

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ტექნიკური ელექტრონიკის კათედრა

ს. დადუნაშვილი, გ. ღვებუაძე

ანალოგური ელექტრონიკის  
ვირტუალური ლაბორატორიული  
სამუშაოები

თბილისი 2005

## შესავალი

ლაბორატორიულ სამუშაოთა ეს ციკლი (ცამეტი ლაბორატორიული სამუშაო) შეესაბამება შემდეგი დისციპლინების პროგრამებს: “ზოგადი ელექტრონიკა”, “ელექტრონიკა”, “ენერგეტიკის ელექტრონიკა” (I ნაწილი), “ანალოგური და დისკრეტული ელექტრონიკა”. ეს დისციპლინები იკითხება ენერგეტიკისა და ინფორმატიკის, ტელეკომუნიკაციებისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტებზე. იგივე დისციპლინები ეკითხება დაუსწრებელი სწავლების ელექტრონული პროფილის სტუდენტებს.

ლაბორატორიულ სამუშაოთა მიზანია სტუდენტებს გააცნოს ვირტუალური ელექტრონიკის არსი და კომპიუტერული სქემოგექნიკის ძირითადი პრინციპები. კერძოდ, შეასწავლოს სტუდენტებს ანალოგური ელექტრონული მოწყობილობების კომპიუტერული მოდელირების მეთოდები და შედეგების კომპიუტერის ეკრანზე გამოსახულების სახით მიღება.

ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოების შესრულების დროს გამოყენებულია შედარებით მარტივი და ადვილად ათვისებადი პროგრამები: “ელექტრონული ლაბორატორია” (**Electronics Workbench**, შემოკლებით (**EWB**)) და “კომპიუტერზე სქემების ანალიზის პროგრამა” (**Microcomputer Circuit Analysis Program**, შემოკლებით **Micro-Cap**).

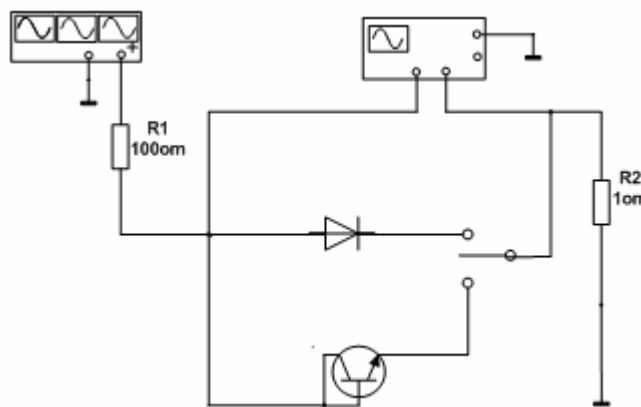
# ლაბორატორიული სამუშაო № 1

## ნახევარგამტარული დიოდის გამოკვლევა

ლაბორატორიული სამუშაო ითვალისწინებს დიოდისა და დიოდურად ჩართული ტრანზისტორის სტატიკური მახასიათებლის გადამზღვევას EWB პროგრამის მეშვეობით.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

კომპიუტერის ეკრანზე შეადგინეთ ლაბორატორიული სამუშაოს მოდელი პირველ სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით.

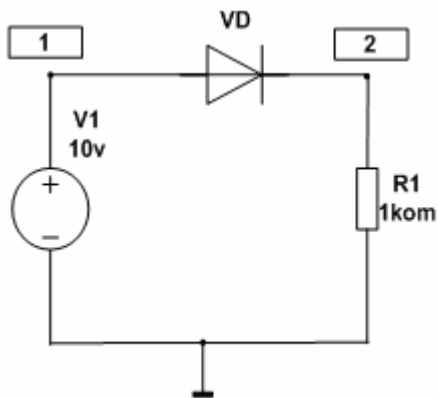


სურ. 1.

დიოდის მახასიათებლის გადამზღვევისას გამოყენებულია ფუნქციური გენერატორი და ოსცილოგრაფი. **R1** რეზისტორი ჩართულია დენის შეზღუდვის მიზნით, **R2** კი არის დენის გადამწოდი, ვინაიდან ამ უკანასკნელზე ძაბვის ვარდნა დენის პირდაპირ-პროპორციულია.

დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის მისაღებად შეასრულეთ შემდეგი სამუშაო:

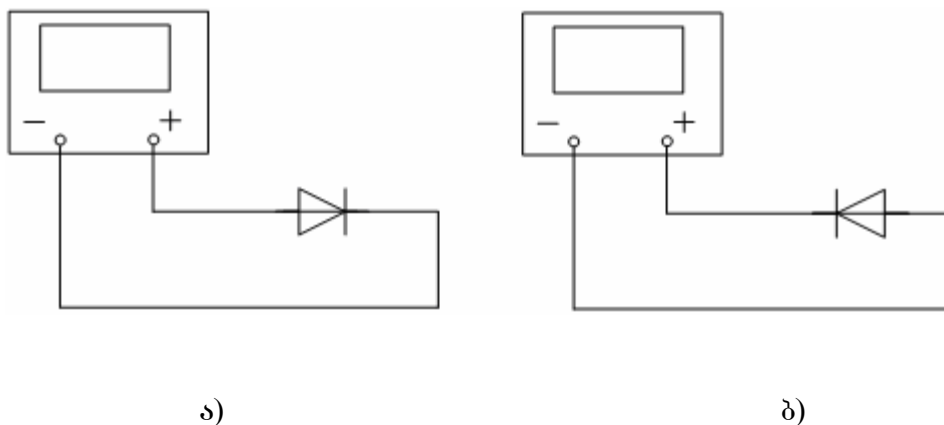
- შეარჩიეთ გენერატორისა და ოსცილოგრაფის სათანადო რეჟიმები.
- “Space” კლავიშის მეშვეობით ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი;
- დააჭირეთ ოსცილოგრაფის “Expand” (გაფართოება) ღილაკს, მიიღებთ დიოდის მახასიათებლის გამოსახულებას გაზრდილი მასშტაბით;
- დეტალური სურათის მისაღებად ჯერ ჩართეთ “Analysis” რეჟიმი, შემდეგ კი – “Expand Graphs”-ი (გრაფიკი დისპლეიზე). დააწკაპუნეთ “Expand” ღილაკზე, რომელიც მოთავსებულია “Analysis Graphs” ფანჯარაში, მიიღებთ მახასიათებლის გაშლილი სურათი (მთელ ეკრანზე). გადაიღეთ ეს მახასიათებელი.
- გაიმეორეთ გემოლნიშნული პუნქტებით გათვალისწინებული სამუშაო დიოდურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორისათვის.
- მიიღეთ დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი მრავალვარიანტული ანალიზის ჩაგარებით (DC Sweep). ამისათვის შეადგინეთ მოდელი მე-2 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით.



სურ. 2

თანამიმდევრობითი ზემოქმედებით **AKM Analysis > DC Sweep**, გახსენით მოდელირების რეჟიმის ამორჩევის ფანჯარა. ამ ფანჯარაში სათანადო სიდიდეების განთავსების შემდეგ, დააწკაპუნეთ **“Simulate”** ლილაკზე. ამის შედეგად ეკრანზე მიიღება დიოდის იდეალურთან მიახლოებული (წრფივი) ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი.

- **EWB** პროგრამის მეშვეობით შეისწავლეთ დიოდის შემოწმება მულტიმეტრით (სურ. 3).



სურ. 3

ამისათვის მულტიმეტრი გადართეთ ომმეტრის რეჟიმში და გამომეთ დიოდის წინაღობა პირდაპირი (სურ. 3, ა) და უკუბაზვის (სურ. 3, ბ) მოქმედებისას. გამომეებით მიღებული შედეგების შედარების შედეგად გამოიგანეთ დასკვნა დიოდის ვარგისიანობის შესახებ.

**შენიშვნა:** გაითვალისწინეთ, რომ როდესაც ორივე წინაღობა ერთნაირად მცირეა, დიოდი “დამოკლებულია”, ხოლო როდესაც ორივე წინაღობა ერთნაირად დიდია, “გაწყვეტილია” დიოდის შიგა წრედი.

### ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი აღგენს ჩაგარებული ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს, რომელიც უნდა შეიცავდეს: დიოდის გამოცდის სქემებს, მიღებულ ოსცილოგრამებს. მიღებული შედეგების დეტალურ ანალიზს.

# ლაბორატორიული სამუშაო №2

## ერთფაზა გამმართველის გამოკვლევა

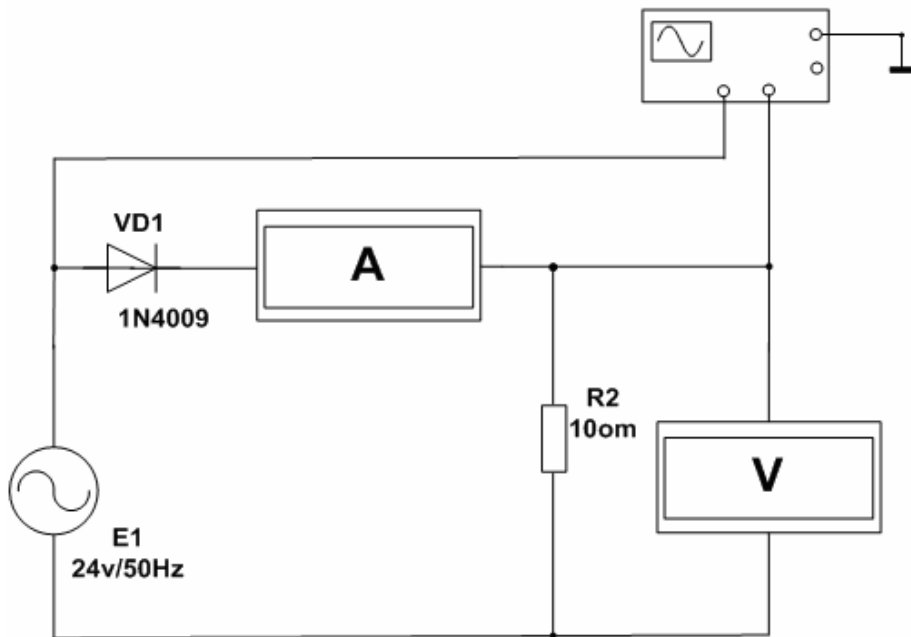
ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანია ერთფაზა ნახევარპერიოდიანი და ორნახევარპერიოდიანი გამმართველი სქემების თვისებათა შესწავლა.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. შეისწავლეთ უგრანსფორმატორო ნახევარპერიოდიანი გამმართველის თვისებები.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- შეადგინეთ ლაბორატორიული სამუშაოს მოდელი პირველ სურათზე გამოსახული უგრანსფორმატორო ნახევარპერიოდიანი გამმართველის სქემის მიხედვით, რომელშიც გამოყენებულია EWB პროგრამის ვირტუალური სქემური ხელსაწყოები: მულტივი დენის ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი, ორსხივიანი ოსცილოგრაფი (ოსცილოსკოპი). გამართვას ექვემდებარება 50 ჰც სიხშირის და  $E_1=24$  ვ მოქმედი მნიშვნელობის ცვლადი ძაბვა.



სურ. 1.

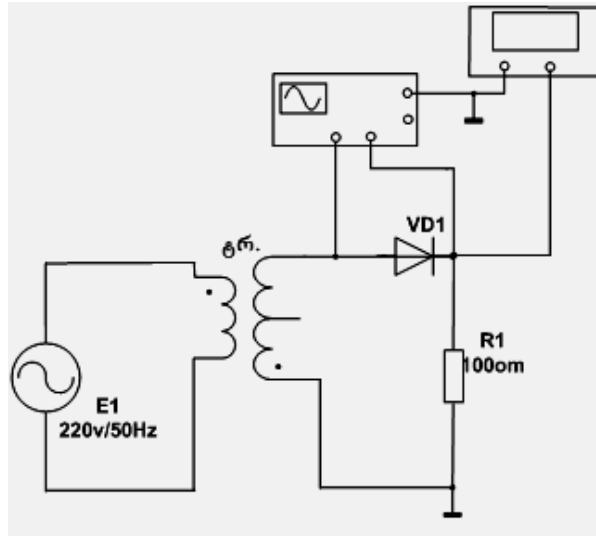
- დააყენეთ ოსცილოგრაფის ჰორიზონტალური განშლადობა (Time base) 5 მწმ/დანაყ., ხოლო ვერტიკალური გრძობიერება – 20 ვ/დანაყ. ოსცილოგრაფის A არხის ზედა სხივი წაანაცვლეთ ვერტიკალზე (Y Position) 1,40-ით B არხის ქვედა სხივი (X Position) დამატებით წაანაცვლეთ ქვემოთ – 2,80-ით.
- ჩაინიშნეთ ვირტუალური ვოლტმეტრის მიერ ნაჩვენები გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა. შეადარეთ ვოლტმეტრის მიერ ნაჩვენები ძაბვა თეორიული საანგარიშო ფორმულის –  $E_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot E_1}{\pi}$  მიხედვით განსაზღვრულ მნიშვნელობას. გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა;

- განსაზღვრეთ გამართული ძაბვის მფეთქარობის კოეფიციენტი  $K_f = U_q/E_{d0}$ . ამისათვის ვოლტმეტრი და ამპერმეტრი გადართეთ ცვლადი ღენის რეჟიმზე და ვოლტმეტრის ჩვენება შეაფარდეთ მუდმივი ღენის რეჟიმში მუშაობის შესაბამის  $E_{d0}$  ჩვენებასთან.

2. შეისწავლეთ ნახევარპერიოდის დამწვევგრანსფორმატორის გამართვლის თვისებები.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- შეადგინეთ სამუშაოს მოდელი მე-2 სურათზე გამოსახული გამმართველის სქემის მიხედვით;



სურ. 2.

გამმართველში გამოყენებულია დამწვევი გრანსფორმატორი, რომლის გრანსფორმაციის კოეფიციენტი 9-ის ტოლია;

- ჩაატარეთ უგრანსფორმატორო გამმართველის შემთხვევის ანალოგიური სამუშაო და დააფიქსირეთ გამმართველის თვისებები;
- შეადარეთ გრანსფორმატორის და უგრანსფორმატორო ნახევარპერიოდის გამმართველები.

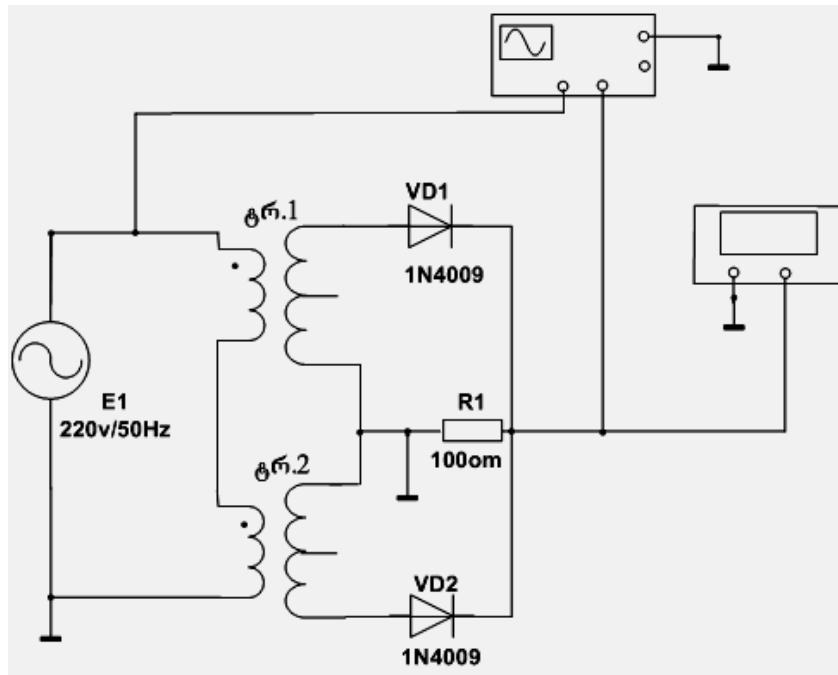
3. შეისწავლეთ ორნახევარპერიოდის გამმართველის თვისებები გრანსფორმატორის შუაგამომყვანიანი სქემის მაგალითით.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- შეადგინეთ მოდელი მე-3 სურათზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით.

აქ გამოყენებულია შედგენილი გრანსფორმატორის მოდელი, სადაც შუა გამომყვანი ვაკუუმული ილენტური გრ.1 და გრ.2 გრანსფორმატორების მეორეული გრაგნილების შემაერთებელი სადენიდან და იგი დამიწებულია. სქემის ვირტუალური კომპონენტებია: 1) ცვლადი ძაბვის წყარო, რომლის ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა  $E_1$  არის 220 ვ, სიხშირე კი – 50 Hz; 2) გრანსფორმატორების გრანსფორმაციის კოეფიციენტი არის 4,5; 3) VD1 და VD2 1N4009 ტიპის სილიციუმის დიოდები; 4)  $R = 100$  ომი დაგვირთვის წინააღობა; 5) მულტიმეტრი, რომელიც მუშაობს მუდმივი ძაბვის ვოლტმეტრის რეჟიმით; 6) ორსხივიანი ოსცილოგრაფი, რომლის ჰორიზონტალური განშლადობის დანაყოფის ფასი უნდა იყოს 5 მლწმ მკვებავ ქსელთან მიერთებული ოსცილოგრაფის A არხის ვერტიკალური განშლადობის გრძნობიერების დანაყოფის ფასი უნდა იყოს 200 ვ. ოსცილოსკოპის B არხი

მიერთებულია გამმართველის გამოსასვლელზე და დაყენებულია 20 ვ/დან-ის გოლი ვერტიკალური განშლადობის გრძნობიერება. ზედა სხივი (A არხი) ვერტიკალზე წანაცვლებულია 1,4 დანაყოფით, ხოლო B არხის სხივი ვერტიკალზე წანაცვლებულია ქვემოთ 2,2 დანაყოფით.



სურ. 3.

- ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი, მიიღებთ მკვებავი ქსელისა და გამართული ძაბვის ოსცილოგრამებს;
- ჩაინიშნეთ ვირტუალური ვოლტმეტრის ჩვენება. შეადარეთ იგი  $E_{d0} = \frac{2\sqrt{2} \cdot E_2}{\pi}$  ( $E_2 = E_1/4,5$ ) საანგარიშო ფორმულის მიხედვით განსაზღვრულ გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობას;
- განსაზღვრეთ გამართული ძაბვის ეფექტურობის კოეფიციენტი გამართვის ნახევარპერიოდიანი სქემის ანალოგიურად;
- შეადარეთ ნახევარპერიოდიანი და ორნახევარპერიოდიანი გამმართველების თვისებები გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობისა და მფეთქარობის კოეფიციენტის სიდიდის მიხედვით.

### ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს შესრულებული ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს, სადაც მოცემული უნდა იყოს: გამმართველების ვირტუალური მოდელები; ანალიზის რეჟიმში მიღებული ოსცილოგრამები; ოსცილოგრამების ანალიზი და გამართვის ნახევარპერიოდიანი და ორნახევარპერიოდიანი სქემების შედარებითი დახასიათება.

## ლაბორატორიული სამუშაო №3

### ძაბვის სტაბილიზატორისა და ძაბვის დონის შემზღვევის გამოკვლევა

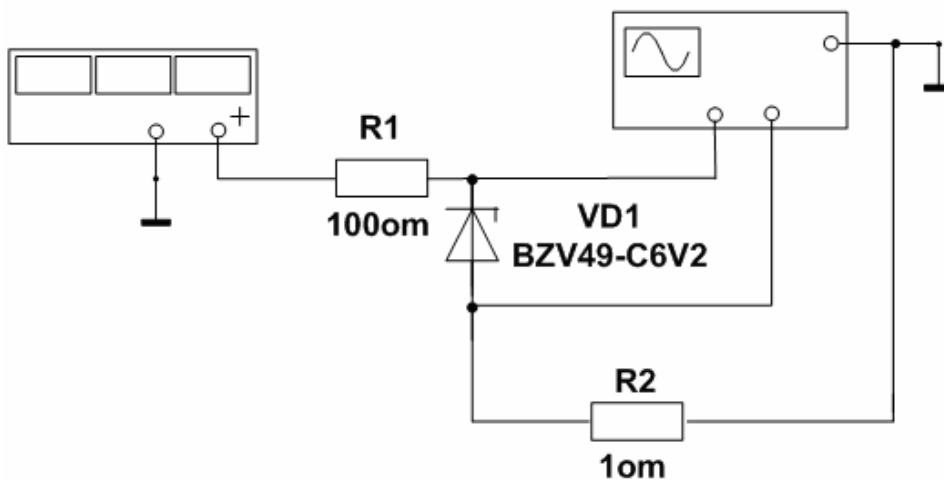
ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანია ნახევარგამტარული სტაბილიზატორის (ზენერის დიოდის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის შესწავლა, სტაბილიზატორზე აგებული ძაბვის სტაბილიზატორისა და ძაბვის დონის შემზღვევის თვისებების შესწავლა.

#### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. გადაიღეთ ნახევარგამტარული სტაბილიზატორის (ზენერის დიოდის) ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი **EWB** პროგრამის გამოყენებით.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- პირველ სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით შეადგინეთ წრელი სტაბილიზატორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადასაღებად.



სურ. 1.

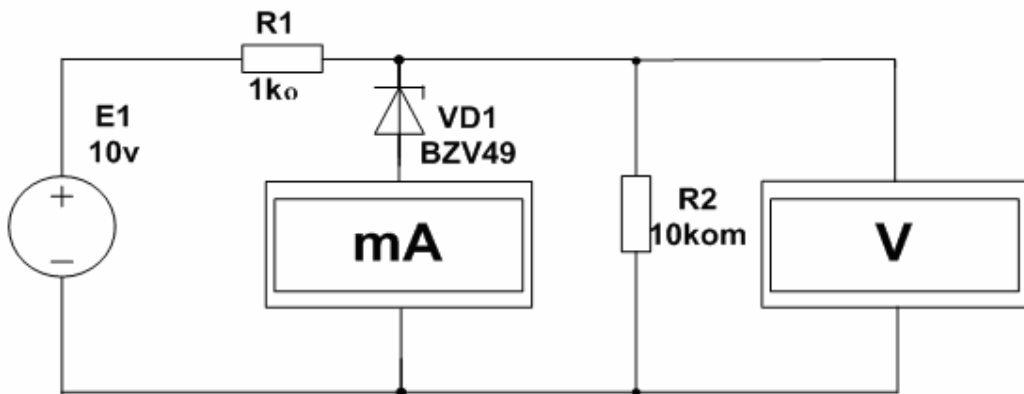
სქემაში უნდა გამოიყენოთ ფუნქციური გენერატორი და ოსცილოგრაფი “Instruments” მენიუდან. **R1** რეზისტორი გამოყენებულია დენის შესაზღვრად, ხოლო **R2** რეზისტორი ასრულებს დენის გადამწოდის როლს.

- შეარჩიეთ გენერატორისა და ოსცილოგრაფის რეჟიმები ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის საჭირო სურათის მისაღებად;
- ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და გააანალიზეთ ვირტუალური ოსცილოსკოპის ეკრანზე მიღებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი; მიღებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ანალიზის გადვილებს მიზნით მიიღეთ მისი უფრო დეტალური სურათი. ამისათვის გახსენით მენიუ “Analysis” და შემდეგ “Display Graphs”. “Expand” ღილაკის მეშვეობით, რომელიც მდებარეობს “Analysis Graphs” ფანჯარაში ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის სურათი გაშალეთ მთელ ეკრანზე.

- ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გაშლილი სურათის მიხედვით განსაზღვრეთ სტაბილიზატორის პარამეტრები: სტაბილიზატორის ძაბვა  $U_{სტ}$ , სტაბილიზატორის მინიმალური დენი  $I_{სტ\min}$  და დიფერენციალური წინაღობა  $r_{სტ} = \Delta U_{სტ} / \Delta I_{სტ}$ ;

2. შეისწავლეთ სტაბილიზატორზე აგებული ძაბვის სტაბილიზატორის თვისებები.  
*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

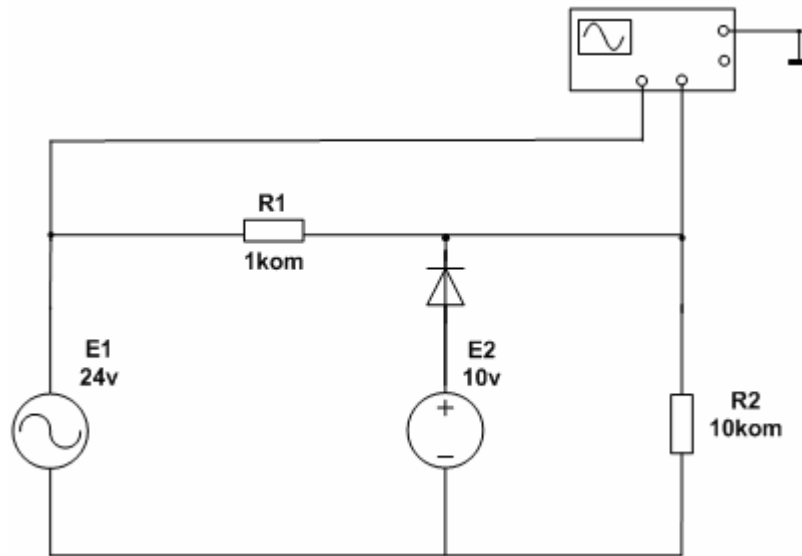
- შეადგინეთ წრედი მე-2 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით, გამოიყენეთ EWB პროგრამის ვირტუალური სქემური ხელსაწყოები: A ამპერმეტრი და V ვოლტმეტრი.
- შეადგინეთ სტაბილიზატორის მოდელი მე-2 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით, რომელშიც გამოყენებულია EWB პროგრამის ვირტუალური ხელსაწყოები: A ამპერმეტრი და V ვოლტმეტრი.



სურ. 2.

- ჩაატარეთ სტაბილიზატორის მრავალვარიანტული ანალიზი. ამისათვის გახსენით მენიუ “Analysis” და მენიუ “DC” (Direct current). აირჩიეთ პოზიცია “DC Sweep” და გახსნილ ფანჯარაში მოახდინეთ სიდიდეთა საჭირო დაყენება. “simulate” ღილაკზე ბემოქმედებით მიიღეთ შემავალ  $E_1$  და გამოშვალ ძაბვებს შორის დამოკიდებულების ოსცილოგრამები;
- მიღებული ოსცილოგრამების მიხედვით განსაზღვრეთ ძაბვის სტაბილიზაციის კოეფიციენტის  $K_{სტ} = \Delta E_1 / \Delta U_{სტ}$  დამოკიდებულება  $R_1$  და  $R_2$  რეზისტორების წინაღობათა მნიშვნელობებზე.
- დაადგინეთ სტაბილიზაციის კოეფიციენტის დამოკიდებულების ხარისხი ტემპერატურაზე.

3. შეისწავლეთ სტაბილიზატორზე აგებული ძაბვის დონის შემზღუდველების თვისებები.



სურ. 3.

**სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:**

- ააგეთ პარალელური დიოდური შემზღველის სქემა მე-3 სურათის მიხედვით.
- მოცემულ სქემაში მორიგეობით ცვალებით დიოდის ჩართვის პოლარობა და  $E_2$  ბატარეის პოლარობა. მიღებული ოსცილოგრამების მიხედვით ჩაატარეთ ანალიზი სიგნალის შემზღვევის ვარიანტებზე.

### ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს ვრცელ ანგარიშს, სადაც მოცემული უნდა იყოს: გამოსაკვლევი სქემები; დავალების პუნქტების მიხედვით მიღებული ოსცილოგრამები და მათი ანალიზი; დავალებაში მითითებული პარამეტრების ანგარიში.

# ლაბორატორიული სამუშაო №4

## ტრანზისტორის მახასიათებლების შესწავლა

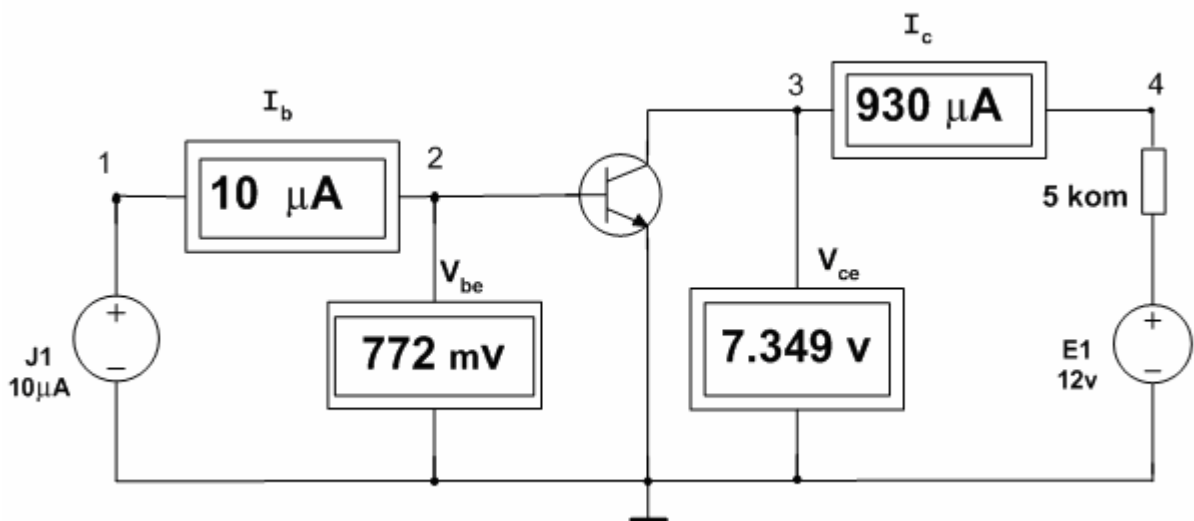
ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანია ბიპოლარული და ველიანი ტრანზისტორების მახასიათებელთა შესწავლა EWB და MC პროგრამების გამოყენებით.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. ააგეთ ბიპოლარული ტრანზისტორის შემავალი და გამომავალი წრედების სტატიკური მახასიათებლები EWB პროგრამის გამოყენებით.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- შეადგინეთ ვირტუალური ლაბორატორიული სტენდის მოდელი (სურ. 1)



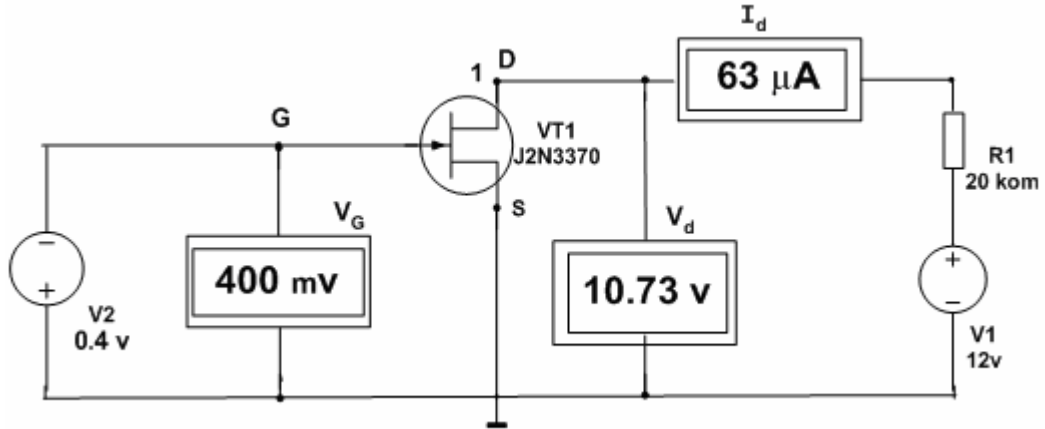
სურ. 1

- $j1$  დენის წყაროდან ბაზაში გააგარეთ დენის სხვადასხვა მნიშვნელობა  $0 \div 10 \mu A$  ( $1 \mu A$ -ის გოლი ბიჯით). გამომეთ  $V_{be}$  ძაბვისა და  $I_c$  დენის შესაბამისი მნიშვნელობები, როდესაც  $V_{ce}=0$  და  $V_{ce}=2$  ვ. ხელით ააგეთ შემავალი წრედის  $I_b=f(U_{be})/U_{ce}=\text{const}$  და გადაცემის  $I_c=f(I_b)/U_{ce}=\text{const}$  მახასიათებლები.
- $j1$  დენის წყაროდან ბაზაში გააგარეთ  $I_b=1 \mu A$  დენი.  $V_{ce}$  ძაბვა ცვალებით  $0 \div 7$  ვ-ის ფარგლებში  $1$  ვ-ის გოლი ბიჯით და აიღეთ  $I_c$  დენის ანათვლები. ცდა გაიმეორეთ  $I_b=3 \mu A$ ,  $I_b=5 \mu A$ ,  $I_b=7 \mu A$  და  $I_b=10 \mu A$  დენების დროს. ხელით ააგეთ გამომავალი წრედის მახასიათებლები  $I_c=f(U_{ce})/I_b=\text{const}$ .
- “Analysis > Dc Sweep”-ზე დაწკაპუნებით გახსენით მოდელირების რეჟიმის არჩევანის ფანჯარა. შეიგანეთ ამ ფანჯარაში შესაბამისი სილიდები და “Simulate” ღილაკზე დაჭერით ავტომატურად მიიღებთ გამომავალი წრედის მახასიათებლებს.

2. ააგეთ ველიანი ტრანზისტორის მახასიათებლები EWB პროგრამის გამოყენებით.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- ააგეთ ვირტუალური ლაბორატორიული სტენდის მოდელი (სურ. 2)



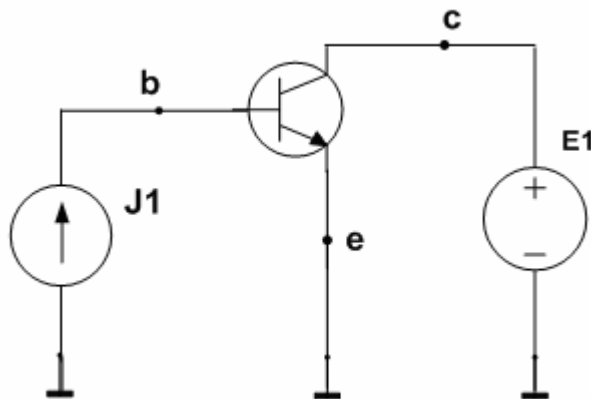
სურ. 2

- $V_1$  და  $V_2$  წყაროების ძაბვების ცვლილების შედეგად და ხელსაწყოების ჩვენებათა დაფიქსირებით, ხელით ააგეთ ველიანი ტრანზისტორის გადაცემის  $I_d=f(V_G)/V_d=10$  ვ და  $I_d=f(V_d)/V_G=0$ ; -100მვ; -200მვ; -300მვ; -400მვ მახასიათებლები.
- “Analysis > Dc Sweep”-ზე შემოქმედებით გახსენით მოდელირების რეჟიმის არჩევის ფანჯარა. შეიგანეთ ამ ფანჯარაში შესაბამისი სიდიდეები და “Simulate” ლილაკზე დაწკაპუნებით ავტომატურად მიიღებთ გამომავალი წრედის მახასიათებლებს.

3. შეისწავლეთ ბიპოლარული ტრანზისტორის სტატიკური მახასიათებლები სქემის ანალიზის MC პროგრამის გამოყენებით.

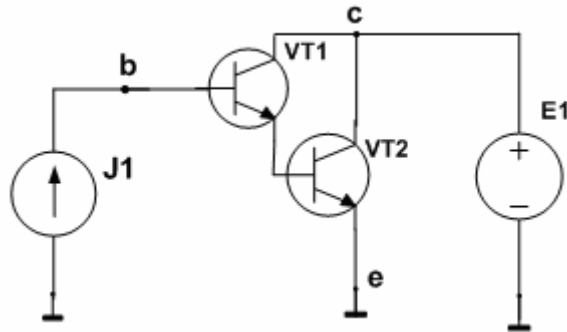
*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- ააგეთ მე-3 სურათზე გამოსახული სქემის მოდელი.



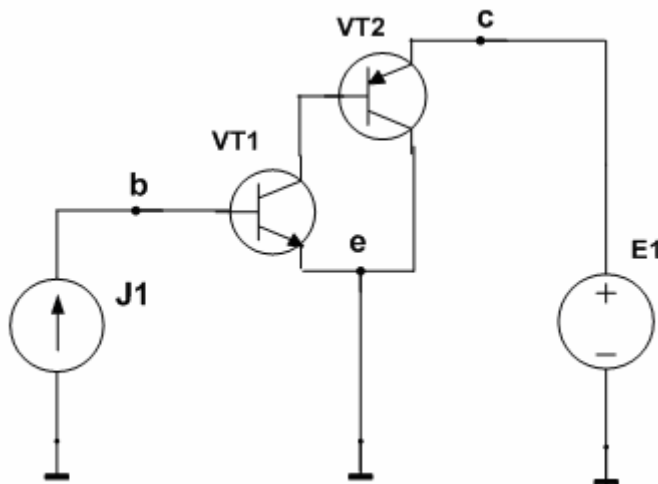
სურ. 3.

- გახსენით მოდელირების რეჟიმის არჩევის ფანჯარა. (დააჭირეთ “▷” ღილაკს, ან “Run”-ს, ან F2 კლავიშს). ფანჯარაში სათანადო სიდიდეების შეგანის შედეგად მიიღება შემავალი წრედის (ბაზის) მახასიათებელი.
- მოდელირების ფანჯარაში პარამეტრების გადასმით მიიღეთ გადაცემის  $I_c = f(I_b) / V_{ce} = \text{const}$  მახასიათებელი.
- ფანჯარაში სიდიდეთა სათანადო დაყენებით მიიღეთ გამომავალი მახასიათებლები  $I_c = f(V_{ce}) / I_b = \text{const}$ .
- ააგეთ მე-4 სურათზე გამოსახული ტრანზისტორის სქემის მოდელი.



სურ. 4.

- განახორციელეთ შედგენილი ტრანზისტორის მოდელირება ჩვეულებრივი ტრანზისტორის ანალოგიურად და მიიღეთ გამომავალი მახასიათებლები (კოლექტორის მახასიათებლები);
- ერთმანათს შეადარეთ შედგენილი და ჩვეულებრივი ტრანზისტორების კოლექტორთა მახასიათებლები;
- გადაიღეთ მე-5 სურათზე გამოსახული ტრანზისტორების კომპლემენტური წყვილის სქემის პირი.



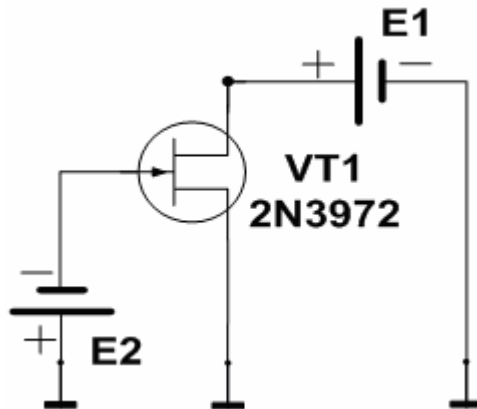
სურ. 5.

- განახორციელეთ ასეთი სქემის მოდელირება და მიიღეთ კოლექტორის მახასიათებლები;
- ერთმანათს შეადარეთ შედგენილი ტრანზისტორისა და ტრანზისტორთა კომპლემენტური წყვილის კოლექტორების მახასიათებლები.

4. შეისწავლეთ ველიანი ტრანზისტორის სტატიკური მახასიათებლები სქემის ანალიზის MC პროგრამის გამოყენებით.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- შეადგინეთ მე-6 სურათზე გამოსახული სქემის მოდელი.
- გახსენით DC Sweep ფანჯარა და განახორციელეთ მოდელირება. ფანჯარაში შეიტანეთ  $E_1 = 0 \div 20V$ , ცვლილების ბიჯით 0,1V;  $E_2 = 0 \div 4V$ , ცვლილების ბიჯით 0,5V. მიიღებთ ველიანი ტრანზისტორის გამომავალი წრედის მახასიათებელთა ოჯახს.
- გაანალიზეთ მიღებული მახასიათებლები.



სურ. 6

### ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს, სადაც მოცემული უნდა იყოს: ტრანზისტორების ჩართვის სქემები და მათი დახასიათება, მიღებული მახასიათებლები და მათი დეტალური ანალიზი, დავალებით გათვალისწინებული სხვა პუნქტების შესრულების შედეგების აღწერა.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 5

## გირისგორის მოდელირება EWB პროგრამის მეშვეობით

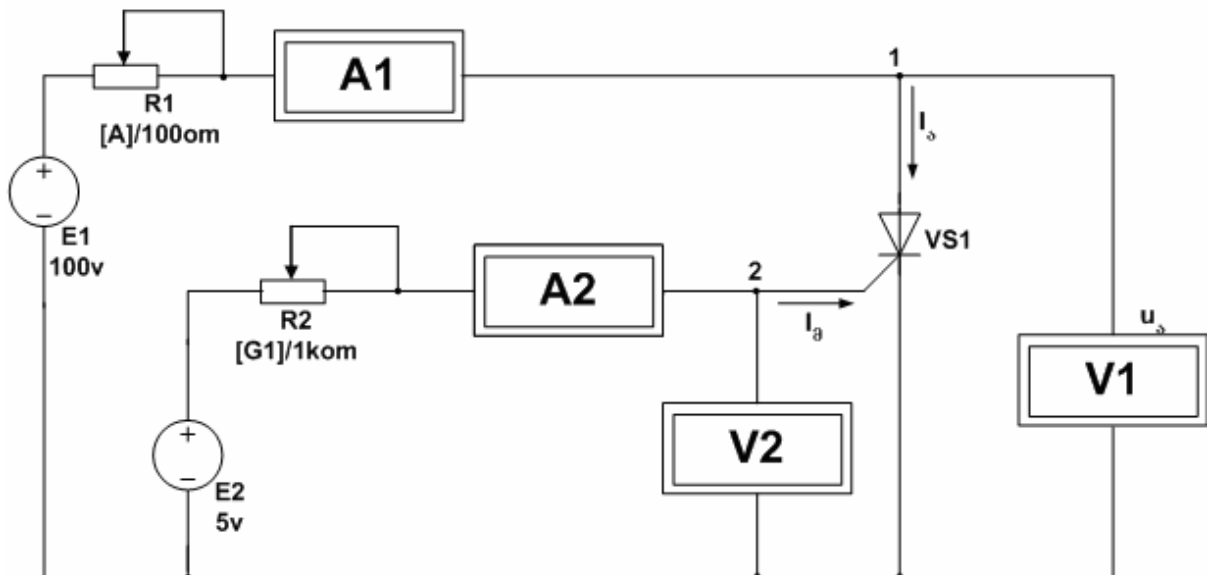
ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანია გირისგორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გამოკვლევა.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

ნაგურალური ლაბორატორიული სტენდის მოდელის გამოყენებით ააგეთ გირისგორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი EWB პროგრამის მეშვეობით.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

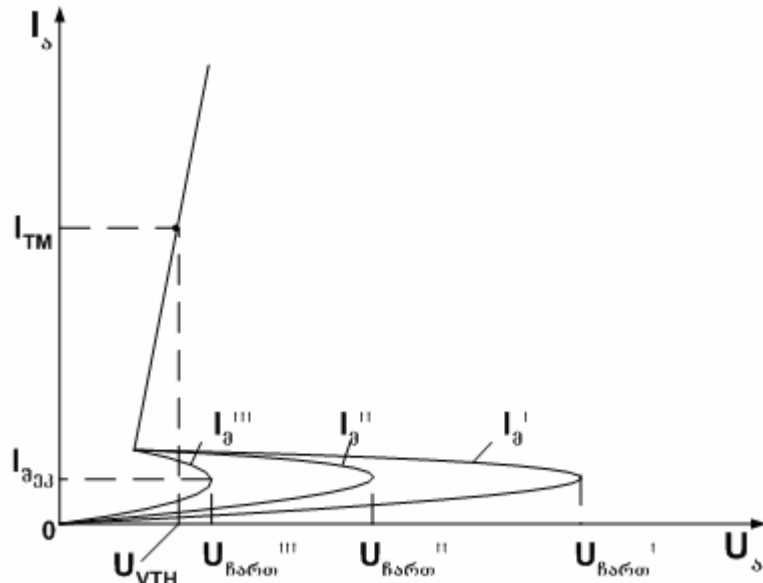
- შეადგინეთ გირისგორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადასაღები მოდელი, როგორც ეს პირველ სურათზეა ნაჩვენები. სქემა შეიცავს VS1 გამოსაკვლევ გირისგორს, კვების ორ E1 და E2 წყაროს, დენის შემზღუდავ და ამავე დროს მარეგულირებელ ორ R1 და R2 რეზისტორს, V1 და V2 ვოლტმეტრებს და A1 და A2 ამპერმეტრებს. VS1 გირისგორის ანოდზე (წერტილი 1) ძაბვის სიდიდის სარეგულირებლად სქემაში გამოყენებულია R1 რეზისტორი. ამისათვის საჭიროა [A] კლავიშზე დაჭერა, ან [shift] + [A] ზემოქმედება. VS1 გირისგორის მართვის ელექტროდში (წერტილი 2) დენის სარეგულირებლად გამოყენებულია R2 პოტენციომეტრი. ამისათვის საჭიროა [G] კლავიშზე დაჭერა, ან [shift] + [G] ზემოქმედება.



სურ. 1

- ააგეთ გირისგორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შტო, რომლის თეორიული სახე მე-2 სურათზეა ნაჩვენები. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის აგებისას უნდა გამოიყენოთ EWB პროგრამაში არსებული ბიბლიოთეკის საცნობარო პარამეტრები კონკრეტული ტიპის გირისგორისათვის. ამისათვის საჭიროა გირისგორის გრაფიკულ აღნიშვნაზე კურსორის მიმართვა და **თმპ-ს** ორჯერ დაჭერით გაიხსნება **Silicon Controlled Rectifier Properties** (სილიციუმის

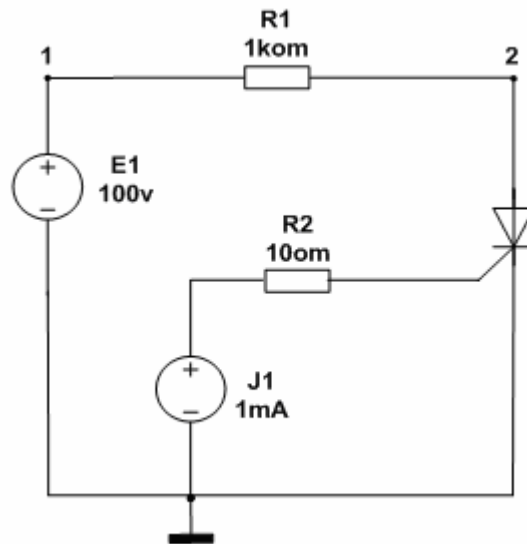
მართვადი ვენტილების თვისებები) ფანჯარა. აღნიშნულ ფანჯარაში მოცემულია იდეალური ტირისტორის პარამეტრები. ეს პარამეტრებია: გამორთული ტირისტორის მაქსიმალური დენი (**IDRM**), ღია მდგომარეობაში ტირისტორის გადართვის პირდაპირი ძაბვა (**VDRM**), ჩართულ ტირისტორზე ძაბვის ვარდნის მაქსიმალური მნიშვნელობა (**VTM**), პირდაპირი დენი, რომლის დროსაც გაიზომა ღია ტირისტორზე ძაბვის ვარდნა (**ITM**), ტირისტორის ღია მდგომარეობაში შეკავების დენი (**IH**), ტირისტორის გამლები მართვის ძაბვა (**VGT**), ტირისტორის გამლები მართვის დენი (**IGT**) და სხვა.



სურ. 2.

- ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პირდაპირი შგოს აგების დროს [G] კლავიშზე ზემოქმედებით მართვის ელექტროდში გააგარეთ რაღაც სიდიდის დენი (ბიბლიოთეკიდან აღებული საცნობარო მონაცემების ვათვალისწინებით). შემდეგ [A] კლავიშზე ზემოქმედებით ცვალებ ანოლური ძაბვა და ჩაწერეთ V1 ვოლტმეტრისა და A1 ამპერმეტრის ჩვენებები, რომელთა მიხედვითაც ააგეთ პირდაპირი შგო. ცდა გაიმეორეთ მართვის დენის კიდევი ორი სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს.
- აგებული პირდაპირი შგოების მიხედვით განსაზღვრეთ ტირისტორის ღია მდგომარეობაში გადართვის ძაბვის მნიშვნელობები ( $U_{ჩართ I}$ ,  $U_{ჩართ II}$ ,  $U_{ჩართ III}$ ) მართვის ელექტროდში გამავალი დენის სხვადასხვა სიდიდის დროს. განსაზღვრეთ აგრეთვე ღია ტირისტორზე პირდაპირი ძაბვის ვარდნის სიდიდე.
- შეცვალეთ E1 ძაბვის წყაროს ჩართვის პოლარობა და ააგეთ ტირისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის უკუშგო.

2. ააგეთ სქემა (სურ. 3) და მიიღეთ ტირისტორის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი EWB პროგრამის მრავალვარიანტული ანალიზის რეჟიმის გამოყენებით. ამისათვის გახსენით მენიუ "Analysis" და მენიუ "DC". აირჩიეთ პოზიცია "DC Sweep" და გახსნილ ფანჯარაში შეარჩიეთ საჭირო სიდიდეები: V1 სიდიდე: საწყისი მნიშვნელობაა 0; საბოლოო (stop) მნიშვნელობა - 100ვ; ცვლილების ბიჯი - 10ვ. j1: საწყისი მნიშვნელობა - 0; საბოლოო მნიშვნელობა - 0; ცვლილების ბიჯი - 0; ეკრანზე მიიღეთ ტირისტორის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს დიოდურ რეჟიმში. ოღონდ ვრაფიკის კოორდინატები ჩვეულებრივთან შედარებით 90°-ით იქნება მობრუნებული.

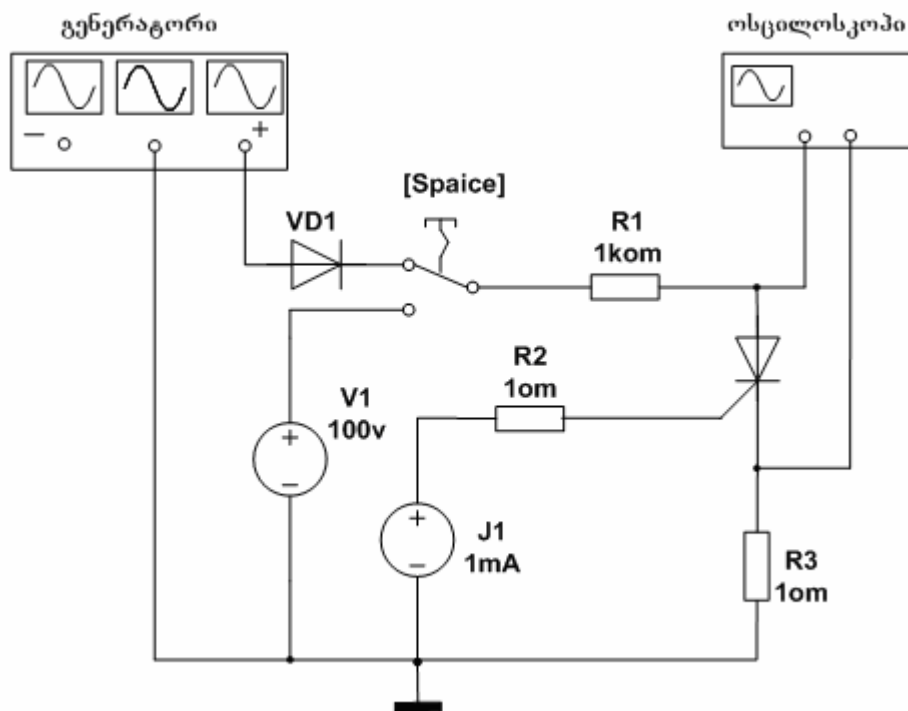


სურ. 3

3. გამოიკვლიეთ გირისგორის თვისებები, როდესაც ანოდური წრედი მიერთებულია ხერხისებური ძაბვის გენერატორთან.

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- შეადგინეთ მოდელი მე-4 სურათზე მოცემული სქემის მიხედვით. სქემაში ჩართულია ფუნქციური გენერატორი ხერხისებრი ძაბვის გენერატორის რეჟიმში (ძაბვის სიხშირეა 10კჰც, ამპლიტუდა – 100ვ), ოსცილოგრაფი EWB პროგრამის “Instruments” განყოფილებიდან. R3 რეზისტორი ასრულებს დენის გადამწოდის როლს.

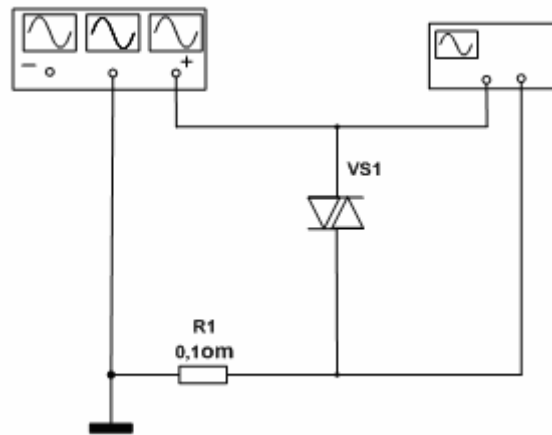


სურ. 4.

- ოსცილოგრაფი დააყენეთ **Time base – 0,02 ms/div; channel A – 500 mv/div; channel B – 20 mv/div** რეჟიმში.
- ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და გააანალიზეთ ვირტუალური ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი.
- **SPACE** კლავიშზე ზემოქმედებით გახსნილ ფანჯარაში **“DC Sweep”** დააყენეთ: **V1** ძაბვის საწყისი მნიშვნელობა 0,1ვ; საბოლოო მნიშვნელობა – 100ვ; ცვლილების ბიჯი – 0,5ვ, გააანალიზეთ მიღებული მახასიათებელი.

4. გამოიკვლიეთ სიმეტრიული დიოდური გირისტორის (დიაკის) თვისებები. ამ მიზნით:

- შეადგინეთ მოდელი მე-5 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით. სქემაში გამოყენებულია 50ჰც სიხშირის ფუნქციური გენერატორი, რომლის ძაბვის ამპლიტუდაა 150ვ და ვირტუალური ოსცილოგრაფი, რომელიც უნდა ჩააყენოთ **Time base – 0,02 ms/div; channel A – 50 v/div; channel B – 5 v/div** რეჟიმში.



სურ. 5.

- ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და დაახასიათეთ ვირტუალური ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი.

### ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი აღგენს ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს, სადაც მოცემული უნდა იყოს: გამოსაკვლევი სქემები; ჩაგარებული სამუშაოს შედეგად მიღებული მახასიათებლები და ამ მახასიათებელთა ანალიზი.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 6

## მუდმივი და ცვლადი ძაბვის რეგულატორების გამოკვლევა

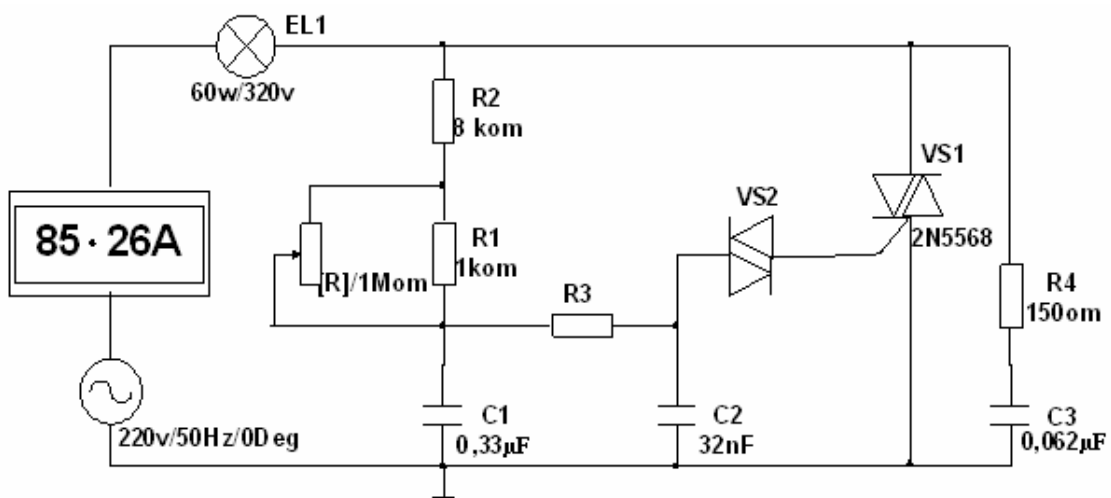
ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანია EWB პროგრამის მეშვეობით ცვლადი დენის სიმძლავრის რეგულატორის და მუდმივი დენის ელექტროძრავას სიჩქარის რეგულატორის სქემური აგებულებისა და ელექტრული თვისებების შესწავლა პროგრამაში არსებული მოდულების (ანაწყოების): NK008 და NK050 გამოყენებით.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. შეისწავლეთ სიმძლავრის ქსელური რეგულატორი 2200ვგ/220ვ NK008 ტიპის მოდულის (დეტალების ნაკრების) გამოყენებით. ასეთი რეგულატორი გამოიყენება მანათობელი ხელსაწყოების განათებულობის ფართო დიაპაზონში შესაცვლელად, მილისებრი გამათობელი ხელსაწყოების გემპერატორის დიდ ფარგლებში შესაცვლელად, აგრეთვე ელექტრორადიატორების გემპერატორის შესაცვლელად.

*სამუშაო შესრულებით შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- EWB პროგრამაში NK008 საკატალოგო ნომრით არსებული დეტალების ნაკრებისაგან შეადგინეთ პირველ სურათზე გამოსახული სქემა. სქემაში გამოყენებულია დიაკისა (VS2) და გრიაკის (VS1) წყვილი და ფაზის დამძვრელი რთული წრედი R2, R1, [R], R3, C1, C2, რომელიც ცვლის დიაკის გახსნის მომენტს VS1 გრიაკის ანოლური ძაბვის საწყისი ფაზის მიმართ. დიაკის გახსნა კი იწვევს გრიაკის ღია მდგომარეობაში გადასვლას. R4, C3 წრედი წარმოადგენს დემპფერს. იგი გამორიცხავს გრიაკის მცდარ გადართვას, რაც შეიძლება მოხდეს ინდუქციურობის შემცველი დატვირთვის წრედში ემ ძალის აღძვრის შედეგად.
- [R]+[shift] ბეჭდვით დარწმუნდით, რომ იცვლება ამპერმეტრის ჩვენება (ამპერმეტრი აჩვენებს ცვლადი დენის მოქმედ მნიშვნელობას) და, მაშასადამე, დატვირთვის ცვლადი დენის სიმძლავრე. დაადგინეთ სიმძლავრის რეგულირების დიაპაზონი.

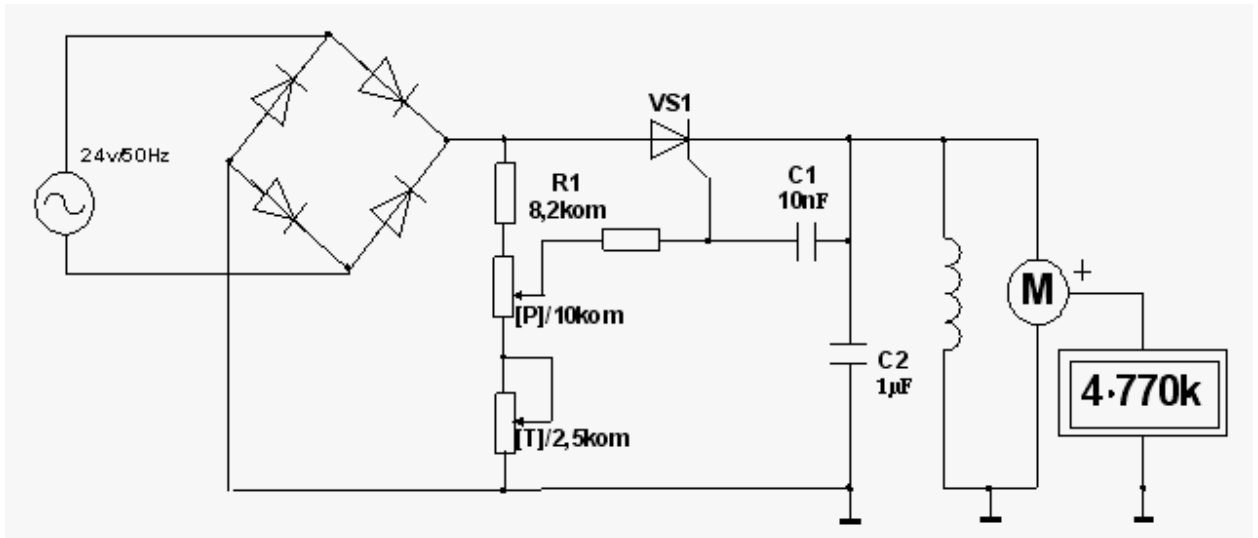


სურ. 1.

## 2. შეისწავლეთ მინიდრელის ძრავის სიჩქარის რეგულატორი.

### სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:

მიმართეთ EWB პროგრამაში NK050 საკატალოგო ნომრით არსებული დეტალების ნაკრებს. ეს მოწყობილობა საშუალებას იძლევა ვარეგულიროთ მუდმივი დენის ძრავას ბრუნვის სიჩქარე ძაბვის 12-დან 24 ვ-მდე ცვლილების შედეგად, როდესაც მოთხოვნილი დენი 3 ა-მდეა. რეგულატორის სქემა (სურ. 2) წარმოადგენს რეგულირებად ბოგურ გამმართველს, რომლის გამოსასვლელზეც VS1 გირისტორის გავლით მიერთებულია M ძრავა. სქემაში ჩართული რემისტორულ-კონდენსატორული წრედი ცვლადი წინაღობებით უზრუნველყოფს გირისტორის გაღების ფაზურ მართვას და, მაშასადამე, გამომავალი ძაბვისა და ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირებას.



სურ. 2.

ძრავას ლილვთან მიერთებული ვოლტმეტრი პირობითად ახდენს გაქომეგრის მოდელირებას, რომელიც მომავს ძრავას ლუმის ბრუნვის სიჩქარეს ბრ/წთ-ობით. სურათზე გაქომეგრი აჩვენებს 4.770 k, რაც იმას ნიშნავს, რომ ლუმბა ბრუნავს 4770 ბრ/წთ სიჩქარით.

- [P] ან [P]+[shift] და [T] ან [T]+[shift] კლავიშებზე დაჭერით დააკვირდით გაქომეგრის ჩვენების ცვლილებას.
- განსაზღვრეთ ძრავას ლუმის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების სრული დიაპაზონი.

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს ჩაგარებული ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშს, რომელიც უნდა შეიცავდეს:

- მუდმივი და ცვლადი დენის რეგულირების პრინციპულ სქემებსა და მათი მუშაობის პრინციპის მოკლე აღწერას.
- სამუშაო დავალების პუნქტების მიხედვით მიღებული შედეგების დაწვრილებით აღწერას.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 7

## საერთო ემიტერით ჩართული კასკადის გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით

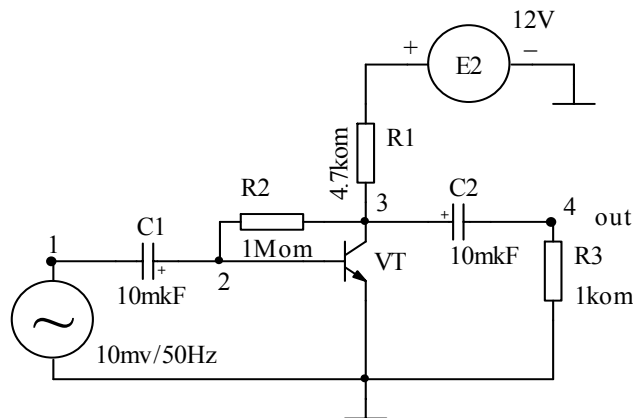
განვიხილოთ საერთოემიტერიანი მაძლიერებელი კასკადის ორი ვარიანტი:

- მაძლიერებელი კასკადი, რომელშიც მუდმივი დენის მიხედვით რეჟიმის სტაბილიზაციის მიზნით გამოყენებულია პარალელური უარყოფითი უკუკავშირი ძაბვის მიხედვით (სურ. 1);
- მაძლიერებელი კასკადი, რომელშიც მუდმივი დენის მიხედვით რეჟიმის სტაბილიზაციის მიზნით გამოყენებულია მიმდევრობითი უკუკავშირი დენის მიხედვით (სურ. 2; 3).

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. კომპიუტერის ეკრანზე შეადგინეთ მოდელი პირველ სურათზე გამოსახული საერთოემიტერიანი კასკადის სქემის მიხედვით. აქ პარალელურ უარყოფით უკუკავშირს ძაბვის მიხედვით ახორციელებს  $R_2$  რეზისტორი. სტანდარტული მოდელირების EWB პროგრამის მეშვეობით შეისწავლეთ კასკადის თვისებები. ამისთვის პირველ რიგში გადაიღეთ შემავალი (წერტილი 1) და გამომავალი (წერტილი 2) სიგნალების ოსცილოგრამები:

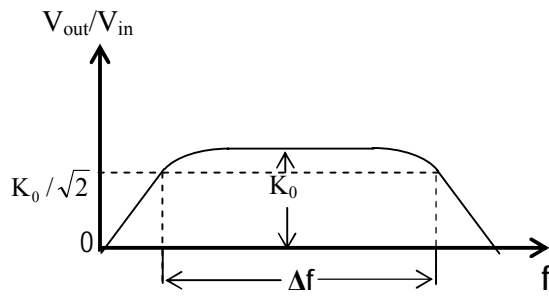
$$V_{in}=f(t), V_{out}=f(t).$$



სურ. 1

ოსცილოგრამების მიხედვით განსაზღვრეთ კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი და ფაზური ძვრის კუთხე შემავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის. შეასრულეთ იგივე სამუშაო  $R_2=0,5$  და  $R_2=0,8$  მგომი წინააღობების დროს. გამოიგანეთ დასკვნა გაძლიერების კოეფიციენტზე  $R_2$  რეზისტორის წინააღობის გავლენის შესახებ.

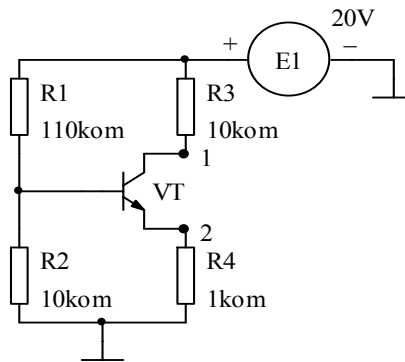
გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული  $V_{out}/V_{in}=F(f)$  (სურ. 1.1.) და ფაზურ-სიხშირული  $\varphi=F(f)$  მახასიათებლები. ახსენით დაბალ და მაღალ სიხშირეებზე გაძლიერების კოეფიციენტის შემცირებისა და შემავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის კუთხის  $180^\circ$ -ისაგან განსხვავების მიზეზები. განსაზღვრეთ მაძლიერებელი  $\Delta f$  კასკადის სიხშირული გაგარების ზოლი.



სურ. 1.1.

დაადგინეთ შემაჯავალი წრედის გამყოფი  $C_1$  კონდენსატორის ტევადობის გავლენა ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებლებზე დაბალ სიხშირულ დიაპაზონში. ამ მიზნით ცვალებად  $C_1$  ტევადობის სიდიდე 1-დან 11 მიკროფარადამდე 2 მკვ ბიჯით. დაადგინეთ, აგრეთვე,  $C_1$ -ის სიდიდის გავლენა გამომაჯავალი ძაბვის ამპლიტუდაზე. ახსენით ეს გავლენა.

2. შეადგინეთ კომპიუტერის ეკრანზე დენის მიხედვით მიმდევრობითი უარყოფითი უკუკავშირიანი საერთოემიტერიანი კასკადი (სურ. 2).



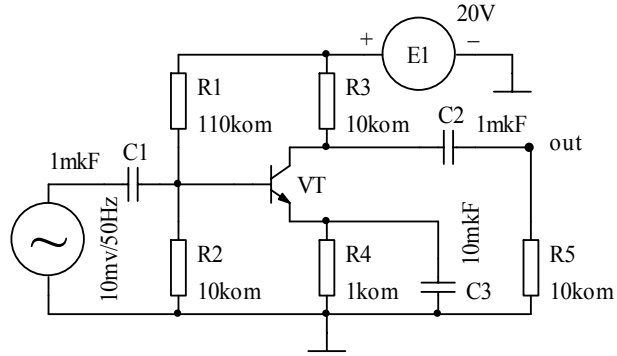
სურ. 2

უარყოფითი უკუკავშირი ხორციელდება ემიტერში ჩართული  $R_4$  რეზისტორით. პირდაპირი წანაცვლება ხორციელდება  $E_1$  ძაბვის წყაროზე მიერთებული  $R_1$ - $R_2$  ძაბვის დამყოფის  $R_2$  რეზისტორზე არსებული ძაბვის ვარდნით. რეზისტორების  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  და  $R_4$  განლაგება მოგვაგონებს „H” ასოს. ამიტომ მუშა რეჟიმის ამგვარ სტაბილიზაციას ხშირად „H-წანაცვლებასაც” უწოდებენ.

მიიღეთ VT ტრანზისტორის კოლექტორის  $V_1$  პოტენციალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე მუდმივი დენის რეჟიმში. ამისათვის EWB პროგრამის Temperature Sweep ფანჯარაში დააყენეთ ტემპერატურის ნაბიჯ-ნაბიჯ ცვლილების რეჟიმი. დახაზეთ  $V_1=f(T)$  გრაფიკი და ახსენით კოლექტორის ძაბვის შემცირების მიზეზი ტემპერატურის გაზრდის დროს.

მიიღეთ უკუკავშირის რეზისტორზე  $V_2$  ძაბვის ვარდნის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ამისათვის 1 გამომაჯავალი კვანძი Temperature Sweep ფანჯარაში შეცვალებთ 2-ით. დახაზეთ  $V_2=f(T)$  დამოკიდებულების გრაფიკი. ახსენით მუშა რეჟიმის (კოლექტორის პოტენციალის) თერმოსტაბილიზაციის არსი.

3. შეადგინეთ კომპიუტერის ეკრანზე საერთოემიტერიანი კასკადის მოდელი ცვლადი სიგანლის გაძლიერების რეჟიმისათვის (სურ. 3).



სურ. 3.

გადაიღეთ საერთოემიტიანი კასკადის შემავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამები,  $V_{out}/V_{in}=F(f)$  სიხშირული და  $\phi=F(f)$  ფაზური მახასიათებლები. დაადგინეთ ცვლადი დენის მახლოკირებელი  $C_3$  კონდენსატორის ტევადობის გავლენა გაძლიერების კოეფიციენტსა და სიხშირულ მახასიათებლებზე. ახსენით  $C_3$ -ის გავლენის არსი.

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

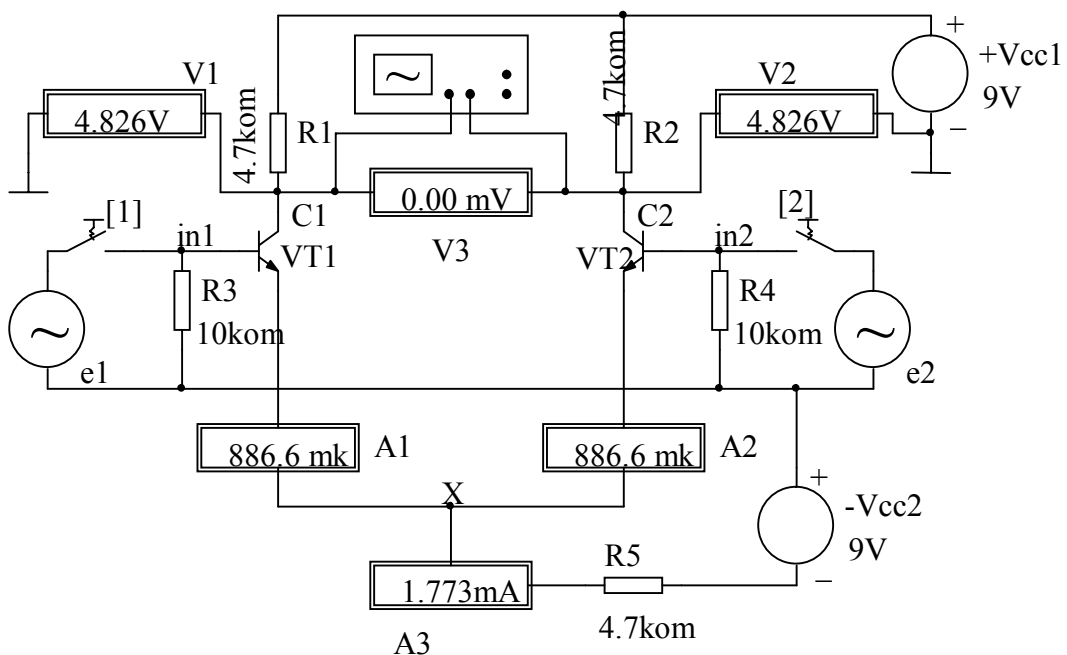
სტუდენტი ადგენს ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულყოფილ ანგარიშს. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშში მოცემული უნდა იყოს: გამოსავალი კასკადის სქემური ვარიანტები; სამუშაო დავალეების პუნქტებში მითითებული შემავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამები; ამპლიტუდურ-სიხშირული და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები; აგრეთვე მიღებული შედეგების სრულყოფილი ანალიზი.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 8

## დიფერენციალური მაძლიერებელი კასკადის მოდელირება EWB პროგრამის გამოყენებით

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. შეადგინეთ დიფერენციალური კასკადის მოდელი და მიაერთეთ გამზომი ხელსაწყოები (სურ. 1).

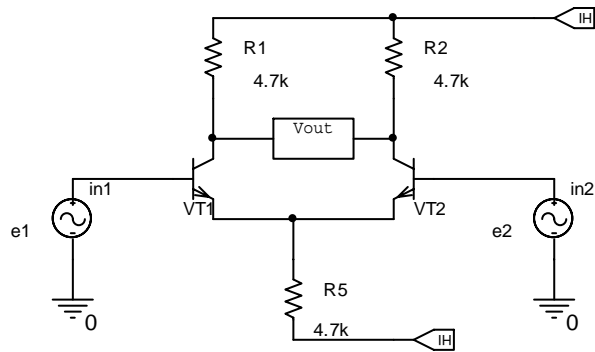


სურ. 1

შეამოწმეთ, არის თუ არა დაბალანსებული სქემა. ამისათვის შესასვლელებზე ( $in1$  და  $in2$ ) ნულოვანი სიგნალის დროს ([1] და [2] გასაღებები გათიშულია) შეამოწმეთ გამოსასვლელებზე მიერთებული  $V_3$  ვოლტმეტრის ჩვენება (დაბალანსებულ სქემებში იგი უნდა აჩვენებდეს ნულს).  $V_3$ -ის ჩვენების მიხედვით გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა.

2.  $e_1$  სიგნალის წყაროზე ძაბვა იყოს 10 მვ, სიხშირე – 60 ჰც, ფაზა კი – 0 დც, ჩაკეტით [1] გასაღები და ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი.  $C_1$  და  $C_2$  გამოსასვლელებს შორის ჩართული ოსცილოსკოპიდან გადაიღეთ ოსცილოგრამები. გაიმეორეთ სამუშაო, როდესაც  $in2$  შესასვლელებზე მოქმედებს  $e_2$  სიგნალის წყარო (ძაბვა 10 მვ, სიხშირე 60 ჰც და ფაზა 0 დც). განსაზღვრეთ კასკადის ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტი ორივე შემთხვევაში. შეადარეთ მიღებული შედეგები და გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა.

3.  $in1$  და  $in2$  შესასვლელებზე მიაწოდეთ სინფაზური სიგნალები (სიდიდით და სიხშირით ტოლი და ერთნაირი ფაზის სიგნალები  $e1=e2$ ) და  $V_{out}$  ვოლტმეტრით გამოძიეთ ძაბვა გამოსასვლელებზე (შეარჩიეთ გამომავლის ბლვარი) (სურ. 1.1).



სურ. 1.1

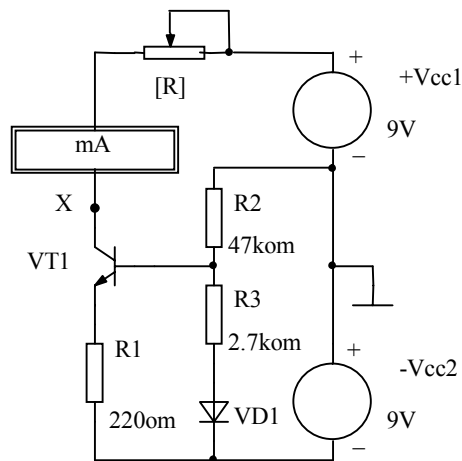
4.  $in1$  და  $in2$  შესასვლელებზე მიაწოდეთ სხვადასხვა სიგნალი ( $e1 \neq e2$ ) და გამომი ხელსაწყოებისა და ოსცილოგრაფის დაყენების შეცვლით დაწვრილებით გამოიკვლიეთ, როგორ მუშაობს დიფერენციალური კასკადი დიფერენციალურ და სინფაზურ სიგნალებზე. ამისათვის განსაზღვრეთ ძაბვის გაძლიერების კოეფიციენტები:

$$K_{სინ.} = V_{out} / e \quad (e=e1=e2),$$

$$K_{დიფ.} = V_{out} / \Delta e \quad (\Delta e=e1-e2, e1 \neq e2),$$

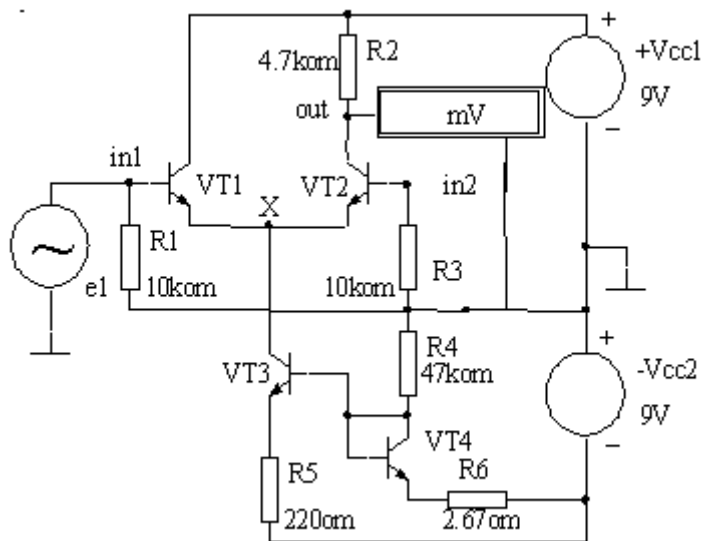
$K = K_{დიფ.} / K_{სინ.}$  – სინფაზური ჩახშობის კოეფიციენტი.

5. გააანალიზეთ დიფერენციალური კასკადის მუშაობა, როდესაც წანაცვლების წრედში ჩართულია სტაბილური დენის გენერატორი. ამისათვის მე-2 სურათზე ნაჩვენებია სქემის მიხედვით შეადგინეთ მოდელი. ცვალებად [R] რეზისტორის წინააღმდეგობა და დააკვირდით სტაბილური დენის გენერატორის მუშაობას. გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა.



სურ. 2

6. შეადგინეთ დიფერენციალური კასკადის მოდელი. გამოსასვლელი იყოს არასიმეტრიული. წანაცვლების წრედში ჩართულია სტაბილური დენის გენერატორი. შეისწავლეთ ამ კასკადის მუშაობა სხვადასხვა შემავალი სიგნალის დროს (სურ. 3). განსაზღვრეთ გაძლიერების კოეფიციენტი.



სურ. 3

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშში მოცემული უნდა იყოს: სიმეტრიული დიფერენციალური კასკადის ზოგადი სქემა, სტაბილური დენის გენერატორის სქემა და არასიმეტრიული დიფერენციალური კასკადის სქემა; ამ სქემის აღწერა. სამუშაო დავალებით გათვალისწინებულ შესასრულებელ პუნქტებზე მიღებული შედეგების აღწერა და დასკვნა; შემავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამები სამუშაო დავალების შესაბამისად.

## ლაბორატორიული სამუშაო №9

### ზოგადი გამოყენების ოპერაციული მაძლიერებლის (ომ) სქემოტექნიკური შესრულების შესწავლა EWB პროგრამის გამოყენებით

#### ზოგადი ცნობები

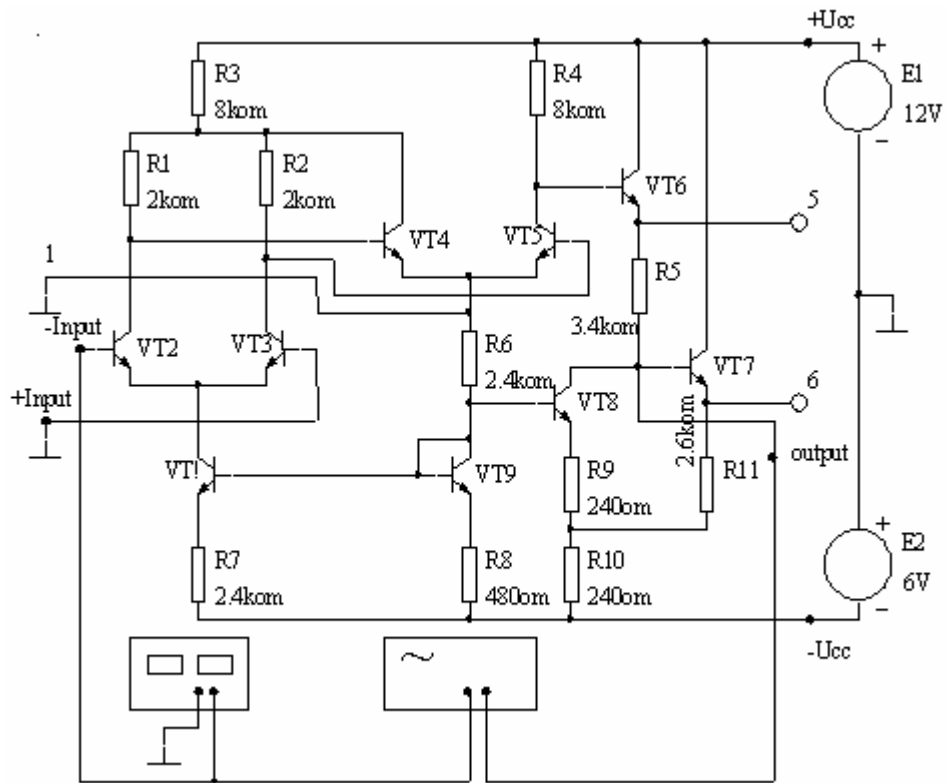
დიფერენციალური მაძლიერებლისაგან განსხვავებით ოპერაციულ მაძლიერებელს ორი (დიფერენციალური) შესასვლელის გარდა აქვს ერთი არასიმეტრიული გამოსასვლელი, რომლის პოტენციალი სქემის საერთო (დამიწებული) წერტილის მიმართ ნულთან ახლოსაა, როდესაც დიფერენციალურ შესასვლელზე მოქმედი სიგნალი ნულის ტოლია. გარდა ამისა, ომ-ში გამოძავალი სიგნალი შეიძლება შეიცვალოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი მიმართულებით, ორპოლარული მკვებავი წყაროს ძაბვების (E1 და E2) შესაბამის მნიშვნელობებამდე.

ზემოაღნიშნული ორი ამოცანის გადაწყვეტა ომ-ში ხდება ძაბვის დონის დამძვრელი სპეციალური სქემის გამოყენებით და გამოძავალი მაძლიერებელი კასკადის დამატებით (დიფერენციალურ კასკადზე). საბოლოოდ ოპერაციული მაძლიერებელი იქნება სამკასკადიანი. ასეთი ტიპური ოპერაციული მაძლიერებლებია: MA702 (ანალოგი – K140YD1) და MA709 (ანალოგი – K153YD3).

პირველ სურათზე მოცემულია ზოგადი დანიშნულების MA702 ტიპის ოპერაციული მაძლიერებლის სქემა. შემაჯავალი სიმეტრიული დიფერენციალური კასკადი აწყობილია VT2 და VT3 ტრანზისტორებზე. ამ კასკადის სტაბილური დენის გენერატორი აწყობილია VT1 და VT9 ტრანზისტორებზე. კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი დაახლოებით 8-ის ტოლია.

მეორე კასკადს VT4 და VT5 ტრანზისტორებზე, არასიმეტრიული გამოსასვლელი აქვს. მისი დენი არ ფიქსირდება სტაბილური დენის გენერატორით და ამის გამო, კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი საკმაოდ მაღალია (200÷300). ამ კასკადის გამოსასვლელთან მიერთებულია ძაბვის უარყოფით უბანში წანაცვლების კასკადი VT6 ტრანზისტორზე. VT6 ტრანზისტორის ემიტერზე მოყვანილ სიგნალზე მოხდება R5 რეზისტორზე ფორმირებული წანაცვლების მუდმივი ძაბვის შედგენა და მეორე კასკადის გამოსასვლელი ძაბვის წანაცვლება უარყოფით უბანში.

VT8 ტრანზისტორი ასრულებს მეორე სტაბილური დენის გენერატორის ფუნქციას. გამოძავალი სიგნალი მოიხსნება მესამე კასკადის (ემიტერული მამეორებელი) VT7 ტრანზისტორის ემიტერიდან. საბოლოოდ მაძლიერებელი კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი 2.5-ის ტოლია.



სურ. 1

ომ-ის კვება ხორციელდება ორი სხვადასხვა წყაროდან: პირველი წყარო (E1) იძლევა +12ვ-ს დამიწების წერტილის მიმართ, მეორე წყარო (E2) იძლევა -6ვ (ჩამიწებულია პლუსი) ძაბვას. საბოლოოდ ძაბვის დონის წანაცვლების შედეგად მიიღება სიმეტრული გამომავალი სიგნალი, რომელიც შეიცვლება +6ვ და -6ვ დონეებს შორის.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. კომპიუტერის ეკრანზე შეადგინეთ MA702 ომ-ის მოდელი პირველ სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით (ან EWB-ს samples კატალოგში გახსენით Ua702.ewb სქემური ფაილი) და შეისწავლეთ მისი ელექტრული თვისებები:

- შემაჯავალი სიგნალის გენერატორიდან მიაწოდეთ 10 ჰც სიხშირის და 1 მლვ ამპლიტუდის სინუსოიდური რხევები და ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი. ეკრანზე მიიღებთ შემაჯავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამებს. სამასშვებო მამრავლების შედარებით განსაზღვრეთ გაძლიერების კოეფიციენტი.
- შეადარეთ შემაჯავალი და გამომავალი სიგნალების ფაზები და გამოიგანეთ დასკვნა, როდესაც სიგნალი მიეწოდება „-INPUT“ შესასვლელს („+INPUT“ შესასვლელი ამ დროს დამიწებულია);
- გადართეთ სიგნალი „+INPUT“ შესასვლელზე, ხოლო „-INPUT“ შესასვლელი დაამიწეთ და გაარკვიეთ შემაჯავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური თანაფარდობა. გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა.

- დააყენეთ ცვლად დენზე ანალიზის რეჟიმი და მიიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები. გაანალიზეთ მიღებული მახასიათებლები და გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა.

- შეისწავლეთ ცალკეული კასკადის ელექტრული თვისებები.

**2. EWB** პროგრამის **samples** კატალოგში გახსენით **Ua709.ewb** სქემური ფაილი და ეკრანზე გამოიგანეთ **MA709** (ანალოგი **K153yд3**) ომ-ის სქემა. შეადარეთ ეს სქემა აღრე აღწერილ **MA702**-ის სქემას. გამოიგანეთ დასკვნა. შეისწავლეთ ომ-ის ელექტრული თვისებები:

- გახსენით ოსცილოგრაფი, ჩართეთ მოდელირება და მიიღეთ ომ-ის შემავალი და გამომავალი ძაბვების ოსცილოგრამები. სამასშტაბო მამრავლების შედარებით განსაზღვრეთ გაძლიერების კოეფიციენტი.
- შემავალი და გამომავალი ძაბვების ოსცილოგრამების შედარებით განსაზღვრეთ ფაზური ძვრა აღნიშნულ ძაბვებს შორის. განსხვავებული იყო თუ არა ფაზური ძვრა  $180^{\circ}$ -ისაგან, როდესაც სიგნალი მიეწოდება „-INPUT“ შესასვლელს. გამოიგანეთ დასკვნა;
- დააყენეთ ცვლად დენზე ანალიზის რეჟიმი და მიიღეთ **MA709** ტიპის ომ-ის ამპლიტუდურ-სიხშირული და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები. ეს მახასიათებლები შეადარეთ **MA702** ტიპის ომ-ის ანალოგიურ მახასიათებლებს და ახსენით განსხვავების მიზეზი.

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს შესრულებული ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს. ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიშში მოცემული უნდა იყოს:

- **MA702** და **MA709** ტიპის ომ-ის სქემები და მათი სქემური შესრულების თავისებურების მოკლე აღწერა;
- ზემოაღნიშნული ომ-ების თვისებების შესწავლის მიზნით სამუშაო დავალებით გათვალისწინებულ შესასრულებელ პუნქტებზე მიღებული შედეგების აღწერა და დასკვნები;
- მიღებული ოსცილოგრამები.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 10

## ოპერაციული სქემების გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით

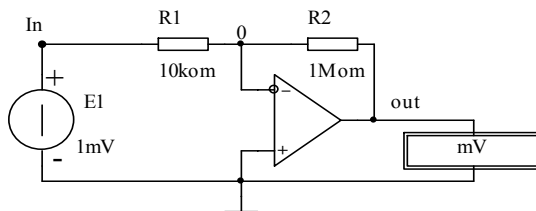
ოპერაციულ მაძლიერებელს ფართო გამოყენება აქვს ანალოგური სიგნალის დამუშავების პროცესში. ომ-ის მიერ ამა თუ იმ ფუნქციის შესრულება შესაძლებელი ხდება სხვადასხვა სახის უკუკავშირის წრედის დამაგების შედეგად. ომ უკუკავშირის განხორციელებისათვის სპეციალურად შერჩეულ სქემურ ელემენტებთან ერთად (კიდული ელემენტები), წარმოქმნის ფუნქციურ ბლოკს, რომელსაც ოპერაციული სქემაც ეწოდება. ამ პრინციპზე აიგება: ანალოგური სიგნალების მასშტაბური გარდამქმნელი, ამჟამავი, ინტეგრატორი, დიფერენციატორი და ლოგარითმატორი.

**EWB** პროგრამაში გამოყენებულია იდეალური ომ-ის უმარტივესი მოდელი სამი სასიგნალო გამოყვანით: ორი შესასვლელია (მაინვერტირებელი და არამაინვერტირებელი) ერთი კი – გამოსასვლელი.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

*I. ანალოგური სიგნალის მასშტაბური გარდამქმნელის გამოკვლევა:*

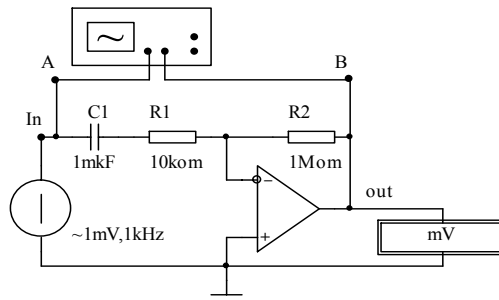
*1. ომ-ის უმარტივესი მოდელის გამოყენებით EWB პროგრამაში შეადგინეთ მაინვერტირებელი მაძლიერებლის მოდელი (სურ. 1).*



სურ. 1

პირველი სურათის მიხედვით  $E1=1\text{მვ}$  მუდმივი სიგნალი მიეწოდება ომ-ის მაინვერტირებელ შესასვლელს (აღნიშნულია „-“-ით).  $R2$  რეზისტორით ხორციელდება პარალელური უარყოფითი უკუკავშირი. უკუკავშირის სიღრმე დამოკიდებულია  $R2/R1$  ფარდობაზე. მაინვერტირებელი მაძლიერებლის ელექტრული თვისებების შესწავლის მიზნით ჩაატარეთ შემდეგი სამუშაო:

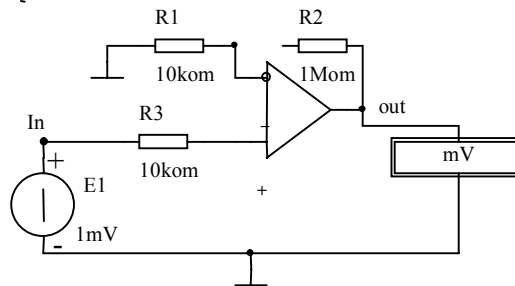
- განსაზღვრეთ სიგნალის გაძლიერების (გადაცემის) კოეფიციენტი  $R1$  და  $R2$ -ის პირველ სურათზე მითითებული მნიშვნელობის დროს გამოსასვლელზე მიერთებული  $\text{mV}$ -ს ჩვენებისა და შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალის სიდიდის ( $E1=1\text{მვ}$ ) მიხედვით. დაადგინეთ კავშირი გადაცემის კოეფიციენტსა და  $R2/R1$  ფარდობას შორის;
- ცვალეთ  $R1$  და  $R2$  რეზისტორების პარამეტრები და დაადგინეთ გადაცემის კოეფიციენტის შესაბამისი მნიშვნელობები. მათ შორის  $R2=R1$  შემთხვევისათვის. გამოიგანეთ დასკვნა მაძლიერებლის მუშაობის რეჟიმის შესახებ;
- პირველ სურათზე ნაჩვენებ სქემაში შემაჯალ წრედში ჩართეთ გამყოფი კონდენსატორი  $C1=1\text{მკფ}$  (სურ. 2). წრედის შესასვლელზე მიაწოდეთ  $1\text{მვ}$  მოქმედი მნიშვნელობისა და  $1\text{კჰც}$  სიხშირის სინუსოიდური სიგნალი. ვოლტმეტრი დააყენეთ  $AC$  რეჟიმში და გაზომეთ ძაბვა გამოსასვლელზე და გადაცემის კოეფიციენტი.



სურ. 2

- შემაჯავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის დადგენის მიზნით ჩართეთ ოსცილოგრაფი და მიიღეთ შემაჯავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამები. გამოიგანეთ დასკვნა გადაცემის კოეფიციენტისა და შემაჯავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის შესახებ.

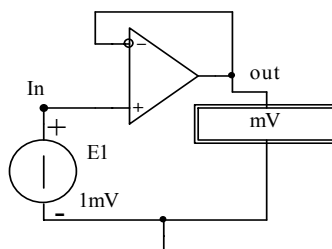
2. ომ-ის უმარტივესი მოდელის გამოყენებით **EWB** პროგრამაში შეადგინეთ არამაინვერტირებელი მაძლიერებლის მოდელი მე-3 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით.



სურ. 3

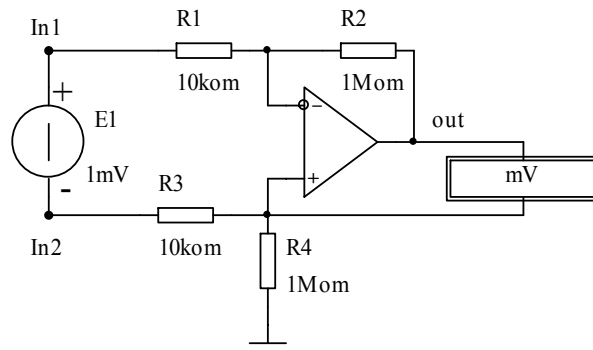
ამ შეთხვევაში უარყოფითი უკუკავშირი ჩართულია მაინვერტირებელ არხში (**R1-R2** ძაბვის გამყოფია). გარდასაქმნელი სიგნალი **E1=1მლვ** მიეწოდება არამაინვერტირებელ შესასვლელს. მაძლიერებლის თვისებების შესწავლის მიზნით ჩააგარეთ შემდეგი სამუშაო:

- შემაჯავალ წრედში მიწოდებული სიგნალისა და გამომავალ წრედში ჩართული მლვ-ის ჩვენების მიხედვით განსაზღვრეთ შემაჯავალი სიგნალის გადაცემის (გაძლიერების) კოეფიციენტი და შემაჯავალი და გამომავალი სიგნალების ნიშნებს შორის კავშირი. დაადგინეთ კავშირი გადაცემის კოეფიციენტსა და **R2/R1** ფარდობას შორის;
- **R3** წინააღობის მიმდევრობით ჩართეთ გამყოფი **C1=1მკუ** კონდენსატორი. მაინვერტირებელი მაძლიერებლის მსგავსად შეისწავლეთ არამაინვერტირებელი კასკადის მუშაობა ცვლადი გასაძლიერებელი სიგნალის შემთხვევაში (**E1=1მლვ**, **f=1კჰც**). კერძოდ, გადაიღეთ შემაჯავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამები, განსაზღვრეთ შემაჯავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური თანაფარდობა.
- შეადგინეთ მოდელი მე-4 სურათზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით. გამომეთ გამომავალი ძაბვის სიდიდე და განსაზღვრეთ მისი ნიშანი. გამოიგანეთ სათანადო დასკვნა.



სურ. 4

3. ომ-ის უმარტივესი მოდელის გამოყენებით ააგეთ დიფერენციალური მაძლიერებლის მოდელი (სურ. 5).



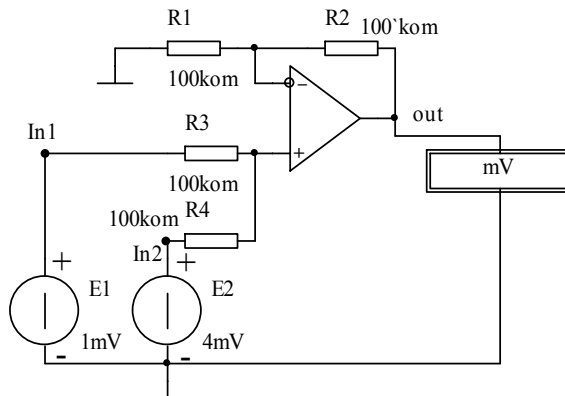
სურ. 5

აქ გამოყენებულია შემავალი სიგნალის მიწოდების შესაბამე ვარიანტი, როდესაც გარდასაქმნელი სიგნალი მიეწოდება არა ერთ რომელიმე შესასვლელსა და საერთო წერტილს, არამედ სიგნალი ჩაირთვება ორივე შესავალს შორის.

განსაზღვრეთ დიფერენციალური მაძლიერებლის სიგნალის გაძლიერების კოეფიციენტი და სიგნალების ნიშნები. შეადარეთ დიფერენციალური მაძლიერებელი მაინვერტირებელ და არამაინვერტირებელ კასკადებს.

**II. სიგნალების მაჯამებელი მაძლიერებლის გამოკვლევა:**

ააგეთ არამაინვერტირებელი შემკრები მაძლიერებლის მოდელი მე-6 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით.



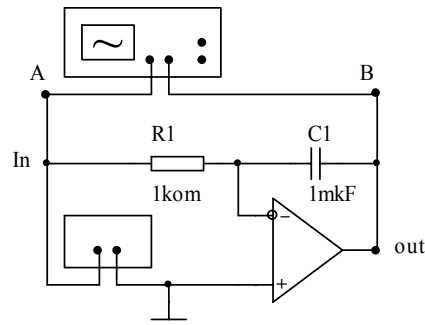
სურ. 6

დაადგინეთ, რომ გამომავალი სიგნალი შემავალი სიგნალების ალგებრული ჯამის პროპორციულია. ამისათვის არამაინვერტირებელ In1 შესასვლელთან მიაერთეთ  $E=1$ მვ სიგნალი და განსაზღვრეთ გადაცემის კოეფიციენტი. ამის შემდეგ In2 შესასვლელზე მიაერთეთ ჯერ დადებითი  $E_2=4$ მვ ძაბვა, ხოლო შემდეგ  $E_2=-4$ მვ (შეცვალეთ 2 წყაროს პოლარობა) და ორივე შემთხვევაში განსაზღვრეთ გამომავალი სიგნალის სიდიდე. გამოიგანეთ დასკვნა უდრის თუ არა გამომავალი სიგნალის მნიშვნელობა In1 და In2 შესასვლელებზე მიწოდებული სიგნალების ალგებრული ჯამისა და გადაცემის კოეფიციენტის ნამრავლს.

**III. სიხშირეზე დამოკიდებული RC უკუკავშირის წრედის შემცველი ოპერაციული სქემის გამოკვლევა:**

1. EWB პროგრამაში შეადგინეთ ინტეგრატორის უმარტივესი მოდელი ომ-ის გამოყენებით, მე-7 სურათის მიხედვით. ინტეგრატორი არის მაინვერტირებელი

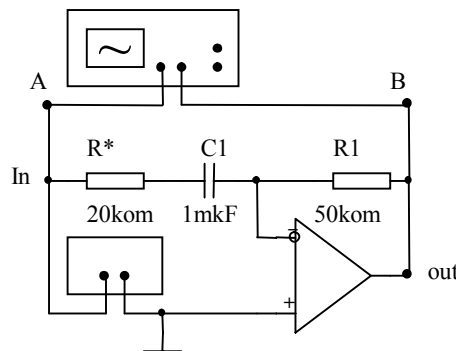
მაძლიერებელი, რომელშიც  $R2$  უკუკავშირის რეზისტორი შეცვლილია  $C1$  კონდენსატორით.



სურ. 7

შემაჯავალი სიგნალის წყაროდ გამოყენებულია მართკუთხა იმპულსთა მიმდევრობის გენერატორი, რომლის ამპლიტუდა 10მლვ-ია, სიხშირე კი – 1კჰც. ოსცილოგრაფის სათანადოდ დაყენების შემდეგ ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი. ეკრანზე მიიღებთ შესასვლელზე მოქმედ მართკუთხა იმპულსურ რხევებს (ზედა სურათი) და ამ სიგნალის ინტეგრირების შედეგს (წრფივად ცვლად რხევებს ქვედა სურათზე). დაადგინეთ შემაჯავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური თანაფარდობა და ამპლიტუდებს შორის თანაფარდობა. გამოიგანეთ დასაბუთებული დასკვნები.

2. **EWB** პროგრამაში შეადგინეთ უმარტივესი დიფერენციატორის მოდელი ომ-ზე მე-8 სურათის მიხედვით.



სურ. 8

ვინაიდან ინტეგრირების და დიფერენცირების მათემატიკური ოპერაციები ურთიერთშებრუნებულია, **EWB** პროგრამაში ინტეგრატორის სქემაში  $R1$  და  $C1$  ელემენტების ადგილმდებარეობის შეცვლით მიიღება დიფერენციატორის სქემა.

გარდა ამისა დიფერენციატორის სქემაზე გამოსახულ წრედში კორექციის მიზნით დამატებულია  $R^*$  რეზისტორი.

შემაჯავალი სიგნალის წყაროს გენერატორი ჩააყენეთ სამკუთხა ფორმის იმპულსების რეჟიმში. სხვა დაყენებული სიდიდეები არ შეცვლოთ (შემაჯავალი იმპულსების ამპლიტუდა –10მლვ, სიხშირე –1კჰც).

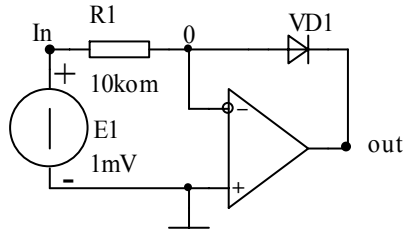
ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი. ოსცილოგრაფზე (სათანადო დაყენების შემდეგ) გამოჩნდება შემაჯავალი (ზედა სურათი) და გამომავალი (ქვედა სურათი) სიგნალების ოსცილოგრამები.

დაადგინეთ შემაჯავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური თანაფარდობა და ამპლიტუდებს შორის თანაფარდობა.

დიფერენციატორისა და ინტეგრატორის შემაჯავალი და გამომავალი სიგნალების ოსცილოგრამების შედარებითი ანალიზის საფუძველზე გამოიგანეთ სწორი დასკვნები.

#### IV. ლოგარითმაგორისა და ანტილოგარითმაგორის გამოკვლევა:

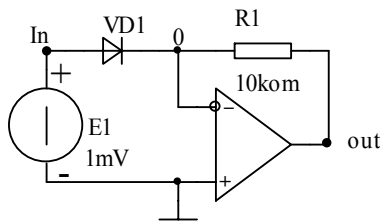
EWB პროგრამაში შეადგინეთ ლოგარითმაგორის მოდელი მე-9 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით. ლოგარითმაგორი არის გაძლიერების ლოგარითმული მახასიათებლიანი მაძლიერებელი. სქემის საფუძველია მაინვერტირებელი მაძლიერებელი, რომელშიც უკუკავშირის R2 რეზისტორი შეცვლილია VD1 დიოდით.



სურ. 9

მოდელირების ფანჯარაში დააყენეთ მოდელირება მუდმივ დენზე: საწყისი სიდიდე 1მლვ, საბოლოო სიდიდე – 10მლვ, ნაზრდის ბიჯი – 1მლვ. და ამავე ფანჯარაში მიეცით ბრძანება მოდელირებაზე (simulation). მიიღებთ ოპერაციის შედეგს – გამოშვალ და შემავალ სიგნალებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკს. გააანალიზეთ მიღებული გრაფიკული დამოკიდებულება. განსაზღვრეთ გადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

ანტილოგარითმაგორის სქემა მიიღება ლოგარითმაგორის სქემაში R1 რეზისტორისა და VD1 დიოდის ადგილების შეცვლით (სურ. 10).



სურ. 10

მოდელის შედეგის შემდეგ მოდელირების ფანჯარაში მიეცით ბრძანება simulation. მიიღებთ ეკრანზე შემავალ და გამოშვალ სიგნალებს შორის ოპერაციის შედეგს. მიღებული გრაფიკი უნდა იყოს ექსპონენციალური (ექსპონენცის ფორმის).

### ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს, რომელშიც უნდა იყოს მოცემული: ყველა გამოსაკვლევი ოპერაციული სქემა; თითოეულ ოპერაციულ სქემაზე სამუშაო დავალებით განსაზღვრული პუნქტების შესრულებით მიღებული შედეგების აღწერა; სამუშაო დავალების პუნქტებით გათვალისწინებული სიგნალების ოსცილოგრაფები და გრაფიკები. ანალიზის შედეგები და დასკვნები.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 11

## ჰარმონიული რხევების გენერატორის გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით

### ზოგადი ცნობები

ელექტრონული გენერატორი მუდმივი დენის წყაროს ენერჯიას გარდაქმნის რხევის ენერჯიად. გენერატორიდან მიღებული რხევის ხასიათის მიხედვით არსებობს: ჰარმონიული (სინუსოიდური) და არაჰარმონიული (რელაქსაციური) რხევის გენერატორები. ვირტუალურ ლაბორატორიულ სამუშაოში განვიხილავთ ჰარმონიული რხევის გენერატორს.

თვითაღმგზნები გენერატორის (ავტოგენერატორი) სქემა მიიღება მაძლიერებლის სქემისაგან, შემდეგი ორი პირობის შესრულების შედეგად:

- მაძლიერებელში გამოყენებული უკუკავშირი გენერატორის სიხშირეზე უნდა იყოს დადებითი;
- მაძლიერებლის გაძლიერება უნდა იყოს საკმარისი უკუკავშირის წრეში აქტიური დანაკარგების კომპენსაციის მიზნით.

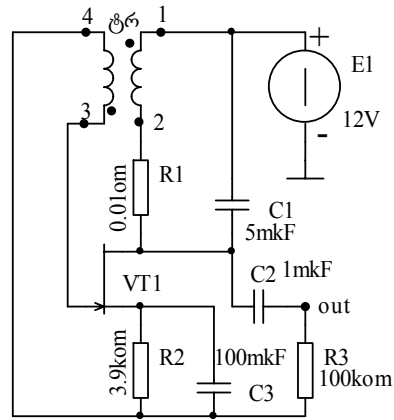
უკუკავშირისა და გამომავალ წრეში სიხშირის ამრჩევი ელემენტების არსებობის შემთხვევაში წარმოიქმნება რაღაც სიხშირის რხევა. გენერატორის თვითაღმგზნების პროცესის არსი ისაა, რომ ელექტრონული რხევის სპექტრში სითბური ხმაურის დონეზე არსებობს სხვადასხვა რიგის ჰარმონიკები საკუთარი სიხშირითა და ფაზით. აქედან ერთ-ერთი ჰარმონიკის რხევა, რომელიც დააკმაყოფილებს გემო-აღნიშნულ ორ პირობას, მაძლიერებლისა და უკუკავშირის ჩაკეტილ კონტურში მრავალჯერადი გავლის შემდეგ, ამპლიტუდის მიხედვით ძლიერდება მანამ, სანამ ამპლიტუდის ზრდა არ შეიზღუდება დანაკარგებით.

რხევის მაფორმირებელი ელემენტების ხასიათიდან გამომდინარე ერთმანეთისაგან უნდა განვასხვაოთ LC და RC ჰარმონიული რხევის გენერატორები.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

**I. EWB** პროგრამაში შეადგინეთ გრანსფორმატორული უკუკავშირიანი უმარტივესი LC ავტოგენერატორის მოდელი (სურ. 1).

ავტოგენერატორის სქემაში გრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის L1 ინდუქციურობა და C1 კონდენსატორი წარმოქმნიან პარალელურ რხევით კონტურს. R1 რეზისტორი სპეციალურადაა დამატებული დანაკარგების მოდელირებისა და



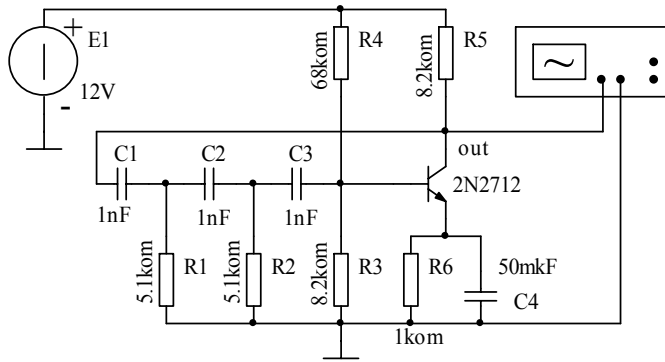
სურ. 1

ამპლიტულურ თანაფარდობათა კვლევის მიზნით. უკუკავშირის სიგნალი მოიხსნება ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილიდან (3-4 წერტილები) და მიეწოდება VT1 ველიანი ტრანზისტორის მართვის ელექტროდს (ჩამკეცს). სურათზე ნაჩვენები სახით ტრანსფორმატორის გრაგნილების მიერთების დროს („•“-ით ნაჩვენებია გრაგნილების დახვევის დასაწყისი) ხორციელდება დადებითი უკუკავშირი.

LC ავტოგენერატორის თვისებების შესწავლის მიზნით შეასრულეთ შემდეგი სამუშაო:

- ჩართეთ ანალიზის რეჟიმი ცვლად დენზე და გამოძავალი რხევების ოსცილოგრამის მიხედვით განსაზღვრეთ ჰარმონიული რხევის სიხშირე და გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა;
- შეამოწმეთ ფაზური ბალანსის პირობის შესრულების (დადებითი უკუკავშირის) აუცილებლობა. ამისათვის შეცვალეთ 1-2 ან 3-4 წერტილების მიერთების თანმიმდევრობა და დარწმუნდით, რომ რხევა გაქრება. შეამოწმეთ რა მოხდება 1-2 და 3-4 წერტილების მიერთების თანამიმდევრობის ერთდროული შეცვლის დროს. გამოიგანეთ სათანადო დასკვნები;
- შეამოწმეთ ამპლიტულური ბალანსის პირობის შესრულების აუცილებლობა ჰარმონიული რხევის მისაღებად. ამისათვის ცვალეთ R1 წინაღობა და დაადგინეთ R1-ის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც შეწყდება რხევის გენერაცია.
- LC1 კონტურის C1 კონდენსატორის პარამეტრის ცვლილების მეშვეობით დააკვირდით გენერირებული რხევის სიხშირის ცვლილებას. ოსცილოგრამებიდან განსაზღვრეთ რხევის სიხშირეები და დაადგინეთ მათი LC1 კონტურის რეზონანსულ სიხშირესთან შესაბამისობა.

2. EWB პროგრამაში შეადგინეთ RC ავტოგენერატორის მოდელი, სადაც დადებითი უკუკავშირი ხორციელდება მაღიფერენცირებელი სამი RC რგოლით. ამ რგოლების R და C პარამეტრების შერჩევის შედეგად ტრანზისტორული მაძლიერებლის გამოსასვლელთან მიერთებული, მიმდევრობით შეერთებული, სამი RC რგოლი იძლევა გენერატორულ სიხშირეზე გამოძავალი სიგნალის  $180^\circ$ -იან ფაზურ ძვრას და ახორციელებს დადებით უკუკავშირს. RC გენერატორის სქემა მოცემულია მე-2 სურათზე.



სურ. 2

RC ჰარმონიული რხევის გენერატორის ელექტრული თვისებების შესწავლის მიზნით შეასრულეთ შემდეგი სამუშაო:

- **EWB** პროგრამაში ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და ოსცილოგრაფზე მიიღეთ გამოძავალი ძაბვის ოსცილოგრამა. ამ ოსცილოგრამის მიხედვით განსაზღვრეთ რხევის სიხშირე.
- შეამოწმეთ ფაზური ბალანსის პირობა. ამისათვის ოსცილოგრაფის **A** და **B** არხები მიაერთეთ სქემის 1 და 2 წერტილებთან და დაადგინეთ აღნიშნულ წერტილებში რხევების ფაზური თანაფარდობა;
- ცვალებით **RC** ფაზის დამძვრელი რგოლების **C** გევადობის მნიშვნელობა და დააკვირდით გენერირებული რხევის სიხშირის ცვლილებას. ოსცილოგრაფებიდან განსაზღვრეთ რხევის სიხშირეები და დაადგინეთ მათი შესაბამისობა **R** და **C** სიდიდეებზე რხევის სიხშირის თეორიული გამოსახულების

$f_G = \frac{1}{2\sqrt{6}\pi CR}$  მიხედვით განსაზღვრულ სიხშირეებთან. გამოიგანეთ სათანადო დასკვნები.

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს, რომელშიც უნდა იყოს მოცემული: ჰარმონიული რხევის გენერატორების სქემები და მათი მოკლე აღწერა; თითოეულ გენერატორზე სამუშაო დავალებით განსაზღვრული პუნქტების შესრულებისას მიღებული შედეგების აღწერა; ოსცილოგრაფები და მათი ანალიზის დასკვნები.

## ლაბორატორიული სამუშაო № 12

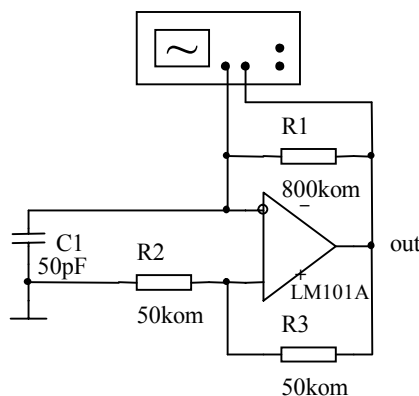
### ოპერაციულმაძლიერებლიანი ელექტრონული გენერატორის გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით

არსებობს როგორც ჰარმონიული, ისე რელაქსაციური (არასინუსოიდური) რხევის ოპერაციულმაძლიერებლიანი გენერატორები. თანაც ოპერაციულმაძლიერებლიანი გენერატორის სქემის რეალიზაცია ომ-ზე რამდენიმე მეგაჰერც სიხშირემდე უფრო მარტივად განსახორციელებელია, ვიდრე გრანზისგორიანისა. ეს პირველ რიგში იმითაა განპირობებული, რომ ოპერაციული მაძლიერებლი არის მართვის ორარხიანი პრაქტიკულად იდეალური მაძლიერებელი. ამ შესასვლელებიდან მარტივად ხორციელდება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი უკუკავშირი. საჭიროა მხოლოდ სწორად შეირჩეს უკუკავშირის წრედის პარამეტრები ამპლიტუდური და ფაზური ბალანსის პირობების შესრულების თვალსაზრისით.

### სამუშაოს შერულების მეთოდოკა

1. გამოიკვლიეთ რელაქსაციური რხევის გენერატორები EWB პროგრამით. გამოკვლევა ჩაატარეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:

- EWB პროგრამით ააგეთ ავტორხევი რეჟიმში მომუშავე მულტივიბრატორის სქემა სურ. 1.



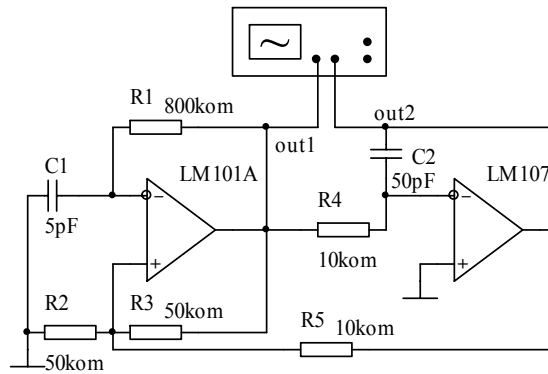
სურ. 1

- ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და გადაიღეთ გამოშვებული რხევის ოსცილოგრამა. გაზომეთ გამოშვებული რხევის სიხშირე. შეამოწმეთ

გამომილი სიხშირის  $f = \frac{1}{2R_1 C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_3}\right)}$  თეორიული გამოსახულების

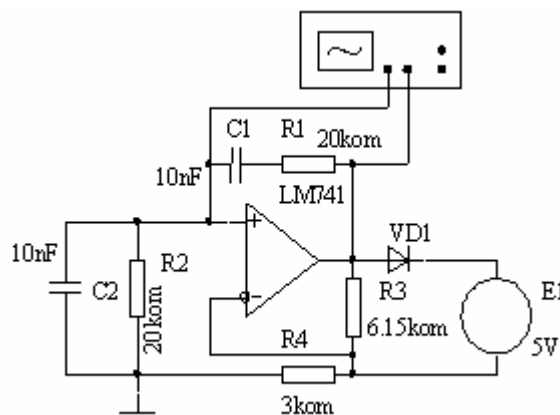
მიხედვით ნაანგარიშევი სიდიდესთან შესაბამისობა;

- ცვალებად მულტივიბრატორის **R1**, **C1**, **R2** პარამეტრები და შესწავლეთ აღნიშნული პარამეტრების გავლენა გენერირებული რხევის სიხშირეზე და გენერაციის მდგრადობაზე;
- **EWB** პროგრამით ააგეთ ფუნქციური გენერატორის მოდელი მე-2 სქემის მიხედვით. გენერატორს აქვს ორი გამოსასვლელი: **out1** გამოსასვლელზე მიიღება მართკუთხა ფორმის რხევა, ხოლო **out2** გამოსასვლელზე – სამკუთხედის ფორმის. ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და ოსცილოგრაფიდან გადაიღეთ გამოსასვლელზე მიღებული რხევის ოსცილოგრამა;



სურ. 2

- ცვალებად **C1**, **C2**, **R1**, **R4**, **R5** პარამეტრები და შესწავლეთ ასეთი თვითმერხევი სისტემის ელექტრული თვისებები.
- 2. გამოიკვლიეთ ომ-ის ბაზაზე აგებული ჰარმონიული რხევის გენერატორი. გამოკვლევა ჩაატარეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:
  - **EWB** პროგრამაში ომ-ზე ააგეთ ჰარმონიული რხევის გენერატორი ვინის ბოგას გამოყენებით მე-3 სურათზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით.



სურ. 3

ვინის ბოგა აგებულია მიმდევრობით შეერთებულ **R1**, **C1** და პარალელურად შეერთებულ **R2**, **C2** ელემენტებზე. ვინის ბოგას საშუალებით ხორციელდება სიხშირეზე დამოკიდებული დადებითი უკუკავშირი. ამპლიტუდური და ფაზური ბალანსის პირობა სრულდება განსაზღვრულ სიხშირეზე, კერძოდ, როდესაც

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (1).$$

ეს სიხშირე გენერირებული რხევის სიხშირეცაა.

- ჩართეთ მოდელირების რეჟიმი და ოსცილოგრაფის არხების სათანადო დაყენების შემდეგ გადაიღეთ არამაინვერტირებელ შესასვლელსა და გამოსასვლელზე არსებული რხევების ოსცილოგრამები. გაზომეთ გამოსასვლელზე რხევის სიხშირე და შეამოწმეთ მისი შესაბამისობა (1) გამოსახულებით მიღებულ მნიშვნელობასთან.
- ცვალებით ვინის ბოგას **R1**, **C1** პარამეტრები და განსაზღვრეთ გენერირებული რხევის სიხშირის დამოკიდებულება ამ პარამეტრებზე;
- გამორთეთ გამომასასვლელზე რხევის ამპლიტუდის შემზღვეველი **VD1-E1** წრედი და გადაიღეთ რხევის ოსცილოგრამები გამომასასვლელზე. მიღებული ოსცილოგრამების მიხედვით გამოიგანეთ დასკვნა.

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი აღგენს ჩატარებული ვირტუალური სამუშაოს სრულ ანგარიშს, რომელშიც უნდა იყოს: გამოსაკვლევი გენერატორების სქემები და მათი მოკლე აღწერა, სამუშაო დავალებით გათვალისწინებული პუნქტების შესრულებით მიღებული შედეგების აღწერა, ოსცილოგრამები, მათი ანალიზი და დასკვნები.

# ლაბორატორიული სამუშაო № 13

## აქტიური ფილტრის გამოკვლევა

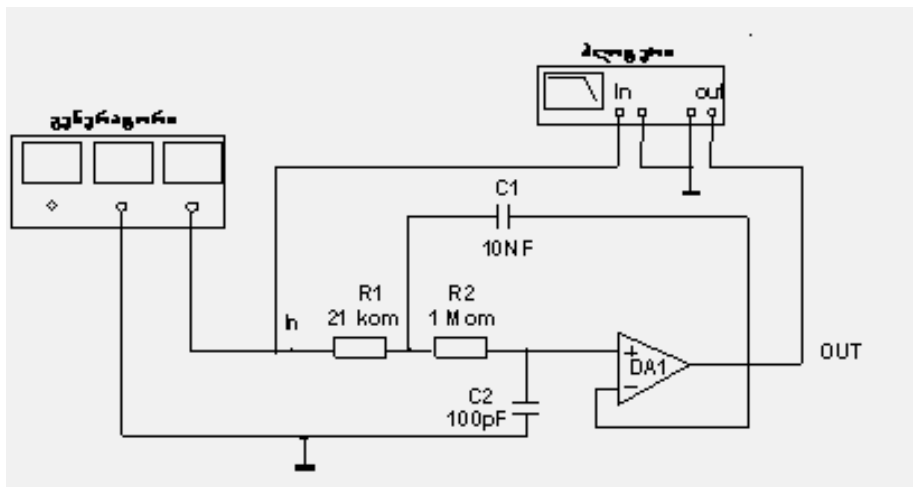
ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანია EWB პროგრამის გამოყენებით აქტიური ფილტრის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის შესწავლა.

### სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა

1. შეისწავლეთ სალენ-კეის სტრუქტურის დაბალი სიხშირის ფილტრის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი  $K(\text{დბ})=f(F)$ .

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- EWB პროგრამაში შეადგინეთ სალენ-კეის სტრუქტურის მქონე დაბალი სიხშირის აქტიური ფილტრის მოდელი (სურ. 1).

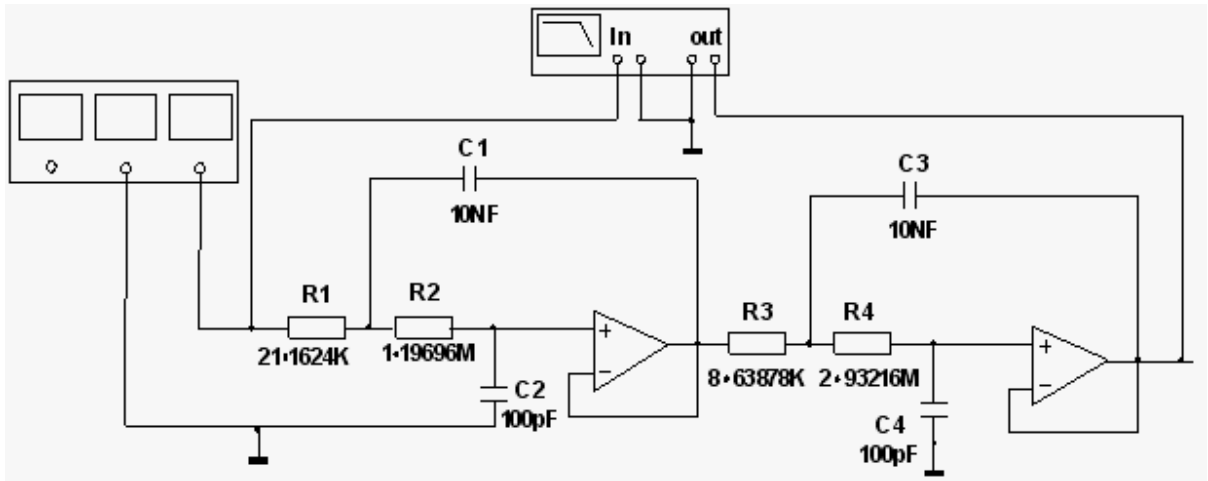


სურ. 1

- ბოდე-პლოტერის გამოყენებით გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი. ამისათვის “Instruments” მენიუდან ამოირჩიეთ ბოდე-პლოტერი (პიკოგრაფის მიხედვით). პლოტერის შესასვლელი (in) მიაერთეთ აქტიური ფილტრის შესასვლელთან (In), რომელთანაც ამავე დროს მიერთებულია ფუნქციური გენერატორის გამოსასვლელი. პლოტერის გამოსასვლელი (out) მიაერთეთ აქტიური ფილტრის გამოსასვლელთან;
  - სქემის შედგენის შემდეგ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის მისაღებად კურსორის ისარი დააყენეთ ბოდე-პლოტერის გრაფიკულ გამოსახულებაზე და ორჯერ დააჭირეთ თავის მარცხენა კლავიშზე.
  - ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებელზე მოხერხებული დაკვირვების უზრუნველსაყოფად განშლადობის ღერძებზე წინასწარ უნდა შეირჩეს მოდელირების დიაპაზონი ამპლიტუდის საწყისი (F) და საბოლოო (I) მნიშვნელობების მიხედვით და შემდეგ მოხდეს მოდელირების რეჟიმის ჩართვა;
  - ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის მიხედვით განსაზღვრეთ: 1) სიხშირეთა გაგარების ზოლის მდგრული სიხშირე (სიხშირე, რომლის დროსაც გადაცემის კოეფიციენტი 3 დბ-ის ტოლია); 2) სრული შეკავების სიხშირე და გადაცემის კოეფიციენტი დეციბელობით ამ სიხშირეზე; 3) ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის დახრილობა – დბ/დეკ-ობით სიხშირეთა ჩახშობის ზოლში.
- დაადგინეთ R და C ელემენტების პარამეტრების გავლენა წინა პუნქტში ჩამოთვლილ პარამეტრებზე. ამისათვის შეცვალეთ R1 და R2 წინააღობები (ნაცვლად პირველ

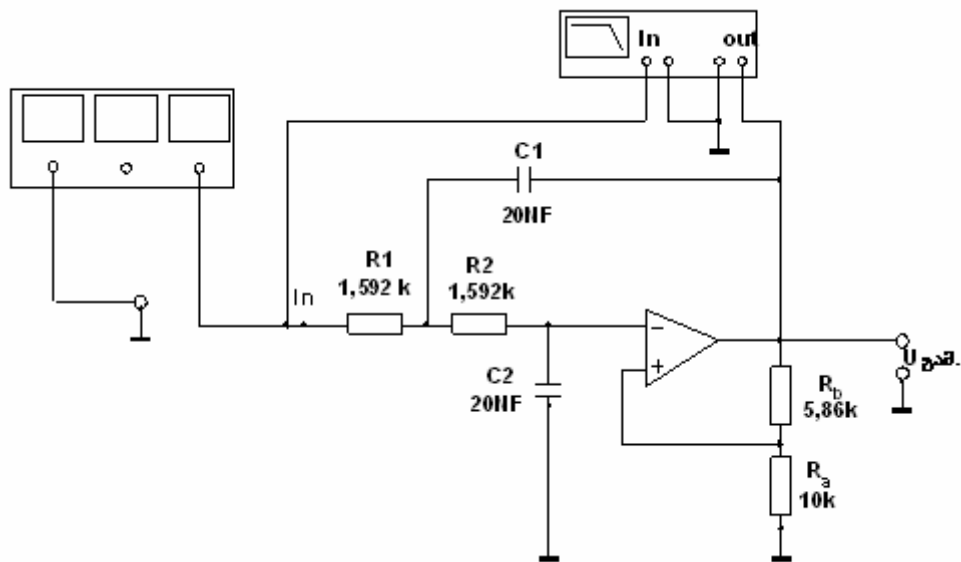
სურათზე ნაჩვენებია სიდიდეებისა აიღეთ:  $R1=21.16224k$ ;  $R2=1.19696MEG$ ) და გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი. განსაზღვრეთ წინა პუნქტში მითითებული სიდიდეები.

- შეადგინეთ მოდელი მე-2 სურათზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით (ორი ფილტრი კასკადურადაა შეერთებული) და გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი.



სურ. 2

- გაანალიზეთ მიღებული ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლები და შეადარეთ აქტიური ფილტრების ძირითადი მახასიათებელი სიდიდეები (სურ. 1 და სურ. 2)
- შეადგინეთ გოლკომპონენტებიანი და ბაგერუორტის მახასიათებლის მქონე სალენისა და კეის აქტიური ფილტრის მოდელი (სურ. 3)



სურ. 3

- ააგეთ ასეთი ფილტრის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი და განსაზღვრეთ გაგარების მღვრული სიხშირე და მახასიათებლის დახრილობა სიხშირეთა ჩახშობის მოლში;
- სალენისა და კეის ფილტრის გოლკომპონენტებიან სქემაში შეცვალეთ R და C პარამეტრები ისე, რომ ფილტრს აღმოაჩნდეს ჩებიშევის გადაცემის

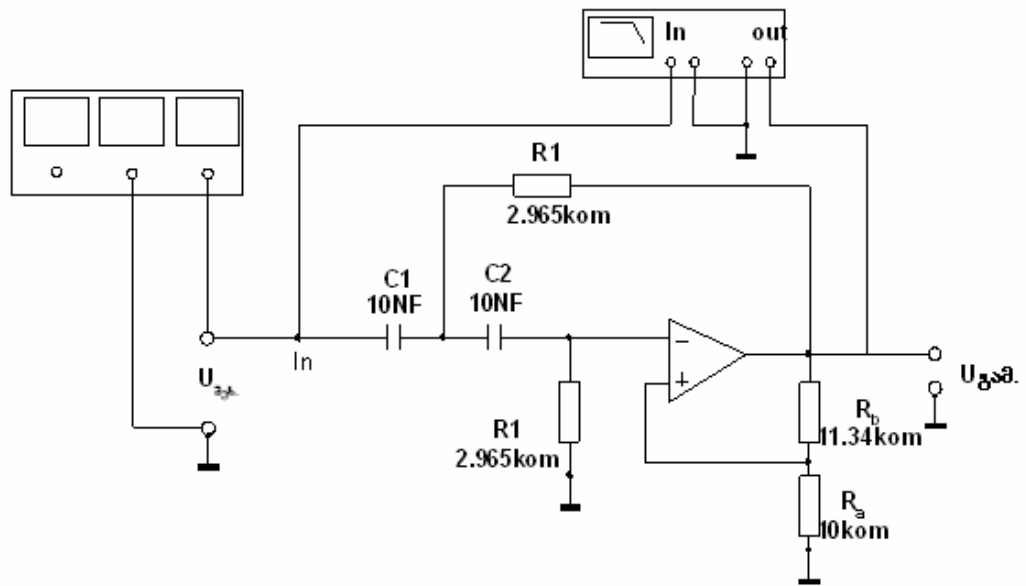
მახასიათებელი 1 დბ-ის გოლი უთანაბრობით. ამისათვის სქემაში ჩასვით  $R_1=R_2=R=1.941k\Omega$ ;  $C_1=C_2=C=20nF$ ;  $R_a=10k\Omega$ ;  $R_b=9.41k\Omega$ .

- ააგეთ ასეთი ფილტრის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი; განსაზღვრეთ გაგარების მოლის მღვრული სიხშირე და მახასიათებლის დახრილობა სიხშირეთა ჩახშობის უბანზე.

2. შეისწავლეთ მაღალი სიხშირის აქტიური ფილტრის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი  $K(\text{დბ})=F(f)$ .

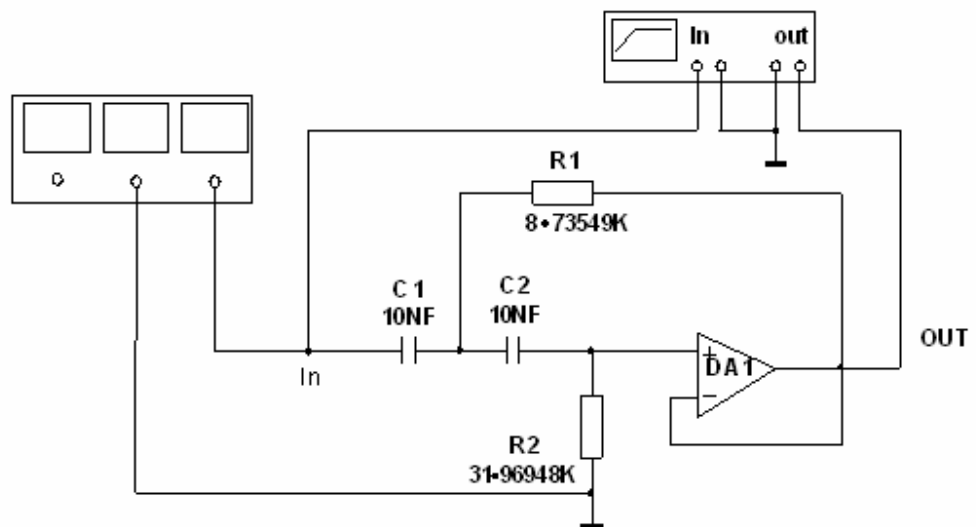
*სამუშაო შესრულებით შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- EWB პროგრამაში შეადგინეთ მაღალი სიხშირის ფილტრის მოდელი მე-3 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით.



სურ. 4

- ბოდე-პლოტერის გამოყენებით გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი დავალების 1 პუნქტში აღწერილი თანამიმდევრობით და ჩააგარეთ მიღებული მახასიათებლის ანალიზი დაბალი სიხშირის აქტიური ფილტრის მსგავსად.



სურ. 5

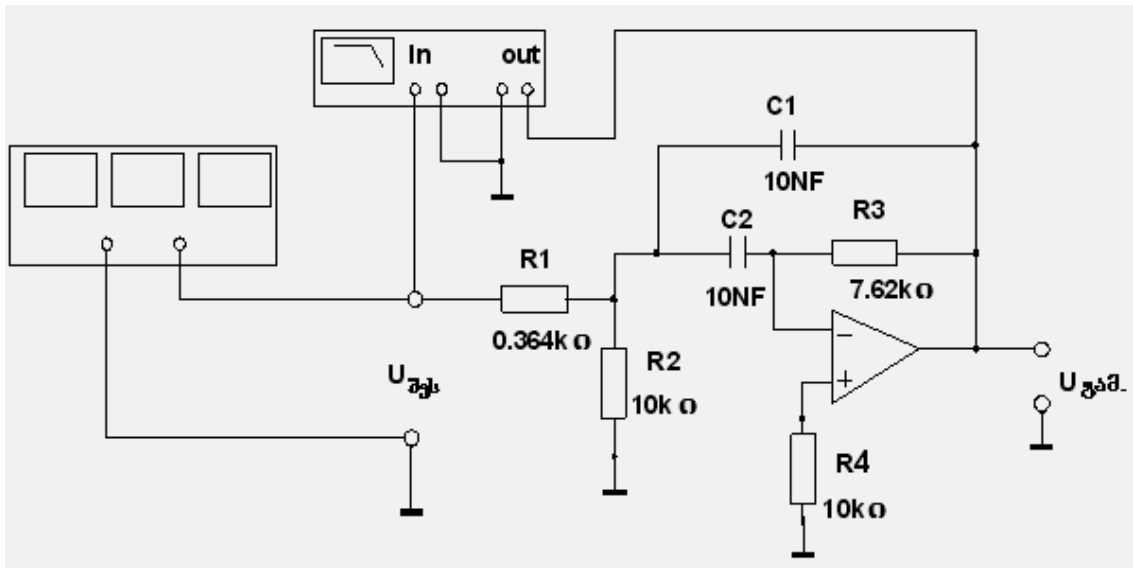
- EWB პროგრამაში შეადგინეთ გოლკომპონენტებიანი მაღალი სიხშირის აქტიური ფილტრის მოდელი ჩებიშევის მახასიათებლით, მე-5 სურათზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით. მახასიათებლის უთანაბრობა იყოს 2დბ-ის ტოლი. ამისათვის სქემაში ჩასვით  $C1=C2=C=10\text{NF}$ ;  $R1=R2=R=2.965\text{k}\Omega$ ;  $R_a=10\text{k}\Omega$ ;  $R_b=11.34\text{k}\Omega$  პარამეტრების მქონე კომპონენტები.
- ბოდე-პლოტერის გამოყენებით გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი. განსაზღვრეთ გატარების ბოლის მღვრული სიხშირე და მახასიათებლის დახრილობა სიხშირის ჩახშობის უბანზე.

3. შეისწავლეთ პარალელურკუკავშირიანი ფილტრის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი  $K(\text{დბ})=f(F)$ .

*სამუშაო შეასრულეთ შემდეგი თანამიმდევრობით:*

- EWB პროგრამაში შეადგინეთ პარალელურკუკავშირიანი ბოლოვანი აქტიური ფილტრის მოდელი (იხ. სქემა სურ. 6);
- EWB პროგრამაში არსებული ბოდე-პლოტერის გამოყენებით გადაიღეთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი;
- განსაზღვრეთ ქვედა  $F_{18}$  და  $F_{28}$  მღვრული სიხშირეები აგრეთვე  $F_0$  საშუალო ცენტრალური სიხშირე. შეამოწმეთ სრულდება თუ არა ცნობილი თეორიული გამოსახულება:

$$F_0 = \sqrt{F_{18}F_{28}}$$



სურ. 6

- განსაზღვრეთ ფილტრის ვარგისობა  $Q=F_0/(F_{28}-F_{18})$
- შეამოწმეთ  $R1$  და  $R3$  წინააღმდეგობების გავლენა ფილტრის ვარგისობაზე. ამ მიზნით  $R1$  და  $R3$ -ის სქემაზე მნიშვნელობები ცვალებით მცირე ფარგლებში და განსაზღვრეთ ვარგისობის შესაბამისი მნიშვნელობები.

## ლაბორატორიული სამუშაოს ანგარიში

სტუდენტი ადგენს შესრულებული ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოს სრულ ანგარიშს. ანგარიშში მოცემული უნდა იყოს:

- გასაანალიზებელი აქტიური ფილტრების პრინციპული სქემები;
- მიღებული ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლები და მათი ანალიზი;
- ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებლებზე ფილტრის ელემენტების პარამეტრების გავლენის აღწერა;
- ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების დაწვრილებითი შედარებითი ანალიზი.

## სარჩევი

შესავალი .....	2
ლაბორატორიული სამუშაო №1. ნახევარგამტარული დიოდის გამოკვლევა .....	3
ლაბორატორიული სამუშაო №2. ერთფაზა გამმართველის გამოკვლევა .....	5
ლაბორატორიული სამუშაო №3. ძაბვის სტაბილიზატორისა და ძაბვის დონის შემზღუდველის გამოკვლევა .....	8
ლაბორატორიული სამუშაო №4. გრანზისტორის მახასიათებლების შესწავლა .....	11
ლაბორატორიული სამუშაო №5. გირისტორის მოდელირება EWB პროგრამის მეშვეობით .....	15
ლაბორატორიული სამუშაო №6. მუდმივი და ცვლადი ძაბვის რეგულატორების გამოკვლევა .....	19
ლაბორატორიული სამუშაო №7 საერთო ემიტერით ჩართული კასკადის გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით .....	21
ლაბორატორიული სამუშაო №8. დიფერენციალური მაძლიერებელი კასკადის მოდელირება EWB პროგრამის გამოყენებით .....	24
ლაბორატორიული სამუშაო №9. ზოგადი გამოყენების ოპერაციული მაძლიერებლის (ომ) სქემოტექნიკური შესრულების შესწავლა EWB პროგრამის გამოყენებით .....	27
ლაბორატორიული სამუშაო №10. ოპერაციული სქემების გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით .....	30
ლაბორატორიული სამუშაო №11. ჰარმონიული რხევების გენერატორის გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით .....	35
ლაბორატორიული სამუშაო №12. ოპერაციულმაძლიერებლიანი ელექტრონული გენერატორის გამოკვლევა EWB პროგრამის გამოყენებით .....	38
ლაბორატორიული სამუშაო №13. აქტიური ფილტრის გამოკვლევა .....	41