძლიერებლების გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

მუდმივი და ცვლადი სიგნალების გაძლიერების რეჟიმში მომუშავე ოპერაციული მაძლიერებლის გამოკვლევა ვირტუალური კომპიუტერული მოდელირების **EWB** პროგრამის გამოყენებით.

2. მოკლე თეორიული ცნობები

ოპერაციული მაძლიერებლის ცნების ქვეშ იგულისხმება ინტეგრალური მიკროსქემა, რომელიც აწყობილია დიფერენციალური მაძლიერებელი კასკადების ბაზაზე და აქედან გამომდინარე, იგი მიეკუთვნება უნივერსალურ მაძლიერებელთა ჯგუფს (ე.ი. შეუძლია როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი სიგნალების გაძლიერება). ოპერაციული მაძლიერებლის მიკროსქემის (ნახაზზე ნაჩვენებია $\mu 702$ ტიპის მიკროსქემის საკონტაქტო გამოყვანების განლაგება) გამოყენებით შექმნილი ფუნქციური კვანძის თვისებები უმრავლეს შემთხვევაში მხოლოდ უკუკავშირის წრედის თვისებებზეა დამოკიდებული.



ოპერაციულ მაძლიერებელს, დიფერენციალური მაძლიერებლის ანალოგიურად, აქვს ორი შესავალი, რომლებიც 9 და 10 ციფრებითაა აღნიშნული. ერთ შესავალს დასმული აქვს „-“ ნიშანი და მას მაინვერსირებელი ეწოდება, რადგან აქ მიწოდებული სიგნალი გაძლიერების შემდეგ გამოსავალზე გამოდის შეცვლილი ნიშნით. მეორე შესავალს დასმული აქვს „+“ ნიშანი და მას ეწოდება არამაინვერსირებელი ან პირდაპირი შესავალი. აქ მიწოდებული სიგნალი გაძლიერების შემდეგ ნიშანს არ იცვლის.

ოპერაციულ მაძლიერებლებს ფართოდ იყენებენ ელექტრული სიგნალის მასშტაბის (სიდიდის) შესაცვლელად, შესავალზე მიწოდებული სიგნალის განსაზღვრული სიდიდის მუდმივ კოეფიციენტზე გადამრთველების გზით. ამის გამო, მათ სამასშტაბო

მაძლიერებლებს უწოდებენ. გასაძლიერებელი სიგნალის ომ-ის შესასვლელებთან მიერთების წესიდან გამომდინარე, არსებობს მაინვერსირებელი შესასვლელიანი, არამაინვერსირებელი შესასვლელიანი და დიფერენციალური შესასვლელიანი სამასშტაბო მაძლიერებლები.

10.1,ა ნახაზზე წარმოდგენილია სამასშტაბო მაძლიერებლის ინვერსული ჩართვის სქემა. ეს სქემა ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

- $R1$ რეზისტორის საშუალებით სქემაში განხორციელებულია პარალელური უარყოფითი უკუკავშირი ძაბვის მიხედვით;

- გამოსავალი და შესავალი ძაბვები ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნისაა, ე.ი. ეს ძაბვები ურთიერთ საწინააღმდეგო ფაზებში იმყოფებიან;

- არამაინვერსირებელი შესავალი შეერთებულია ნულოვან სალტესთან $R3 = R1R2/(R1 + R2)$ ბალასტური წინაღობის გავლით, რის შედეგადაც ხორციელდება შესავალის დენების მავნე ზემოქმედების კომპენსაცია. ამ წინაღობის ჩართვის გარეშე, საზოგადოდ, იმ შემთხვევაში, როცა შესავალი დიფერენციალური ძაბვა ნულის ტოლია, გამოსავალის ძაბვა ნულისაგან განსხვავებული იქნება.

- მაინვერსირებელი ოპერაციული მაძლიერებლის ძაბვის მიხედვით გაძლიერების კოეფიციენტი

$$K_{\theta} = -R1/R2, \quad (1)$$

შესავალის წინაღობა

$$R_{\theta\theta} = R2. \quad (2)$$

გამოსავალის წინაღობა

$$R_{\theta\omega} = [R_{\theta\omega\omega} (1 + R1/R2)]/K, \quad (3)$$

სადაც $R_{\theta\omega\omega}$ და K – შესაბამისად საკუთრივ ომ-ის მიკროსქემის გამოსავალი წინაღობა და გაძლიერების კოეფიციენტი.

სქემის მაინვერსირებელ შესავალს სიგნალის ძაბვა მიეწოდება $[R]$ პოტენციომეტრის საშუალებით. პოტენციომეტრის საწყისი დაყენებაა 50%, რომლის დროსაც მაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედებს ნულის ტოლი ძაბვა. პოტენციომეტრის წინაღობის 50-დან 100%-მდე ფარგლებში შეცვლისას მაინვერსირებელ შესავალზე იმოქმედებს სიგნალის დადებითი ძაბვები, ხოლო 50-დან 0%-მდე შეცვლისას – სიგნალის უარყოფითი ძაბვები.

10.1,ბ ნახაზზე წარმოდგენილია სამასშტაბო მაძლიერებლის არამაინვერსირებელი ჩართვის სქემა. ეს სქემა ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

- მაინვერსირებელი შესავალის მიმართ განხორციელებულია მიმდევრობითი უარყოფითი უკუკავშირი;

- გასაძლიერებელი სიგნალი მიეწოდება არამაინვერსირებელ შესავალს;

- გამოსავალი ძაბვა ფაზით ემთხვევა შესავალ (გასაძლიერებელ) ძაბვას;
- ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი

$$K_{\text{აფ}} = 1 + R1 / R2; \quad (4)$$

- მაძლიერებლის შესავალის წინაღობა

$$R_{\text{ფეს}} = (1 + KR2 / R1) R_{\text{ფეს.ომ}}, \quad (5)$$

სადაც K და $R_{\text{ფეს.ომ}}$ – შესაბამისად ომ-ის მიკროსქემის გაძლიერების კოეფიციენტი და შესავალის წინაღობაა;

- მაძლიერებლის გამოსავალის წინაღობა

$$R_{\text{გამ}} = R_{\text{გამ.ომ}} / (1 + KR2 / (R2 + R1)). \quad (6)$$

არამაინვერსირებელ შესასვლელს სიგნალის ძაბვა მიეწოდება [R] პოტენციომეტრის საშუალებით და ამ ძაბვას რეგულირება ხორციელდება წინა პუნქტში აღწერილის ანალოგიურად.

10.1,გ ნახაზზე წარმოდგენილია ძაბვის არამაინვერსირებელი მამოვრებლის სქემა. აქ გამოსავალი წინაღობის გარეშეა მიერთებული მაინვერსირებელ შესავალთან ($R1 = 0$), ხოლო $R2$ რეზისტორის წრედი გაწყვეტილია ($R2 = \infty$). მაშინ (4)-ის თანახმად $K_{\text{აფ}} = 1$, ე.ი. ამ შემთხვევაში სქემის გამოსავალი ძაბვა იმეორებს შესავალ ძაბვას. ამიტომ ასეთ სქემას ძაბვის მამოვრებელს უწოდებენ. ძაბვის მამოვრებლის შესავალის წინაღობა $R_{\text{ფეს}} = (1 + K) R_{\text{ფეს.ომ}}$.

10.2,ა,ბ ნახაზებზე წარმოდგენილია ომ-ის დიფერენციალური ჩართვის სქემები. 10.2,ა ნახაზზე გასაძლიერებელი $V1$ და $V2$ სიგნალები მიეწოდება მაინვერსირებელ და არამაინვერსირებელ შესასვლელებს, ხოლო 10.2,ბ ნახაზზე დიფერენციალური (სხვაობითი) სიგნალი ჩართულია შესასვლელებს შორის. ორივე შემთხვევაში გამოსავალი სიგნალი სხვაობითი სიგნალის პროპორციულია. დიფერენციალური სიგნალის გაძლიერების კოეფიციენტი

$$K_{\text{დ}} = R1 / R2. \quad (7)$$

ომ-ის შესავალის წინაღობა დიფერენციალური სიგნალის მიმართ განისაზღვრება ომ-ის მიკროსქემის პირველი დიფერენციალური კასკადის ბიპოლარული ტრანზისტორების $h_{11\text{გ}}$ ფიზიკური პარამეტრით

$$R_{\text{ფეს}} \approx 2h_{11\text{გ}} \quad (8)$$

10.3 ნახაზზე წარმოდგენილია მაინვერსირებელი შესასვლელიანი სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის სქემა სინუსოიდური სიგნალის გაძლიერების რეჟიმში. $V1$ სინუსოიდური სიგნალი (სიგნალის სიხშირე 1 კჰც-ია) მუდმივი და ცვლადი ძაბვების განმრთავი $C1$ კონდენსატორით მიერთებულია მაინვერსირებელ შესავალთან. $M1$

ვირტუალური ვოლტმეტრი, რომელიც ჩაყენებულია ცვლადი ძაბვის გაზომვის რეჟიმში, საშუალებას იძლევა განისაზღვროს შესავალი სიგნალის გაძლიერების კოეფიციენტი. სქემაზე მიერთებული ვირტუალური ოსცილოსკოპით შესაძლებელია დადგინდეს გამოსავალ და შესავალ სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის კუთხე, ხოლო სქემაზე მიერთებული **Bode plotter** -ით შესაძლებელია მაძლიერებლის ამპლიტუდურ – სიხშირული და ფაზურ – სიხშირული მახასიათებლების გადაღება.

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

ლაბორატორიული სამუშაო უნდა შესრულდეს მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება ოპერაციული მაძლიერებლების სიგნალების წრფივი გაძლიერების რეჟიმში მუშაობასთან დაკავშირებული თეორიული მასალა. დამატებით ლიტერატურად მიზანშეწონილია [1] -ის გამოყენება.

4. სამუშაოს შინაარსი

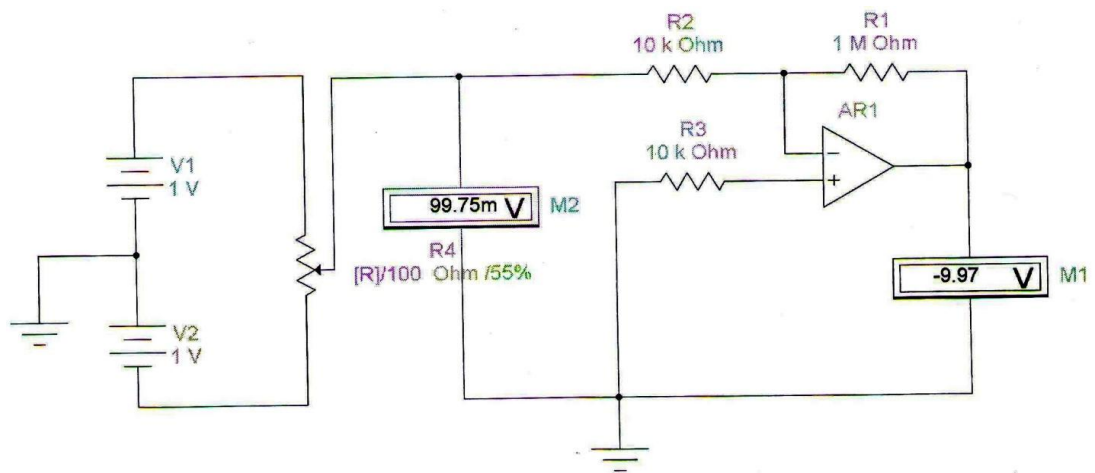
4.1. ოპერაციული მაძლიერებლების ელექტრული თვისებების გამოკვლევა გასაძლიერებელი სიგნალის შესასვლელებთან მიერთების ყველა შესაძლო წესის გამოყენების დროს;

4.2. ოპერაციული მაძლიერებლის ელექტრული თვისებების გამოკვლევა მუდმივი დენის დიფერენციალურ სიგნალზე მუშაობის დროს;

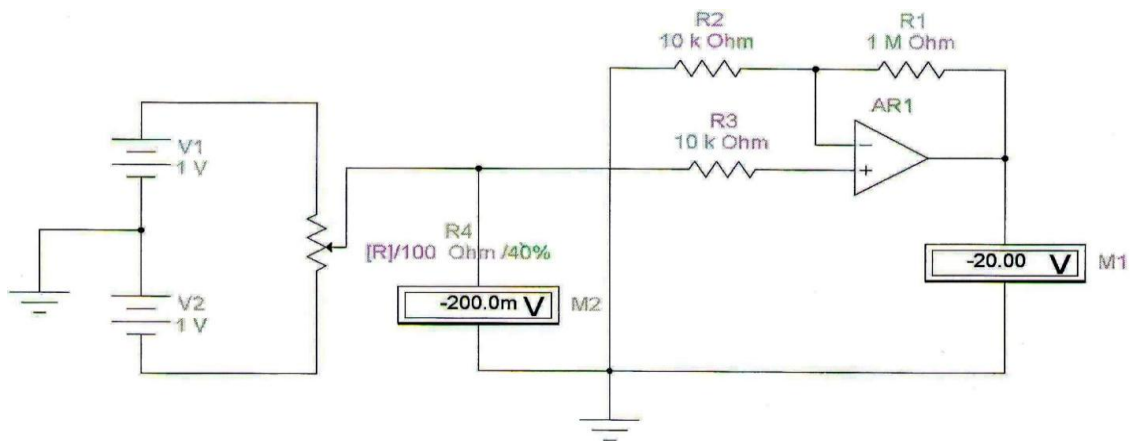
4.3. ოპერაციული მაძლიერებლის ელექტრული თვისებების გამოკვლევა ცვლადი სიგნალის გაძლიერების რეჟიმში მუშაობის დროს.

5. სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის თვისებების გამოსაგვლავი ვირტუალური სქემების აღწერა

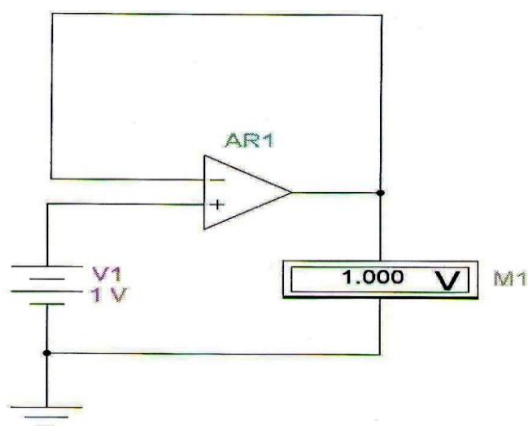
სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის თვისებების გამოსაგვლავი ვირტუალური სქემები წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ 10.1, 10.2 და 10.3 ნახაზებზე.



ა)

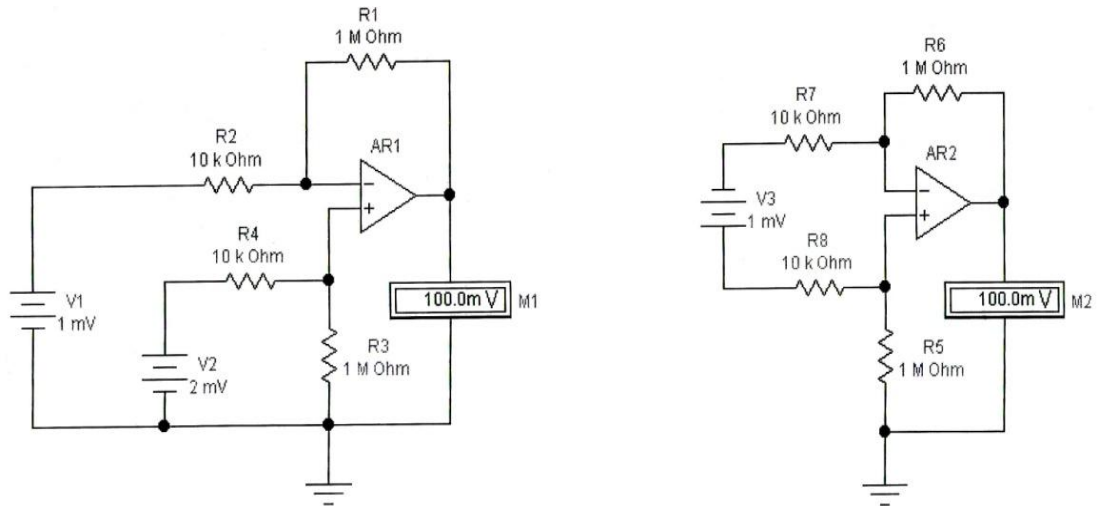


ბ)

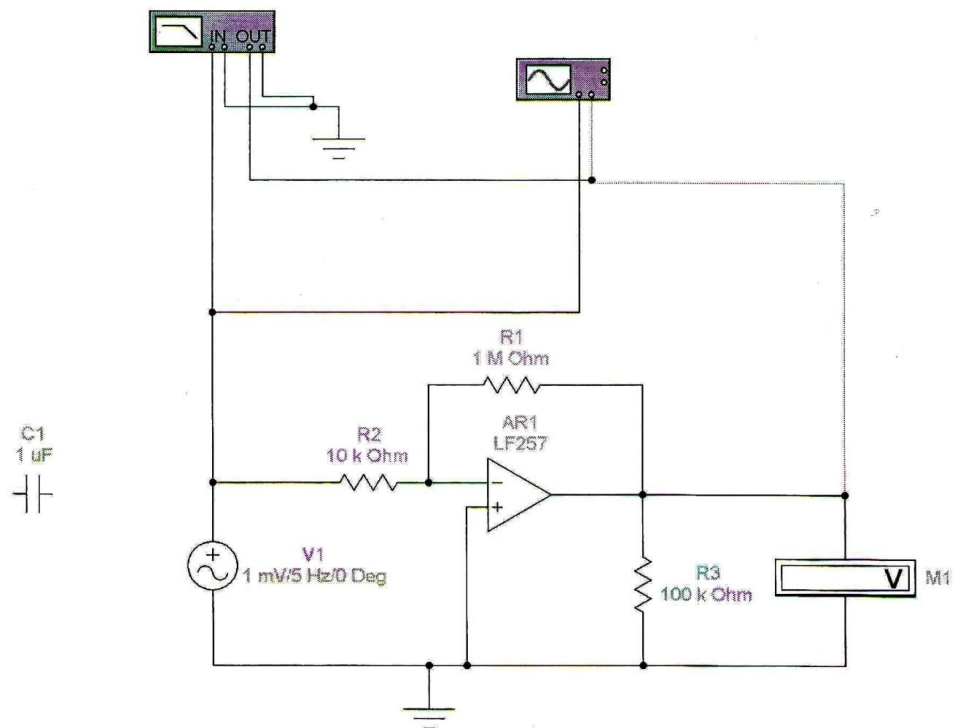


გ)

ნახ.10.1. სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის სიგნალის მაინვერსირებულ (ა), არამაინვერსირებულ (ბ) და მამეორებელ რეჟიმებში (გ) ჩართვის სქემები



ნახ.10.2. სამაშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის მუდმივი დენის დიფერენციალური სიგნალის გაძლიერების რეჟიმში ჩართვის სქემები

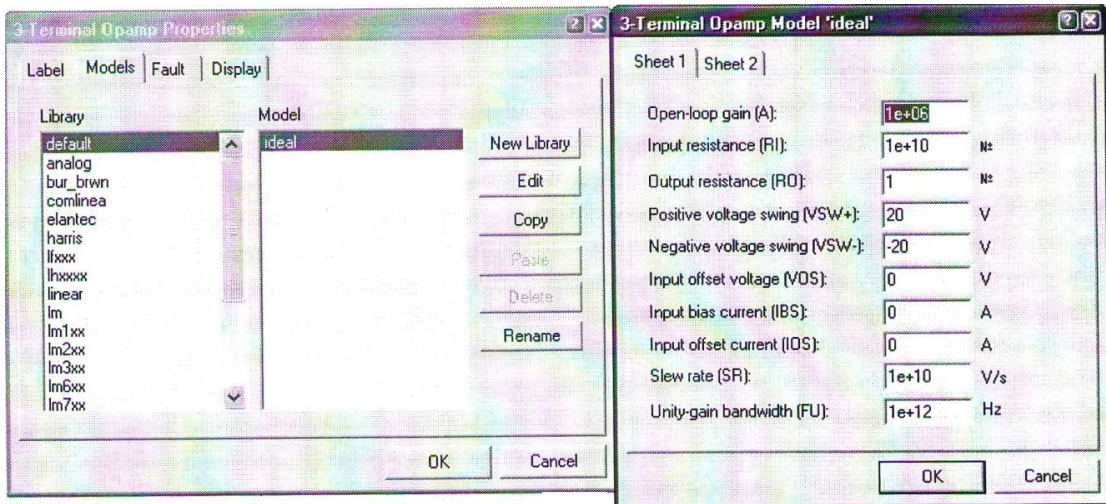


ნახ.10.3. სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის სქემა ცვლადი სიგნალის გაძლიერების რეჟიმში

ვირტუალურ სქემებში გამოყენებულია ოპერაციული მაძლიერებლის სამგამომყვანიანი მოდელი, რომელიც ითვლება იდეალურ (წრფივ) მაძლიერებლად. მის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში შეტანილია:

- ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი (**Open - loop gain [A]**);
- შესავალის წინაღობა (**Input resistance [RI]**);

- გამოსავლის წინაღობა (**Output resistance [RO]**);
- გამოსავლის დადებითი ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა (**Positive voltage swing [VSW+]**);
- გამოსავალი ძაბვის უარყოფითი მაქსიმალური მნიშვნელობა (**Negative voltage swing [VSW-]**).



ნახ.10.4. სამგამომყვანიანი ოპერაციული მაძლიერებლის მიკროსქემის
სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის სქემებში გამოყენებულია აგრეთვე მუდმივი და ცვლადი ძაბვის წყაროები, ვირტუალური მზომი ვოლტმეტრები, ვირტუალური ოსცილოსკოპი და ამპლიტუდურ – სიხშირული მზომი (**Bode plotter**). ყველა ეს ვირტუალური კომპონენტი გამოყენებული იყო წინა ლაბორატორიულ სამუშაოებშიც.

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის თვისებების გამოკვლევას, ოპერაციული მიკროსქემის შესასვლელებთან გასაძლიერებელი სიგნალის მიერთების ყველა შესაძლო წესის გამოყენების დროს, გახორციელებთ 10.1 ნახაზზე წარმოდგენილი ესკიზების მიხედვით აწყობილი ვირტუალური სქემების საფუძველზე.

10.1,ა ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით მაინვერსირებელი შესასვლელიანი სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის ვირტუალური სქემის აწყობის შემდეგ, შესავალს ვაწვდით გარკვეული სიდიდის დადებით სიგნალს (მაგალითად, 20 მლვ-ის ტოლ სიგნალს) და შესავალზე მიერთებული $R2$ წინაღობის უცვლელი შენარჩუნების დროს ვცვლით $R1$ უარყოფით უკუკავშირის წინაღობას 100 კომ-დან 1 მგომ-დე

ფარგლებში. სქემაში ჩართული ვოლტმეტრის ჩვენების მიხედვით ვსაზღვრავთ გაძლიერების კოეფიციენტს. შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში. ამავე ცხრილში შეგვაქვს (1) თეორიული გამოსახულების მიხედვით განსაზღვრული გაძლიერების კოეფიციენტის სიდიდე და ვაკეთებთ დასკვნას მაინვერსირებადი შესასვლელიანი კასკადის თვისებების შესახებ.

ცხრილი 1

$U_{\text{შეს}}$			
$R1$, კომ	100	500	1000
$R2$, კომ	10	10	10
$U_{\text{გამ}}$, მღვ			
$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$			
თეორიული $K_4 =$			

გადავიღებთ მაინვერსირებადი შესასვლელიან ოპერაციული მაძლიერებლის გადაცემის მახასიათებელს $U_{\text{გამ}} = f(U_{\text{შეს}})$, $R1/R2$ შეფარდების (გაძლიერების კოეფიციენტის) ორი სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს (ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად). ამისათვის, თავდაპირველად მაინვერსირებელ შესავალზე მიწოდებული ძაბვას შევცვლით 50%-დან 100%-მდე ფარგლებში, შემდეგ კი 50%-დან 0%-მდე ფარგლებში. ძაბვის ცვლილების ბიჯს შევარჩევთ ისე, რომ შევძლოთ შესავალზე მიწოდებული სიგნალის იმ ზუსტი სიდიდის დადგენა, რომლის დროსაც სქემა გადაღის გაჯერების მდგომარეობაში (ე.ი. შესავალზე მიწოდებული ძაბვის მომატებისას გამოსავალი ძაბვა ინარჩუნებს უცვლელ სიდიდეს). მოდელირების შედეგი შეგვაქვს №2 ცხრილში, რომლის მიხედვითაც ავაგებთ მაინვერსირებადი შესასვლელიანი ოპერაციული მაძლიერებლის გადაცემის მახასიათებელს. აგებული მახასიათებლის მიხედვით ვსაზღვრავთ გასაძლიერებელი სიგნალის წრფივი გაძლიერების დიაპაზონს $R1/R2$ ფარდობის სხვადასხვა სიდიდის დროს და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას

ცხრილი 2

$R1/R2 =$				$R1/R2 =$		
$[R]$	$U_{\text{შეს}}$	$U_{\text{გამ}}$	$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$	$U_{\text{შეს}}$	$U_{\text{გამ}}$	$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$
%						
100						
.						
50						
.						
0						

ავაწყოთ არამაინვერსირებადი შესასვლელიანი ოპერაციული მაძლიერებლის ვირტუალურ სქემას 10.1.ბ ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით. შევასრულებთ წინა პუნქტში ჩატარებული ოპერაციების ანალოგიურ ოპერაციებს და შევადგენთ №1 ცხრილის ანალოგიურ №3 ცხრილს

ცხრილი 3

$U_{\text{შეს}}$			
$R1$, კომ	100	500	1000
$R2$, კომ	10	10	10
$U_{\text{გამ}},$ მღვ			
$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შ}}}$			
თეორიული K_u			

შევაფასებთ არამაინვერსირებადი შესასვლელიანი სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის ელექტრულ თვისებებს.

გადავიღოთ არამაინვერსირებადი (პირდაპირი) შესასვლელიანი მაძლიერებლის გადაცემის მახასიათებელი $U_{\text{გამ}} = f(U_{\text{შ}})$, $R1/R2$ შეფარდების ორი სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს (ინდივიდუალური დაეალები შესაბამისად). ამისათვის მოვახდენთ არამაინვერსირებად შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალის ძაბვის ცვლილებას მაინვერსირებადი შესასვლელიანი ოპერაციული მაძლიერებლის გადაცემის მახასიათებლის გადანების დროს შესრულებული მანიპულაციების ანალოგიურად,

შევადგენთ №4 ცხრილს და ავაგებთ გადაცემის მახასიათებელს.

ცხრილი 4

$R1/R2 =$				$R1/R2 =$		
$[R]$	$U_{\text{შ}}$	$U_{\text{გამ}}$	$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შ}}}$	$U_{\text{შ}}$	$U_{\text{გამ}}$	$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$
%						
100						
.						
.						
.						
50						
.						
.						
.						
0						

აგებული მახასიათებლის მიხედვით ვსაზღვრავთ გასაძლიერებელი სიგნალის წრფივი გაძლიერების დიაპაზონს $R1/R2$ ფარდობის სხვადასხვა სიდიდის დროს და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

ავაწყოთ არამაინვერსირებელი მამოვრებლის ვირტუალური სქემა 10.1,გ ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით. ვცვალოთ შესავალი ძაბვის სიდიდე და ჩავინიშნოთ გამოსავალი ძაბვის მზომი ვოლტმეტრის ჩვენებები. გაზომვის შედეგები შევიტანოთ №5 ცხრილში და გავაკეთოთ დასკვნა

ცხრილი 5

$U_{\text{შეს}}, \text{ მლვ}$					
$U_{\text{გამ}}, \text{ მლვ}$					

6.2. სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის თვისებების გამოკვლევას დიფერენციალურ სიგნალზე მუშაობის დროს ვახორციელებთ 10.2 ნახაზზე წარმოდგენილი ესკიზების მიხედვით.

ავაწყოთ სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის სქემა 10.2,ა ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით, სადაც $V1$ მუდმივი ძაბვის წყარო მიერთებულია მაინვერსირებელ შესასვლელზე, ხოლო $V2$ ძაბვის წყარო – არამაინვერსირებელ შესასვლელზე. ვცვალოთ $V1$ და $V2$ ძაბვების მნიშვნელობები ისე, რომ $V1-V2$ სხვაობით სიგნალს ჰქონდეს როგორც დადებით ($V1>V2$), ისე უარყოფითი ($V1<V2$) ნიშანი. გამოსავალზე მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენებისა და ($V1-V2$) მნიშვნელობის მიხედვით ვპოულობთ გაძლიერების კოეფიციენტის სიდიდეებს. მოდელირების შედეგი შეგვაქვს №6 ცხრილში. ამავე ცხრილში შევიტანოთ (7) თეორიული გამოსახულების მიხედვით განსაზღვრულ გაძლიერების კოეფიციენტის მნიშვნელობას.

ცხრილი 6

$V1, \text{ მლვ}$	1	5	2	8
$V2, \text{ მლვ}$	2	3	4	5
$(V1-V2), \text{ მლვ}$				
$U_{\text{გამ}}, \text{ მლვ}$				
$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{V1-V2}$				
$K_u = \frac{R1}{R2}$				

მოდელირებით მიღებული შედეგის მიხედვით ვაფასებთ სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის ელექტრულ თვისებებს დიფერენციალური სიგნალის გაძლიერების რეჟიმში მუშაობის დროს. ყურადღებას ვამახვილებთ გამოსავალი ძაბვის ნიშნის

ცვლილებაზე $V1$ და $V2$ ძაბვების სიდიდეთა შორის თანაფარდობის ცვლილების დროს და ვაკუუმით სათანადო დასკვნას.

გამოვიკვლიოთ სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებლის თვისებები, როდესაც გასაძლიერებელი მუდმივი დენის სიგნალი შესასვლელებს შორისაა ჩართული. ამისათვის ავაწყოთ ვირტუალური სქემა 10.2,ბ ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით. თავდაპირველად მუდმივი სიგნალის წყარო უარყოფითი პოლუსით მივაერთოთ მაინვერსირებელ შესავალთან, ხოლო დადებითი პოლუსით – არამაინვერსირებელ შესავალთან. ვცვალოთ შესასვლელებს შორის მიერთებული სიგნალის სიდიდე 1 მლვ-დან 10 მლვ-მდე და ჩავინიშნოთ გამოსავალზე მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენებები. შედეგი შევიტანოთ №7 ცხრილში. იგივე სამუშაო შევასრულოთ შესასვლელებს შორის მიერთებული სიგნალის შეცვლილი პოლარულობის დროს და შედეგი შევიტანოთ №8 ცხრილში. ამავე ცხრილებში შევიტანოთ თეორიულად განსაზღვრული გაძლიერების კოეფიციენტის სიდიდე.

ცხრილი7

$U_{\text{შეს}}, \text{ მლვ}$					
$U_{\text{გამ}}, \text{ მლვ}$					
$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$					
თეორიული $K_u = \frac{R6}{R7} =$ $= \frac{R5}{R8}$					

ცხრილი8

$U_{\text{შეს}}, \text{ მლვ}$					
$U_{\text{გამ}}, \text{ მლვ}$					
$K_u = \frac{U_{\text{გამ}}}{U_{\text{შეს}}}$					
თეორიული $K_u = \frac{R6}{R7} =$ $= \frac{R5}{R8}$					

მოვახდინოთ მოდელირებით მიღებული შედეგის შეფასება და გავაკეთოთ სათანადო დასკვნა.

6.3. მაინვერსირებელი შესასვლელიანი ოპერაციული მაძლიერებლის გამოკვლევა, სინუსოიდური კანონით ცვლადი სიგნალის გაძლიერების რეჟიმში მუშაობის დროს, ვახდენთ 10.3 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით აწყობილი ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

არამაინვერსირებელი შესავალი მიერთებულია ნულოვან სალტესთან, ხოლო მაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედებს სინუსოიდური სიგნალის წყარო. გამოსავალზე მიერთებული ვოლტმეტრი გადაყვანილია ცვლადი სიგნალის ეფექტური მნიშვნელობის გაზომვის რეჟიმში.

შესავალზე მიერთებული სიგნალის ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობისა და ვოლტმეტრის ჩვენების მიხედვით განვსაზღვროთ სიგნალის გაძლიერების კოეფიციენტი და შევადაროთ იგი უკუკავშირისა და შესავალ წრედებში ჩართული რეზისტორების წინააღობების სიდიდების ფარდობას. მიღებული შედეგის მიხედვით გავაკეთოთ დასკვნა.

შესავალზე მივყავართ ცვლადი სიგნალი და გავააქტიუროთ სქემაში ჩართული ამპლიტუდურ-სიხშირული მზომი (**Bode plotter**).

გავაანალიზოთ ეკრანზე მიღებული ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებელი. №8 ლაბორატორიულ სამუშაოში გამოყენებული მეთოდის მიხედვით დავადგინოთ სიხშირეთა გატარების ზოლი. გავაკეთოთ დასკვნა.

ცვლადი სიგნალის წყაროსა და მაძლიერებლის შესავალს შორის ჩავერთოთ კონდენსატორი ($1 \div 5$ მკფ ტევადობის) და გავაანალიზოთ **Bode plotter**-ის ეკრანზე მიღებული ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი. განვსაზღვროთ სიხშირეთა გატარების ზოლი და ავხსნათ მიღებული ცვლილების მიზეზი.

გავააქტიუროთ სქემაში ჩართული ოსცილოსკოპი და ეკრანზე მიღებული ოსცილოგრამის მიხედვით შევავასოთ მაძლიერებლის შესავალზე და გამოსავალზე მოქმედ სიგნალებს შორის არსებული ფაზური თანაფარდობა როგორც სიხშირეთა გატარების ზოლში, ისე მის მიღმა, სიგნალის წყაროს სადიალოგო ფანჯარაში სათანადო სიხშირეთა დაფიქსირებით. ანალიზის შედეგი ჩამოაყალიბეთ დასკვნის სახით.

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. ვირტუალური სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2. სამასშტაბო ოპერაციული მაძლიერებელი სქემების ელექტრული პარამეტრების საანგარიშო გამოსახულებები.
- 7.3. შედგენილი ცხრილები. გაზომვებით და თეორიული გაანგარიშებით მიღებული მნიშვნელობების ანალიზი.
- 7.4. მაინვერსირებელი და არამაინვერსირებელი შესასვლელიანი ოპერაციული მაძლიერებლების გადაცემის მახასიათებლები.
- 7.5. გამოკვლევის შედეგად მიღებული შედეგების ზოგადი ანალიზი. დასკვნები.

ლაბორატორიული სამუშაო №10
ანალოგურ ელექტრონულ სიბნალებზე მათემატიკური
ოპერაციების შემსრულებელი სქემების გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

ანალოგური ელექტრული სიგნალების ამჟამავის, ინტეგრატორისა და დიფერენციატორის ექსპერიმენტული გამოკვლევა ვირტუალური მოდელირების **EWB** პროგრამის გამოყენებით.

2. მოკლე თეორიული ცნობები

საბაზისო ანალოგურ გამომთვლელ მოწყობილობებს მიეკუთვნება ამჟამავი (სუმატორი), ინტეგრატორი და დიფერენციატორი. ეს მოწყობილობები გამოიყენება სხვადასხვა მზომ და მაკორექტირებელ რგოლებში. როგორც წესი, ასეთ მოწყობილობების შესრულების დროს გამოიყენება მაინვერსირებელ შესასვლელიანი ოპერაციული მადლიერებელი.

ამჟამავი (სუმატორი). ელექტრული სიგნალების ამჟამავის სქემა მოცემულია 11.1,ა ნახაზზე, სადაც მაინვერსირებელ შესავალზე $R1$ და $R5$ რეზისტორების გავლით მოქმედებს სხვადასხვა დონის ორი $V1$ და $V2$ მუდმივი დენის სიგნალი. **ომ-ის** მაინვერსირებელი შესავალი წარმოადგენს შემაჯამებელ კვანძს, რადგან აქ ადგილი აქვს შესავალი დენებისა და უკუკავშირის დენის შეჯამებას. ამჟამავის გამოსავალზე მიღებული ძაბვა

$$U_{\text{გამ}} = -R3\left(\frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R5}\right). \quad (1)$$

11.1,ბ ნახაზზე წარმოდგენილ ამჟამავი სქემის შესასვლელზე მოქმედებს მართკუთხა და სინუსოიდური ფორმის ცვლადი სიგნალები. სქემის გამოსავალზე მიერთებული ოსცილოსკოპი აჩვენებს ამ სიგნალების შეჯამების შედეგად მიღებული სიგნალის დიაგრამას.

ინტეგრატორი. ესაა ელექტრონული სქემა, რომლის გამოსავალზე მიღებული სიგნალი, შესასვლელზე მოქმედი სიგნალის ინტეგრალის პროპორციულია.

ინტეგრატორის უმარტივესი სქემა მოცემულია 11.2,ა ნახაზზე. ამ სქემაში $C1$ კონდენსატორი მიერთებულია ინტეგრატორის გამოსავალსა და **ომ-ის** მაინვერსირებელ შესავალს შორის.

ინტეგრატორის შესავალზე მუდმივი სიგნალის მოქმედებისას, გამოსავალზე მიღებული ძაბვა შემდგენიარად გამოისახება

$$U_{\text{გამ}(t)} = -U_{\text{ჰეს}} \cdot \frac{t}{R1C1}, \quad (2)$$

სადაც t – ინტეგრების პროცესის ხანგრძლივობაა.

როგორც (2) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, ინტეგრატორის შესავალზე მუდმივი ძაბვის მოქმედებისას, გამოსავალი ძაბვა დროის წრფივ ფუნქციას წარმოადგენს. თუ $U_{\text{ჰეს}}$ ძაბვა ინტეგრატორის შესავალზე მოქმედებს განუსაზღვრელად ხანგრძლივი დროის მანძილზე, მაშინ გამოსავალი ძაბვა იცვლება მანძილზე, ვიდრე იგი არ მიაღწევს ოპერაციული მაძლიერებლის გაჯერებაში შესვლის შესაბამისი ძაბვის სიდიდემდე.

ინტეგრატორის ამომხსნელი ბლოკის ფუნქციას შესასრულებლად გამოყენების დროს, მისი მუშაობის რეჟიმი სამ ეტაპს შეიცავს. ეს ეტაპებია: საწყისი პირობის შეყვანა, ინტეგრების რეჟიმი და ინტეგრების შედეგების შენახვა. ინტეგრატორის სქემა, რომელიც ზემოაღნიშნული რეჟიმის ეტაპების იმიტაციის საშუალებას იძლევა, 11.2,ბ ნახაზზეა წარმოდგენილი. საწყისი პირობების შესაყვანად, რაშიც იგულისხმება

კონდენსატორის დამუხტვა $U_{\text{გამ}} = -V1 \frac{R1}{R2}$ ძაბვამდე, გამოყენებულია ტაიმერული

გასაღები. მოდელირების რეჟიმის გაშვების შემდეგ S2 გასაღები ამოქმედდება და რჩება ჩაკეტილ მდგომარეობაში 1 წმ-ის განმავლობაში. მოდელირების რეჟიმის გაშვებიდან 2 წმ-ის შემდეგ ამოქმედდება S1 ტაიმერული გასაღები და იწყება ინტეგრების რეჟიმი. ინტეგრების რეჟიმის შემდეგ სქემა გადადის მიღებული შედეგის შენახვის რეჟიმში.

ასეთ რეჟიმში მომუშავე ინტეგრატორის გამოსავალი ძაბვა

$$U_{\text{გამ}(t)} = V2 \frac{t}{R3C1} - V1 \frac{R1}{R2}. \quad (3)$$

თუ ინტეგრატორის შესავალს მივაწვდით არა მუდმივ ძაბვას, არამედ მართკუთხა იმპულსთა მიმდევრობას (ნახ.11.2,გ), მაშინ დროის იმ ინტერვალში, როდესაც შესავალზე ძაბვა ინარჩუნებს მუდმივ სიდიდეს, გამოსავალის ძაბვა შეიცვლება დროში წრფივი კანონით. ამის გამო, გამოსავალზე მიიღება სამკუთხა იმპულსთა მიმდევრობა.

დიფერენციატორი. ფუნქციური დანიშნულების მიხედვით დიფერენციატორი წარმოადგენს ინტეგრატორის ანტიპოდს, რადგან ინტეგრების და დიფერენცირების მათემატიკური ოპერაციები ურთიერთშებრუნებულია. აქედან გამომდინარე, თუ ინტეგრატორის სქემაში (ნახ.11.2) ადგილებს შევუცვლით C1 კონდენსატორსა და R1 რეზისტორს, მივიღებთ დიფერენციატორის სქემას (ნახ.11.4). დიფერენციატორის სქემაში, მისი მუშაობის კორექციის მიზნით, შეყვანილია დამატებითი R1 რეზისტორი.

თუ დიფერენციატორის შესავალს ფუნქციური გენერატორიდან მივაწვდით სამკუთხა იმპულსთა მიმდევრობას, გამოსავალზე მიიღება მართკუთხა იმპულსთა მიმდევრობა (ინტეგრების შებრუნებული პროცესის ამსახველი დიაგრამა). დიფერენციატორის გამოსავალი სიგნალი შესავალი სიგნალის დროში ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია.

$$U_{\text{გამ}} = -RC \frac{du_{\text{შეს}}}{dt}. \quad (4)$$

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

ლაბორატორიული სამუშაო უნდა შესრულდეს მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება ელექტრული სიგნალების ამჯამავის, ინტეგრატორისა და დიფერენციატორის მუშაობასთან დაკავშირებული თეორიული საკითხები.

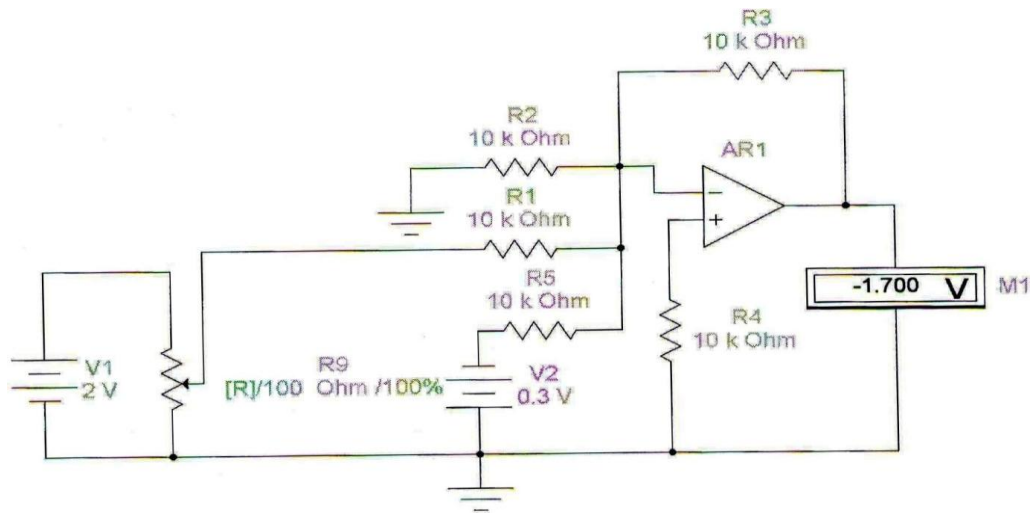
4. ლაბორატორიული სამუშაოს შინაარსი

- 4.1. ელექტრული სიგნალების ამჯამავის გამოკვლევა.
- 4.2. ელექტრული სიგნალების ინტეგრატორის გამოკვლევა.
- 4.3. ელექტრული სიგნალების დიფერენციატორის გამოკვლევა.

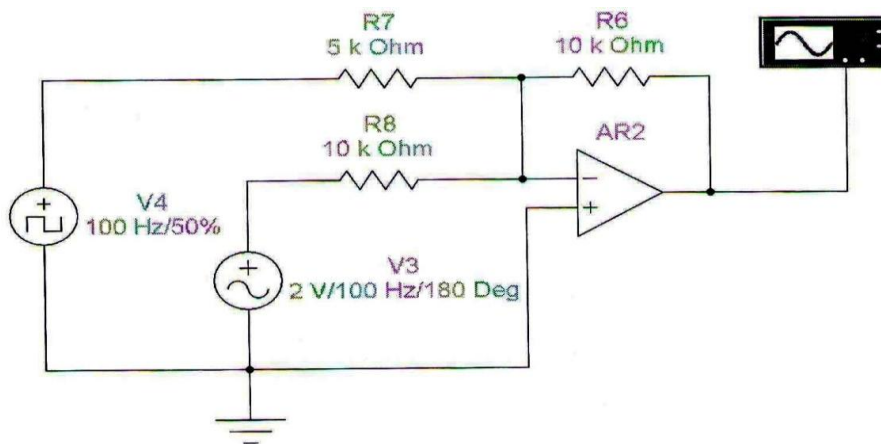
5. ანალოგურ ელემენტურ სიგნალებზე მათემატიკური ოპერაციების შემსრულებელი მოწყობილობების გამოსაკვლევი ვირტუალური სქემები

5.1. ელექტრული სიგნალების ამჯამავის გამოსაკვლევი ვირტუალური სქემები შეიძლება აიწყოს 11.1 ნახაზებზე მოცემული ესკიზების მიხედვით.

11.1,ა ნახაზზე მოცემულ ვირტუალურ სქემაში ამჯამავი აგებულია მაინვერსირებელი შესასვლელიდან ოპერაციულ მაძლიერებელზე, რომელთანაც ერთნაირი სიდიდის $R1$ და $R5$ რეზისტორების გავლით მიერთებულია სხვადასხვა დონის მუდმივი დენის სიგნალები. ერთ-ერთი სიგნალის წყარო ოპერაციული მაძლიერებლის მაინვერსირებელ შესავალს უკავშირდება $[R]$ პოტენციომეტრის საშუალებით.



ა)

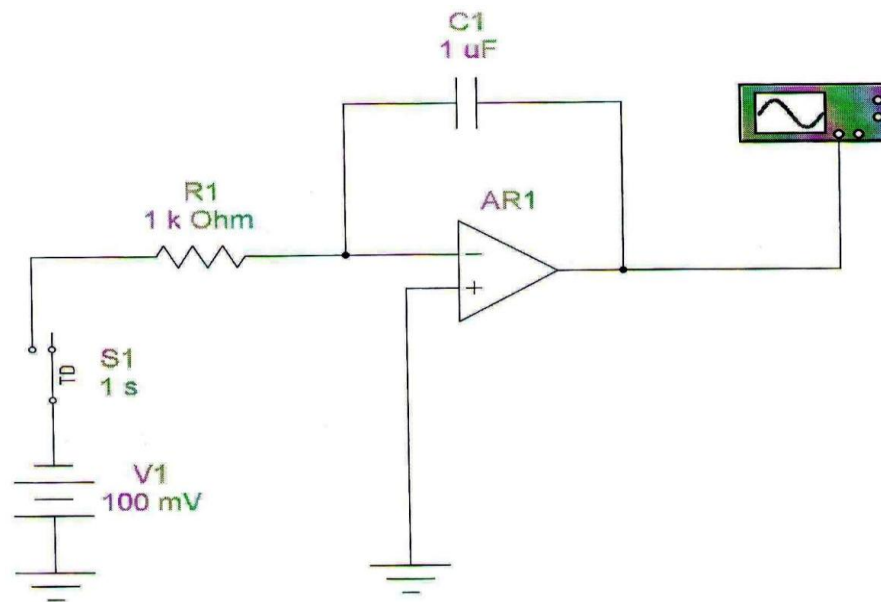


ბ)

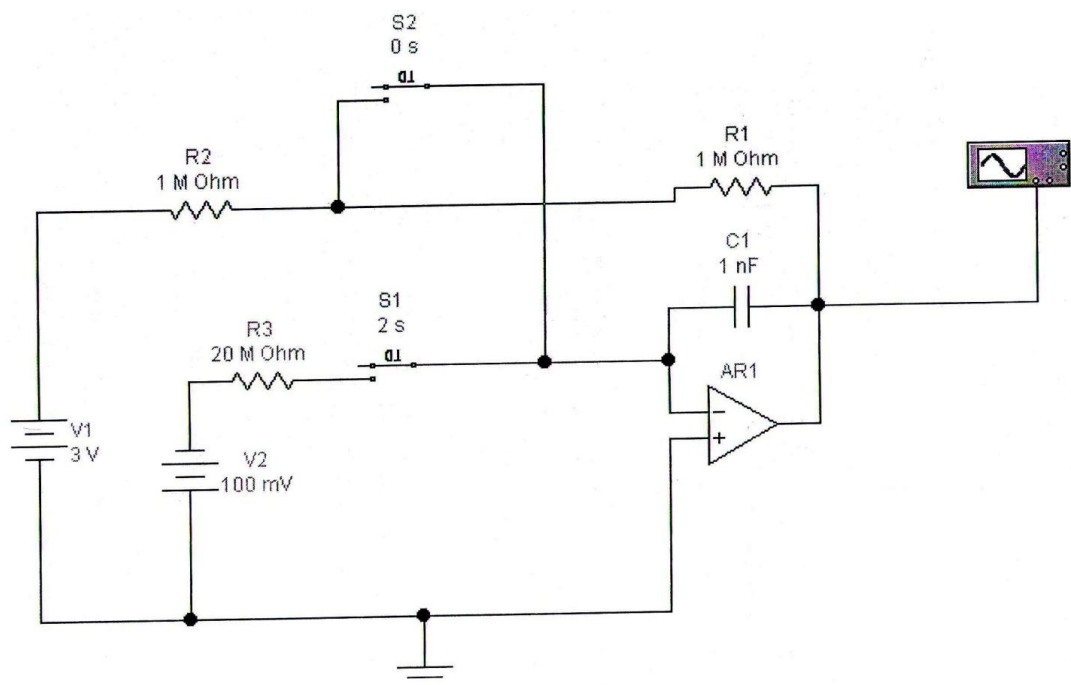
ნახ.11.1. ელექტრული სიგნალების ამჯამავის ვირტუალური სქემები

11.1,ბ ნახაზზე წარმოდგენილ ვირტუალურ სქემაში ოპერაციული მაძლიერებლის მაინვერსირებელ შესავალზე მიერთებულია სინუსოიდური ძაბვის წყარო, რომლის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულია 2 ვ-ის ტოლი ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა, 100 ჰც-ის ტოლი სიხშირე და 180⁰ -ის ტოლი საწყისი ფაზა. ამავე შესავალზე მიერთებულია ერთი პოლარულობის მქონე მართკუთხა სიგნალის წყარო. მის სადიალოგო ფანჯარაში დაფიქსირებულია 5 ვ-ის ტოლი ამპლიტუდა, 100 ჰც-ის ტოლი სიხშირე და 50%-ის ტოლი შევსების კოეფიციენტი. მართკუთხა იმპულსური ძაბვა მაინვერსირებელ შესავალს უერთდება 5 კომ-ის ტოლი წინააღობის გავლით, ხოლო სინუსოიდური ძაბვის წყარო – 10 კომ-ის ტოლი წინააღობით. უარყოფითი უკუკავშირი განხორციელებულია 10 კომ-იანი წინააღობის მქონე რეზისტორით.

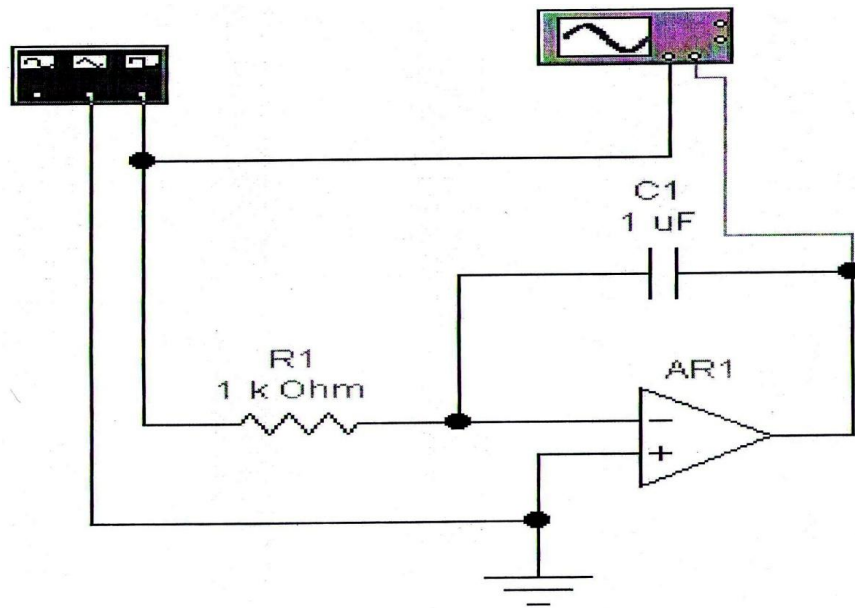
52. ელექტრული სიგნალების მაინტეგრირებელი სქემები შეიძლება აიწყოს 112 ნახაზებზე წარმოდგენილი ესკიზების მიხედვით.



ა)



ბ)



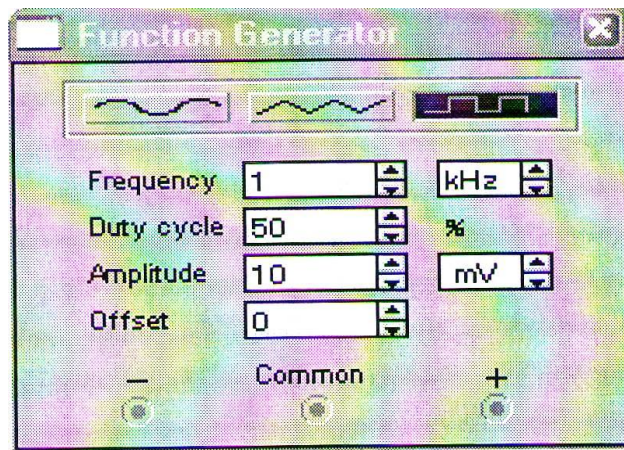
გ)

ნახ.112. სიგნალების მაინტეგრირებელი მოწყობილობის ვირტუალური სქემები

11.2,ა ნახაზზე მოცემულია ინტეგრატორის უმარტივესი სქემა, სადაც $C1$ კონდენსატორი მიერთებულია ოპერაციული მაძლიერებლის გამოსავალსა და მაინვერსირებელ შესავალს შორის. მუდმივი დენის შესავალი სიგნალი მაინვერსირებელ შესავალს მიეწოდება $S1$ ტაიმერული გადამრთველისა და $R1$ რეზისტორის გავლით.

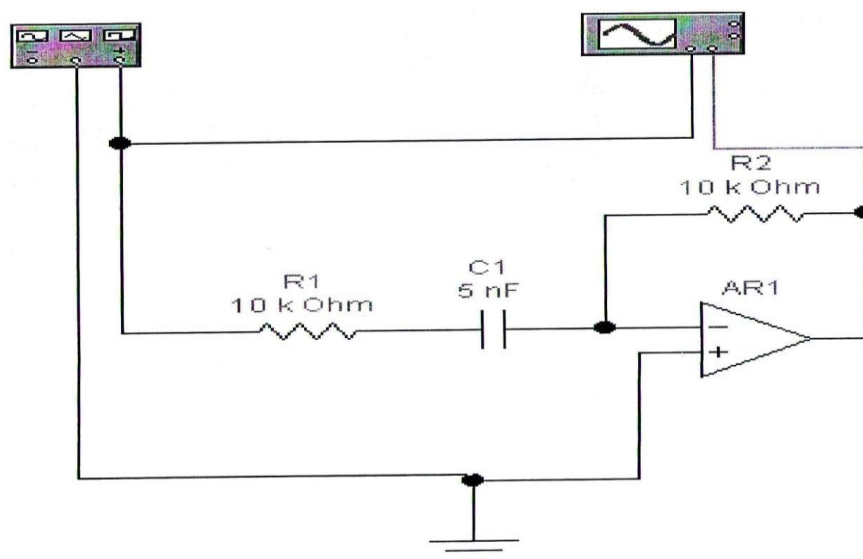
11.2,ბ ნახაზზე მოცემულია ინტეგრატორის სქემა, რომელიც ინტეგრატორის მიერ ამომხსნელი ბლოკის ფუნქციის შესრულებისათვის საჭირო სამი ეტაპის: საწყისი პირობის შეყვანის, ინტეგრირების რეჟიმისა და ინტეგრირების შედეგების შენახვის საშუალებას იძლევა. ამ სქემის მუშაობის პრინციპი მოკლე თეორიულ ცნობებშია აღწერილი.

11.2,გ ნახაზზე მოცემულ ინტეგრატორის ვირტუალურ სქემაში ინტეგრირებას დაქვემდებარებული სიგნალის წყაროდ გამოყენებულია მართკუთხა ფორმის ცვლადი პერიოდული სიგნალი, რომელიც მიიღება **EWB** პროგრამის ბიბლიოთეკიდან გამოტანილი ფუნქციური გენერატორიდან, რომლის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა 11.3 ნახაზზეა ნაჩვენები.



ნახ.113. ფუნქციური გენერატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

5.3. ელექტრული სიგნალების მადიფერენცირებული წრედის (დიფერენციატორის) ვირტუალური სქემა მოცემულია 11.4 ნახაზე.



ნახ.114. დიფერენციატორის ვირტუალური სქემა

ეს სქემა ინტეგრატორის სქემისაგან იმით განსხვავდება, რომ კონდენსატორსა და რეზისტორს შეცვლილი აქვს ჩართვის ადგილი, რაც იმითაა განპირობებული, რომ ინტეგრებისა და დიფერენცირების მათემატიკური ოპერაციები ურთიერთ შებრუნებულ ოპერაციებს წარმოადგენენ.

დიფერენციატორის სქემაში დამატებით გამოყენებულია შესავალ წრედში ჩართული მადემფერირებელი რეზისტორი, რომელიც უზრუნველყოფს მოდელირების საწყის სტადიაზე ადრული რხევების ჩახშობას.

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. ელექტრული სიგნალების ამჟამავის გამოკვლევას, მუდმივი დენის სიგნალებზე მუშაობის დროს, ვახორციელებთ 11.1,ა ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით. გამოკვლევას ვახდენთ $\frac{R_{\text{შკ}}}{R} \left(\frac{R3}{R1} = \frac{R3}{R5} \right)$ წონითი კოეფიციენტის ორი

სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს (ინდივიდუალური დაფალების შესაბამისად). V2 ძაბვის წყაროდან მაინვერსირებელ შესავალს ვაწვდით ძაბვის განსაზღვრულ სიდიდეს, ხოლო V1 წყაროდან იგივე შესავალზე მიწოდებულ ძაბვას [R] პოტენციომეტრით ვცვლით ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე და ჩავინიშნავთ გამოსავალზე მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენებებს. გამოკვლევას ვახდენთ V2 წყაროდან მიწოდებულ ძაბვის ორი სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. მოდელირების შედეგები შეგვაქვს №1 ცხრილში. ამავე ცხრილში უნდა შევიტანოთ მოკლე თეორიულ ცნობებში მოყვანილი (1) გამოსახულების მიხედვით გაანგარიშებული გამოსავალი ძაბვის მნიშვნელობები.

ცხრილი 1

$\frac{R_{\text{შკ}}}{R} =$						$\frac{R_{\text{შკ}}}{R} =$					
$U_{\text{შკ } 2} =$			$U_{\text{შკ } 2} =$			$U_{\text{შკ } 2} =$			$U_{\text{შკ } 2} =$		
$U_{\text{შკ } 1}$	$U_{\text{გამ}}$ (მოდელ)	$U_{\text{გამ}}$ (თეორ.)	$U_{\text{შკ } 1}$	$U_{\text{გამ}}$ (მოდელ)	$U_{\text{გამ}}$ (თეორ.)	$U_{\text{შკ } 1}$	$U_{\text{გამ}}$ (მოდელ)	$U_{\text{გამ}}$ (თეორ.)	$U_{\text{შკ } 1}$	$U_{\text{გამ}}$ (მოდელ)	$U_{\text{გამ}}$ (თეორ.)

შედგენილი ცხრილის საფუძველზე ვაანალიზებთ ამჟამავის მუშაობას და ვაკეთებთ შესაბამის დასკვნას.

ელექტრული სიგნალების ამჟამავის გამოკვლევას, ცვლადი დენის სიგნალებზე მუშაობის დროს, ვახორციელებთ 11.1,ბ ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით. სქემაში შემავალი ვირტუალური კომპონენტების სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში ადრე მითითებულ სიდიდეთა დაფიქსირების შემდეგ ჩავრთავთ მოდელირების რეჟიმს. ვააქტიურებთ ოსცილოსკოპს და ვამუშავეთ მას გაფართოებული ეკრანის რეჟიმში. გადავიღებთ ამჟამავის მაინვერსირებულ შესავალზე მოქმედი და ამჟამავის გამოსავალზე მიღებული სიგნალების ოსცილოგრამებს.

სამიზნებელი სახაზავების დახმარებით ვზომავთ ამჟამავის გამოსასვლელზე მიღებული არასიმეტრიული პერიოდული სიგნალის უარყოფით და დადებით მაქსიმალურ მნიშვნელობებს და ვახდენთ მათ შედარებას (1) თეორიული გამოსახულების გამოყენებით გაანგარიშებულ მნიშვნელობებთან:

$$U_{\text{გამ. მ}}^- = -R3 \left(\frac{V1}{R1} + \frac{V2}{R5} \right);$$

$$U_{\text{გამ. მ}}^+ = -R3 \left(\frac{0}{R1} + \frac{V2}{R5} \right).$$

ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

შევცვალოთ ამჟამავის შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალის საწყისი ფაზა (180° -ის ნაცვლად დავაყენოთ 0°) და გავიმეოროთ ზემოთ შესრულებული სამუშაო. გაგვაკეთოთ დასკვნა.

6.2. მარტივი მაინტეგრებელი მოწყობილობის გამოკვლევას ვახორციელებთ 11.2, ა ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის მიხედვით.

$V1$ მუდმივი ძაბვის წყაროს, $C1$ კონდენსატორისა და $R1$ რეზისტორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში სიდიდეთა დაფიქსირების შემდეგ (ინდივიდუალური დავალების შესაბამისი სიდიდეები) ჩაერთავთ მოდელირების რეჟიმს და ვაკვირდებით გაფართოების რეჟიმში ჩაყენებული ოსცილოსკოპის ეკრანზე გამოსავალი სიგნალის ჩამოყალიბების პროცესს. გამოსავალი ძაბვის ცვლილების შეწყვეტამდე (გაჯერებაში შესვლამდე) ვაჭერთ ღილაკზე **Pause** და ვაჩერებთ მოდელირების პროცესს. სამიზნებელი სახაზავების საშუალებით ვზომავთ გამოსავალი ძაბვის სიდიდეს და ინტეგრების პროცესის ხანგრძლივობას. მოდელირებით მიღებულ შედეგს ვადარებთ თეორიულ ცნობებში მოყვანილ (2) გამოსახულების მიხედვით გაანგარიშებულ სიდიდესთან. ვიმეორებთ ზემოთ შესრულებულ სამუშაოს $C1$ და $R1$ კომპონენტების პარამეტრების სხვა მნიშვნელობების დროს და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

მაინტეგრებელი ფუნქციური კვანძის მუშაობის გამოკვლევას ვახორციელებთ 11.2, ბ ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის მიხედვით. სქემაში გათვალისწინებულია წრედში ჩართული მაინტეგრებელი კონდენსატორის საწყისი დამუხტვა (საწყისი პირობის შეყვანა) $U_{\text{გამ.}}(0) = -V1 \frac{R1}{R2}$ ძაბვამდე. ამ ოპერაციის შესასრულებლად

სქემაში გამოყენებულია $S2$ ტაიმერული გასაღები, რომელიც მოდელირების რეჟიმის გაშვების შემდეგ ჩაირთვება და რჩება ამ მდგომარეობაში 1 წმ-ის მანძილზე. სქემაში გამოყენებულ მეორე ტაიმერულ გასაღებს ($S1$) აქვს 2 წმ-ის ტოლი დაყოვნება ჩართვაზე. ამიტომ მოდელირების რეჟიმის გაშვებიდან 2 წმ-ის შემდეგ ჩაირთვება $S1$

გასაღები და დაიწყება ოპერაციული მაძლიერებლის მაინვერსირებელ შესავალზე მიწოდებული $V2$ სიგნალის ინტეგრების პროცესი.

მოდელირების რეჟიმის ჩართვის შემდეგ, გაფართოების რეჟიმში ჩაყენებული ოსცილოსკოპის ეკრანზე ვაკვირდებით გამოსავალი სიგნალის ჩამოყალიბების პროცესს. ინტეგრების პროცესი მთავრდება მას შემდეგ, რაც წრფივად ცვლადი ძაბვა მიაღწევს სქემაში გამოყენებული ოპერაციული მაძლიერებლის გამოსავალი ძაბვის მაქსიმალურ (გაჯერების) მნიშვნელობას (20 ვ). ამის შემდეგ, სქემა გადადის მიღებული შედეგის შენახვის რეჟიმში. ამ რეჟიმში გადასვლის შემდეგ, **Pause** ღილაკზე დაჭერით, შევწყვეტთ მოდელირების პროცესს და ვაანალიზებთ მიღებულ ოსცილოგრამას. ოსცილოგრამიდან დავადგენთ გამოსავალი ძაბვის ცვლილების სრულ სიდიდეს ($U_{\text{გ.მ.}}(0)$ -დან 20 ვ-მდე). მიღებულ შედეგს გამოწმებთ (3) თეორიული გამოსახულებიდან განსაზღვრული გამოსავალი ძაბვის მიხედვით. ამ გამოსახულებაში შესატანი ინტეგრების ხანგრძლივობა (t) უნდა განისაზღვროს სამიზნეპელი სახაზავების საშუალებით, გამოსავალი ძაბვის 0-დან 20 ვ-მდე გაზრდისათვის საჭირო დროის ინტერვალის გაზომვის გზით. შემოწმების შემდეგ ვაკეთებთ დასკვნას.

მაინტეგრებელი ფუნქციური ვირტუალური კვანძის გამოკვლევას, როდესაც ინტეგრებას ექვემდებარება ფუნქციური გენერატორიდან მოხსნილი მართკუთხა ცვლადი პერიოდული სიგნალი, ვახორციელებთ 11.2.გ ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით. ფუნქციური გენერატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში შეგვაქვს ინდივიდუალური დავალებით მიღებული სიგნალის ამპლიტუდისა და სიხშირის მნიშვნელობები. $C1$ კონდენსატორისა და $R1$ რეზისტორის პარამეტრებს სტუდენტი ასევე შეირჩევს ინდივიდუალური დავალების მიხედვით.

მოდელირების რეჟიმის ჩართვის შემდეგ, ვაკვირდებით გაფართოების რეჟიმში ჩაყენებული ოსცილოსკოპის ეკრანზე მიღებული შესავალი და გამოსავალი სიგნალების ოსცილოგრამებს. **Pause** ღილაკზე დაჭერით ვაჩერებთ მოდელირების პროცესს და ვაანალიზებთ გამოსავალზე მიღებული სიგნალის ცვლილების ხასიათს. სამიზნეპელი სახაზავების საშუალებით ვზომავთ შესავალი და გამოსავალი სიგნალების ამპლიტუდებს და გამოსავალი სიგნალის განმეორების პერიოდს.

მოდელირებით მიღებულ შედეგს გამოწმებთ გაანგარიშების გზით. ამისათვის ვიყენებთ ანალიზურ გამოსახულებას $U_{\text{გ.მ. მ}}(t) = U_{\text{წყ. მ}} \frac{t}{R1 C1}$, სადაც t – ს სიდიდე

აიღება შესავალი და გამოსავალი სიგნალების განმეორების პერიოდის ნახევრის ტოლი. გაანგარიშებით მიღებული გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდას ვადარებთ გაზომვით მიღებულ მნიშვნელობას და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

6.3. ელექტრული სიგნალების მაღიმფერეცირებელი ვირტუალური კვანძის (დიფერენციატორის) გამოკვლევას ვახორციელებთ 11.4 ნახაზზე მოცემული

ვირტუალური სქემის მიხედვით. ეს სქემა 11.2.გ ნახაზზე ნაჩვენებია ინტეგრატორის სქემისაგან განსხვავდება მხოლოდ იმით, რომ ადგილები აქვთ შეცვლილი $C1$ კონდენსატორსა და $R1$ რეზისტორს.

ფუნქციური გენერატორის სადიალოგო ფანჯარაში ვააქტიურებთ გამოსავალი ცვლადი სამკუთხა სიგნალის შესაბამის დილაკს. გარდა ამისა, ვაფიქსირებთ გამოსავალი სიგნალის ამპლიტუდასა და სიხშირეს (ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად).

მოდელირების რეჟიმის ჩართვის შემდეგ, ვაკვირდებით გაფართოების რეჟიმში ჩაყენებული ოსცილოსკოპის ეკრანზე მიღებული შესავალი და გამოსავალი სიგნალების ოსცილოგრამებს. ვრწმუნდებით, რომ დიფერენციატორის გამოსაკვლევი სქემა ასრულებს ინტეგრატორის შებრუნებულ ოპერაციას: შესავალზე მიწოდებულ სამკუთხა პერიოდულ სიგნალს გარდაქმნის მართკუთხა პერიოდულ სიგნალად.

Pause დილაკზე დაჭერით შევაჩერებთ მოდელირების პროცესს და ვახდენთ მიღებული შედეგის ანალიზს. სამიზნეპელი სახაზავების საშუალებით ვზომავთ გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდას და გაზომვის შედეგს გამოწმებით თეორიული გაანგარიშებით. ამისათვის ვიყენებთ თეორიულ ცნობებში მოყვანილ (4)

გამოსახულებას. ვახდენთ ამ გამოსახულებაში შემავალი $\frac{du_a}{dt}$ – შესავალი სიგნალის

ცვლილების სიჩქარის განსაზღვრას. ამისათვის სამიზნეპელი სახაზავების დახმარებით ვზომავთ შესავალი სამკუთხა იმპულსის სიდიდის ცვლილებას განმეორების ნახევარ პერიოდის მანძილზე და შევაფარდებთ მას შესაბამის დროის ინტერვალთან. გაანგარიშებით მიღებული გამოსავალი ძაბვის სიდიდეს ვადარებთ გაზომვით მიღებულ მნიშვნელობას და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. ანალოგურ ელექტრულ სიგნალებზე მათემატიკური ოპერაციების შემსრულებელი მოწყობილობების სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2. ელექტრული სიგნალების ამჟამავი, მაინტეგრირებელი და მადიფერენცირებელი სქემების მახასიათებელ სიდიდეთა საანგარიშო გამოსახულებები.
- 7.3. შედგენილი ცხრილები.
- 7.4. მოდელირებით და გაანგარიშებით მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი.
- 7.5. მიღებული შედეგების ზოგადი ანალიზი. დასკვნები.

ლაბორატორიული სამუშაო №11
ჰარმონიული რხევის ავტოგენერატორების
ბამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

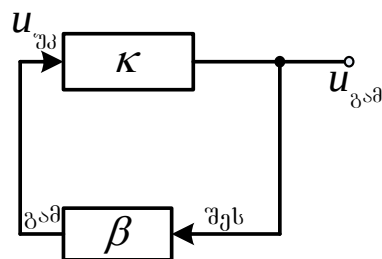
ჰარმონიული რხევის LC – და RC – ავტოგენერატორების გამოკვლევა ვირტუალური მოდელირების **EWB** კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით.

2. მოკლე თეორიული ცნობები

ჰარმონიული რხევის გენერატორი მუდმივი ძაბვის კვების წყაროს ენერგიას გარდაქმნის განსაზღვრული სიხშირის ჰარმონიულ რხევით ენერგიად. ასეთი გენერატორის სქემა შეიცავს სიხშირის ამომრჩევ წრედს და აქტიურ ელემენტს (ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადი, ოპერაციული მაძლიერებელი).

მოქმედების პრინციპის მიხედვით არსებობს თვითაღზნებადი, ანუ ავტოგენერატორები და გენერატორები გარე აღზნებით.

გენერატორების სქემაში გამოყენებული სიხშირის ამომრჩევი წრედის სახეობის მიხედვით არსებობს LC – და RC – გენერატორები. LC – ავტოგენერატორები გამოიყენება მაღალი სიხშირის ჰარმონიული რხევის მისაღებად, ხოლო RC – ავტოგენერატორები – დაბალი სიხშირის რხევების მისაღებად.



ავტოგენერატორის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე. სტრუქტურულ სქემაში შედის ორი მთავარი კვანძი: K გაძლიერების კოეფიციენტის ერთკასკადიანი მაძლიერებელი და β გადაცემის კოეფიციენტის სიხშირის ამომრჩევი წრედი, რომლის მეშვეობით მაძლიერებელში განხორციელებულია დადებითი უკუკავშირი.

იმისათვის, რომ ავტოგენერატორის მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთების შედეგად გამოსავალზე წარმოიქმნას მდგრადი ელექტრული რხევები, უნდა შესრულდეს თვითაღზნების ორი პირობა:

$$K\beta = 1; \quad (1)$$

$$\varphi + \psi = 0; \quad 2\pi, \quad (2)$$

სადაც K – მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტის მოდულია;

$$\beta = \frac{u_{\text{შპ}}}{u_{\text{გამ}}} - \text{უკუკავშირის წრედის გადაცემის კოეფიციენტის მოდული};$$

φ – მაძლიერებელი კვანძის გამოსავალ და შესავალ ძაბვებს შორის ფაზური ძვრის კუთხე;

ψ – უკუკავშირის კვანძის შესავალ და გამოსავალ ძაბვებს შორის ფაზური ძვრის კუთხე.

(1) ტოლობა წარმოადგენს ამპლიტუდური ბალანსის პირობას, ხოლო (2) ტოლობა – ფაზური ბალანსის პირობას.

ცნობილია, რომ საერთო ემიტერით ან საერთო სათავით ჩართული ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის გამოსავალზე მიღებული სიგნალის ფაზა 180° -ითაა დაძრული შესავალი სიგნალის ფაზისაგან. ამიტომ, თუ გამოსავალი სიგნალის ნაწილს ფაზის შეუცვლელად მივაწვდით მაძლიერებლის შესავალს, მაშინ განხორციელდება უარყოფითი უკუკავშირი. იმისათვის, რომ შესრულდეს თვითაღზნებისათვის საჭირო ფაზური ბალანსის პირობა (ე.ი. მაძლიერებელში განხორციელდეს დადებითი უკუკავშირი), უკუკავშირის წრედმა მაძლიერებლის შესავალს უნდა მიაწოდოს 180° -ით დაძრული გამოსავალი ძაბვა (ამ ძაბვის განსაზღვრული ნაწილი).

აუცილებელია ამპლიტუდური ბალანსის პირობის შესრულებაც, რადგან მუშაობის პროცესში ავტოგენერატორში ადგილი აქვს ენერგიის დანაკარგს. ენერგიის ეს დანაკარგი უნდა შეივსოს კვების წყაროდან შემოსული ენერგიით, რაც დადებითი უკუკავშირის წრედის მეშვეობით უნდა განხორციელდეს.

LC – ავტოგენერატორის ერთ-ერთი სქემური ვარიანტი მოცემულია 12.1 ნახაზზე. ავტოგენერატორის სქემაში აქტიურ ელემენტად გამოყენებულია ველით მართვად ტრანზისტორზე აგებული მაძლიერებელი კასკადი. სიხშირის ამომრჩევ წრედში, ანუ რხევით კონტურში, L ინდუქციურობის ფუნქციას ასრულებს ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციურობა. მასთან პარალელურადაა მიერთებული რხევითი კონტურის $C1$ კონდენსატორი. რხევით კონტურში ჩართული $R1$ რეზისტორი ახდენს კონტურში არსებული დანაკარგების მოდელირებას ამპლიტუდური ბალანსის პირობის შესრულების გამოკვლევის დროს.

ავტოგენერატორის სქემაში დადებითი უკუკავშირი რეალიზებულია იმის შედეგად, რომ მეორეული გრაგნილის დასაწყისი და ბოლო შებრუნებული მიმდევრობითაა ტრანზისტორის მართვის წრედთან მიერთებული, რის გამოც ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში ადრული რხევები ტრანზისტორის მართვის ელექტროდს,

მეორეული გრაგნილის საშუალებით, მიეწოდება 180° -ის ტოლი ფაზური ძვრით, ე.ი. სრულდება ფაზური ბალანსის პირობა (2).

ავტოგენერატორში, მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთების შემდეგ, აღიძვრება ელექტრული რხევები, რომლის სიხშირე, პირველი მიახლოებით, განისაზღვრება ტომსონის ფორმულით

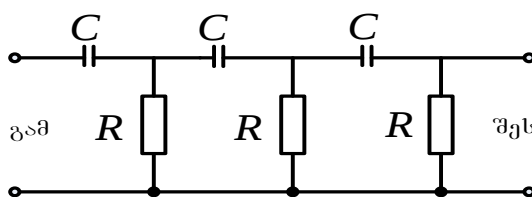
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1C1}}, \quad (3)$$

სადაც $L1$ –ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციურობაა.

დაბალი სიხშირის სინუსოიდური რხევების გენერაციის მიზნით გამოიყენება RC –ავტოგენერატორები, რომლებშიც უკუკავშირი განხორციელებულია R და C ელემენტებზე აგებული სიხშირის ამომრჩევი ოთხპოლუსას საშუალებით. ამ სახის ავტოგენერატორებში გამოყენებული სიხშირის ამომრჩევი RC –ოთხპოლუსები შეიძლება დაიყოს ჯგუფად:

- სიხშირის ამომრჩევი RC –ოთხპოლუსები, რომლებიც ახდენენ შესავალზე მიწოდებული ძაბვის ფაზის 180° -ით დაძვრას;
- სიხშირის ამომრჩევი RC –ოთხპოლუსები, რომლებიც არ ცვლიან შესავალზე მიწოდებული ძაბვის ფაზას.

პირველი ჯგუფის სიხშირის ამომრჩევი RC –ოთხპოლუსები შეიცავენ მიმდევრობით შეერთებულ „ Γ ”–სებრ RC რგოლებს. ძირითადად გამოიყენება სამრგოლიანი ოთხპოლუსა (იხ. ნახაზი).



უკუკავშირის წრედში ამ ჯგუფის RC –სამრგოლიანი ოთხპოლუსას გამოყენების შემთხვევაში, RC –ავტოგენერატორი შეიძლება აიგოს ტრანზისტორულ მაძლიერებელ კასკადზე ან ოპერაციულ მაძლიერებელზე. 12.2 ნახაზზე ნაჩვენებია ტრანზისტორულ კასკადზე აგებული RC –ავტოგენერატორის სქემა. $R5$, $R2$ ძაბვის გამყოფი ემიტერში ჩართულ რეზისტორთან ერთად განსაზღვრავს მაძლიერებელი კასკადის მუშა (სიმშვიდის) რეჟიმს მუდმივი დენის მიხედვით. ამავე დროს, ცვლადი დენის მიმართ პარალელურად შეერთებული $R5$, $R2$ წინაღობები წარმოქმნიან სამრგოლიანი C , R –ოთხპოლუსას მესამე წინაღობას ($R = R5 \cdot R2 / (R5 + R2)$).

სამრგოლიანი RC – სისშირის ამომრჩევი ოთხპულსას გამოყენების შემთხვევაში აღძრული რხევების სისშირის გასაანგარიშებლად იყენებენ შემდეგ გამოსახულებას

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}, \quad (4)$$

თუმცა ეს თეორიული გამოსახულება სისშირის ფრიად საორენტაციო მნიშვნელობას იძლევა. ამ სისშირეზე სამრგოლიანი RC –ოთხპულსას გადაცემის კოეფიციენტი ეტოლება: $\beta = -\frac{1}{29}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამპლიტუდური ბალანსის პირობა ($K\beta \geq 1$) შესრულდება, როდესაც $K \geq 29$.

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

ლაბორატორიული სამუშაო უნდა შესრულდეს მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება მე-2 პუნქტში მოცემული თეორიული საკითხები. დამატებით მიზანშეწონილია [1]-ის გამოყენება.

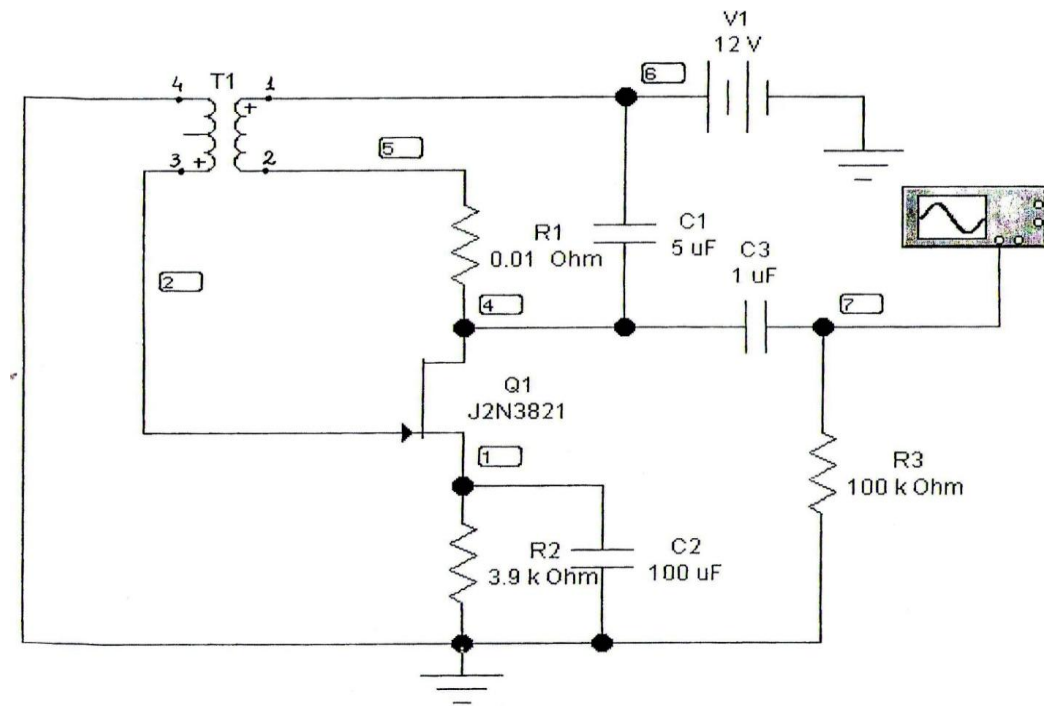
4. ლაბორატორიული სამუშაოს შინაარსი

- 4.1. ჰარმონიული რხევის LC – ავტოგენერატორის გამოკვლევა.
- 4.2. ჰარმონიული რხევის RC – ავტოგენერატორის გამოკვლევა.

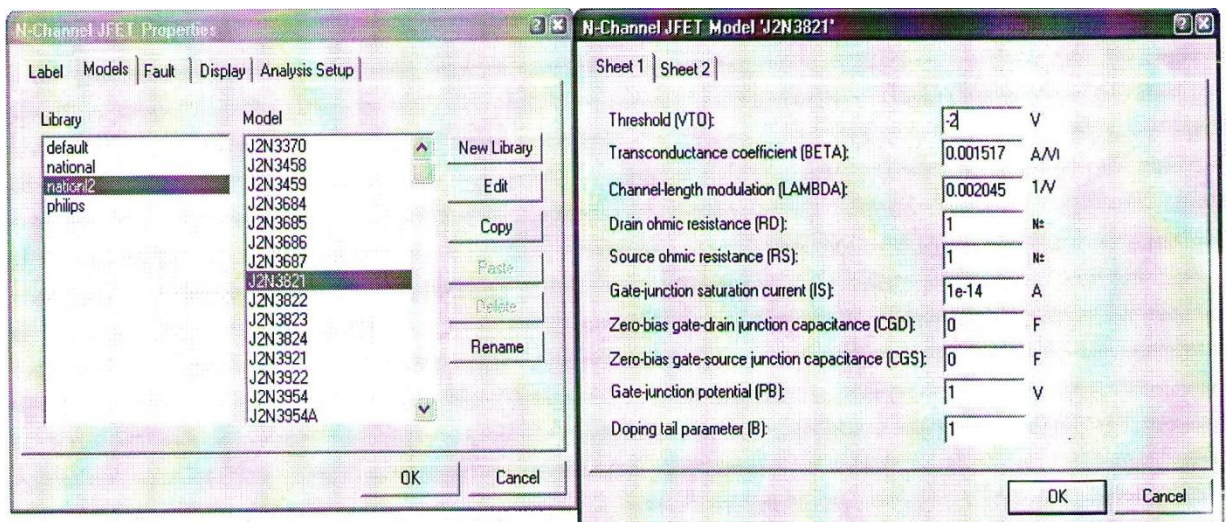
5. ჰარმონიული რხევის ავტოგენერატორების გამოსაკვლევი ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარის აღწერა

5.1. ჰარმონიული რხევის LC – ავტოგენერატორის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარი აიწყო 12.1 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.

სქემაში აქტიურ ელემენტად გამოყენებულია $p-n$ გადასასვლელიანი ველით მართვადი ტრანზისტორი. მისი სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა 12.2 ნახაზზეა ნაჩვენები.

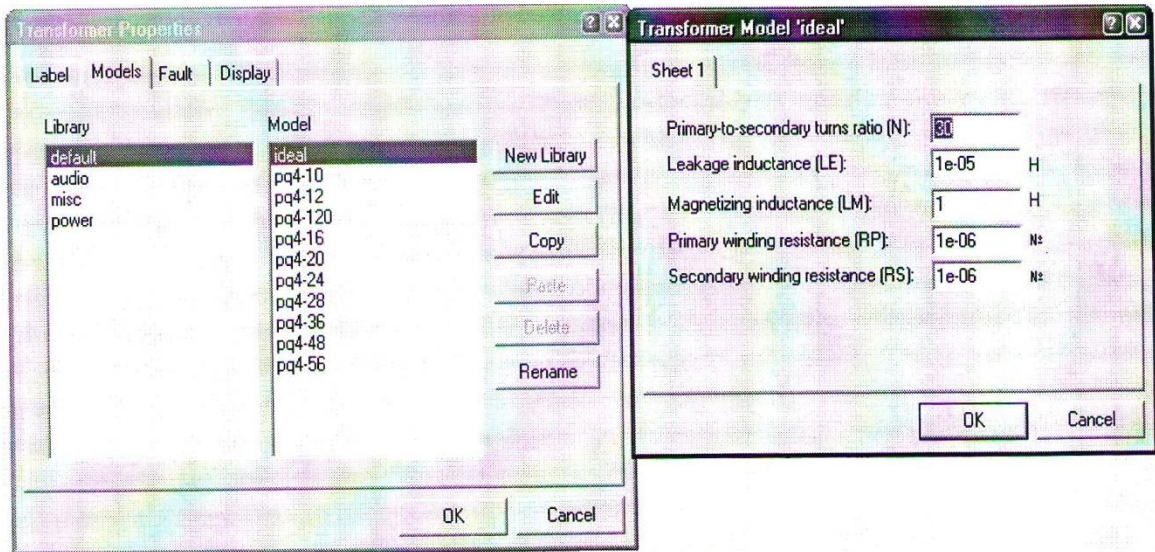


ნახ.12.1. LC – ავტოგენერატორის სქემა



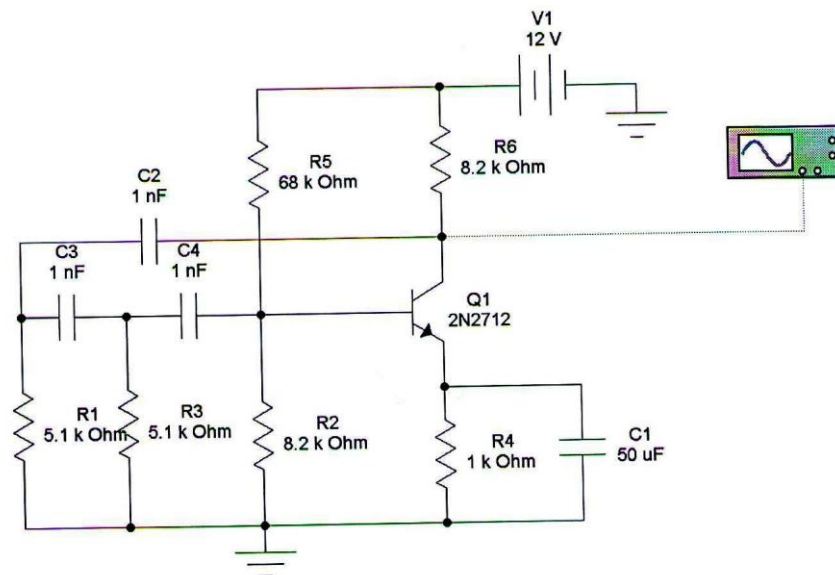
ნახ.12.2. J2N3821 ველთი მართვადი ტრანზისტორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

ტრანზისტორის ჩასადინარის წრედში ჩართული LC – რხევითი კონტურის პარამეტრებს განსაზღვრავს $C1$ კონდენსატორის ტევადობა და $T1$ იდეალური ტიპის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციურობა (**Magnetizing Inductance**). $T1$ ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილით განხორციელებულია დადებითი უკუკავშირი ($\beta = 1/30$).



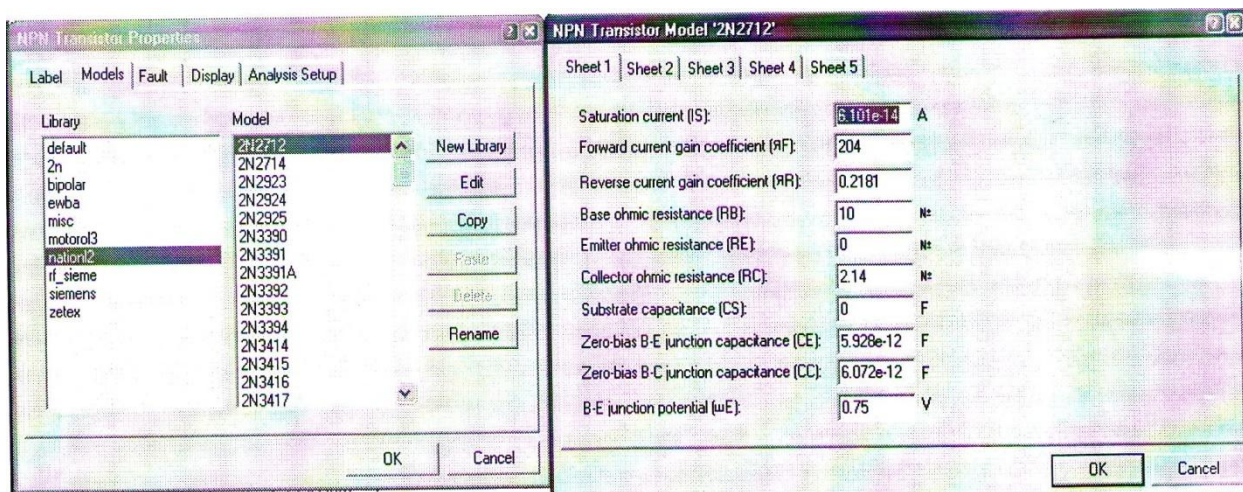
ნახ.12.3. Ideal ტიპის ტრანსფორმატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

5.2. ჰარმონიული რხევის RC – ავტოგენერატორის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარი აიწყობა 12.4 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.12.4. RC – ავტოგენერატორის სქემა

RC – ავტოგენერატორი აწყობილია 2N2712 ტიპის ტრანზისტორულ მაძლიერებელ კასკადზე.



ნახ.12.5. 2N2712 ტიპის ტრანზისტორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. ჰარმონიული რხევის LC – ავტოგენერატორის მუშაობის გამოკვლევას ვახორციელებთ 12.1 ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

ტრანსფორმატორის სადიალოგო ფანჯარაში დავაფიქსიროთ 1 ჰენრის ტოლი ინდუქციურობა და ჩავრთოთ მოდელირების რეჟიმი. ოსცილოსკოპი ვამუშაოთ გაფართოებული ეკრანით და განვსაზღვროთ გენერირებული რხევის სიხშირე. ამისათვის ვიყენებთ სამიზნებელ სახაზავებს და ვპოულობთ აღძრული ჰარმონიკული რხევის პერიოდს $T = T_2 - T_1$, რომლის მიხედვითაც ვიპოვით ჰარმონიული რხევის

$$\text{სიხშირეს} - f_0 = \frac{1}{T}.$$

გამოწმებთ მიღებულ შედეგს (3) თეორიული გამოსახულების მიხედვით გაანგარიშებულ მნიშვნელობასთან შედარების გზით და ვაკეთებთ შესაბამის დასკვნას.

ვიკვლევთ ავტოგენერატორის სქემაში თვითაღზნების რეჟიმის აღძვრისა და აღძრული რხევების შენარჩუნებისათვის ფაზური და ამპლიტუდური ბალანსის პირობების დაცვის აუცილებლობას.

ფაზური ბალანსის პირობის დარღვევით გამოწვეული შედეგის შესამოწმებლად შევცვალოთ ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადის შესავალზე ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ბოლოების მიერთების თანამიმდევრობა. ერთავთ მოდელირების რეჟიმს და ვახდენთ მიღებული შედეგის ახსნას.

ამპლიტუდური ბალანსის პირობის დარღვევით გამოწვეული შედეგის შესამოწმებლად ვზრდით რხევით კონტურში დანაკარგების გავლენის საიმპიტაციოდ ჩართული $R1$ რეზისტორის წინააღობის სიდიდეს და ვრწმუნდებით, რომ ამ წინააღობის

გარკვეული სიდიდის დროს რხევების გენერაცია შეწყდება. ვახდენთ მიღებული შედეგის ახსნას.

ვცვლით ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციურობას და C1 კონდენსატორის ტევადობას ინდივიდუალური დავალების შესაბამისად და ვახდენთ აღძრული რხევების სიხშირის გაზომვას ინდუქციურობისა და ტევადობის ყოველი წყვილი მნიშვნელობის დროს. შედეგები შეგვაქვს ცხრილში. ამავე ცხრილში შეგვაქვს გაანგარიშებით მიღებული სიხშირის მნიშვნელობები. ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

ცხრილი 1

L , ჰნ		0,05	.	.	.
C , მკფ		0,01	.	.	.
f_0 ჰც	გაზომვებით				
	თეორიული გაანგარიშებით				

6.2. პარმონიული რხევის RC – ავტოგენერატორის მუშაობის გამოკვლევა
ვახორციელებთ 12.4 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის გამოყენებით.

ერთავთ მოდელირების რეჟიმს და ოსცილოსკოპის ეკრანზე მიღებული ოსცილოგრამით ვრწმუნდებით, რომ გენერატორის გამოსასვლელზე აღიძვრა მდგრადი სინუსოიდური რხევები. ოსცილოგრამის მიხედვით დავადგენთ აღძრული რხევების

პერიოდს $T = T_2 - T_1$ და რხევების სიხშირეს $f = \frac{1}{T}$. (4) გამოსასვლელის მიხედვით

ვანგარიშობთ აღძრული რხევების თეორიულ მნიშვნელობას და ვადარებთ გაზომვებით მიღებულ შედეგს.

ვცვლით RC – ფაზის დამძვრელი რგოლების კონდენსატორის ტევადობას და ტევადობის ყოველი მნიშვნელობის დროს ეზომავთ გენერირებული რხევების სიხშირეს. გაზომვის შედეგები და თეორიულად გაანგარიშებული სიხშირის მნიშვნელობები შეგვაქვს №2 ცხრილში.

ცხრილი 2

R , კომ		5,1	5,1	5,1	5,1
C , ნფ		5	10	15	20
f_0 ჰც	გაზომვებით				
	თეორიული გაანგარიშებით				

შედგენილი ცხრილის მიხედვით ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. LC – და RC – ავტოგენერატორების ვირტუალური სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2. ჰარმონიული რხევების გენერაციისათვის საჭირო ამპლიტუდური და ფაზური ბალანსის პირობის შემოწმების შედეგები.
- 7.3. გენერირებული რხევების საანგარიშო გამოსახულებები.
- 7.4. შედგენილი ცხრილები და მიღებული შედეგის ანალიზი.
- 7.5. მიღებული შედეგების ზოგადი ანალიზი. დასკვნები.

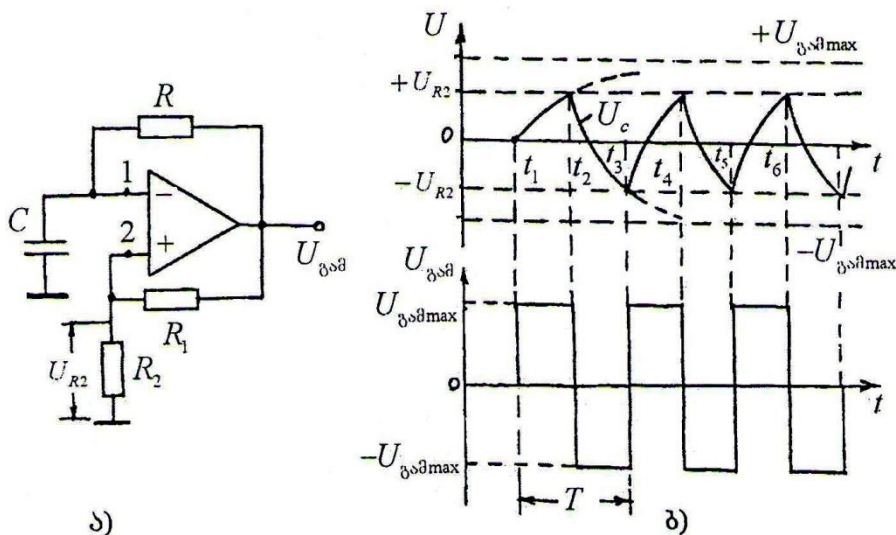
ლაბორატორიული სამუშაო №12
მართკუთხა ფორმის რხევების გენერატორების
გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

მართკუთხა ფორმის რხევების ავტოგენერატორის (მულტივიბრატორის) და დამუხრუჭებელი მულტივიბრატორის (მონოვიბრატორის) მუშაობის გამოკვლევა ვირტუალური მოდელირების **EWB** პროგრამის გამოყენებით.

2. მოკლე თეორიული ცნობები

როდესაც ავტოგენერატორში თვითაღზნების პირობები სრულდება არა მხოლოდ ერთი რომელიმე სიხშირის დროს, არამედ რამდენიმე სიხშირისათვის ან სიხშირეთა ზოლისათვის, მაშინ ასეთი გენერატორის გამოსავალზე მიიღება ჰარმონიულისაგან განსხვავებული რთული ფორმის რხევები (მათ შორის, მართკუთხა ფორმის რხევა), რომელიც შეიცავს სხვადასხვა სიხშირის რხევათა (ჰარმონიკათა) განსაზღვრულ სპექტრს. ასეთი გენერატორებიდან პრაქტიკაში ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია მართკუთხა რხევების გენერატორი, რომელსაც მულტივიბრატორი ეწოდება.



ნახ.13.1. ავტორხვეითი მულტივიბრატორის სქემა (ა); ძაბვების დიაგრამები (ბ)

მულტივიბრატორი შეიძლება აიწყოს როგორც ტრანზისტორებზე, ისე ინტეგრალურ მიკროსქემებზე. 13.1 ნახაზზე ნაჩვენებია ოპერაციული ინტეგრალური მიკროსქემების ბაზაზე აწყობილი ავტორხვეითი მულტივიბრატორის სქემა. ოპერაციულ

მაძლიერებელზე მკვებავი ძაბვების მიწოდებისას, საწყის ეტაპზე, მაინვერსირებელ 1-შესავალს, რომელიც C კონდენსატორის გავლით საერთო სალტესთანაა მიერთებული (ეს უკანასკნელი $\perp$ – სიმბოლოთია აღნიშნული), ნულის ტოლი პოტენციალი აქვს (C კონდენსატორი განმუხტულ მდგომარეობაშია). არამაინვერსირებელ 2-შესავალს კი R_1 , R_2 ძაბვის გამოყოფით მიეწოდება დადებითი უკუკავშირის ძაბვა. ცხადია, მკვებავი ძაბვების მიერთებამდე $U_{\text{გამ}} = 0$. ძაბვების მიერთებისას აუცილებლად ექნება ადგილი $U_{\text{გამ}}$ ძაბვის გადახრას ნულიდან დადებითი ან უარყოფითი მიმართულებით. დაუშვათ, რომ ძაბვებთან მიერთებისას მულტივიბრატორის გამოსავალზე აღიძვრა $\Delta U_{\text{გამ}} > 0$ ძაბვის მცირე ნაზრდი. ეს ძაბვა R_1 , R_2 უკუკავშირის წრედით მიეწოდება არამაინვერსირებელ შესავალს და გაძლიერების შემდეგ უბრუნდება გამოსავალს. გაზრდილი გამოსავალი ძაბვა კვლავ მიეწოდება არამაინვერსირებელ შესავალს, გაძლიერდება, გადაეცემა გამოსავალს და ა.შ. აღიძვრება ძაბვის ზეგვისებრი ზრდის პროცესი, რის შედეგადაც გამოსავალი ძაბვა თითქმის მყისიერად იზრდება $U_{\text{გამ max}}$ – მდე და რჩება უცვლელი. მაშასადამე, საწყის ეტაპზე ოპერაციული მაძლიერებლის მაინვერსირებელ შესავალს აქვს ნულის ტოლი პოტენციალი, ხოლო არამაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედებს დადებითი უკუკავშირის ძაბვა

$$U_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{\text{გამ max}} = \beta U_{\text{გამ max}}, \quad (1)$$

სადაც $\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ – უკუკავშირის წრედის გადაცემის კოეფიციენტი.

ეს ძაბვა ოპერაციულ მაძლიერებელს ტოვებს დადებითი გაჯერების მდგომარეობაში.

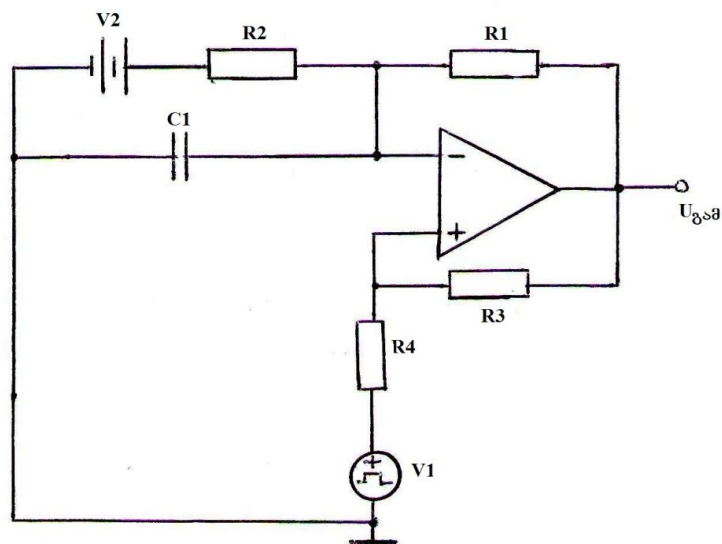
$U_{\text{გამ max}}$ ძაბვა R რეზისტორის გავლით მოქმედებს C კონდენსატორზე, რის გამოც იგი იწვევს დამუხტვას $\tau = RC$ დროის მუდმივას შესაბამისი სისწრაფით. შესაბამისად, დაიწყება მაინვერსირებელი შესავალის პოტენციალის ზრდის პროცესი. დროის t_2 მომენტში (ნახ.13.1,ბ) U_c ძაბვა (მაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედი ძაბვა) გაუტოლდება არამაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედ U_{R_2} ძაბვას, რაც გამოიწვევს ოპერაციული მაძლიერებლის გადართვას უარყოფითი გაჯერების მდგომარეობაში (დიფერენციალური შესავალის თვისების თანახმად) და გამოსავალზე აღმოჩნდება $-U_{\text{გამ max}}$ ძაბვა. ამიტომ, არამაინვერსირებელ შესავალზე იმოქმედებს უკუკავშირის ძაბვა

$$U_{R_2} = -\beta \cdot U_{\text{გამ max}}, \quad (2)$$

რომელიც უნარჩუნებს ოპერაციულ მაძლიერებელს უარყოფითი გაჯერების მდგომარეობას. ამჯერად, C კონდენსატორზე იმოქმედებს უარყოფითი ძაბვა, რის გამოც იგი დაიწყებს გადამუხტვას $\tau = RC$ დროის მუდმივას შესაბამისი სისწრაფით. t_3 მომენტში კონდენსატორის ძაბვა გაუტოლდება არამაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედ U_{R_2} ძაბვას, რაც გამოიწვევს ოპერაციული მაძლიერებლის გადართვას დადებითი გაჯერების მდგომარეობაში და მულტივიბრატორის გამოსავალზე კვლავ აღმოჩნდება $+U_{\text{გაგ max}}$ ძაბვა. ამით მთავრდება ავტოგენერატორის გამოსავალზე აღძრული მართკუთხა ფორმის რხევის ერთი სრული პერიოდი (T). ამის შემდეგ, ზემოაღწერილი პროცესი იწყებს განმეორებას და მულტივიბრატორის გამოსავალზე ჩამოყალიბდება მართკუთხა ფორმის რხევები, რომლის სიხშირე

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2RC \ln(1 + \frac{2R_2}{R_1})}. \quad (3)$$

დამუხსრუტებული მულტივიბრატორი (მონოვიბრატორი) წარმოადგენს განსაზღვრული ხანგრძლივობის ერთეულოვანი იმპულსების გენერატორს. მონოვიბრატორის სქემის რეალიზაცია შესაძლებელია ზემოთ განხილული მულტივიბრატორის სქემის ბაზაზე, ავტორხევითი რეჟიმის დამუხსრუტების გზით. ასე, მაგალითად, 13.2 ნახაზზე წარმოდგენილი მონოვიბრატორის სქემა მიღებულია 13.1 ნახაზზე მოცემული მულტივიბრატორის სქემაში ავტორხევის დამუხსრუტებით,



ნახ.13.2. მონოვიბრატორის სქემა

რაც ხორციელდება ომ-ის მაინვერსირებელ შესავალზე წანაცვლების დადებითი $V2$ ძაბვის მიწოდებით. ამ შემთხვევაში ოპერაციული მაძლიერებელი აღმოჩნდება

უარყოფითი გაჯერების მდგომარეობაში, რომელიც წარმოადგენს მონოვიბრატორის საწყის მდგრად მდგომარეობას. ასეთი მდგომარეობის დროს მაინვერსირებელ შესავალზე აღმონდება $V2(1 - \beta1) - U_{\text{გამ.m}}^- \cdot \beta1$ ძაბვა, რომელიც აღემატება არამაინვერსირებელ შესავალზე მოქმედ $U_{\text{გამ.m}}^- \cdot \beta$ ძაბვას $[\beta1 = R2/(R1 + R2); \beta = R4/(R3 + R4); \beta1/\beta < 1]$.

როდესაც არამაინვერსირებელ შესავალზე იმოქმედებს მცირე ხანგრძლივობის (გამოსავალ იმპულსზე ნაკლები ხანგრძლივობის) დადებითი იმპულსი, რომლის ამპლიტუდა მეტია $U_{\text{გამ.m}}^- \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ ძაბვაზე, ომ გადაირთვება დადებითი გაჯერების მდგომარეობაში. გადართვის შემდეგ $C1$ კონდენსატორი იწვევს გადამუხტვას $R1$ რეზისტორზე საწყისი $(V2(1 - \beta1) - U_{\text{გამ.m}}^- \cdot \beta1)$ -დან $U_{\text{გამ.m}}^+ \cdot R4/(R3 + R4)$ ძაბვამდე, რის შემდეგაც ოპერაციული მაძლიერებლის გამოსავალი ბრუნდება საწყის მდგრად მდგომარეობაში. თუ ვიგულისხმებთ, რომ $U_{\text{გამ.m}}^+ = U_{\text{გამ.m}}^-$, მაშინ ფორმირებული იმპულსის ხანგრძლივობა

$$T = \beta_1 R1 C1 \ln \left\{ 2\beta1 / [\beta1 + (1 - \beta1) \frac{V2}{U_{\text{გამ.m}}^+} - \beta] \right\}. \quad (4)$$

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

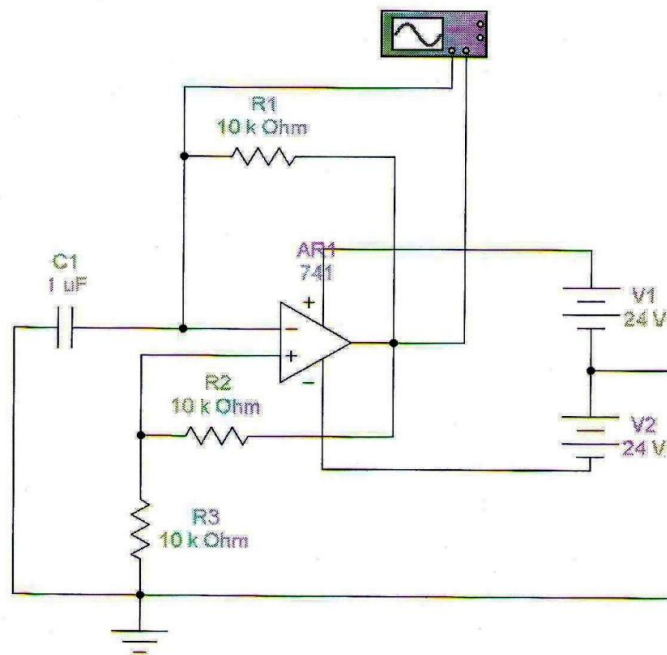
ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულება უნდა მოხდეს მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება მართკუთხა ფორმის რხევების გენერატორების მუშაობასთან დაკავშირებული თეორიული საკითხები.

4. ლაბორატორიული სამუშაოს შინაარსი

- 4.1. ავტორხვევითი მულტივიბრატორის მუშაობის გამოკვლევა.
- 4.2. დამუხრუჭებული მულტივიბრატორის (მონოვიბრატორის) მუშაობის გამოკვლევა.

5. მართკუთხა ფორმის რხევების გენერატორების ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარის აღწერა

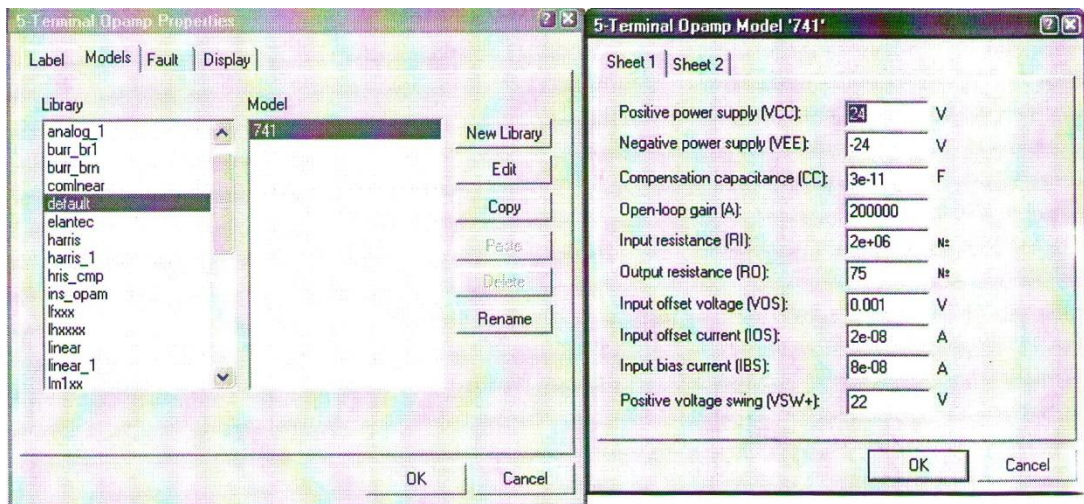
- 5.1. ავტორხვევითი მულტივიბრატორის ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარი აიწყოება 13.3 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.13.3. ავტორხეითი მულტივიბრატორის სქემა

სქემაში გამოყენებულია ხუთგამომყვანიანი იდეალური ტიპის ოპერაციული მაძლიერებელი. მის სადიალოგო პარამეტრთა ფანჯარაში ფიქსირდება:

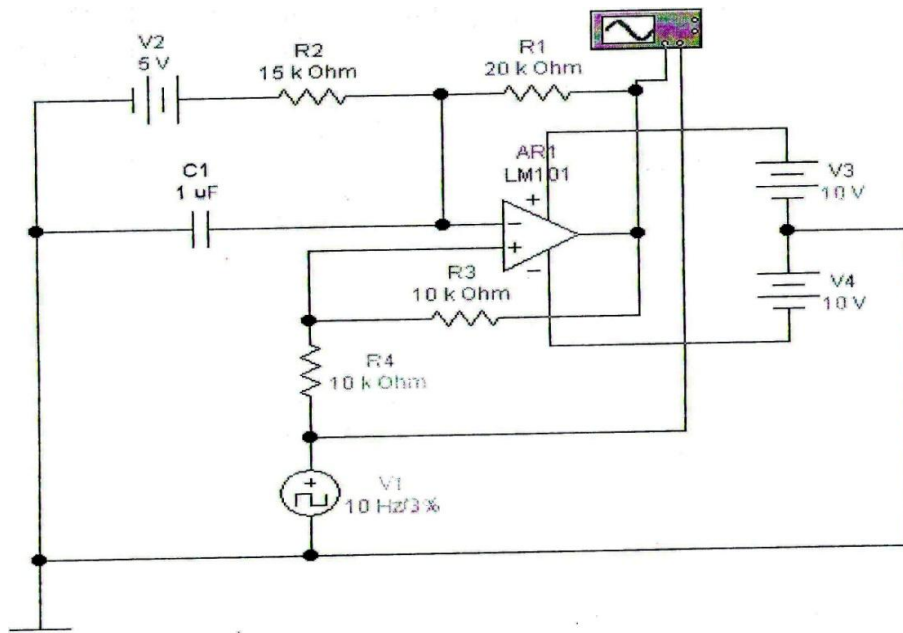
- კვების დადებითი ძაბვა, ვ (**Positive power supply [VCC]**);
- კვების უარყოფითი ძაბვა, ვ (**Negative power supply [VEE]**);
- ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი (**Open- loop gain [A]**);
- შესავალი წინაღობა, ომ, (**Input resistance [RI]**);
- გამოსავალი წინაღობა, ომ (**Output resistance [RO]**);
- ნულის წანაცვლების ძაბვა, ვ (**Input offset voltage [VOS]**);
- გამოსავალი ძაბვის დადებითი მაქსიმალური მნიშვნელობა, ვ (**Positive voltage swig [VSW+]**);
- გამოსავალი ძაბვის უარყოფითი მაქსიმალური მნიშვნელობა, ვ (**Negative voltage swig [VSW-]**) და სხვ.



ნახ.13.4. ხუთგამომყვანიანი იდეალური ტიპის ოპერაციული მაძლიერებლის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა

C1 კონდენსატორი, რომელიც გენერირებული რხევების სიდიდის დამკვეთია, ერთი ბოლოთი მიერთებულია ომ-ის მაინვერსირებელ შესავალთან, ხოლო მეორე ბოლოთი საერთო სალტესთან. დადებითი უკუკავშირი განხორციელებულია R2, R3 რეზისტორებით.

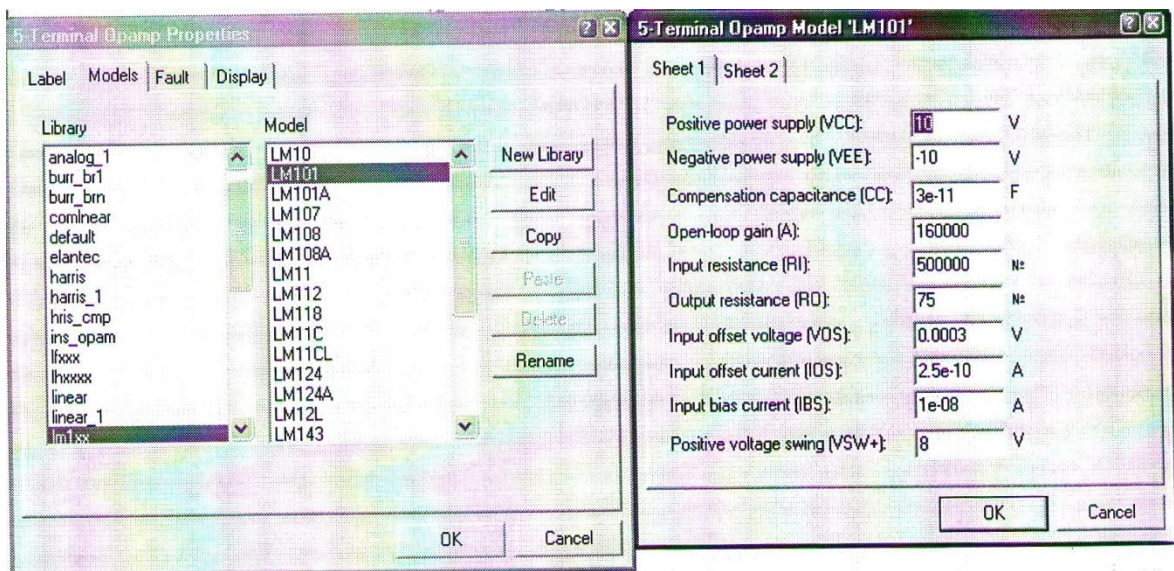
5.2. დამუხრუჭებული მულტივიბრატორის (მონოვიბრატორის) ვირტუალური ლაბორატორიული დანადგარი აიწყო 13.5 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით.



ნახ.13.5. დამუხრუჭებული მულტივიბრატორის სქემა

ეს სქემა მიღებულია 13.4 ნახაზზე წარმოდგენილი მულტივიბრატორის სქემის საფუძველზე, მაინვერსირებელ შესავალთან $V2$ ძაბვის წყაროს მიერთებით, რაც რხევების დამუხრუჭების მიზეზი ხდება. გარდა ამისა, არამაინვერსირებელ შესავალზე მიერთებულია ერთპოლარული მართკუთხა იმპულსური ძაბვის წყარო.

სქემაში გამოყენებულია **LM101** ტიპის ხუთგამომყვანიანი ოპერაციული მაძლიერებელი.



ნახ.13.6. LM101 ტიპის ოპერაციული მაძლიერებლის სადილოგო პარამეტრების ფანჯარა

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. ავტორხვევითი მულტივიბრატორის მუშაობის გამოკვლევას ვახორციელებთ 13.3 ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემის მიხედვით.

სქემაში გამოყენებული ხუთგამომყვანიანი ოპერაციული მაძლიერებლის ტიპის დასახელება, რხევის სიხშირის დამკვეთი $C1$, $R1$ კომპონენტების პარამეტრების მნიშვნელობები და დადებითი უკუკავშირის წრედში ჩართული $R2$, $R3$ რეზისტორების წინააღობების მნიშვნელობები სტუდენტს ეძლევა ინდივიდუალური დავალების სახით.

13.3 ნახაზზე მოცემული ესკიზის მიხედვით ავტორხვევითი მულტივიბრატორის ვირტუალური სქემის აწყობის შემდეგ ჩავრთავთ მოდელირების რეჟიმს. გაფართოების რეჟიმში მომუშავე ოსცილოსკოპის ეკრანზე მულტივიბრატორის გამოსავალი ძაბვის ოსცილოგრამის მიღების შემდეგ, **Pause** ღილაკზე დაჭერით შევაჩერებთ მოდელირების რეჟიმს. სამიზნეობელი სახაზავების დახმარებით ვზომავთ მულტივიბრატორის გამოსავალი ძაბვის პერიოდს $T = T2 - T1$.

ვსარგებლობთ ავტორსევიითი მულტივიბრატორის გამოსავალი ძაბვის რხევის პერიოდის საანგარიშო (3) გამოსახულებით და სქემაში გამოყენებული ელემენტების პარამეტრების გათვალისწინების შემდეგ ვსაზღვრავთ პერიოდის სიდიდეს. ვადარებთ გაზომვითა და გაანგარიშებით მიღებული პერიოდის მნიშვნელობებს და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

ვარკვევთ მულტივიბრატორის გამოსავალზე მიღებული რხევების პერიოდისა და რხევების ფორმის დამოკიდებულების ხასიათს:

- ოპერაციული მაძლიერებლის გამოსავალი ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე ($U_{\text{გამ.მ}} +$, $U_{\text{გამ.მ}} -$), რისთვისაც ოპერაციული მაძლიერებლის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში ვაფიქსირებთ აღნიშნული ძაბვების სხვადასხვა მნიშვნელობებს 5 ვ-დან 20 ვ-ის ფარგლებში, ხოლო სქემის სხვა ელემენტების პარამეტრებს ვტოვებთ უცვლელად;

- $\tau = R1C1$ დროის მუდმივაზე, სქემის სხვა ელემენტების პარამეტრების უცვლელი შენარჩუნების პირობებში;

- დადებითი უკუკავშირის წრედის β გადაცემის კოეფიციენტზე, სქემის სხვა ელემენტების პარამეტრების უცვლელი შენარჩუნების პირობებში.

მოდელირების შედეგები შეგვაქვს ცხრილებში, რომელთა მიხედვითაც ავაგებთ შესაბამისი დამოკიდებულებების გრაფიკებს $T = f(U_{\text{გამ.მ}})$; $T = f(\tau)$; $T = f(\beta)$. ამ დამოკიდებულებების გაანალიზების საფუძველზე ვაკეთებთ დასკვნას.

ცხრილი 1

$C1, \mu F$					
$R1, \text{კომ}$					
$R2, \text{კომ}$					
$R3, \text{კომ}$					
$U_{\text{გამ.მ}}, \text{ვ}$ (vsw)	5	10	14	18	22
$T, \text{მლწმ}$					

ცხრილი 2

$U_{\text{გამ.მ}}, \text{ვ}$ (vsw)	14				
$R2, \text{კომ}$					
$R3, \text{კომ}$					
$C1, \mu F$					
$R1, \text{კომ}$					
$\tau, \text{მლწმ}$					
$T, \text{მლწმ}$					

$U_{\text{გამ.მ.მ}}$ (VSW)					
$C1, \mu F$					
$R1, \text{კომ}$					
$R2, \text{კომ}$					
$R3, \text{კომ}$					
β					
$T, \text{მლწმ}$					

6.2. დამუხრუჭებული მულტივიბრატორის (მონოვიბრატორის) მუშაობის გამოკვლევას ვახდენთ 13.5 ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით.

6.1. პუნქტის ანალოგიური ინდივიდუალური დავალების მიღების შემდეგ, სქემის ვირტუალური კომპონენტების სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში შეგვაქვს შესაბამისი მნიშვნელობები და ვრთავთ მოდელირების რეჟიმს. გაფართოების რეჟიმში მომუშავე ოსცილოსკოპის ეკრანზე გამოსავალი იმპულსური ძაბვის ოსცილოგრამის მიღების შემდეგ, **Pause** ღილაკზე დაჭერით, შევაჩერებთ მოდელირების რეჟიმს და გავზომავთ გამოსავალი იმპულსური ძაბვის განმეორების პერიოდს $T = T_2 - T_1$.

ვიყენებთ დამუხრუჭებული მულტივიბრატორის გამოსავალზე გენერირებული რხევების პერიოდის გასაანგარიშებელ (4) გამოსახულებას და სქემაში გამოყენებული ელემენტების პარამეტრების გათვალისწინებით ვპოულობთ T პერიოდის თეორიულ მნიშვნელობას. ვადარებთ გაზომვით და თეორიული გაანგარიშებით მიღებულ მნიშვნელობებს და ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

შევისწავლით მონოვიბრატორის გამოსავალზე მიღებული რხევების მდგრადობისა და ფორმირებული იმპულსის ხანგრძლივობის (t_o) დამოკიდებულების ხასიათს წანაცვლების $V2$ ძაბვაზე, დადებითი და უარყოფითი უკუკავშირის კოეფიციენტზე (β, β_1), აგრეთვე $C1$ კონდენსატორის ტევადობაზე ცალკე-ცალკე, სქემის სხვა ელემენტების პარამეტრთა უცვლელად შენარჩუნების პირობებში. მოდელირების შედეგები შეგვაქვს ცხრილებში

ცხრილი 4

$\beta = R4 / R3 + R4$					
$\beta_1 = \frac{R2}{R1 + R2}$					
$C1, \mu F$					
$V2, \text{ვ}$					
$t_o, \text{მლწმ}$					

ცხრილი 5

β					
β_1					
$V2, \text{ვ}$					
$C1, \mu F$					
$t_o, \text{მლწმ}$					

ცხრილი 6

$V2, \text{ვ}$					
$C1, \mu F$					
β_1					
$R3, \text{კომ}$					
$R4, \text{კომ}$					
$\beta = \frac{R4}{R3 + R4}$					
$t_o, \text{მლწმ}$					

ცხრილი 7

$V2, \text{ვ}$					
$C1, \mu F$					
β					
$R1, \text{კომ}$					
$R2, \text{კომ}$					
$\beta_1 = \frac{R2}{R1 + R2}$					
$t_o, \text{მლწმ}$					

შედგენილი ცხრილების მიხედვით ავაგებთ შემდეგი დამოკიდებულებების გრაფიკებს:

$$t_o = f(V2); \quad t_o = f(\beta); \quad t_o = f(\beta_1); \quad t_o = f(C1).$$

ამ დამოკიდებულებების გაანალიზების საფუძველზე ვაკეთებთ დასაბუთებულ დასკვნებს.

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1.** ავტორხევითი და დამუხრუჭებული მულტივიბრატორების სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2.** გენერირებული რხევების პერიოდის საანგარიშო გამოსახულებები და გაანგარიშების შედეგები.
- 7.3.** შედგენილი ცხრილები და ამ ცხრილების მიხედვით აგებული გრაფიკები.
- 7.4.** მოდელირებით მიღებული შედეგების ანალიზი. დასკვნები.

ლაბორატორიული სამუშაო №13
დისკრეტული ლობიკური ელემენტების გამოკვლევა

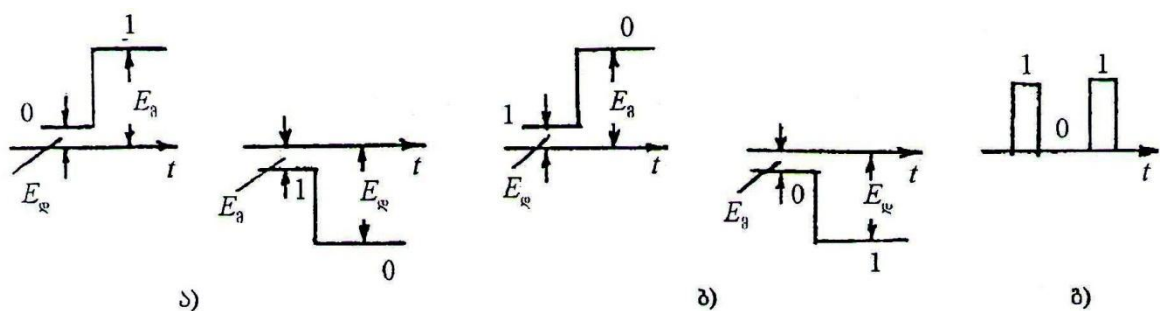
1. სამუშაოს მიზანი

საბაზო „და“, „ან“, „არა“. „და-არა“, „ან-არა“ ლობიკური ელემენტების მოქმედების პრინციპის შესწავლა და კომპიუტერული სქემოტექნიკური მოდელირების მეთოდების დაუფლება **EWB** პროგრამის გამოყენებით.

2. თეორიული ცნობები

თანამედროვე ელექტრონიკაში ფართოდაა გამოყენებული ორობითი კოდის სახით წარმოდგენილი ინფორმაციის მიღების, დამუშავებისა და გადაცემის ციფრული მეთოდები. ინფორმაციის ციფრული დამუშავების მოწყობილობების საფუძველს ციფრული ინტეგრალური მიკროსქემები წარმოადგენს. ციფრული ინტეგრალური მიკროსქემების გამოყენებით აიწყო სხვადასხვა ლობიკური მოწყობილობები, მეხსიერების მოწყობილობები, კოდის გარდამქმნელები და სხვ.

ყოველი ციფრული მიკროსქემა წარმოადგენს ლობიკურ ელემენტთა ნაკრებს. ლობიკური ელემენტები ციფრული ფორმით წარმოდგენილ ელექტრულ სიგნალებზე აწარმოებს მარტივ ლობიკურ ოპერაციებს. ციფრული სიგნალები კი ჩვეულებრივ დებულობს მხოლოდ ორ რიცხვით მნიშვნელობას. ეს მნიშვნელობებია ერთი ან ნული. ლობიკური ელემენტების შესასვლელებზე მოქმედი ციფრული სიგნალი (ე.ი. 1 და 0) წარმოდგება მაღალი და დაბალი დონის ელექტრული პოტენციალის ანდა ძაბვის იმპულსის სახით.



ნახ.14.1

როდესაც პოტენციალის მაღალ დონეს შეესაბამება ლობიკური 1, ხოლო პოტენციალის დაბალ დონეს – ლობიკური 0, მაშინ ასეთ ლობიკას დადებითი, ანუ პოზიტიური ლობიკა ეწოდება (ნახ.14.1,ა). შებრუნებული შესაბამისობის შემთხვევაში

საქმე გვაქვს უარყოფით, ანუ ნეგატიურ ლოგიკასთან (ნახ.14.1,ბ). იმპულსური სიგნალის სახე ნაჩვენებია 14.1,გ ნახაზზე. ამ შემთხვევაში, ლოგიკური ელემენტის შესავალზე ძაბვის იმპულსის მოქმედების მომენტში ამ შესავალზე აღმოჩნდება ლოგიკური 1, ხოლო იმპულსის არარსებობის დროს ლოგიკური 0.

ორობითი (ციფრული) სიგნალების ლოგიკური გარდაქმნა მიმდინარეობს სამი ელემენტარული ოპერაციის გამოყენებით:

- ლოგიკური გამრავლება, ანუ ოპერაცია „და“;
- ლოგიკური შეკრება, ანუ ოპერაცია „ან“;
- ლოგიკური უარყოფა (ინვერსია), ანუ ოპერაცია „არა“;

n ცვლადის (ციფრული ფორმით წარმოდგენილი სიგნალის) ყველა შესაძლო ფუნქცია შეიძლება მიღებულ იქნეს ამ სამი ოპერაციის საშუალებით. ლოგიკური ოპერაცია კი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს: სიტყვიერად, ცხრილის სახით, ალგებრულად და გრაფიკის სახით.

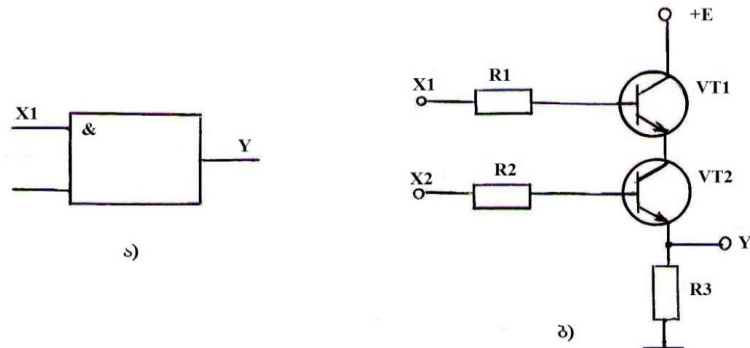
ელემენტებს, რომლებიც ასრულებს: „და“, „ან“, „არა“ ლოგიკურ ოპერაციებს, ეწოდება: და – ლოგიკური ელემენტი, ან – ლოგიკური ელემენტი და არა – ლოგიკური ელემენტი.

ზემოაღნიშნული ლოგიკური ელემენტების რეალიზაცია შესაძლებელია დისკრეტული შესრულების დიოდურ – რეზისტორული, რეზისტორულ – ტრანზისტორული და დიოდურ – ტრანზისტორული სქემების ბაზაზე.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ლოგიკური ელემენტებით ხდება ლოგიკური ოპერაციების განხორციელება. განსხვავებით სხვა კლასის ციფრული მოწყობილობებისაგან $m \geq 1$ შესასვლელისა და $n \geq 1$ გამოსასვლელის მქონე ლოგიკურ ელემენტებში $Y_j (j=1,2,...,n)$ გამოსავალი სიგნალი სტატიკურ რეჟიმში დამოკიდებულია მხოლოდ $X_i (i=1,2,...,m)$ შესავალი სიგნალის ინფორმაციულ მნიშვნელობაზე, ე.ი. ლოგიკური ელემენტი ანხორციელებს $Y_j = f_j(X_1, X_2, ..., X_m)$, $j=1,2,...,n$ ფუნქციის რეალიზაციას, რომლის დროსაც Y_j დებულობს ლოგიკური „1“-ის ტოლ მნიშვნელობებს X_i არგუმენტის განსაზღვრული მნიშვნელობების დროს და Y_j დებულობს ლოგიკური „0“-ის ტოლ მნიშვნელობებს X_i არგუმენტის სხვა დანარჩენი მნიშვნელობების დროს. თავის მხრივ, X_i დებულობს ლოგიკური „1“-ის ან ლოგიკური „0“-ის ტოლ მნიშვნელობებს.

ლოგიკური ელემენტი „და“ წარმოადგენს $m > 1$ შესავალისა და ერთი გამოსავალის მქონე ელემენტს (კონიუნქტორს), რომელიც ანხორციელებს სიგნალების გადამრავლების ფუნქციას: $Y = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_m$ ან $Y = X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_m$, სადაც

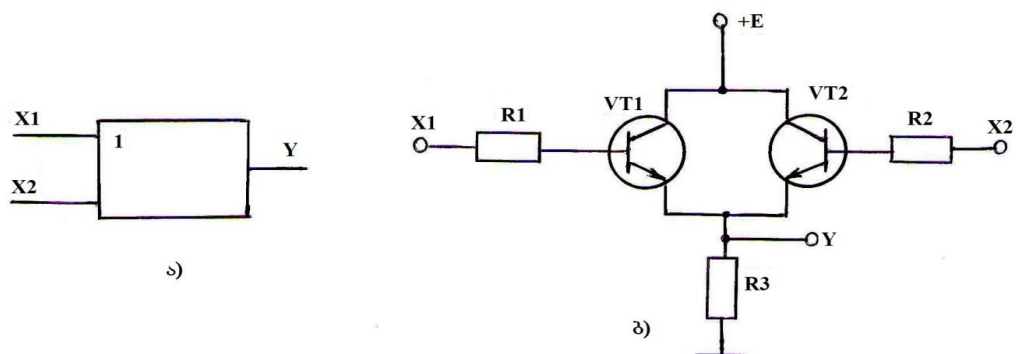
$X_1, X_2 \dots X_m$ – შესასვლელებზე მოქმედი სიგნალებია. 14.2 ნახაზზე ნაჩვენებია ორშესასვლელიანი „და“ ლოგიკური ელემენტის გრაფიკული აღნიშვნა და რეზისტორულ – ტრანზისტორული სქემა.



ნახ.14.2

ამ ლოგიკური ელემენტის X_1, X_2 შესასვლელებზე „1“ სიგნალის არსებობისას, გამოსავალზე მიიღება სიგნალი „1“ ($Y=1$), ხოლო ყველა სხვა შემთხვევაში გამოსავალზე მიიღება სიგნალი „0“.

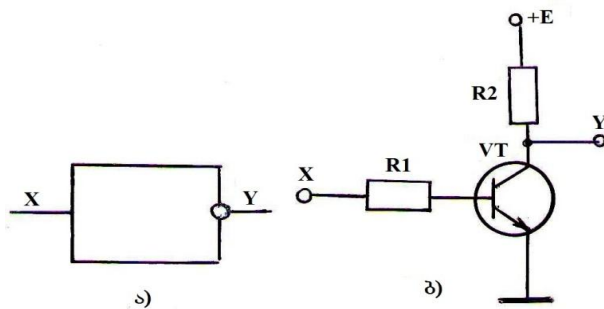
ლოგიკური ელემენტი „ან“ წარმოადგენს $m > 1$ შესავალისა და ერთი გამოსავალის მქონე ელემენტს (დიზიუნქტორს), რომელიც ანხორციელებს შესასვლელებზე მიწოდებული სიგნალების შეკრების ფუნქციას $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_m$ ან $Y = X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_m$, სადაც $X_1, X_2 \dots X_n$ – შესასვლელებზე მოქმედი სიგნალებია. 14.3 ნახაზზე მოცემულია ორშესასვლელიანი „ან“ ლოგიკური ელემენტის გრაფიკული აღნიშვნა და რეზისტორულ – ტრანზისტორული სქემა.



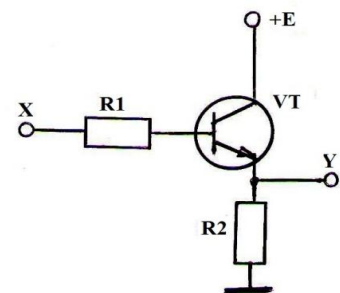
ნახ.14.3

ამ ლოგიკური ელემენტის X_1, X_2 შესასვლელებზე „0“ სიგნალის არსებობისას, გამოსავალზე მიიღება სიგნალი „0“ ($Y=0$), ხოლო ყველა სხვა შემთხვევაში გამოსავალზე მიიღება სიგნალი „1“.

ლოგიკური ელემენტი „არა“ ასრულებს უარყოფის ოპერაციას. მას აქვს ერთი შესავალი და ერთი გამოსავალი. გამოსავალის სიგნალი, შესავალი სიგნალის ინვერსიულია, ამიტომ მას ინვერტორულ გასაღებსაც უწოდებენ. მის მიერ შესრულებული ფუნქცია ასე ჩაიწერება $Y = \overline{X}$ (Y არის არა X). „არა“ ლოგიკური ელემენტის გრაფიკული აღნიშვნა და რეზისტორულ-ტრანზისტორული სქემა ნაჩვენებია 14.4 ნახაზზე. ამ ლოგიკური ელემენტის შესავალზე ლოგიკური „1“-ის მოქმედების დროს გამოსავალზე მიიღება ლოგიკური „0“ და პირიქით, შესავალზე „0“-ის მოქმედების დროს, გამოსავალზე მიიღება ლოგიკური „1“.



ნახ.14.4



ნახ.14.5

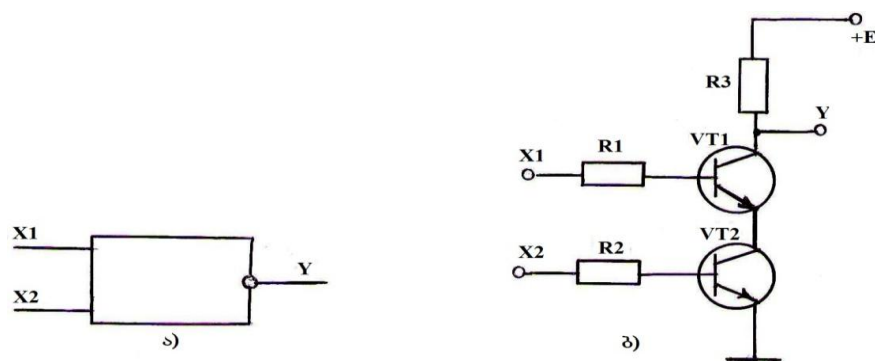
თუ 14.4,ბ ნახაზზე ნაჩვენებ „არა“ ლოგიკური ელემენტის სქემაში გამოსავალ სიგნალს მოვხსნით არა ტრანზისტორის კოლექტორიდან, არამედ ემიტერიდან (ნახ.14.5), მაშინ მივიღებთ შესავალი სიგნალის მამეორებელს, რომელსაც ბუფერულ ლოგიკურ ელემენტს უწოდებენ. ასეთი ლოგიკური ელემენტის შესავალზე „1“ მოქმედების დროს გამოსავალზეც მიიღება „1“, ხოლო შესავალზე „0“-ის მოქმედების შემთხვევაში, გამოსავალზე მიიღება „0“.

ბუფერული ლოგიკური ელემენტი გამოიყენება მრავალკასკადიან ლოგიკურ სქემებში გამოსავალი კასკადების შესათანხმებლად.

ზემოთ განხილული უმარტივესი ლოგიკური ელემენტების საშუალებით შეიძლება აიწყოს უფრო რთული ლოგიკური წრედები, რომლებიც ასრულებს ორ და მეტ ლოგიკურ ოპერაციას. მათ კომბინაციურ ლოგიკურ ელემენტებს უწოდებენ. მათგან ყველაზე მარტივს **და-არა**, **ან-არა** ლოგიკური ელემენტები წარმოადგენენ.

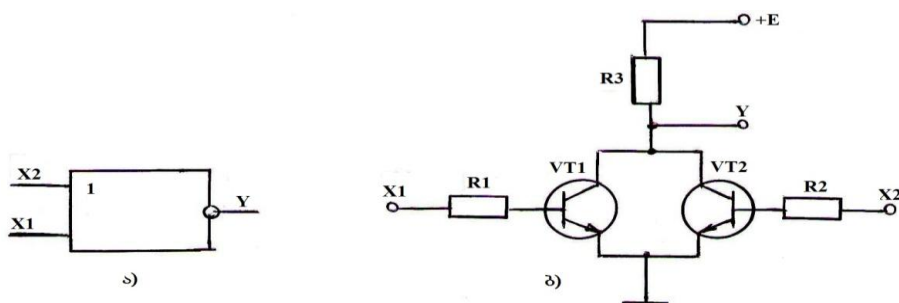
„და-არა“ ლოგიკური ელემენტი წარმოადგენს „და-“ და „არა-“ ლოგიკური ელემენტების კომბინაციას. ასეთ ლოგიკურ ელემენტს აქვს ორი ან მეტი შესავალი და ერთი გამოსავალი, რომელიც „და“ ელემენტის პირობით გრაფიკულ აღნიშვნაზე (ნახ.14.6) მცირე დიამეტრიანი წრიტაა მონიშნული. ორშესასვლელიანი „და-არა“ ლოგიკური ელემენტის მიერ შესრულებული ფუნქცია ასე ჩაიწერება: $Y = \overline{X_1 \cdot X_2}$.

„და-არა“ ლოგიკური ელემენტის პირობითი გრაფიკული აღნიშვნა და რეზისტორულ-ტრანზისტორული სქემა ნაჩვენებია 14.6 ნახაზზე



ნახ.14.6

„ან-არა“ ლოგიკური ელემენტი წარმოადგენს „ან-“ და „არა-“ ლოგიკური ელემენტის კომბინაციას. ასეთ ლოგიკურ ელემენტს აქვს ორი ან მეტი შესავალი და ერთი გამოსავალი. ეს უკანასკნელი ან ელემენტის პირობით გრაფიკულ აღნიშვნაზე პატარა დიამეტრის წრიტაა მონიშნული. ორშესასვლელიანი „ან-არა“ ლოგიკური ელემენტის მიერ შესრულებული ფუნქცია ასე ჩაიწერება: $Y = \overline{X1 + X2}$. „ან-არა“ ლოგიკური ელემენტის პირობითი გრაფიკული აღნიშვნა და რეზისტორულ-ტრანზისტორული სქემა 14.7 ნახაზზეა ნაჩვენები.



ნახ.14.7

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

ლაბორატორიული სამუშაო უნდა შესრულდეს მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება ლოგიკური ელემენტების მუშაობის თეორიული საკითხები.

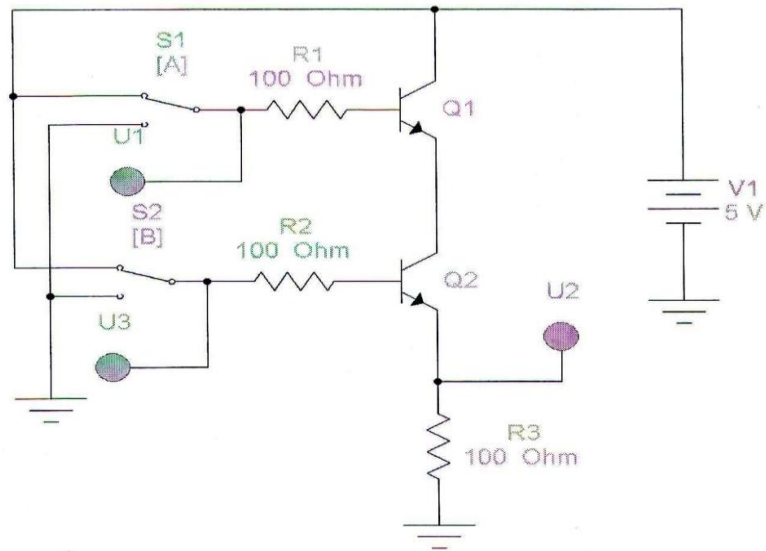
4. ლაბორატორიული სამუშაოს შინაარსი

4.1. დისკრეტული შესრულების საბაზო „და“, „ან“, „არა“ ლოგიკური ელემენტების სქემების გამოკვლევა.

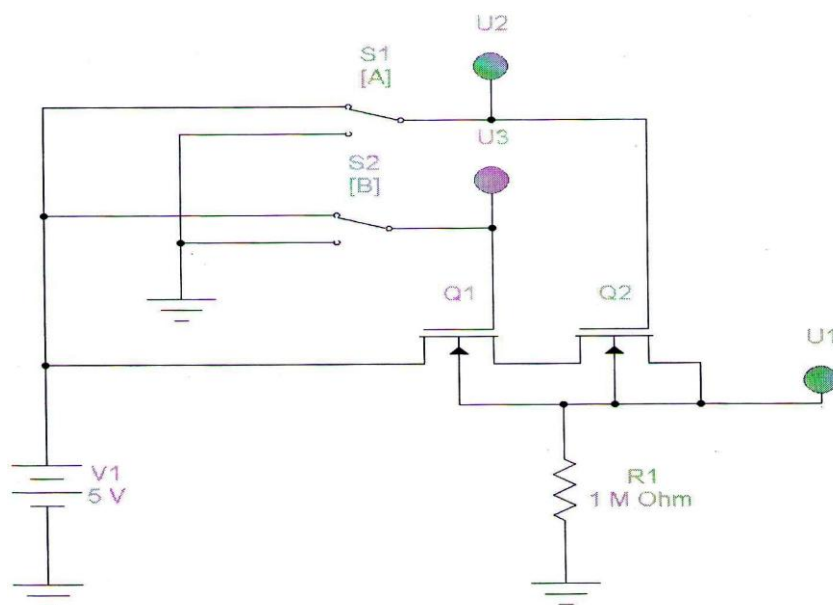
4.2. დისკრეტული შესრულების კომბინაციური „და-არა“, „ან-არა“ ლოგიკური ელემენტების სქემების გამოკვლევა.

5. ვირტუალური ლაბორატორიული სქემების აღწერა

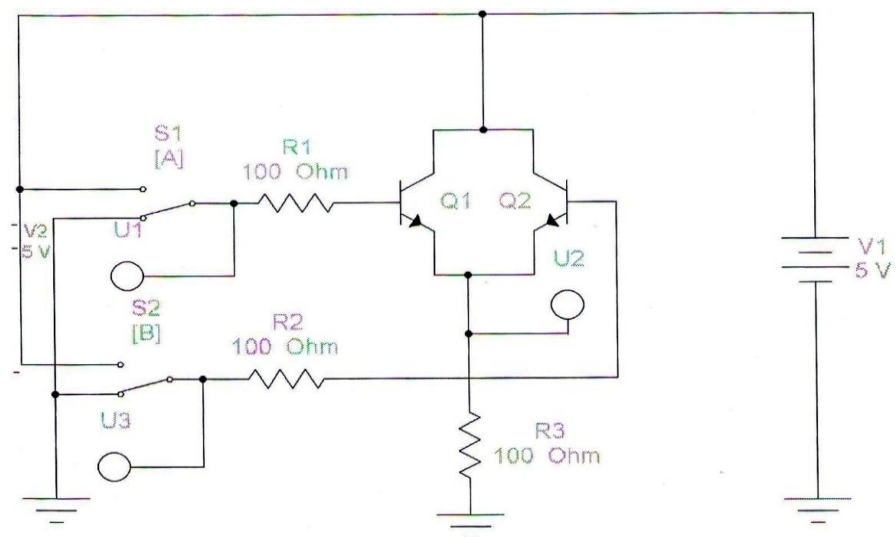
5.1. საბაზო „და“, „ან“, „არა“ ლოგიკური ელემენტების მუშაობის გამოსაკვლევად ვირტუალური სქემები აიწყოება 14.8 ნახაზზე მოცემული ესკიზების მიხედვით.



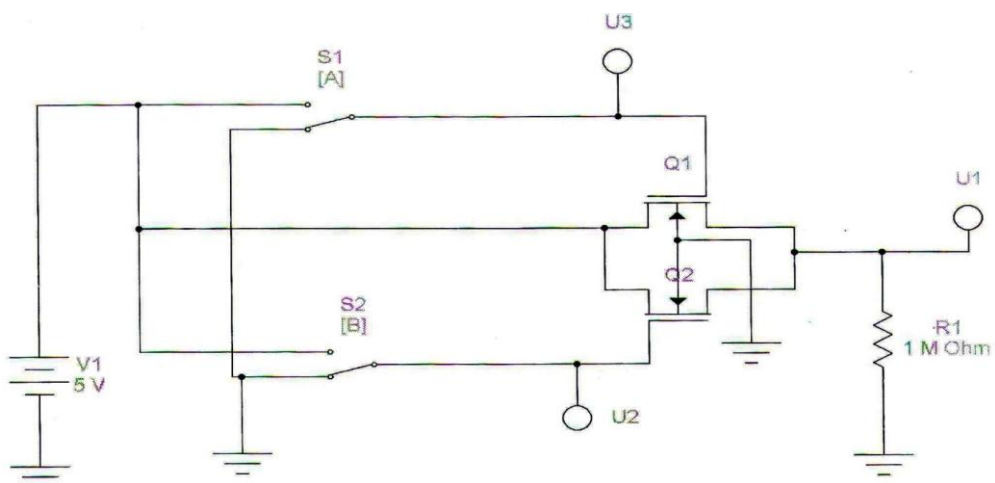
ა)



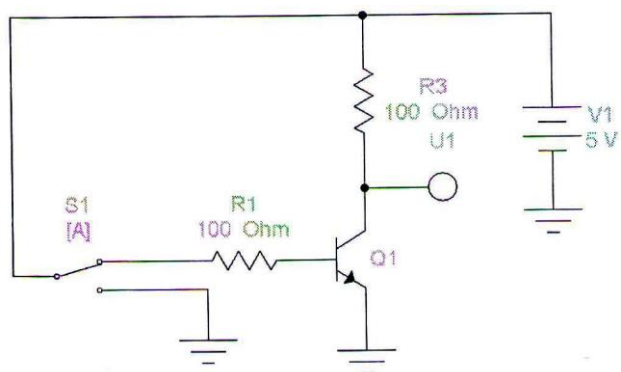
ბ)



ა)



ბ)

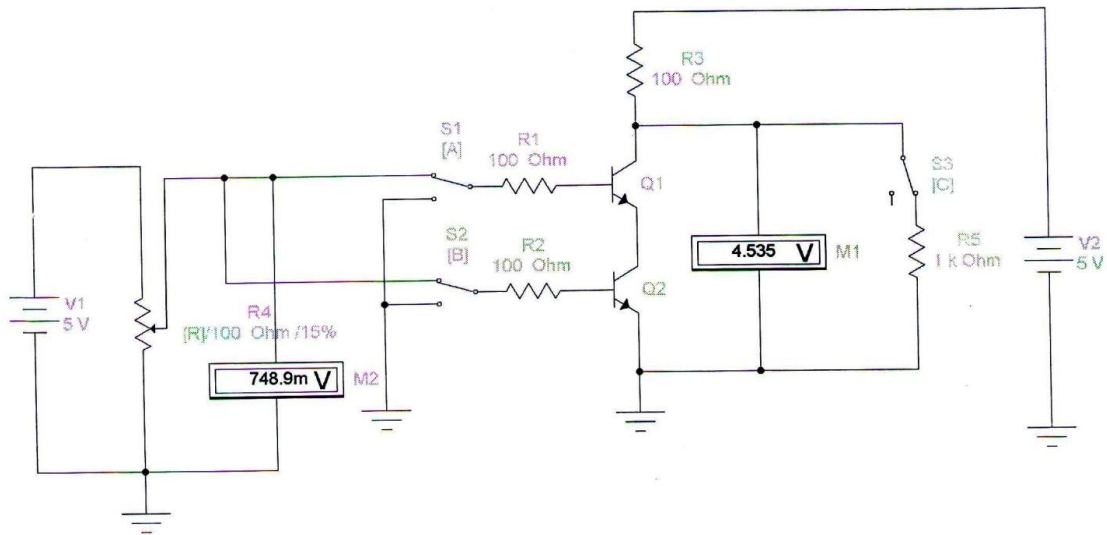


გ)

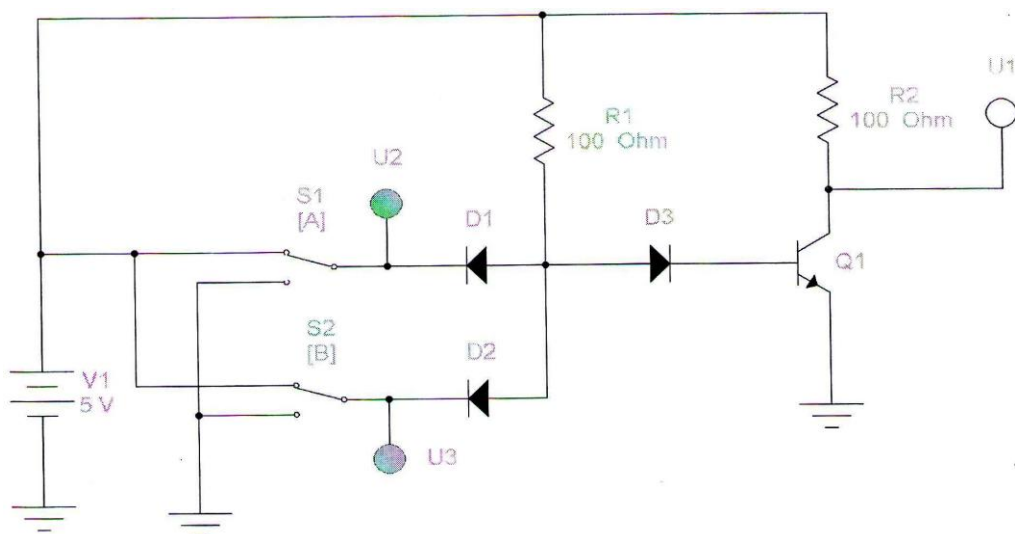
ნახ.14.8. საბაზო „და“ (ა,ბ), „ან“ (ბ,დ) „არა“ (ე) ლოგიკური ელემენტების ვირტუალური სქემები

საბაზო ლოგიკური ელემენტების ვირტუალურ სქემებში აქტიურ ელემენტად ვიყენებთ როგორც ბიპოლარულ ტრანზისტორებს (ნახ.14.8,ა,გ,ე), ისე ველით მართვად ტრანზისტორებს (ნახ.14.8,ბ,დ). ლოგიკური ელემენტის შესავალ და გამოსავალ წრედებს მიეწოდება მუდმივი ძაბვა ერთი წყაროდან (VI). ლოგიკური ელემენტების შესავალზე და გამოსავალზე არსებული პოტენციალის მაღალი და დაბალი დონის (ლოგიკური 1 და ლოგიკური 0) საინდიკაციოდ გამოყენებული გვაქვს ლოგიკური მსინჯავი, რომლის ამოქმედების ძაბვა 2,4 ვ-ია, რაც შეესაბამება ლოგიკური 1-ის შესაბამისი სიგნალის ნომინალურ მნიშვნელობას ციფრულ ინტეგრალურ მიკროსქემებში (ტტლ-სერიის მიკროსქემები).

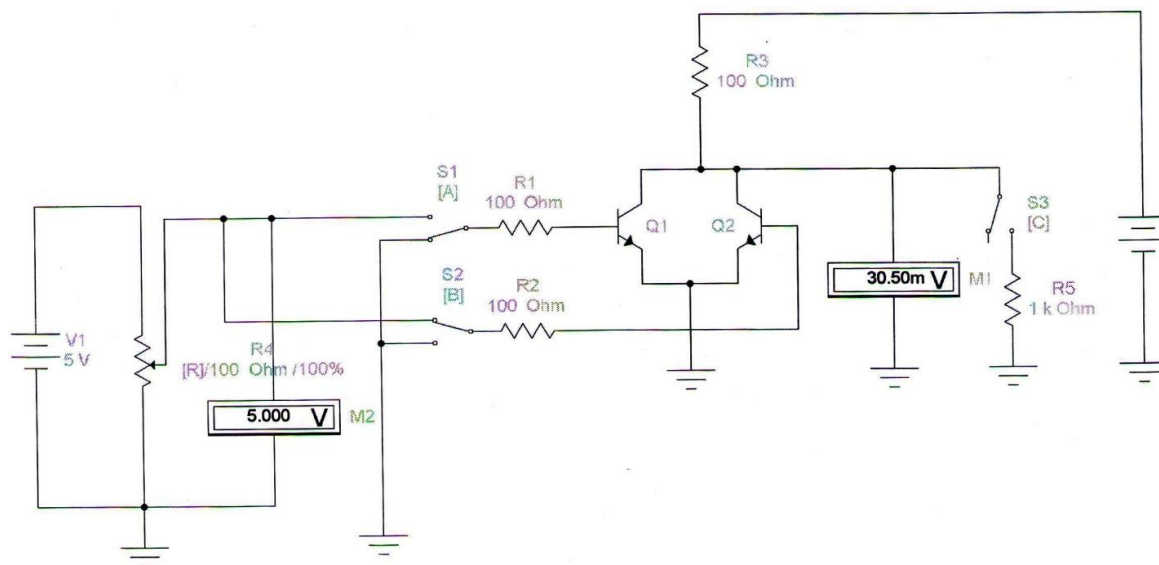
5.2. კომბინაციური „და-არა“ ლოგიკური ელემენტების მუშაობის გამოსაკვლევი ვირტუალური სქემები აიწყობა 14.9 ნახაზზე მოცემული ესკიზების მიხედვით.



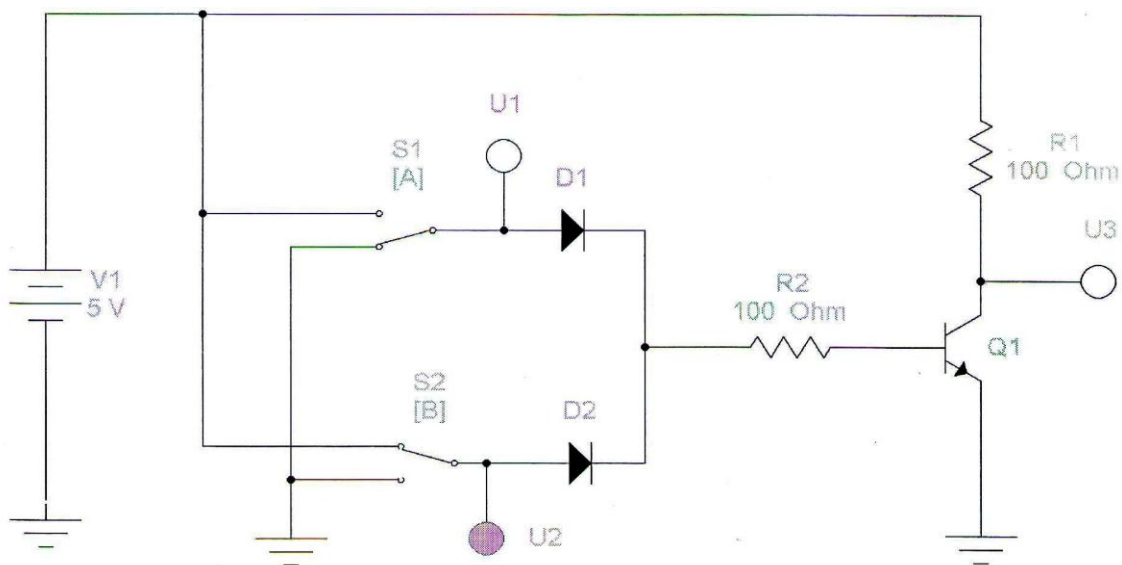
ა)



ბ)



ბ)



დ)

ნახ.14.9. „და-არა“ (ა,ბ), „ან-არა“ (გ,დ) ლოგიკური ელემენტების ვირტუალური სქემები

ნახაზზე წარმოდგენილია „და-არა“, „ან-არა“ კომბინაციური ლოგიკური ელემენტების რეზისტორულ-ტრანზისტორული (14.9,ა,გ) და დიოდურ-ტრანზისტორული (14.9,ბ,დ) სქემები. დიოდურ-ტრანზისტორულ სქემებში ლოგიკური ელემენტის შესავალი და გამოსავალი წრედები მიერთებულია ერთ ძაბვის წყაროსთან, ხოლო რეზისტორულ-ტრანზისტორულ სქემებში შესავალი და გამოსავალი წრედები სხვადასხვა ძაბვის წყაროსთანაა მიერთებული. ამავდროულად გათვალისწინებულია ლოგიკური ელემენტის შესასვლელებზე სხვადასხვა დონის სიგნალების მიწოდების შესაძლებლობა, რაც

აუცილებელია ლოგიკური ელემენტის გადაცემის ფუნქციის გამოსაკვლევა. შესავალზე მიწოდებული და გამოსავალზე მიღებული ძაბვის გასაზომად სქემებში ჩართულია ვოლტმეტრები.

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. საბაზო „და“, „ან“, „არა“ ლოგიკური ელემენტების მუშაობის გამოკვლევას ვახდენთ 14.8 ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემების მიხედვით.

S1, S2 გადამრთველების საშუალებით ლოგიკური ელემენტების შესასვლელზე ვაყენებთ სიგნალების ლოგიკური მდგომარეობის ყველა შესაძლო კომბინაციას. შევადგენთ თითოეული ლოგიკური ელემენტისათვის შესაბამისობის (ტეშმარიტების) ცხრილს. ვახდენთ მიღებული შედეგის თეორიული ახსნას, ლოგიკური ელემენტის კონკრეტული სქემის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე.

ვახდენთ ლოგიკური ელემენტების მუშაობის შემოწმებას **EWB** პროგრამის ბიბლიოთეკის დენის წყაროების განყოფილებიდან გამოტანილი ერთპოლარული იმპულსების გენერატორის გამოყენებით. ამისათვის 14.8 ნახაზებზე მოცემულ ლოგიკური ელემენტების სქემებში შესავალი წრედები **V1** მუდმივი ძაბვის წყაროს ნაცვლად მივაერთოთ ერთპოლარული იმპულსების გენერატორთან, რომლის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარაში დავაფიქსიროთ 1 ჰც-ის ტოლი სიხშირე და 50%-ის ტოლ შეესების კოეფიციენტი. სქემაში ჩავრთოთ ოსცილოსკოპი, რომლის **A** არხს ვაერთებთ ლოგიკური ელემენტის შესასვლელებთან, ხოლო **B** არხს – გამოსავალთან. ოსცილოსკოპის გაწყობისა და ეკრანზე ოსცილოგრამის მიღების შემდეგ, **Pause** ღილაკზე დაჭერით შევაჩერებთ მოდელირების პროცესს და ვაანალიზებთ ლოგიკური ელემენტის შესასვლელზე მოქმედ და გამოსასვლელზე მიღებული სიგნალების დროით დიაგრამებს შორის დამოკიდებულების ხასიათს, **S1** და **S2** გადამრთველების სხვადასხვა მდგომარეობის დროს. ვაკეთებთ სათანადო დასკვნას.

6.2. „და-არა“, „ან-არა“ კომბინაციური ელემენტების მუშაობის გამოკვლევას ვახდენთ 14.9 ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემების მიხედვით.

კომბინაციური ლოგიკური ელემენტების დიოდურ-ტრანზისტორული სქემებისათვის (ნახ.14.9,ბ,დ) გათვალისწინებულია მხოლოდ შესაბამისობის (ტეშმარიტების) ცხრილის შედგენა, ხოლო ლოგიკური ელემენტების რეზისტორულ – ტრანზისტორული სქემებისათვის (ნახ.4.19,ა,გ) გათვალისწინებულია როგორც შესაბამისობის ცხრილის შედგენა, ისე გადაცემის მახასიათებლის – $U_{\text{გამ}} = f(U_{\text{შეს}})$ აგება.

გადაცემის მახასიათებლის გადაღების დროს ლოგიკური ელემენტის ორივე შესავალს მიეწოდება ერთიდაიგივე შესავალი ძაბვა, რომელიც პოტენციომეტრის

საშუალებით იცვლება 0-დან 5 ვ-მდე. ლოგიკური ელემენტის შესავალზე და გამოსავალზე მიერთებული ვოლტმეტრებზე აღებული ანათვლები შეგვაქვს №1, №2 ცხრილებში. გადაცემის მახასიათებლის გადაღებას ვახდენთ გამოსავალთან მიერთებული დატვირთვით (დატვირთვის წინაღობა აიღება ინდივიდუალური დავალების მიხედვით) და დატვირთვის გარეშე.

ცხრილი 1			ცხრილი 2		ცხრილი 3	
X1	X2	Y	$R_{\text{დ}} = \infty$		$R_{\text{დ}} =$	
0	0		$U_{\text{შეს}}, \text{ვ}$	$U_{\text{გამ}}, \text{ვ}$	$U_{\text{შეს}}, \text{ვ}$	$U_{\text{გამ}}, \text{ვ}$
1	0					
0	1					
1	1					

მიღებული შესაბამისობის (ტეშმარიტების) ცხრილების მიხედვით ვახდენთ შედეგის თეორიულ ახსნას კომბინაციური ლოგიკური ელემენტების კონკრეტული სქემის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე, ხოლო გადაღებული გადაცემის მახასიათებლის მიხედვით ვახდენთ ლოგიკური ელემენტის მდგომარეობის ცვლილების პროცესის დახასიათებას და დავადგენთ ძაბვის ზღურბლურ მნიშვნელობებს.

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. ლოგიკური ელემენტების მუშაობის გამოსაკვლევი სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2. ლოგიკური ელემენტების მოდელირებით მიღებული შესაბამისობის (ტეშმარიტების) ცხრილები და მათი ანალიზი.
- 7.3. ლოგიკური ელემენტების გადაცემის მახასიათებლები და მათი დახასიათება.
- 7.4. მიღებული შედეგების ზოგადი ანალიზი. დასკვნები.

ლაბორატორიული სამუშაო №14

ტრიგერების გამოკვლევა

1. სამუშაოს მიზანი

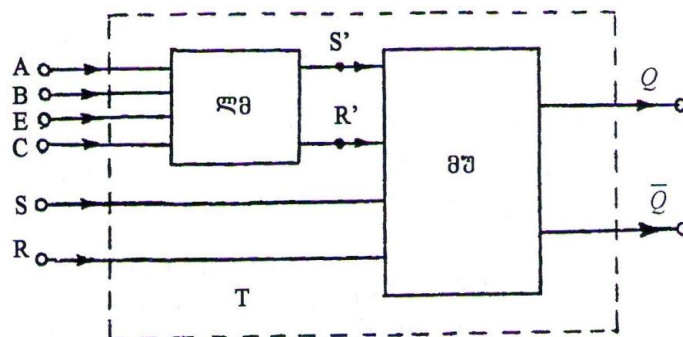
ასინქრონული და სინქრონული RS – ტრიგერების, D – ტრიგერისა და უნივერსალური JK – ტრიგერის აგების მეთოდების შესწავლა და მუშაობის გამოკვლევა.

2. თეორიული ცნობები

ტრიგერი მიეკუთვნება ლოგიკურ მოწყობილობათა ჯგუფს. მისი მუშაობის თავისებურებაა ის, რომ აქვს ორი მდგრადი მდგომარეობა – ლოგიკური 1 და 0. ამ ორი მდგრადი მდგომარეობიდან ერთ-ერთში ტრიგერს შეუძლია დარჩეს რაგინდ დიდი დროის განმავლობაში, ე.ი. მას აქვს ინფორმაციის დამახსოვრების უნარი. მაშასადამე, კომბინაციური ლოგიკური სქემებისაგან განსხვავებით, ტრიგერი დამახსოვრების უნარის მქონე ლოგიკური მოწყობილობაა.

ტრიგერი მდგომარეობას იცვლის გარე მმართველი სიგნალების (ინფორმაციის) ზეგავლენით. ამავე დროს, ტრიგერის გამოსავალი სიგნალი (მდგომარეობა) საზოგადოდ დამოკიდებულია არა მარტო მოცემულ მომენტში მის შესასვლელელებზე მოქმედ სიგნალებზე, არამედ იმ სიგნალებზეც, რომლებიც ამავე შესასვლელელებზე ადრე მოქმედებდა.

ქვემოთ ნაჩვენებია ტრიგერის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა. სტრუქტურულ სქემაში შედის მეხსიერების უჯრედი (**მუ**) და მმართველი ლოგიკური მოწყობილობა (**ლმ**).



ლოგიკური მოწყობილობა შემოსულ ინფორმაციას გადაქმნის სიგნალთა კომბინაციად, რომელთა ზემოქმედების შედეგად მეხსიერების უჯრედი დაიკავებს ორიდან ერთ რომელიმე მდგრად მდგომარეობას (ლოგიკურ 0-ს, ლოგიკურ 1-ს).

საინფორმაციო სიგნალები მიეწოდება ლოგიკური მოწყობილობის A და B შესასვლელებს. გარდაქმნის შემდეგ, ლოგიკური მოწყობილობიდან გამოსული სიგნალები ზემოქმედებს მეხსიერების უჯრედის S' და R' შიგა შესასვლელებზე. E შესავალი გამოიყენება ინფორმაციის (სიგნალის) მიღების ნებართვის გასაცემად, ხოლო C შესავალი უზრუნველყოფს ინფორმაციის სინქრონიზებულ (ტრაქტირებულ) მიღებას.

უმარტივესი სახის ტრიგერებს გააჩნია ორი გამოსავალი: პირდაპირი Q და ინვერსული $\bar{Q}$. თუ პირდაპირ Q გამოსავალზე პოტენციალი მაღალია, მაშინ $\bar{Q}$ გამოსავალზე უეჭველად გვექნება დაბალი პოტენციალი და პირიქით. ტრიგერის მდგომარეობა განისაზღვრება გამოსასვლელებზე ძაბვის დონეების მიხედვით. მიღებულია, რომ თუ პირდაპირ გამოსავალზე გვაქვს ძაბვის მაღალი დონე ($Q=1, \bar{Q}=0$), მაშინ ტრიგერი არის ერთეულოვან მდგომარეობაში, ე.ი. მასში ჩაწერილია ლოგიკური 1. როდესაც გამოსავალზე გვაქვს ძაბვის დაბალი დონე ($Q=0, \bar{Q}=1$), მაშინ ტრიგერი არის ნულოვან მდგომარეობაში, ე.ი. მასში ჩაწერილია ლოგიკური 0.

ტრიგერის მუშაობის აღწერისათვის იყენებენ გადართვების ცხრილს ან მახასიათებელ განტოლებას:

$$Q^n = f(Q^{n-1}, X^n, C^n),$$

Q^n – გამოსავალი ცვლადია;

X^n – ინფორმაციული სიგნალი (გადამრთველი სიგნალი);

C^n – მასინქრონებელი (ტაქტური) სიგნალი;

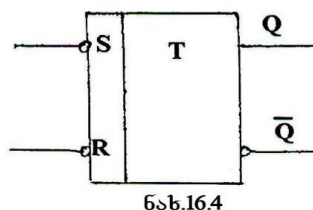
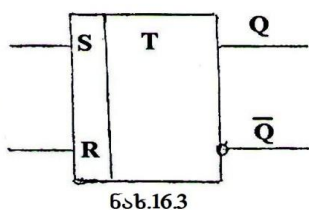
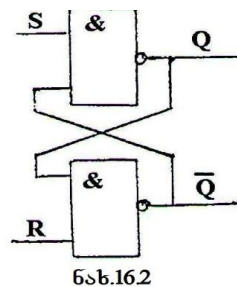
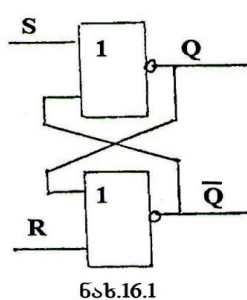
n – დროის ინტერვალის ნომერი.

უმარტივესი ტრიგერი შეიძლება აიგოს 2 ლოგიკური „და-არა“ ან „ან-არა“ ელემენტის საშუალებით. მას გააჩნია ორი შესავალი, რომლებიც აღინიშნება სიმბოლოებით R და S . ტრიგერის ერთეულოვან მდგომარეობაში გადაყვანისათვის სიგნალი მიეწოდება S შესავალს (ინგლისური სიტყვიდან **Set** – დაყენება), ხოლო ნულოვან მდგომარეობაში გადაყვანისათვის სიგნალი მიეწოდება R შესავალს (ინგლისური სიტყვიდან **Reset** – გადართვა). ასეთ ტრიგერს RS ტრიგერს ან განცალკევებულ შესასვლელებიან ტრიგერს უწოდებენ.

RS – ტრიგერის ფუნქციური სქემები მოცემულია 16.1 ნახაზზე (ტრიგერი აგებულია „ან-არა“ ელემენტებზე) და 16.2 ნახაზზე (ტრიგერი აგებულია „და-არა“ ელემენტებზე). 16.1 ნახაზზე მოცემულ RS – ტრიგერის გადამრთველი სიგნალია ლოგიკური 1, ხოლო 16.2 ნახაზზე მოცემული RS – ტრიგერის გადამრთველი სიგნალია ლოგიკური 0.

RS – ტრიგერის პირობითი აღნიშვნები მოცემულია 16.3 და 16.4 ნახაზებზე. შესასვლელებს, რომლებისთვისაც გადართველი სიგნალი არის ლოგიკური 0, ეწოდებათ ინვერსიული შესასვლელები და აღინიშნებიან რგოლებით (ნახ.16.4).

„ან-არა“, „და-არა“ ლოგიკურ ელემენტებზე აგებული ასინქრონული RS – ტრიგერების მუშაობის პრინციპი აისახება გადართვის ცხრილით (ცხრილი №1).

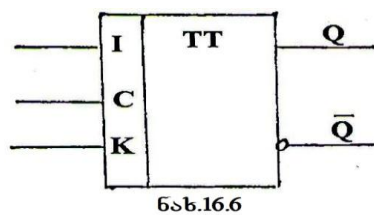
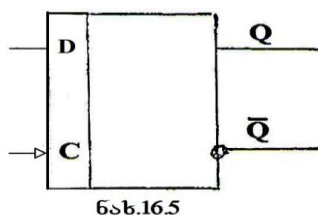


უმარტივესი RS – ტრიგერისაგან განსხვავებით, D – ტრიგერს გააჩნია მხოლოდ ერთი შესავალი D და მასინქრონებელი შესავალი C . C – შესავალს მიეწოდება მასინქრონებელი (ტაქტური) იმპულსები, რომლებიც ნების დამრთველ სიგნალებს წარმოადგენენ. ტრიგერებს, რომლებიც ამ სიგნალებზე მუშაობენ, სინქრონულ ტრიგერებს უწოდებენ.

ცხრილი 1

R^n	S^n	Q^n

„ D “ ტრიგერის პირობითი აღნიშვნა მოცემულია 16.5 ნახაზზე.



C – შესავალზე ლოგიკური 1-ის მიწოდების შემთხვევაში, ტრიგერის მდგომარეობა განისაზღვრება D – შესავალზე წინა ტაქტში მიწოდებული სიგნალით.

JK – ტრიგერი უნივერსალური ტრიგერია. მის შესასვლელზე შესაძლო კომბინაციების განხორციელებით შეგვიძლია მივიღოთ როგორც RS , ისე D – ტრიგერი.

JK – ტრიგერის პირობითი გრაფიკული აღნიშვნა მოცემულია 16.6 ნახაზზე. JK – ტრიგერი იცვლის თავის მდგომარეობას C – შესავალზე მიწოდებული სიგნალის ცვლილებით 1-დან 0-ზე გადასვლის დროს, ე.ი. მაშინ, როდესაც C – შესავალს მიეწოდება სიგნალის უკანა ფრონტი ($C^n = 0$).

როდესაც J და K შესასვლელებს ერთდროულად მივაწვდით ლოგიკური 1-ის შესაბამის სიგნალს ტრიგერი გადაირთვება საწინაამდგეო მდგომარეობაში.

როდესაც $J = K = 0$, მაშინ ტრიგერი არ იცვლის თავის მდგომარეობას.

როდესაც $J = 1$, $K = 0$, ტრიგერი გადაირთვება ერთეულოვან მდგომარეობაში.

როდესაც $J = 0$, $K = 1$, მაშინ ტრიგერი გადაირთვება ნულოვან მდგომარეობაში.

3. მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებაზე

ლაბორატორიული სამუშაო უნდა შესრულდეს მას შემდეგ, რაც შესწავლილი იქნება მე-2 პუნქტში მოცემული თეორიული ცნობები. დამატებით მიზანშეწონილია [1] გამოყენება.

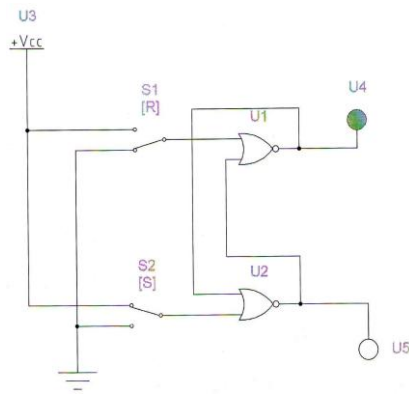
4. ლაბორატორიული სამუშაოს შინაარსი

4.1. ასინქრონული და სინქრონული RS – ტრიგერების კომპიუტერული სქემოტექნიკური მოდელირება და გადართვის ცხრილების აგება.

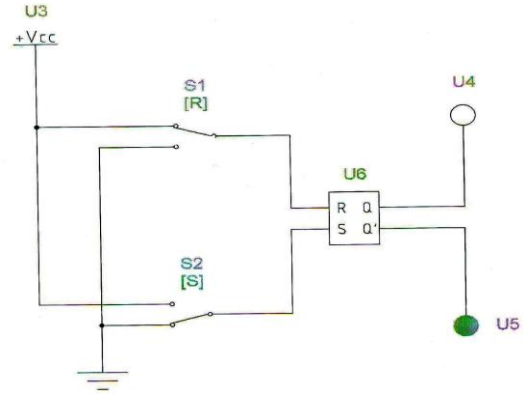
4.2. სინქრონული D – ტრიგერისა და უნივერსალური JK – ტრიგერის კომპიუტერული სქემოტექნიკური მოდელირება და გადართვის ცხრილების აგება.

5. ტრიგერების ვირტუალური სქემები და მათი აღწერა

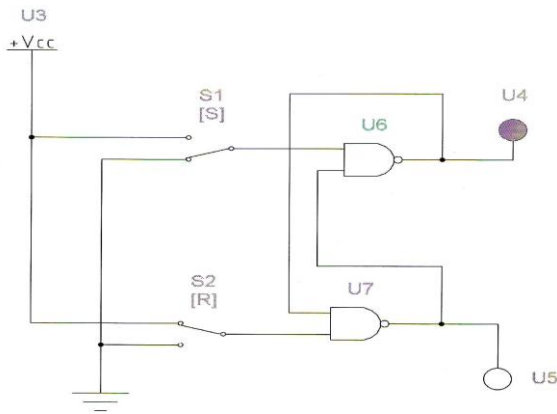
5.1. RS – ტრიგერების ვირტუალური სქემების აგება შესაძლებელია 16.7 ნახაზზე მოცემული ესკიზების მიხედვით.



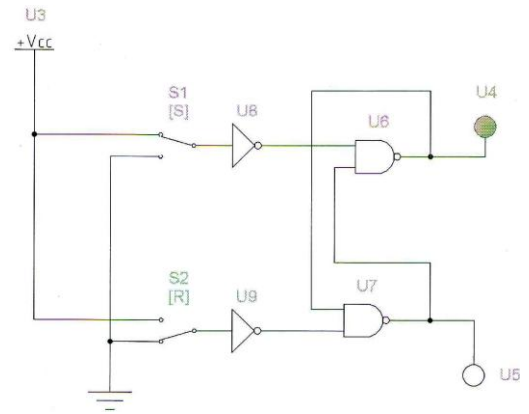
ა)



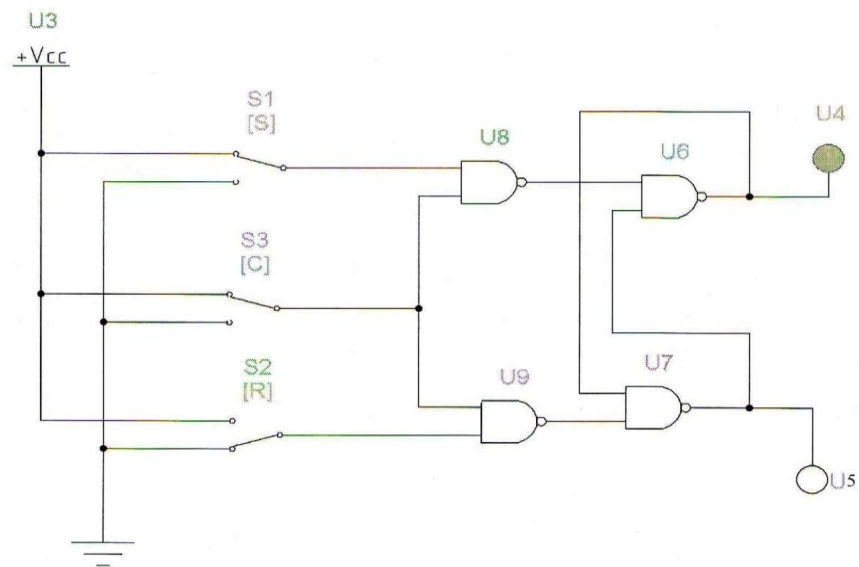
ბ)



გ)



დ)



ე)

ნახ.16.7. RS – ტრიგერების ვირტუალური სქემები

16.7,ა ნახაზზე წარმოდგენილი ასინქრონული RS – ტრიგერი აგებულია „ან-არა“ ლოგიკურ ელემენტებზე. იგი გადაირთვება ახალ მდგომარეობაში S და R

შესასვლელებზე ლოგიკური 1-ის შესაბამისი სიგნალით. ამიტომ ასეთი ტრიგერი წარმოადგენს ტრიგერს პირდაპირი მართვით, ანუ აქტიური მაღალი დონით.

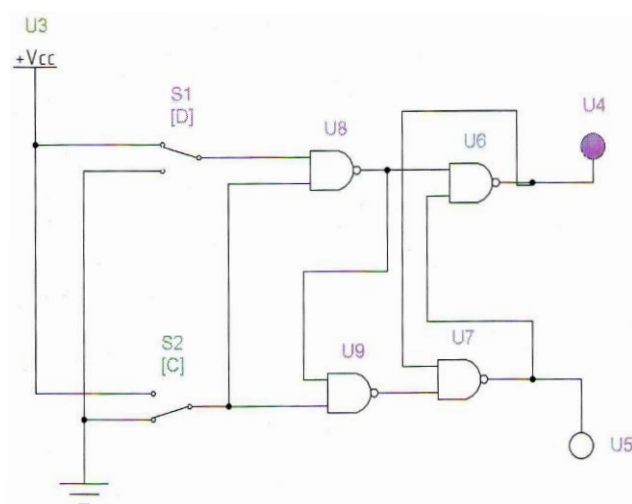
16.7.ბ ნახაზზე წარმოდგენილია ზემოაღნიშნული ტრიგერი პრინციპულ სქემებში (ხოლო მოცემულ შემთხვევაში ვირტუალურ სქემურ მოდელებში) სტანდარტული გრაფიკული აღნიშვნით და გამომყვანების შესაბამისი მონიშვნით ($S, R, Q, \bar{Q}$).

16.7.გ ნახაზზე წარმოდგენილია ასინქრონული RS – ტრიგერი აგებულია „და-არა“ ლოგიკურ ელემენტებზე. ასეთი პრინციპით აგებული RS – ტრიგერი ინვერსული შესასვლელებიანია. მისი ახალ მდგომარეობაში გადართვა ხორციელდება შესასვლელებზე ლოგიკური 0-ის მიწოდებით. ამ შემთხვევაში დაბალი დონეა აქტიური, ხოლო ტრიგერის მართვა არის ინვერსული.

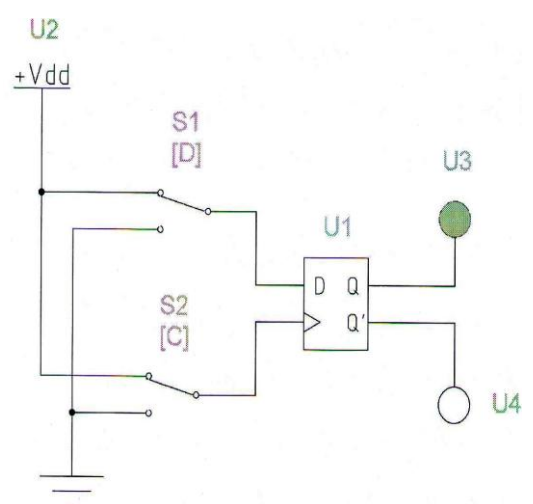
16.7.დ ნახაზზე წარმოდგენილ სქემაში „და-არა“ ლოგიკურ ელემენტებზე აგებული RS – ტრიგერის სქემას შესავალ წრედებში დამატებული აქვს ინვერტორები, რის გამოც, მართვის ხასიათი იცვლება საწინააღმდეგოთი, ე.ი. იგი გარდაიქმნება პირდაპირი მართვის მქონე RS – ტრიგერად „და-არა“ ელემენტებზე.

16.7.ე ნახაზზე წარმოდგენილია სინქრონული RS – ტრიგერის სქემა, რომელსაც ზემოთ განხილული „და-არა“ ელემენტებზე აგებული ასინქრონული ტრიგერის სქემისაგან განსხვავებით დამატებული აქვს მასინქრონებელი შესავალი. ეს შესავალი აღინიშნება C ასოთი (**Clock Pulse** – ტაქტური იმპულსის დასახელებიდან გამომდინარე).

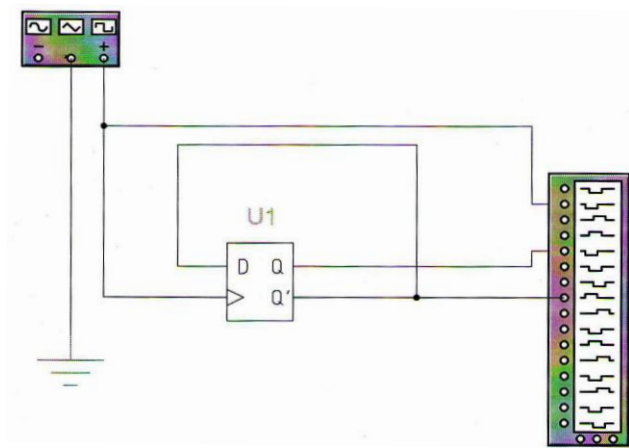
5.2. ლაბორატორიულ სამუშაოში გამოსაკვლევი სინქრონული D – ტრიგერისა და უნივერსალური JK – ტრიგერის ვირტუალური სქემების აგება შესაძლებელია 16.8 ნახაზზე მოცემული ესკიზების მიხედვით.



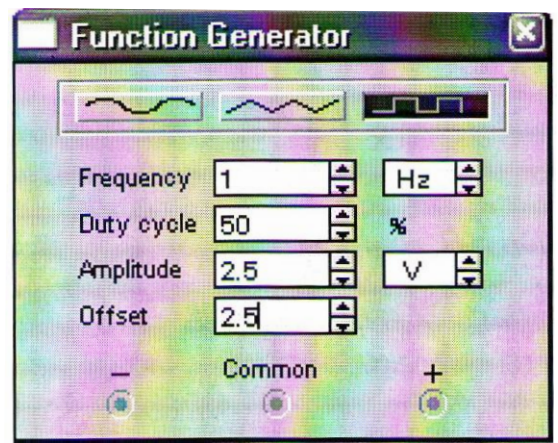
ა)



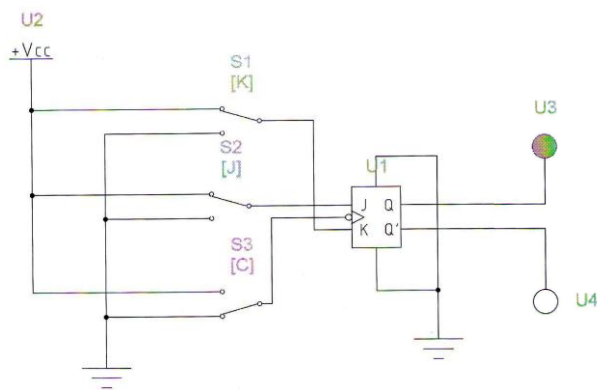
ბ)



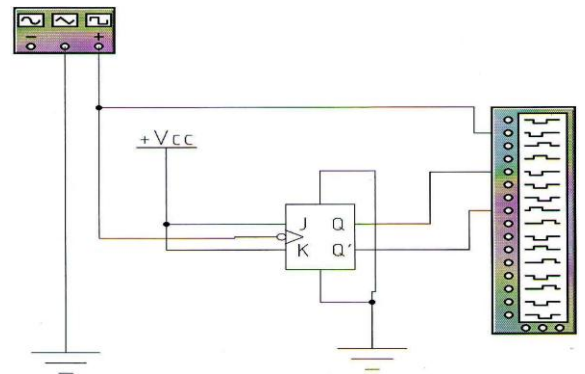
ბ)



დ)



ე)



ვ)

ნახ.16.8. სინქრონული D – ტრიგერისა (ა,ბ,გ) და უნივერსალური JK – ტრიგერის (ე,ვ) სქემები

16.8,ა ნახაზზე მოცემულია სინქრონული D – ტრიგერის ერთ-ერთი სქემური ვარიანტი, რომელიც შეიცავს ბისტაბილურ უჯრედს (მეხსიერების უჯრედი $U6$, $U7$ „და-არა“ ელემენტებზე) და მმართველ ლოგიკურ მოწყობილობას. ეს უკანასკნელი აწყობილია ორ „და-არა“ ლოგიკურ ელემენტზე ($U8$, $U9$) და აქვს D – სინფორმაციო და C – სინქრონიზაციის შესასვლელები.

16.8,ბ ნახაზზე წარმოდგენილია სქემა, სადაც ჩართულია **EWB** ბიბლიოთეკიდან გამოტანილი D – ტრიგერი, ვირტუალურ სქემურ მოდელებში გამოყენებული სტანდარტული გრაფიკული აღნიშვნის გათვალისწინებით. **EWB** პროგრამის ბიბლიოთეკაში განთავსებულია ორი ტიპის D – ტრიგერი: წინასწარი დაყენების

შესასვლელების (S, R) გარეშე და წინასწარი დაყენების შესასვლელებით. ამ შემთხვევაში სქემაში პირველი სახის D – ტრიგერია გამოყენებული.

16.8.გ ნახაზზე წარმოდგენილ სქემაში D – ტრიგერი გარდაქმნილია T , ანუ მოვლელ ტრიგერად. თვლის რეჟიმის ორგანიზაცია ხორციელდება უკუკავშირის ხარჯზე. ტრიგერის ინვერსული გამოსავალიდან D – საინფორმაციო შესავალზე მიწოდებული სიგნალი ახდენს მისი მდგომარეობის შეცვლას.

ასეთი ტრიგერის უფრო დეტალური გამოკვლევის მიზნით, მის შესავალს ფუნქციური გენერატორიდან (ფუნქციური გენერატორის სადიალოგო პარამეტრების ფანჯარა მოცემულია 16.8.დ ნახაზზე) ვაწვდით ერთი პერცი სიხშირისა და 5 ვ ამპლიტუდის მართკუთხა სინქრონიზმულსებს. ტრიგერის შესავალისა და გამოსავალის მდგომარეობის კონტროლის მიზნით გამოიყენება ლოგიკური ანალიზატორი.

16.8.ე ნახაზზე წარმოდგენილია უნივერსალური JK – ტრიგერის გამოსაკვლევი სქემა, სადაც გამოყენებულია **EWB** პროგრამის ბიბლიოთეკიდან გამოტანილი JK – ტრიგერის ვირტუალური მოდელი, სადაც წინასწარი დაყენების S, R ასინქრონული შესასვლელები საერთო (ნულოვან) სალტესთანაა მიერთებული. J, K და C შესასვლელებს $S1, S2, S3$ გადამრთველების საშუალებით მიუერთდება ლოგიკური 1 (+5V) და ლოგიკური 0 (ნულოვანი სალტიდან).

16.8.ვ ნახაზზე წარმოდგენილ ვირტუალურ სქემაში J – და K – შესასვლელები გაერთიანებულია და მიერთებულია +5 ვ ძაბვის წყაროსთან, რის გამოც, სქემა იმუშავებს მოვლელი ტრიგერის რეჟიმში (T ტრიგერი). D – ტრიგერზე აწყობილი მოვლელი ტრიგერის ანალოგიურად, C – შესავალს ფუნქციური გენერატორიდან მიეწოდება 1 კც სიხშირისა და 5 ვ ამპლიტუდის მართკუთხა სინქრონიზმულსები. ტრიგერის შესავალისა და გამოსავალის მდგომარეობის კონტროლის მიზნით გამოიყენება ლოგიკური ანალიზატორი.

6. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულების თანამიმდევრობა

6.1. 16.7,ა,ბ,გ,დ ნახაზებზე წარმოდგენილი ასინქრონული RS ტრიგერის ცალკეული სქემის აწყობის შემდეგ ჩავრთავთ მოდელირების რეჟიმს და ვახდენთ მისი მუშაობის გამოკვლევას ტრიგერული (გადართვის) ცხრილის შედგენის გზით (ცხრილი 1). ამისათვის S – და R – შესასვლელებზე ვაწვდით სხვადასხვა ლოგიკურ სიგნალს (1 და 0) და ამავდროულად ვითვალისწინებთ წინა მდგომარეობას. ამიტომ **EWB** პროგრამაში არ უნდა მოხდეს მოდელირების რეჟიმის გამორთვა. გამოკვლევას ვიწყებთ $S=1, R=0$ შესავალი სიგნალების კომბინაციით, რომელმაც ტრიგერის გამოსავალი

უნდა ჩააყენოს $Q=1$ ($\bar{Q}=0$) მდგომარეობაში; შემდეგ გადავდივართ შესავალი სიგნალების $S=0$, $R=0$ კომბინაციაზე და ვამოწმებთ შეინახა თუ არა ტრიგერმა წინა მდგომარეობა (წინა მდგომარეობის შენახვის რეჟიმი). ამის შემდეგ ავიღებთ შესავალი სიგნალების $R=1$, $S=0$ კომბინაციას და ჩავინიშნავთ ტრიგერის გამოსავალის მდგომარეობას, რის შემდეგაც ვიმეორებთ შესავალი სიგნალების $S=0$, $R=0$ კომბინაციას და ვამოწმებთ ტრიგერის გამოსავალის მდგომარეობას. ვამოწმებთ შესავალი სიგნალების $R=1$, $S=1$ კომბინაციის დროს RS – ტრიგერის გამოსავალის მდგომარეობას და ვაკეთებთ დასკვნას. გამოკვლევის შედეგებს წარმოვადგენთ ცალკეული ტრიგერული სქემის გადართვის ცხრილით, რომლის მიხედვითაც ვაკეთებთ დასკვნას ტრიგერული სქემის მუშაობაზე.

სინქრონული RS – ტრიგერის მუშაობის გამოკვლევას ვახდენთ 16.7,ე ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის მიხედვით. ამ სქემის აწყობისა და მოდელირების რეჟიმის ჩართვის შემდეგ შევადგენთ ტრიგერის გადართვის ცხრილს იგივე მეთოდით, როგორიც ასინქრონული RS – ტრიგერის მუშაობის გამოკვლევის დროს იყო გამოყენებული. მხოლოდ, ამჯერად, საჭიროა დამატებით მასინქრონებელ შესავალზე ლოგიკური 1-ისა და ლოგიკური 0-ის შესაბამისი სიგნალების დაყენება, S და R შესასვლელებზე მიწოდებული ლოგიკური სიგნალების სხვადასხვა კომბინაციის დროს (იხ. ცხრილი №2). შედგენილი ცხრილის მიხედვით ჩამოვაყალიბებთ სინქრონული RS – ტრიგერის მუშაობის თავისებურებებს.

ცხრილი 2

C	S	R	Q	$\bar{Q}$
1	1	0		
0	1	0		
0	0	0		
1	0	1		
0	0	1		
0	0	0		
1	1	1	X	

ცხრილი3

C	D	Q
1	0	
0	1	
1	1	
0	0	
1	0	

6.2. 16.8,ა,ბ ნახაზებზე წარმოდგენილი D – ტრიგერის სქემების აწყობის შემდეგ ჩავრთავთ მოდელირების რეჟიმს და ვახდენთ მათი მუშაობის გამოკვლევას ტრიგერული (გადართვის) ცხრილის შედგენის გზით. ამისათვის C – და D – შესასვლელებზე ვაწვდით ლოგიკური სიგნალების 1 და 0 სხვადასხვა კომბინაციას (იხ. ცხრილი 3) და

ვარკვევთ ტრიგერის გამოსავალის მდგომარეობას. ვახდენთ ტრიგერის მუშაობის გაანალიზებას.

მოვლელის რეჟიმში ჩართული D – ტრიგერის 16.8,გ ნახაზზე მოცემული სქემის მუშაობის გამოკვლევის დროს საჭიროა ლოგიკური ანალიზატორის წინასწარი გაწყობა. ამისათვის ლოგიკური ანალიზატორის სქემურ გამოსახულებაზე თავის მარცხენა დილაკით ორჯერ დაწკაპვით უნდა გავხსნათ ანალიზატორის წინა პანელი. პანელზე მოთავსებულ **Sat** დილაკზე დაწკაპვის შემდეგ გახსნილ ფანჯარაში (**Clock setup**) უნდა შევირჩიოთ შინაგანი განშლადობის რეჟიმი (**Internal clock rate**) და დავაფიქსიროთ 2 ჰც-ის ტოლი სიხშირე. სხვა პარამეტრები რჩება დუმილის რეჟიმის შესაბამისი.

მოდელირების რეჟიმის ჩართვის შემდეგ ანალიზატორის ეკრანზე აისახება ტრიგერის C შესავალზე და $Q(\bar{Q})$ – გამოსავალზე არსებული ციფრული სიგნალების გრაფიკები. **Stop** დილაკზე დაწკაპვით შევაჩერებთ მოდელირების პროცესს და ვახდენთ მიღებული ციფრული სიგნალების ცვლილების სიხშირისა და ხასიათის შედარებით დახასიათებას. მიღებულ შედეგს ვაძლევთ თეორიულ ახსნას.

უნივერსალური JK – ტრიგერის მუშაობის გამოკვლევას ვახდენთ 16.8,გ ნახაზზე წარმოდგენილი ვირტუალური სქემის მიხედვით. სქემის აწყობის შემდეგ ჩავრთავთ მოდელირების რეჟიმს. J – და K – შესასვლელებზე ვაწვდით ლოგიკური სიგნალებს (1,0) სხვადასხვა კომბინაციის მიხედვით და შევადგენთ ტრიგერულ (გადართვის) ცხრილს (ცხრილი 4). J – და K – შესასვლელებზე მიწოდებული ყოველი წყვილი ლოგიკური სიგნალის დროს ვამოწმებთ ტრიგერის გამოსავალ მდგომარეობას. ამისათვის საჭიროა C – მასინქრონებელი შესავალის შესაბამის კლავიშზე ხანმოკლე დაჭერით $C=1$ მდგომარეობის დაყენება და შემდეგ $C=0$ მდგომარეობაში გადართვა (რადგან ტრიგერი რეაგირებს მასინქრონებელი სიგნალის ვარდნილზე, ე.ი უკანა ფრონტზე). შედგენილი ცხრილის მიხედვით ჩამოვაყალიბებთ უნივერსალური JK – ტრიგერის მუშაობის თავისებურებას.

16.8,გ ნახაზზე მოცემული ვირტუალური სქემის მიხედვით ვახდენთ მოვლელი ტრიგერის (T – ტრიგერის) რეჟიმში ჩაყენებული უნივერსალური JK – ტრიგერის მუშაობის გამოკვლევას. გამოკვლევას ვახდენთ მოვლელ რეჟიმში გადაყვანილი D – ტრიგერის ანალოგიურად.

ცხრილი 4

J	K	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

7. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშის შინაარსი

- 7.1. ტრიგერის ვირტუალური სქემები და მათი აღწერა.
- 7.2. მოდელირებით მიღებული გადართვის ცხრილები და მათი დახასიათება.
- 7.3. მოვლელ რეჟიმში მომუშავე D – და JK – ტრიგერების მუშაობის ანალიზი ლოგიკური ანალიზატორიდან გადაღებული დიაგრამების გამოყენებით.
- 7.4. მიღებული შედეგების ზოგადი ანალიზი. დასკვნები.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვაობა.....	2
--------------------	---

1. Electronics Worckbench კომპიუტერულ პროგრამასთან

მუშაობის მოკლე ინსტრუქცია

1.1. პროგრამის ბიბლიოთეკა.....	3
1.2. მოწყობილობის მოდელის სქემების შედგენის მეთოდობა.....	12

ლაბორატორიული სამუშაო №1

ნახევარგამტარული დიოდების გამოკვლევა.....	16
---	----

ლაბორატორიული სამუშაო №2

მასტაბილიზებული დიოდის (სტაბილიტრონის) გამოკვლევა.....	23
--	----

ლაბორატორიული სამუშაო №3

ტირისტორული სტრუქტურის ნახევარგამტარული ხელსაწყოების გამოკვლევა.....	29
---	----

ლაბორატორიული სამუშაო №4

საერთო გაზით ჩართული პიკოლარული ტრანზისტორის გამოკვლევა.....	38
---	----

ლაბორატორიული სამუშაო №5

საერთო ემიტერით ჩართული ტრანზისტორის გამოკვლევა.....	43
--	----

ლაბორატორიული სამუშაო №6

ველით მართვადი ტრანზისტორების გამოკვლევა.....	47
---	----

ლაბორატორიული სამუშაო №7

ერთგაზა კაპვის ორნახევარპერიოდული გამმართველების	
--	--

ბამოკვლევა.....	54
ლაბორატორიული სამუშაო №8	
საბაზისო ტრანზისტორული მაძლიერებელი კასკადების	
ბამოკვლევა.....	69
ლაბორატორიული სამუშაო №9	
სიბნალის წრფივი მაძლიერების რეჟიმში მომუშავე ოპერაციული	
მაძლიერებლების ბამოკვლევა.....	79
ლაბორატორიული სამუშაო №10	
ანალოგურ ელექტრონულ სიბნალებზე მათემატიკური ოპერაციების	
შემსრულებელი სქემების ბამოკვლევა.....	91
ლაბორატორიული სამუშაო №11	
პარმონიკული რხევის ავტოგენერატორების ბამოკვლევა.....	102
ლაბორატორიული სამუშაო №12	
მართკუთხა ფორმის რხევების გენერატორების ბამოკვლევა.....	111
ლაბორატორიული სამუშაო №13	
დისკრეტული ლოგიკური ელემენტების ბამოკვლევა.....	122
ლაბორატორიული სამუშაო №14	
ტრიგერების ბამოკვლევა.....	133
ლიტერატურა.....	144

ლიტერატურა

1. გ. ღებუაძე. ელექტრონიკის საფუძვლები. –თბილისი, სტუ, 2011.
2. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе **Electronics Worbench** и **MATLAB** - М: Солон - Пресс, 2004.