

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნატალია კერესელიძე

მუდმივი დენის ელმავლის გაშვების იმიტაციური მოდელის
დამუშავება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“,
შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

4 ივლისი, 2015 წელი

საავტორო უფლება © 2015 წელი, ნატალია კერესელიძე

თბილისი
2015 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნატალია კერესელიძის მიერ შესრულებულ სადოქტორო ნაშრომს დასახელებით: „მუდმივი დენის ელმავლის გამვების იმიტაციური მოდელის დამუშავება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის საგამოცდო სადისერტაციო საბჭოზე მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი:

პროფ. კონსტანტინე წერეთელი

რეცენზენტი:

აკად. დოქტ. ჯემალ ბეჟანიშვილი

რეცენზენტი:

აკად. დოქტ. არჩილ ზერეკიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015

ავტორი: ნატალია კერესელიძე

დასახელება: „მუდმივი დენის ელმავლის გაშვების იმიტაციური მოდელის დამუშავება“

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 2015 წლის 4 ივლისი

ინდივიდუალური პროცნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს ინდივიდუალურ ელექტროპნევმატურ რეოსტატულ კონტაქტორებიანი მუდმივი დენის ელმავლის ელექტროამძრავის იმიტაციური მოდელების შექმნა, საფეხურეობრივი გაშვების თავისებურებათა გათვალისწინებით, რომლებმაც შესაძლებლობა მოგვცეს მოგვეხდინა იმ ელმავალთა უკვე არსებული გამშვი რეოსტატების შეფასება და სრულყოფა, რომლებსაც აწარმოებს თბილისის ელმავალმშენებელი ქარხანა.

მოცემულ ნაშრომში გამშვი რეოსტატების სქემები მოყვანილი არიან MATLAB - ის ვირტუალური მოდელების სახით, რომლებიც აღწერენ რეოსტატის ყველა საფეხურის სიდიდეებს და თითოეულ სექციაში დენების სიდიდეებს გაშვების ყველა საფეხურისათვის, ხოლო გვექნება რა მონაცემები სექციაში პარალელური ელემენტების რიცხვის შესახებ, ადვილად შეიძლება განისაზღვროს მათში დენების სიდიდეები.

$4E1$ და $4E10^2$ სერიის ლოკომოტივებზე მოძრაობის სიჩქარის რეგულირება ხორციელდება ისე, როგორც მუდმივი დენის ყველა ელმავალზე, რომელთაც აწარმოებს თბილისის ელმავალმშენებელი ქარხანა, ანუ ძაბვის სიდიდის ცვლილებით წევის ძრავების მომჭერებზე და მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით მათი ალგუნების გრაგნილებში, ხოლო გაშვებისათვის უმეტესწილად იყენებენ არაავტომატურ საფეხურეობრივ რეოსტატულ გაშვებას.

რეოსტატული გაშვების დანიშნულება მდგომარეობს გამშვი დენისა და გამშვი წევის მომენტის საჭირო მნიშვნელობათა შენარჩუნებაში ელექტროამძრავის გაქანების პროცესში, სიჩქარის მახასიათებლების სვლის საფეხურზე გასვლამდე. გამშვები წევის ძალები და დენები განისაზღვრება აჩქარებით განპირობებული ბორბლების რელსებთან მოჭიდების პირობებით და რეოსტატული გაშვების ხერხით. დენით ხანგრძლივი მოძრაობისათვის იყენებენ სვლის (ავტომატურ) მახასიათებლებს, რომლებიც მიიღებიან წევის ძრავათა სხვადასხვაგვარი შეერთებისას და ალგუნების რეგულირების სხვადასხვა კოეფიციენტებისას. რეოსტატული გაშვების მახასიათებლებისაგან განსხვავებით მას ეკონომიურ მახასიათებლებსაც უწოდებენ.

რეალურ ელმავალზე მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესებისა და კომპიუტერული მოდელის ლოკომოტივის ძალოვან ქსელში მიმდინარე იგივე პროცესების შესაბამისობის შესამოწმებლად, ჩატარდა გამოთვლები პოზიციების გამოყვანის რეალური გრაფიკების გამოყენებით. რეალური ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოსახულება ემთხვევა მოდელირების დროს მიღებულ პროცესებს. იმიტაციური მოდელის დახმარებით აპროქსიმაციის მეთოდით მიღებული დენისა და სიჩქარის მახასიათებლები ემთხვევიან ქარხნულ მახასიათებლებს. ეს ადასტურებს შექმნილი მოდელების ადეკვატურობას. პრაქტიკულად სრული დამთხვევა შეინიშნება დაძვრის მომენტში და მ-დან κ შეერთებაზე გადასვლისას. მოდელების საშუალებით მიღებულ დამოკიდებულებებში ჩანს, რომ რეოსტატულ პოზიციებზე დენის ავარდნები გაპირობებულნი არიან გამშვი რეოსტატის

აღკაზმულობის არასრულყოფილებით. ამიტომ დამუშავდა ახალი გამშვი რეოსტატი.

ახალი აღკაზმულობა ითვალისწინებს რეოსტატის ელემენტების რაოდენობის შემცირებას და აგრეთვე თითოეული ელემენტის მჭიდრო დატვირთვას.

ტემპერატურულ მიმართებაში სწორად დაპროექტებული ელექტრო ამძრავის გამშვი რეოსტატი ქმნის საუკეთესო ტექნოლოგიურ პირობებს წარმადობის ხარისხის მხრივ, ამარტივებს და ამსუბუქებს მექანიზმის მართვას და ამალღებს მის საიმედოობას. არსებობს აგრეთვე რიგი პირობებისა – ენერჯის მინიმალური კარგვა, ეკონომიურობა, კომპაქტურობა და სხვ., მაგრამ, ხარისხის ძირითად მაჩვენებლად მაინც ძრავის გადახურების გამორიცხვის უზრუნველყოფა რჩება.

გამშვ წინაღობათა გახურებაზე ტემპერატურული გამოთვლების შედეგების შედარებისას, რომელიც შესრულებულია გამშვი რეოსტატების არსებული და ახალი აღკაზმვის სქემებისათვის, შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები: ახალი სქემის ჯგუფში ტემპერატურათა სიდიდეები პრაქტიკულად ყველგან შემცირდა და ელემენტების დატვირთვა უფრო თანაბარი გახდა.

დამუშავდა გამშვი რეოსტატის მოდელის საერთო სტრუქტურა, მიმდევრობითი აღზნების მუდმივი დენის წვეის ძრავის მოდელის სქემა ძაბვის წყაროს ბაზაზე. 4E1 და 4E10² გამშვ რეოსტატთა მოდელები.

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა შესაძლებლობა მოგვცეს დაგვედგინა, რომ ახალი გამშვი რეოსტატის სექციათა გახურების ტემპერატურის გაფანტულობა შემცირდა და შემცირდა გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა არსებულ გამშვ რეოსტატთან შედარებით; დაგვედგინა ელექტრომაგნიტურ კონტაქტორთა ამოქმედების დროთა გაფანტულობის დასაშვები დიაპაზონი; შეგვექნა TII-2K წვეის ძრავის მოდელი, რომელიც ასახავს, არა მარტო დამყარებულ, არამედ გარდამავალ პროცესებსაც. დამუშავდა პროგრამული კომპლექსი 4E1 მუდმივი დენის ოთხდერძიანი ელმავლის ძალოვან ქსელში ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე დასაკვირვებლად.

ჩატარებული სამუშაოების მიხედვით შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

- დამუშავდა მუდმივი დენის ელმავლის ამძრავის მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამშვ წინაღობათა გამოყვანის საშუალებას იძლევა;
- შედარებითი თბური გამოთვლის საფუძველზე დადგინდა, რომ გამშვი რეოსტატის აღკაზმვის ახალი ვარიანტი უზრუნველყოფს სექციის ელემენტთა გახურების ტემპერატურების დიდ თანაზომიერებას არსებულთან შედარებით და გახურების მაქსიმალური ტემპერატურის დაწევას;
- დამუშავდა ძალოვანი ქსელის მოდელი ელექტროპნემატური კონტაქტორების ამოქმედების დროთა გაფანტულობის გათვალისწინებით, შესრულდა ამ პარამეტრის სტატისტიკური მოდელირება, განისაზღვრა შემთხვევითი დენებისა და ძაბვების სიდიდეების და მათი ხანგრძლივობათა მახასიათებლები.

Abstract

The main task of the dissertation work is the development of imitation models of constant current electric locomotive gear having the individual electrostatic rheostat contractors with allowance of peculiarities of gradual starting of rheostats of electric locomotives produced by Tbilisi Electric Locomotive Building Plant.

In the present work the circuits of starting rheostats are brought in the form of virtual models of MATLAB of reproduced sizes of all steps of the rheostat and current magnitude in each sections during of all starting steps. And having the data on the number of parallel elements in sections it is easy to define the magnitude of currents in them.

Regulation of speed of motion on the locomotives of the series 4E1 and 4E10² is realized in the same manner as on all electric locomotives of constant current, i.e. by means of changing of stress rate on the clamps of tracking engines and magnetic flux in their excitation coils, and for starting most of all it is used non-automatic stepped rheostat startup.

Function of the rheostat setup is to support the starting current and starting driving force in the process of electric movable locomotive till its withdrawal onto the motion step of the speed characteristics of driving engines. The starting driving forces and the current are defined by the terms of wheel-rail adhesion specified by speeding up (acceleration) and method of rheostat start. For long driving as a current there are used the running (automatic) characteristics obtained by various contacts of driving engines and various coefficients of regulation of excitation. These characteristics are called as well the economical ones in comparison to characteristics of rheostat start.

For checking the compliance of electromagnetic processes running on a real electric locomotive, with the similar processes running in computer model of power chain of a locomotive, the calculations have been fulfilled by means of using of real schedules of withdrawal of the positions. Type of real electromagnetic processes coincides with the processes obtained during the modeling. The current, velocity characteristics obtained by means of the simulation models, method of approximation coincide with those of factory ones. These witness to the adequacy of developed models. Practically the complete similarity is observed in the moment of breakaway (starting) and during the transit from S onto P. On the dependencies, received by means of models it is shown that the current steps (jumps of currents) on the rheostat positions are conditioned by the imperfection of arrangement of the starting rheostat. That is why a new starting rheostat has been developed.

A new arrangement envisages reducing of number of rheostat elements, as well a dense charging of each element.

The correctly designed starting rheostat of the electric drive in temperature relation creates the best technological conditions in terms of productivity quality and makes it easy, simple and reliable to control the mechanism. There is available as well a number of conditions – minimal loss of energy, cheapness, compactness, etc. but the main indicator of quality is still provision with impossibility of overheating.

While comparing the results of temperature calculations performed for available and new circuits of arrangement of starting rheostat on heating the starting resistors, it is possible to make the following conclusions: the values of the temperatures in the second case practically are everywhere considerably lowered, charging of elements by new circuit has become more uniform.

A general structure of the model of starting rheostat, a scheme of the model of driving engine of constant current with the serial excitation on the basis of voltage source (appeared in the model of starting rheostat) has been developed. 4E1 4E10² - the models of starting rheostats of the locomotive.

The carried out investigations have allowed us: to establish that the scattering of heating temperature of sections of the starting rheostat (SR) has reduced and the maximal heating temperature has been reduced in comparison to the available SR; to identify the admitted range of scattering of actuation times of electro pneumatic contactors; A model of driving engine TJI-2K has been created which reflects not only the established processes but the transient ones as well; A bundled software has been developed for observation of electromagnetic processes in the force chain of constant current eight-wheel locomotive 4E1.

The following conclusions can be done on carried out works:

- A mathematical model of constant current driving locomotive 4E1 has been developed allowing to imitate the withdrawal of starting resistors;
- On the basis of relative heating calculation it is established that the new version of arrangement of starting rheostat provides with great uniformity of heating temperature of sections in comparison to those of existing ones and lowering of maximal heating temperature;
- A model of a power circuit has been developed with allowance of scattering of actuation time of electro pneumatic contacts, a statistical modeling of this parameter is performed, the characteristics of random magnitudes of currents and voltages and their durations have been defined.

შინაარსი

შესავალი	13
თავი I. ელექტრომაგნიტური პროცესების სიმდოვრის გამოკვლევა ელ- მავლის გაქანებისას, გამშვებ რეოსტატთა სხვადასხვა ვარიანტებით.....	19
1.1. ზოგადი ცნობები გამოსაკვლევ ობიექტის შესახებ	19
1.2. ზოგიერთი ცნობა $4E10^{\circ}$ ელმავლის შესახებ	24
1.3. ელმავალ $4E10^{\circ}$ -ის არსებული გამშვი რეოსტატის თავისებურებათა განხილვა.....	37
1.4. $TJ-2K$ წვეის ელექტროძრავის საიმიტაციო მოდელის შექმნა და გამოყენება.....	40
1.5 ზოგიერთი ცნობა $4E1$ ელმავლის შესახებ	46
თავი II. წვეის ძრავების გამშვი რეოსტატების თბური რეჟიმების გამოკვლევა	65
თავი III. კონტაქტორთა მიწებების პროცესის გამოკვლევა. ამოქმედების დროის გაზომვის გავლენა ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე.....	91
თავი IV. ძალოვანი სქემის მოდელის დამუშავება	99
შედეგები და მათი განსჯა.....	109
დასკვნები:.....	110
გამოყენებული ლიტერატურა:.....	112

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.1. ელმავალ $4E10^2$ გამშვი რეოსტატის სექციების პარამეტრები...	29
ცხრილი 1.2. გამშვი რეოსტატის საფეხურთა წინაღობები.....	30
ცხრილი 1.3. გამშვი კონტაქტორების ჩართვა თანამიმდევრობა	39
ცხრილი 1.4.....	45
ცხრილი 1.5. ელმავალ $4E1$ გამშვები რეოსტატის სექციათა პარამეტრები....	49
ცხრილი 1.6. ელმავალ $4E1$ -ის გამშვები პოზიციების რეზისტორთა სიდიდეები და რეოსტატის კონტაქტორთა ჩართვის თანამიმდევრობა.....	49
ცხრილი 2.1. $4E10^2$ -ის დაძვრისა და გაქანების დროს დენების განაწილება რეზისტორთა სექციის ელემენტების მიხედვით.....	74
ცხრილი 2.2. დენების განაწილება რეზისტორთა სექციის ელემენტების მიხედვით ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის.....	80
ცხრილი 2.3. ექსპერიმენტული გამშვი რეოსტატის შესაძლებლობათა.....	81
ცხრილი 2.4. ოთხღერძიანი ელმავლის ექსპერიმენტული რეოსტატის გამშვი პოზიციების რეზისტორთა სიდიდეები და კონტაქტორების ჩართვის თანამიმდევრობა	82
ცხრილი 2.5. გამშვი წინაღობების გახურების ტემპერატურა არსებული რეოსტატისათვის.....	83
ცხრილი 2.6. გამშვი წინაღობების გახურების ტემპერატურა ექსპერიმენტალური გამშვი რეოსტატისათვის	85
ცხრილი 3.1. \bar{x} და S_x მნიშვნელობები გამოკვლეული შემთხვევითი სიდიდეებისათვის წევის ელექტროძრავების შესაბამის შეერთებებზე	96
ცხრილი 3.2. დენის იმპულსების, ძაბვისა და მათი ხანგრძლივობების მაქსიმალურად შესაძლებელი სიდიდეები.....	96
ცხრილი 3.3. \bar{x} და S_x მნიშვნელობები გამოკვლეული შემთხვევითი სიდიდეებისათვის წევის ელექტროძრავების შესაბამის შეერთებებზე	97
ცხრილი 3.4. დენის იმპულსების, ძაბვისა და მათი ხანგრძლივობების მაქსიმალურად შესაძლებელი სიდიდეები.....	97

ნახაზების ნუსხა

ნახ 1.1. ელმავლის დენური მახასიათებლები 4E10 ⁰	27
ნახ. 1.2. KΦM რეზისტორების ყუთი.....	28
ნახ. 1.3 ელმავალ 4E10 ⁰ -ს გამშვ რეზისტორთა წინააღობები პოზიციების მიხედვით	36
ნახ.1.4 ელმავალ 4E10 ⁰ არსებული გამშვი რეოსტატის სქემა.....	37
ნახ.1.5 სიჩქარის განსაზღვრის მოდელი.....	41
ნახ. 1.6. 4 E10 ⁰ ელმავლის სიჩქარის მახასიათებლები	43
ნახ.1.7. TJI-2K-ს დამაგნიტების მრუდი	44
ნახ.1.8 „პ“ რეჟიმში ელმავალ 4E1-ის მოდელი.....	46
ნახ 1.9 TJI-3 წვეის ძრავებიანი ელმავალ 4E1-ის სიჩქარის მახასიათებლები, როცა D=1200 მმ.....	50
ნახ. 1.10. ელმავალ 4E1 დენური მახასიათებლები.....	51
ნახ. 1.11. ელმავალ 4E1 გამშვები რეოსტატის სქემა.....	52
ნახ.1.12. ელმავალ 4E1 გამშვი რეოსტატის კონტაქტორთა ჩართვის ცხრ	53
ნახ.1.13. ელმავალ 4E1-ს გამშვ რეზისტორთა წინააღობები პოზიციების მიხედვით	58
ნახ.1.14 გამშვი რეოსტატის მოდელის საერთო სტრუქტურა (სექციებში დენების განსაზღვრისათვის).....	59
ნახ. 1.15 მონაცემთა ფორმირების მოდელის სქემა, გამშვი რეოსტატის მოდელისათვის	59
ნახ. 1.16. მიმდევრობითი აღვზნების მუდმივი დენის წვეის ძრავის მოდელის სქემა ძაბვის წყაროს ბაზაზე (გამოყენებული გამშვი რეოსტატის მოდელში).....	60
ნახ.1.17. ელმავალ 4E1- ის გამშვი რეოსტატის მოდელი	60
ნახ.1.18. «მ» რეჟიმში გამშვი რეოსტატის ყოველ საფეხურზე ელმავალ 4E1-ის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრის მოდელი.....	61
ნახ.1.19. ელმავალ 4E10 ⁰ ის გამშვი რეოსტატის მოდელი.....	61
ნახ. 1.20 გამშვი რეოსტატის მოდელის მონაცემთა ფორმირების მოდელის სქემა პარამეტრების შესაყვანი თავისი მუშა ფანჯრებით	62
ნახ. 1.21 საიმიტაციო მოდელების პარამეტრების შესაყვანი მუშა ფანჯ.	63
ნახ.1.22 სიჩქარის გაზრდის გრაფიკი ელმავალ 4E10-თვის.....	63
ნახ.1.23 TJI-2K-ს დამაგნიტების მრუდი	64

ნახ.2.1 დენების სავარაუდო სიდიდეები ერთ-ერთ ელემენტში.....	69
ნახ.2.2 ექსპერიმენტის დროს მოდელის მუშა ფანჯრები.....	75
ნახ.2.3 აქ დარეგისტრირებული არის დენები ყველა 10 სექციაში.....	76
ნახ.2.4 ექსპერიმენტულ გამშვებ რეზისტორთა წინაღობები პოზიციების მიხედვით	79
ნახ. 2.5 ექსპერამენტული გამშვი რეოსტატის სექციათა პარამეტრები.....	82
ნახ. 2.6 სექციის პირველი ჯგუფის გამშვ წინაღობათა გახურების მრუდები ა)არსებული რეოსტატისათვის, ბ) ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის.	87
ნახ. 2.7 სექციის მეორე ჯგუფის გამშვ წინაღობათა გახურების მრუდები ა)არსებული რეოსტატისათვის,ბ)ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის...	88
ნახ. 2.8 სექციის მესამე ჯგუფის გამშვ წინაღობათა გახურების მრუდები ა)არსებული რეოსტატისათვის, ბ)ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის..	89
ნახ. 2.9 გახურების საშუალო მნიშვნელობები 2 გამშვი რეოსტატისათვის t II -არსებული რეოსტატისათვის, t I-ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის .	90
ნახ.3.1. გაშვების იმიტაციური მოდელი.....	91
ნახ.3.2 გაშვების მოდელის მუშა ფანჯარა	92
ნახ.3.3. ელმავალ 4E10 ⁰ ის გამშვი რეოსტატის მოდელი გაშვების ექსპერიმენტისათვის.....	93
ნახ. 4.1 წვევის ძრავის ჩართვის სქემა წვევის რეჟიმის დროს.....	101
ნახ. 4.2 ელმავლის ძალოვანი ქსელის მოდელი	104
ნახ.4.3. იმიტაციური მოდელის საშუალებით მიღებული დამოკიდებულებები	105
ნახ.4.4 ინდუქტიურობები	106
ნახ.4.5 მ.ქ.კ. ნახოდკინის მიხედვით.....	106
ნახ. 4.6. მ.ქ.კ. გიორგაძის მიხედვით	107
ნახ. 4.7. კბილანური გადაცემის მ.ქ.კ.....	107
ნახ. 4.8. სრული სიმძლავრის მ.ქ.კ.....	108

მადლიერება

მადლობას ვუხდით ჩემს სამეცნიერო ხელმძღვანელს, პროფესორს კონსტანტინე წერეთელს, დისერტაციაზე მუშაობის პერიოდში გაწეული სამეცნიერო და პედაგოგიური შრომისათვის.

შესავალი

2000 წელს, თბილისის ელმავალმშენებელი ქარხნის მიერ 4E1 და 4E10² მუდმივი დენის ოთხღერძიანი ელმავლების შექმნის პროცესში გამოიყენებოდა კვანძები და აგრეგატები, რომელსაც აღნიშნული ქარხანა აწარმოებდა რვაღერძიანი BJI სერიის ელმავლებისათვის. მან ქარხანას საშუალება მისცა მაქსიმალურად მოკლე დროში მოემარაგებინა საქართველოს რესპუბლიკის რკინიგზა სამგზავრო ელმავლებით. ამავდროულად მუდმივი დენის ოთხღერძიან 4E1, ხოლო შედგომში 4E10² ელმავლების შექმნისას პრიორიტეტი ენიჭებოდა ელექტროენერჯის ეკონომიის პროცესს და არა გადაადგილების სიჩქარის გაზრდას.

ხელახლა შექმნილი ოთხღერძიანი ელმავალი, 4E1 გამოშვებულია ორ ეგზემპლარად. მასზე დამონტაჟებულია T13 ტიპის წვეის ძრავები. აღნიშნული ელმავლის კონსტრუქციამ თავის თავში აითვისა ყველა ის ექსპერიმენტალური გადაწყვეტილება, რომლებმაც გამართლება ჰპოვეს აღნიშნული ქარხნის მიერ ადრე გამოშვებული ელმავლებში. ასე, მაგ., გამოყენებულია შედეგი ელემენტები:

- საზიდაო დამრეცი წვევებით;
- გაერთიანებული ძალოვანი ელექტრომანქანური კონტაქტორები;
- ველის შესუსტების რეგულირების გამართივებული სქემა კონტაქტორთა რიცხვის შემცირებით;
- რეზისტორულ-დიოდური დამცავი ქსელები, რელე-კოჭებისა და კონტაქტორების გადატვირთვებისაგან დამცავი შუნტირება.
- წვეის ძრავებისა და დამხმარე მანქანების განცალკევებული დაცვა და ა.შ.

ამავე დროს ელმავალზე გამოყენებულ იქნა ზოგიერთი კონსტრუქციული და სქემური სიახლე:

- ოთხღერძიან ელმავალს პირველად დაუყენეს ორი მაღალი ძაბვის კამერა, რომელთა შორის მოთავსებულია ელმავლის ყველა დამხმარე ელექტრული მანქანა.

- გამოყენებული არის ПК-3,5 ტიპის უფრო დახვეწილი და უფრო სწრაფი კომპრესორები, რომლებსაც ამძრავად ემსახურებიან მათთვის შექმნილი TL-121 ტიპის მუდმივი დენის ძრავები.
- დაპროექტებული და შექმნილი ძრავი-სავენტილაციო აგრეგატი, C12-40 ტიპის ცენტრიდანული ვენტილატორით და TL-120 ტიპის ძრავით.
- ელმავლის სქემა საშუალებას იძლევა ნებისმიერი ერთ-ერთი წევის ძრავის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში გამოიყენოს სამი დანარჩენი;
- ძრავ-ვენტილატორთა გადართვა ერთი შეერთებიდან მეორეზე ხდება მათი ქსელიდან გამორთვის გარეშე სავენტილო დახმარებით.
- მართვის ქსელების კვება და აკუმულატორთა ბატარეების დამუხტვა ხორციელდება ახლად შექმნილი კომპაქტური მარიგულირებელი მოწყობილობით, რომელიც იყენებს ციფრულ ელემენტებს.
- მემანქანის კაბინაში წევის ძრავის ღუზის დენისა და ქსელის ძაბვის გასაზომად გამოიყენება დაბალვოლტიანი მოწყობილობები (ანუ კაბინაში მაღალი ძაბვა არ შედის).
- გაზრდილია კაბინის ზომა (სერია BII-თან შედარებით) და გაუმჯობესებულია ხედვის არე რაც მთლიანი საქარე მინის მონტაჟის დამსახურებას წარმოადგენს.

ელმავლების ელექტრომობილარების 70%-ზე მეტი მოდის ელექტრო-ამძრავებზე. აქედან გამომდინარეობს თუ რა მნიშვნელოვანი შედეგი შეიძლება მივიღოთ ელექტროამძრავის წრედის შემადგენელი სხვადასხვა ელემენტების გაუმჯობესებით. ამა თუ იმ წევის ელექტროამძრავის ნაკლოვანებებისა და უპირატესობების შესაფასებლად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს მათი მაჩვენებლებისა და მახასიათებლების შემუშავებასა და დასაბუთებას. ეს შეიძლება მიღწეულ იქნეს მათემატიკური მოდელირების თანამედროვე მეთოდების საშუალებით.

კოლექტორულძრავებიანი მუდმივი დენის ელმავლების წევის ელექტროძრავებში განსაკუთრებით ფართო გამოყენება ჰპოვა ადგუნების

გრაგნილის მიმდევრობითმა შეერთებამ ღუზის წრედთან. ღუზის ბრუნვის სიხშირის რეგულირება ხდება ღუზაზე მოდებული ძაბვის ცვლილებით ნულიდან ნომინალურამდე, ხოლო გამოყენებულ მოძრაობის სიჩქარეთა დიაპაზონის გაფართოვება ხდება ალგორითმის მაგნიტური ველის საფეხურობრივი შესუსტების გზით. ამასთანავე წყდება მთელი რიგი საკითხებისა წვევის ძრავის მუშაობის მდგრადობასთან დაკავშირებით, სახელდობრ: ღუზის გრაგნილის დიდი ინდუქტიურობა ალგორითმის გრაგნილთან ერთად ასუსტებს დენის ავარდნებს საკონტაქტო ქსელის ძაბვის მკვეთრი ცვლილებისას. ალგორითმის გრაგნილის ჩართვა ღუზის ქსელში წარმოშობს დენით ძლიერ უარყოფით უკუკავშირს, რაც აადვილებს ძრავის მიერ განვითარებული მომენტის მართვის ამოცანას და ასტაბილურებს მართვის პროცესს.

4E1 და 4E10² სერიის ლოკომოტივებზე მოძრაობის სიჩქარის რეგულირება ხორციელდება ისე, როგორც მუდმივი დენის ყველა ელმავალზე, ანუ ძაბვის სიდიდის ცვლილებით წვევის ძრავების მომჭერებზე და მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით მათი ალგორითმის გრაგნილებში.

ელმავლებზე, სადაც მემანქანე გამშვებ რეჟიმს ცვლის ფართო დიაპაზონებში, (რაც დამოკიდებულია მატარებლის წონაზე, გზის პროფილზე, მოჭიდების პირობებზე, მოძრაობის საჭირო სიჩქარეზე), უმეტესწილად იყენებს არაავტომატურ საფეხურობრივ რეოსტატულ გამშვებას.

ელმავლის გამშვებისა და მართვის რეოსტატულ-კონტაქტორული სისტემა, რომელიც თავისი საიმედოობითა და სიმარტივით დღესდღეობით ტოლს არ უდებს უფრო ეკონომიურ და პერსპექტიულ იმპულსური რეგულირების სისტემას, მათ შორის ამ ელმავალზეც იქნა გამოყენებული, მაგრამ საბოლოოდ რვაღერძიან ელმავალთა გამშვი რეოსტატების ოთხღერძიან ელმავლებზე გამოყენება შეუძლებელი გახდა მიუხედავად იმისა, რომ გამოიყენებოდა ერთი და იგივე ТЛ-2К ტიპის ძრავები. ამისათვის ცალკე შემუშავდა გამშვები რეოსტატის ვარიანტი ოთხღერძიანი ელმავლისათვის.

ტემპერატურულ მიმართებაში სწორად დაპროექტებული ელექტრო ამძრავის გამშვები რეოსტატი ქმნის საუკეთესო ტექნოლოგიურ პირობებს წარმადობის ხარისხის მხრივ, ამარტივებს და ამსუბუქებს მექანიზმის მართვას და ამადლებს მის საიმედოობას. არსებობს აგრეთვე რიგი პირობებისა – ენერჯის მინიმალური კარგვა, ეკონომიურობა, კომპაქტურობა და სხვ., მაგრამ ხარისხის ძირითად მაჩვენებლად მაინც გადახურების გამორიცხვის უზრუნველყოფა გვეჩვენება.

ელექტროამძრავის დასაპროექტებლად საჭიროა ვიცოდეთ ამძრავის შემადგენელ ელემენტთა მექანიზმების, ძრავების, აპარატურის, წინაღობების ტექნოლოგიური პროცესები.

წინაღობის როლი, როგორც ამძრავის შემადგენელი ელემენტისა დიდია. მართლაც, გაშვების, გაჩერების რეჟიმები და სიჩქარის რეგულირება მნიშვნელოვანწილად განისაზღვრება წინაღობათა საშუალებით. ელექტროწევაში წევის ელექტროძრავები დროის მნიშვნელოვან ნაწილს ანდომებენ ხელოვნურ მახასიათებლებზე მუშაობას – ასეთ შემთხვევებში წინაღობათა როლი, მათი სწორი შერჩევა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია.

$4E1$ და $4E10^2$ ოთხღერძიან ელმავალთა აგების წლებში არ იყო შესაძლებლობა მათი მრავალმხრივი და ძვირადღირებული ნატურალური გამოცდებით შესწავლისა და გამართვისა. არ შესრულებულა მათი წინასწარი სამოდულო გამოცდები, თემქ-ის თანამშრომლები გასული საუკუნის სამოცდაათიან წლებში იღებდნენ მონაწილეობას ელმავლის სამოდულო გამოცდებში, მაგრამ ამ მიმართულების გამოკვლევებმა შემდგომი განვითარება ქარხანაში ვერ მიიღეს [1].

ამ ნაშრომში შესრულებულ გამოკვლევებს შეუძლიათ ნაწილობრივ მაინც შეავსონ არასრულყოფილი წარმოდგენა, მაგ., გამშვი რეოსტატის ეკონომიურობაზე.

მოდელირება წარმოადგენს კვლევის ერთერთ ყველაზე საიმედო მეთოდს, როგორც მარტივი ისევე რთული ტექნიკური სისტემებისათვის. მოდელსა და ობიექტს შორის არსებობს კავშირი: მოდელი თავის

საფუძველში ასახავს ობიექტის რეალობას და საშუალებას გვაძლევს გარკვეულ საზღვრებში ჭეშმარიტებასთან ახლოს მოვახდინოთ ობიექტის თვისებათა იმიტაცია.

რეოსტატული გაშვების დანიშნულება მდგომარეობს გამშვი დენისა და გამშვი წევის მომენტის საჭირო მნიშვნელობათა შენარჩუნებაში, ელექტროამძრავის გაქანების პროცესში, სიჩქარის მახასიათებლების სავალის საფეხურზე გასვლამდე. გამშვები წევის ძალები და დენები განისაზღვრება, აჩქარებით განპირობებული, ბორბლების რელსებთან მოჭიდების პირობებით და რეოსტატული გაშვების ხერხით. დენით ხანგრძლივი მოძრაობისათვის იყენებენ სვლის (ავტომატურ) მახასიათებლებს, რომლებიც მიიღებიან წევის ძრავათა სხვადასხვაგვარი შეერთებისას და აღზნების რეგულირების სხვადასხვა კოეფიციენტების დროს. რეოსტატული გაშვების მახასიათებლებისაგან განსხვავებით ამ მახასიათებლებს ეკონომიურ მახასიათებლებსაც უწოდებენ.

რეოსტატული გაშვების ინდივიდუალურ ელექტროპნევმატურ კონტაქტორებიანი მუდმივი დენის ოთხღერძიან ელმავალთა საიმიტაციო მოდელის შესაქმნელად გამოყენებულია პაკეტი MATLAB და მისი დანართი Power System და Simulink . Simulink დინამიური სისტემების მოდელირების, იმიტაციისა და ანალიზის ინტერაქტიული ინსტრუმენტია, ის საშუალებას იძლევა ავაგოთ გრაფიკული ბლოკ-დიაგრამები, მოვახდინოთ დინამიურ სისტემათა იმიტაცია, გამოვიკვლიოთ სისტემათა ქმედითუნარიანობა და მოვახდინოთ პროექტების სრულყოფა [48],[49],[50],[52] .

პაკეტი Matlab-ის დასახელება მომდინარეობს სიტყვათა სინთეზიდან Matrix და Laboratoru, ის ორიენტირებულია მოცემულობათა მასივის დამუშავებაზე (მატრიცა და ვექტორი). დღეისათვის Matlab წარმოადგენს ფუნქციათა უმდიდრეს ბიბლიოთეკას (800-ზე მეტი). პაკეტთან მუშაობის გასაადვილებლად, მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა დარგის სპეციალისტების მიერ, ფუნქციის მთელი ბიბლიოთეკა დაყოფილია

განყოფილებებად. მათ შორის ისინი, რომლებიც არიან საერთო თვისებების მატარებლები, შედიან ბირთვის შემადგენლობაში, ხოლო ის ფუნქციები, რომლებიც სპეციფიკურები არიან კონკრეტული დარგისათვის, ჩართულნი არიან გაფართოვების (Toolboxes, Blocksets) პაკეტის შემადგენლობაში.

Simulink წარმოადგენს Matlab-ის დანართს. Simulink-ის გამოყენებით მოდელირებისას, ხდება ვიზუალური პროგრამირების პრინციპის რეალიზება. შესაბამისად მომხმარებელი სტანდარტული ბლოკებიდან ეკრანზე ქმნის მოწყობილობის მოდელს და აწარმოებს გამოთვლებს.[32],[33],[38].

Simulink მთლიანად ინტეგრირებულია Matlab-თან, უზრუნველყოფს რა მყისიერ კავშირს ანალიზისა და პროექტირების ინსტრუმენტთა ფართო სპექტრთან [31],[45],[46],[47],[51].

ბოლო ათწლეულის განმავლობაში MATLAB და MathCAD პაკეტებით სარგებლობს ლოკომოტივის მუშაობის კვლევებთან დაკავშირებული ყველა სერიოზული კვლევითი ცენტრი. კერძოდ, შეგვიძლია ავღნიშნოთ პროფ. ა.ნ. სავოსკინის ჯგუფი „გზებისა და მიმოსვლის მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტიდან“ (МИИТ), რომელიც ფართოდ იყენებს MATLAB- ის პაკეტს თავის გამოკვლევებში [13],[14],[15],[16].

„სრულიად რუსეთის ელმავალმშენებლობის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში“ (ВЭЛНИИ) შექმნილია მოდელი, რომელიც იყენებს OrCAD მოდელირების სისტემას. მოდელი შესრულებულია დამოუკიდებელ აღგზნებიანი წვევის ელექტროძრავების მქონე ოთხღერძიანი სექციისათვის [17].

„სრულიად რუსეთის სარკინიგზო ტრანსპორტის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში“ (ВНИИЖТ) ერთ-ერთ ნაშრომში გამოყენებულია, მაგ., MathCAD-ის პროგრამული პაკეტი [18].

თავი I. ელექტრომაგნიტური პროცესების სიმდოვრის გამოკვლევა ელმავლის გაქანებისას, გამშვებ რეოსტატთა სხვადასხვა ვარიანტებით

1.1. ზოგადი ცნობები გამოსაკვლევ ობიექტის შესახებ

წევის ძრავის გამშვი დენის შესაზღუდად მის წრედში შეჰყავთ დამატებითი ომური (აქტიური) წინაღობა, რომელიც მნიშვნელოვნად ზრდის წრედის საერთო წინაღობას. გამშვი რეოსტატი გამოიყენება აგრეთვე მიმდევრობითი სვლის მახასიათებლებიდან პარალელური სვლის მახასიათებლებზე გადაყვანის შემთხვევაში, როცა წევის ოთხივე ელექტროძრავი (წ.ე.ძ.) მიმდევრობით არიან შეერთებულნი და გადაგყავს სქემაზე, როდესაც ორი მიმდევრობით შეერთებული წ.ე.ძ. პარალელურადაა შეერთებული ასევე მიმდევრობით შეერთებულ დანარჩენ ორ წ.ე.ძ.-თან (ორი წ.ე.ძ. ყოველთვის მიმდევრობით უნდა იყოს ჩართული რადგანაც თითოეული მათგანის იზოლაცია გათვლილია 1500 ვოლტზე, ხოლო მკვებავი ქსელი ნომინალური ძაბვა შეადგენს 3000 ვოლტს). ამრიგად ოთხდერძიანი ელმავლებისათვის, გარდა მიმდევრობითი ჩართვისა, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ძრავების მხოლოდ ერთი დამატებითი დაჯგუფება.

ელმავლის ადგილიდან დაძვრის მომენტში, ყველა წევის ძრავთა ე.მ.ძ. ნულის ტოლია და მათ გრაგნილებში დენები დამოკიდებული არიან მხოლოდ მოდებულ ძაბვებზე და ძალური წრედის წინააღობებზე. $V=0$ სიჩქარის დროს წევის ელექტროძრავას აქვს მაქსიმალური დენი, ამ დროს მოჭიდების მაქსიმალური კოეფიციენტი არ უნდა აღემატებოდეს წევის ძრავის კომუტაციის დენის მაქსიმალურ ზღვრულ მნიშვნელობას რომელიც მიღებულია $1.51 I_{სთ}$ [2] ტოლად.

გამშვი რეოსტატის რამოდენიმე პირველ პოზიციაზე წევის ძრავის ღუზა პრაქტიკულად არ ბრუნავს და ამიტომ ელმავლის დენი განისაზღვრება ფორმულით:

$$I_{საერ} = U_{ქსელ} / (R_i + 4 \sum r_{ძრავ}) \quad (1.1)$$

სადაც: $U_{ქსელ}$ - ქსელის ძაბვა; $\sum r_{ძრავ}$ - ძრავის ყველა გრაგნილის წინაღობა; R_i - გამშვები რეოსტატის წინაღობა.

მასთან R_i -ს გააჩნია თავისი სიდიდე თითოეული პოზიციისათვის. მატარებლის გაქანების პროცესში წევის ელექტროძრავი იწყებს ბრუნვას და წარმოიქმნება ე.მ.ძ., რომელსაც აქვს მოდებული ძაბვის შემხვედრი მიმართულება. ამიტომ ძალური ქსელის უცვლელი ძაბვისა და წინაღობის პირობებში ელექტროძრავების დენი სიჩქარის ზრდასთან ერთად მცირდება. ეს დამოკიდებულება გამოისახება ფორმულით:

$$V_r = [U_{ძრავ} - I_{ძრავ} (r_a + r_f + R)] / C_v \Phi \quad (1.2)$$

სადაც: $U_{ძრავ}$ - ძაბვა ძრავის მომჭერებზე; V_r - ელმავლის სიჩქარე გამშვები რეოსტატის გამოყენებისას; $I_{ძრავ}$ - ძრავის დენი სრული აგზნების დროს; Φ - მაგნიტური ნაკადი; C_v - მუდმივი სიდიდე.

მატარებლის გაქანება გრძელდება ე. წ. გამშ სიჩქარემდე $V_{გამშ}$, რომლის დროსაც ძრავის მუშაობა გადადის ბუნებრივ (სვლის) მახასიათებელზე.

გამშვები რეოსტატის შეერთების სქემის დაპროექტების დროს რეზისტორის ელემენტებისა და გამშვი კონტაქტორების რაც შეიძლება ნაკლები რაოდენობით გამოყენების მიზნით, გაშვების საფეხურების გარკვეული რაოდენობის დროს ცდილობენ შეასრულონ შემდეგი პირობები:

- გაშვების თითოეულ პოზიციაზე რეზისტორების თანაბარი გახურებისათვის მათზე თანაბარი დენური დატვირთვის შეძლებისდაგვარად უზრუნველყოფა, რეზისტორების საფეხურების გადართვა დენის გაწყვეტის გარეშე.
- სქემაში ორი არათანაბარწინაღობიანი რეზისტორთა ჯგუფის გამოყენება. მათი თავიდან მიმდევრობით ხოლო შემდეგ პარალელური შეერთებით. ამასთან საფეხურიდან საფეხურზე გადართვა განხორციელდეს მხოლოდ ერთ-ერთ ჯგუფში მაშინ, როდესაც მეორე ჯგუფში წინაღობა უცვლელი რჩება (ამით მიიღწევა გამშვი დენის

რხევების შემცირება ორი კონტაქტორის არაერთდროული ამუშავების ფონზე, ერთი პოზიციიდან მეორეზე გადასვლის დროს).

- გათვალისწინებულ იქნეს, რომ ელმავლის დენის 40-60%-იანი საათობრივი რეჟიმის დროს შესაძლებელი იყოს ხანგრძლივი მოძრაობა რეოსტატის ნებისმიერ საფეხურზე.
- უზრუნველყოფილ იქნეს ჩართული წინაღობებით მოძრაობა საანგარიშო დენით წვევის ძრავების ხანგრძლივი მუშაობის პირობებში (საანგარიშო აღმართზე მოძრაობისას). ელემენტები უნდა შემოწმდეს გახურებაზე ორი-სამი რეოსტატული პოზიციისათვის, რომელიც წინ უსწრებს ურეოსტატო მოძრაობის თითოეულ რეჟიმს ავტომატური მრუდის მიხედვით.

წინააღმდეგობათა საფეხურებრივი ცვლილებისათვის გამშვი რეოსტატი იყოფა ნაწილებად (სექციებად), რომლებიც გაშვების პროცესში გამოირთვებიან ან უერთდებიან ერთმანეთს სხვადასხვა სქემით. სექციებში პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების რაოდენობა სხვადასხვა სექციაში ერთნაირი არ არის, რითაც მიიღწევა სხვაობა სექციათა წინააღმდეგობებში. სექციათა ერთმანეთთან სხვადასხვაგვარი კომბინაციებით შეერთების გზით შეიძლება მიღებულ იქნეს გამშვები რეოსტატის საჭირო წინააღმდეგობა გარკვეული საფეხურისათვის.

წინააღმდეგობათა სექციებისა და მათთან დაკავშირებული კონტაქტორების შეერთების სქემები იმდაგვარად არიან შედგენილი, რომ საფეხურთა საჭირო რაოდენობისათვის გამოყენებულ იქნეს ერთიდაიგივე ტიპის კონტაქტორთა რაც შეიძლება მცირე რაოდენობა.

რეოსტატის სექციათა მიმდევრობა-პარალელური შეერთების სქემების გამოყენება დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულესთან, განსაკუთრებით ინდივიდუალური კონტაქტორების დროს. მაგ., ერთი პოზიციის ფარგლებში A კონტაქტორის ჩაკეტვისა და B კონტაქტორის გახსნის უზრუნველყოფა რთულია – შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ A კონტაქტორმა ჯერ ვერ მოასწრო ჩაკეტვა ხოლო B კონტაქტორი კი უკვე გაიხსნა. ამ დროს

ქსელში მოკლე დროით შეყვანილი იქნება გაუთვალისწინებელი წინა-
ლობა, შემდგომ შეიძლება ერთდროულად გაითიშოს რეოსტატის ორი
მონაკვეთი.

ინდივიდუალურ კონტაქტორებიან სისტემებში მართვის აპარატები
შედგებიან კონსტრუქციულად დამოუკიდებელ ამომრთველთა კომპლექ-
ტისაგან, ე.წ. ინდივიდუალური კონტაქტორებისაგან, რომელთაგან
თითოეული აღჭურვილია ცალკე ჩართვის მექანიზმით – ამძრავით და
რკალჩაქრობის ელექტრომაგნიტური მოწყობილობით. კონტაქტების
დიდი სისწრაფით დაცილების უზრუნველსაყოფად იყენებენ ელექტრო-
პნევმატურ კონტაქტორებს.

ინდივიდუალური კონტაქტორების მართვისას მათი მოქმედების
მკაცრად განსაზღვრული თანამიმდევრობა ვონტროლიორის გამლით
ყოველთვის უზრუნველყოფილი არ არის. ამიტომ საჭირო ხდება
კონტაქტორების ერთმანეთთან ელექტრული ბლოკირება. ამისათვის
კონტაქტორების დამხმარე კონტაქტებს მიმდევრობით უერთებენ სხვა
კონტაქტორების ჩამრთველ კოჭებს [3],[23],[29]

რეოსტატში საფეხურთა მცირე რაოდენობა ამარტივებს და აიაფებს
აპარატურას, მაგრამ ამასთანავე ზრდის დენის რხევებს საფეხურიდან
საფეხურზე გადასვლისას. ამას მიყვავართ მოჭიდების წონის გამოყენების
შემცირებისაკენ დაძვრა – გაჩერების დროს და იწვევს მოძრავი შემა-
დგენლობისათვის და მგზავრებისათვის არახელსაყრელ ბიძგებს, რაც
დაკავშირებულია წევის ძალის ცვლილებებთან, ამიტომ ყოველ კონკრე-
ტულ შემთხვევაში ცდილობენ მიიღონ ოპტიმალური გადაწყვეტილება,
რომელიც გარკვეულწილად დააკმაყოფილებს, როგორც ეკონომიურ ისე
უსაფრთხოების მოთხოვნებს.

ВНИИЖТ ინსტიტუტის ურალის განყოფილებაში ჩატარებულ იქნა
თეორიული ცდები გამშვები რეზისტორების ენერგომოცულობის შესასწავ-
ლად სხვადასხვა ელმავლებისათვის. ამ კვლევების ავტორთა მტკიცებით,
გამშვები რეზისტორების ენერგომოცულობის გაზრდის მიზნით ან მათი

მასისა და გაბარიტების შესამცირებლად, მათი ცალკეულ სექციათა გადართვის სქემა უნდა იყოს ისეთი, რომ პოზიციათა რაც შეიძლება მცირე რიცხვის დროს წინაღობათა ცვლილება განხორციელდეს შუნტირებით და უმრავლეს შემთხვევებში ეს მიიღწეოდეს პარალელურ შტოებში გადართვის გზით [4],[39],[43].

დაძვრის დროს უმრავლეს შემთხვევაში ახორციელებენ მაქსიმალური მოჭიდების წვევის ძალას.

გამშვი რეოსტატის გაქანების საფეხურთა გათვლისას გამოდიან $I_{გაშ}$ გამშვი დენის შეზღუდვის პირობიდან ზღვრული მნიშვნელობებით

$$I_{\min} \leq I_{გაშ} \leq I_{\max}.$$

საფეხურეობრივი რეოსტატული გამშვებისას $I_{გაშ}$ გამშვი დენისა და წვევის ძალის საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრა ხასიათდება არათანაბარი გამშვების კოეფიციენტით დენზე K_{HI} და წვევის ძალაზე K'_{HI} .

ამასთან

$$K_{HI} = (I_{\max} - I_{\min}) / 2I_{სშ} \quad (1.3)$$

$$K_{HF} = (F_{\max} - F_{\min}) / 2F_{სშ} \quad (1.4)$$

K_{HF} და K_{HI} არათანაბრობის კოეფიციენტებს შორის არსებობს შეფარდება:

$$K_{HF} = (1,2 - 1,25) K_{HI} \quad (1.5)$$

მაქსიმალური წვევის ძალა შეზღუდულია ბორბლების რელსებთან მოჭიდებით. მატარებლის გამშვება რომ მოხდეს ბუქსაობის გარეშე, ნებისმიერი პოზიციისათვის (საფეხურისათვის) დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$(F_{\max} / P) \leq \Psi_K \quad (1.6)$$

სადაც, P – გოგოწყვილის რელსებზე დაწოლაა.

მრავალი წლის განმავლობაში სხვადასხვა ქვეყნებში ჩატარებული ექსპერიმენტები, ჩაჭიდების Ψ კოეფიციენტისა და ლოკომოტივის მოძრაობის სიჩქარეზე მისი დამოკიდებულების ხასიათის განსაზღვრისათვის, საკმაოდ სხვადასხვა შედეგებს იძლევა [5],[22],[34],[36].

ეს აიხსნება როგორც პრობლემის სირთულით და ლოკომოტივის კონსტრუქციის ტიპთა სხვადასხვაობით, ასევე მოჭიდების კოეფიციენტის გამოცდათა ჩატარების სხვადასხვა მეთოდითა და პირობებით.

გამოთვლებისათვის შემოთავაზებულია სხვადასხვა დამოკიდებულებები მოჭიდების კოეფიციენტსა და მოძრაობის V სიჩქარეს შორის.

1.2. ზოგიერთი ცნობა 4E10² ელმავლის შესახებ

მომსახურების სახე	სამგზავრო
დენის სახე	მუდმივი
საკონტაქტო ქსელის ძაბვა	3000 ვ
ძაბვა ელექტროძრავის მომჭერებზე	1500 ვ
ელმავლის მასა	92 ტ
410 ² ელმავლის გოგოწვილის დაწოლა რელსზე	225,6 კნ
გოგოწვილების დიამეტრი (არტახის საშუალო ცვეთის პირობებში)	1,2 მ
სიმძლავრე საათობრივ რეჟიმში (ძრავის ლილვზე)	2689 კვტ
სიმძლავრე ხანგრძლივ რეჟიმში	2300 კვტ
სიჩქარე საათობრივ რეჟიმში	48,7 კმ/სთ
სიჩქარე ხანგრძლივ რეჟიმში	51,2 კმ/სთ
მაქსიმალური სიჩქარე	100კმ/სთ
წვეის ძრავთა შეერთების რიცხვი	2

ელმავალზე დამონტაჟებულია TA-2K1 წვეის ძრავი, რომელსაც გააჩნია შემდეგი ტექნიკური მონაცემები:

საათობრივი რეჟიმი

დენი	480 ა
სიმძლავრე	670კვტ
ბრუნვის სიხშირე	790 ბრ/წთ
მ.ქ.კ	0,931
აღზნების საფეხურთა რიცხვი	4

ველის შესუსტების უმცირესი საფეხური	36%
ხანგრძლივი რეჟიმი	
დენი	410 ა
სიმძლავრე	575 კვტ
ბრუნთა რიცხვი	830 ბრ/წთ
მ.ქ.კ.	0,93
გადაცემათა შეფარდება	88/23
გრაგნილთა წინაღობები 20°C ტემპერატურაზე,ომი :	
მთავარი პოლუსების	0,025
დამატებითი პოლუსებისა და საკომპენსაციო გრაგნილის	0,0356
ღუზის	0,0317
მთავარი პოლუსის ხვიათა რიცხვის რაოდენობა	W=19
მავენტილირებელი ჰაერის რაოდენობა	არანაკლებ 95 მ ³ /წთ

წევის ძრავების, კომპრესორის ელექტროძრავის, გამშვები რეზისტორების, ველის შესუსტების რეზისტორების და ინდუქციური შუნტების გასაგრძელებლად ჰაერის მიწოდება, აგრეთვე ჰაერის მიწოდება ძარაში ჭარბი წნევის შექმნისთვის, ხორციელდება ცენტრიდანული 43500მ³/სთ წარმადობის, II13-50 N8 ვენტილატორის საშუალებით. ტექნიკური მონაცემები TJI-2K1-ის შესახებ აღებულია [6.]

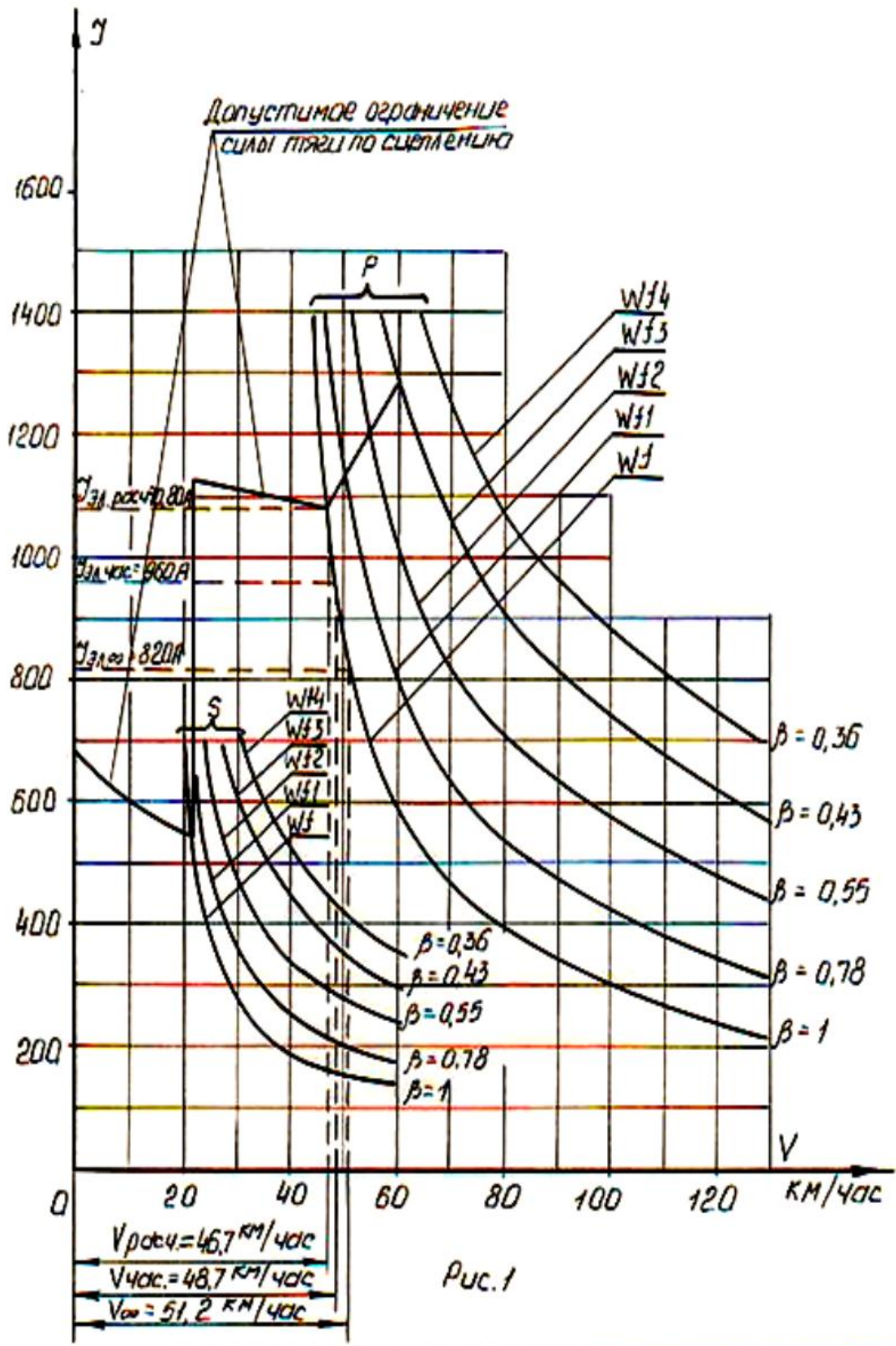
ელმავლის დენური მახასიათებლები მოყვანილია მთლიანად გამოყვანილი გამშვი რეზისტორების დროს, წევის ძრავების სხვადასხვა ძაბვებისას – აღზნების მთლიანი და ყველა საფეხურზე შესუსტების პირობებში, რაც გათვალისწინებულია ელმავლისთვის. ეს მახასიათებლები აგებულია TJI-2K1 წევის ელექტროძრავის ელექტრომექანიკურ მახასიათებლებზე დაყრდნობით და მაქსიმალურად დასაშვებ სიჩქარეზე, წევის ძალის უდიდეს მნიშვნელობაზე, ელექტროძრავების წევის დენზე შეზღუდვების გათვალისწინებით, რაც განსაზღვრულია ნორმალური კომუტაციის ან რელსებთან თვლების მოჭიდების პირობებით.

ელმავალზე გათვალისწინებულია რეოსტატული დამუხრუჭების სისტემა, ამასთანავე დამუხრუჭების რეჟიმში ძირითადად გამოიყენება გამშვები რეოსტატის საფეხურები, მაგრამ არსებობენ დამატებითი საფეხურებიც.

წვევის ძრავების გადართვა ერთი შეერთებიდან მეორეზე ხორციელდება გადასვლის დიოდის დახმარებით.

დიოდური გადაყვანის გამოყენება, შესაძლებლობას იძლევა შემცირდეს წვევის ძალის ჩავარდნა, როგორც სიდიდის ასევე დროის მიხედვით. ამასთან ელმავლის წვევის ძალის ცვლილება პროპორციულად ნაწილდება ძრავებზე მაშინ, როდესაც ძრავების შუნტირების მიხედვით გადართვისას ელმავლის წვევის ძალის სიდიდის ჩავარდნის შემცირება მიიღწევა გადასვლის პერიოდში საკონტაქტო ქსელთან მიერთებული წვევის ძრავების დენის გაზრდის ხარჯზე [7],[41],[44]. ეს აუარესებს ელმავლის წვევის ხარისხს, რადგანაც წვევის ძრავათა გადაჯგუფების დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გოგოწყვილის ბუქსაობას.

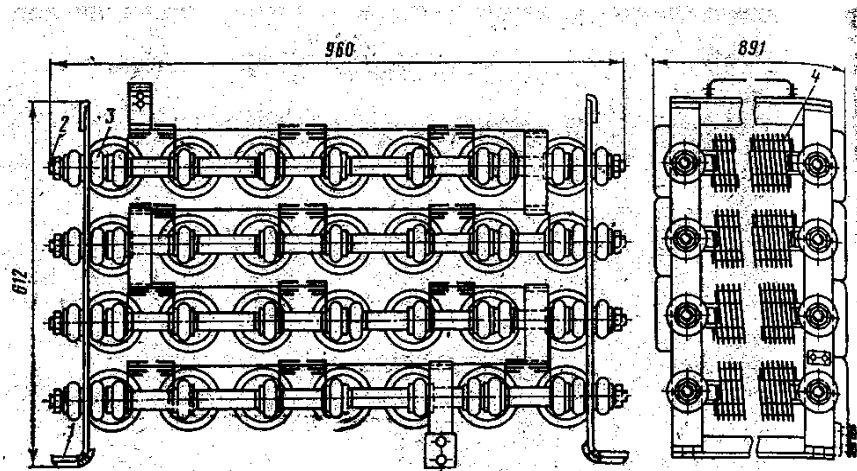
დიოდური გადასვლის უპირატესობათა გათვალისწინებით ის პირველად გამოიყენეს და სერიაში დანერგეს БЛ 11 ელმავალზე და ექსპლუატაციის პირობებში მიიღეს დადებითი შედეგები.



ნახ 1.1. ელმავლის დენური მახასიათებლები 4E10⁶

4E10² ელმავლის გამშვი რეოსტატი აწყობილია ერთნაირი KΦ ტიპის ლენტურ ფეხრალისაგან დამზადებულ ელემენტებისგან, რომლის აქტიური წინაღობა 1,05 ომია. მთლიანად რეოსტატში 381 ელემენტია. ეს ელემენტები წარმოდგენილი არიან ორ ჯგუფად, რომელთაგან თითოეული შედგება ხუთი სექციისაგან. ელმავალ 4E10²-ის გამშვი რეოსტატის მთლიანი წინაღობა 15,984 ომია.

რეზისტორების ყუთი შეიცავს KΦ ტიპის 28 ელემენტს, რომლებიც განლაგებულნი არიან ოთხ ფენად, რიგში შვიდ-შვიდად.



ნახ. 1.2. KΦM რეზისტორების ყუთი

БЛ სერიის ელმავლებისაგან განსხვავებით, რომლებშიც ინდივიდუალურ კონტაქტორებთან ერთად გამოიყენებოდა ჯგუფური კონტაქტორებიც, 4E10² ელმავლებზე გამოიყენებიან მხოლოდ ინდივიდუალური კონტაქტორები. 4E10² ელმავლის ყველა რეოსტატული კონტაქტორი აღჭურვილია რკალმქრობი კამერით.

ელმავლის დაძვრისა და მოძრაობის, კონტაქტორთა გადართვის თანამიმდევრობა, აგრეთვე, გამშვებ რეზისტორთა წინაღობები პოზიციების მიხედვით მოყვანილია ცხრილ 1.2-ში.

ცხრილი 1.1. ელმავალ 4E10⁰ გამშვი რეოსტატის სექციების პარამეტრები

რეზისტორთა სექციები	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
წინაღობის ნომინალური მნიშვნელობა, ომი	3,15	2,1	1,4	1,05	0,467	2,8	2,1	1,4	1,05	0,467
ჯგუფში პარალელურად შეერთებულ ელემენტთა რაოდენობა	3	4	6	7	9	3	4	6	7	9
მიმდევრობით შეერთებული ჯგუფთა რაოდენობა	9	8	8	7	4	8	8	8	7	4
ელემენტთა რიცხვი სექციაში	27	32	48	49	36	24	32	48		
ელემენტთა საერთო რაოდენობა	381									

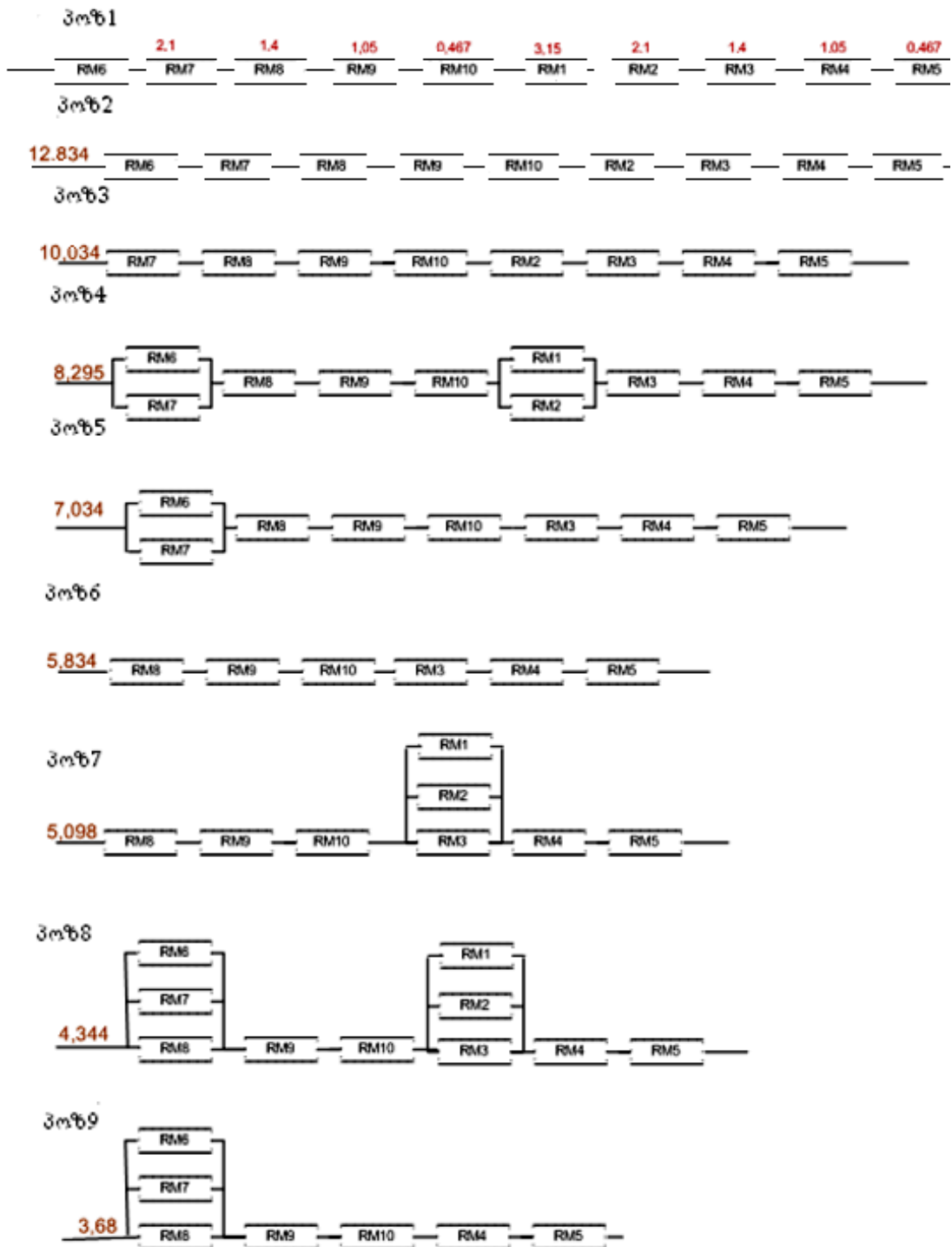
ცხრილი 1.2. გამშვი რეოსტატის საფეხურთა წინაღობები

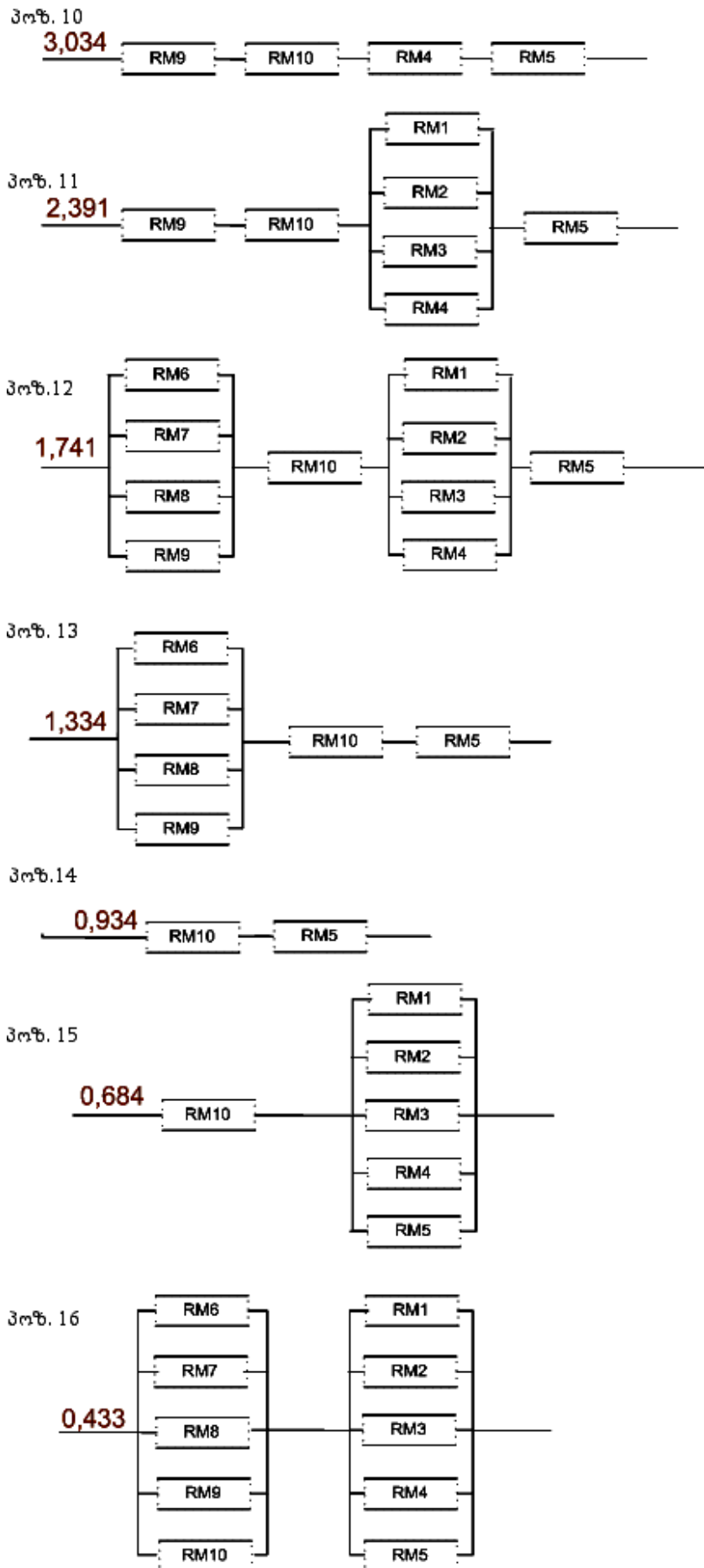
მუშაობის მსვლელობა	ძრავების შეკეთება	გაშვების საფეხურები	ელექტრომაგვლის კონტროლერის საფეხურთა შესაბამისი გაშვების რეზისტორების წინაღობათა სიდიდეები, ომი									
			R1= 3.15 ომი P=3 S=9 PS=27	R2= 2.15 ომი P=4 S=8 PS=32	R3= 1,4 ომი P=6 S=8 PS=48	R4= 1,05 ომი P=7 S=7 PS=49	R5= 0,46 ომი P=9 S=4 PS=36	R6= 2,8 ომი P=3 S=8 PS=24	R7= 2,1 ომი P=4 S=8 PS=32	R8= 1,4 ომი P=6 S=8 PS=48	R9= 1,05 ომი P=7 S=7 PS=49	R10= 0,461 ომი P=9 S=4 PS=36
წევა	მიმდევრობითი შეერთება	1	R1+	R2+	R3+	R4+	R5+	R6+	R7+	R8+	R9+	R10
		2	-	R2+	R3+	R4+	R5+	R6+	R7+	R8+	R9+	R10
		3	-	R2+	R3+	R4+	R5+	-	R7+	R8+	R9+	R10
		4	R111	R2+	R3+	R4+	R5+	R6+	R7+	R8+	R9+	R10
		5	-	-	R3+	R4+	R5+	R611	R7+	R8+	R9+	R10
		6	-	-	R3+	R4+	R5+	-	-	R8+	R9+	R10
		7	R111	R211	R3+	R4+	R5+	-	-	R8+	R9+	R10
		8	R111	R211	R3+	R4+	R5+	R6+	R711	R8+	R9+	R10
		9	-	-	-	R4+	R5+	R6+	R711	R8+	R9+	R10
		10	-	-	-	R4+	R5+	-	-	-	R9+	R10
		11	R111	R211	R311	R4+	R5+	-	-	-	R9+	R10
		12	R111	R211	R311	R4+	R5+	R611	R711	R811	R9+	R10
		13	-	-	-	-	R5+	R611	R711	R811	R9+	R10
		14	-	-	-	-	R5+	-	-	-	-	R10
		15	R111	R211	R311	R411	R5+	-	-	-	-	R10
		16	R111	R211	R311	R411	R5+	R611	R711	R811	R911	R10
		17	-	-	-	-	-	R611	R711	R811	R911	R10
		18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		R111	R2+	R3+	R4+	R511	R611	R7+	R8+	R9+	R10	
	პარალელური შეერთება	19	R111	R21+	R3+	R4+	R5+	R611	R7+	R8+	R9+	R10
		20	-	-	R3+	R4+	R5+	R611	R7+	R8+	R9+	R10
		21	-	-	R3+	R4+	R5+	-	-	R8+	R9+	R10
		22	R111	R211	R3+	R4+	R5+	-	-	R8+	R9+	R10
		23	R111	R211	R3+	R4+	R5+	R611	R711	R8+	R9+	R10
		24	R111	R211	R3+	R4+	R5+	-	-	-	R9+	R10
		25	-	-	-	R4+	R5+	-	-	-	R9+	R10
		26	-	-	-	R4+	R5+	R611	R711	R811	R9+	R10
		27	R111	R211	R311	R4+	R5+	R611	R711	R811	R9+	R10
		28	R111	R211	R311	R4+	R5+	-	-	-	-	R10
		29	-	-	-	-	R5+	-	-	-	-	R10
		30	-	-	-	-	R5+	R611	R711	R811	R911	R10
		31	R111	R211	R311	R411	R5+	R611	R711	R811	R911	R10
32		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	

გაშვების საფეხურები	გაშვების რეზისტორ-თა საფეხურის წინააღობა, ომი	გაშვების რეზისტორ-თა საფეხურის სხვაობა, ომი	ერთი ძრავი მოსული გაშვების წინააღობა, ომი	გაშვების რეზისტორების საფეხურთა და ძრავების წინააღობა, ომი	ერთ ძრავზე მოსული გაშვების საფეხურთა წინააღობა ძრავის წინააღობის ჩათვლით, ომი
1	15,984	3,15	3,996	16,49	4,123
2	12,834	2,8	3,21	13,34	3,337
3	10,034	1,739	2,51	10,54	2,631
4	8,295	1,26	2,07	8,803	2,197
5	7,034	1,2	1,76	7,542	1,887
6	5,836	0,736	1,46	6,342	1,59
7	5,098	0,754	1,27	5,606	1,397
8	4,344	0,664	1,086	4,252	1,213
9	3,68	0,646	0,92	4,188	1,047
10	3,034	0,643	0,76	3,5416	0,887
11	2,391	0,65	0,6	2,8986	0,727
12	1,741	0,407	0,43	2,249	0,567
13	1,334	0,4	0,33	1,842	0,457
14	0,934	0,25	0,23	1,442	0,357
15	0,684	0,25	0,17	1,192	0,297
16	0,433	0,217	0,11	0,941	0,237
17	0,216	0,216	0,054	0,124	0,181
18	0	0	0	0,5076	0,1269
	2,07	0,35	0,517	2,5776	0,6439
19	0,07	0,25	207	2,1969	2,1969
20	1,71	0,21	1,71	1,8569	1,8269
21	1,46	0,16	1,46	1,6869	1,5869
22	1,25	0,2	1,25	1,3769	1,5769
23	1,49	0,13	1,09	1,2169	1,2169
24	0,89	0,21	0,89	1,0169	1,0159
25	0,76	0,12	0,76	0,8869	0,8869
26	0,55	0,13	0,56	0,6769	0,6269
27	0,43	0,07	0,43	0,5569	0,6569
28	0,3	0,08	0,3	0,4269	0,4269
29	0,23	0,04	0,23	0,3569	0,3569
30	0,15	0,11	0,15	0,2769	0,2769
31	0,11		0,11	0,2369	0,2369
32	0		0	0,1269	0,1269

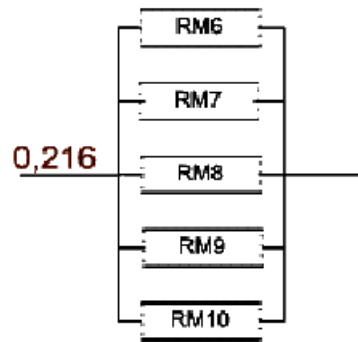
გამშვი რეოსტატების სექციათა შერთების კომბინაციები მემანქანის კონტროლიორის პოზიციების მიხედვით, მოყვანილია ნახ.1.4. იგულისხმება, რომ გამშვი დენი ტოლია 490 ა.

მიმდევრობითი შერთება (ოთხღერძიანი ელმავალი $4E10^2$) წევა





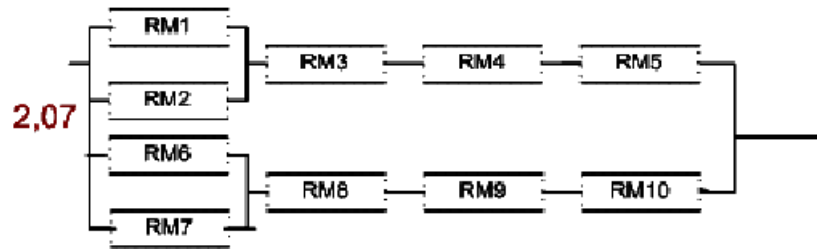
პოზ. 17



პოზ. 18

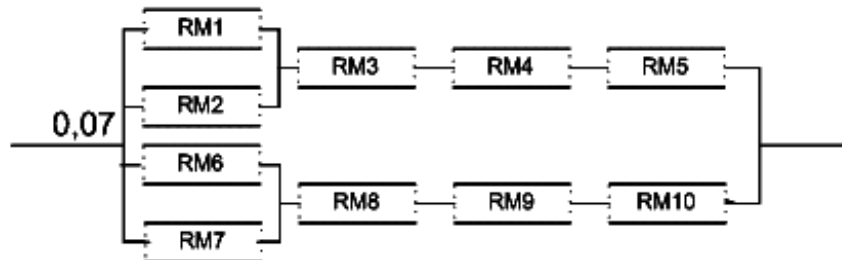
0

პოზ. გად.

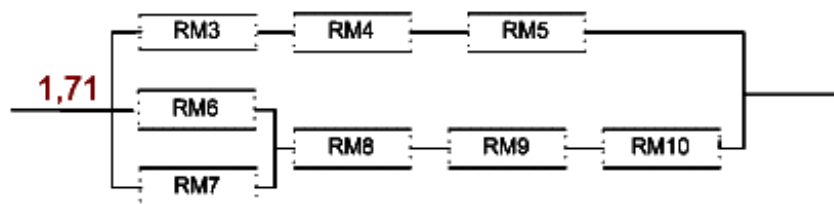


პარალელური შეერთება. წევა.

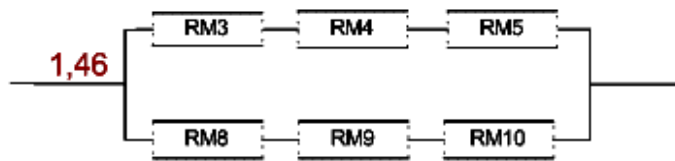
პოზ. 19



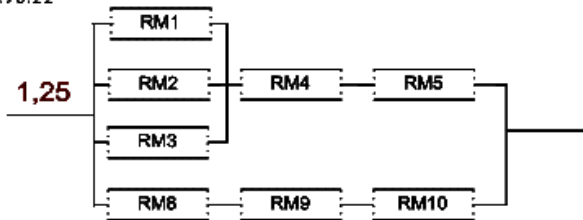
პოზ. 20



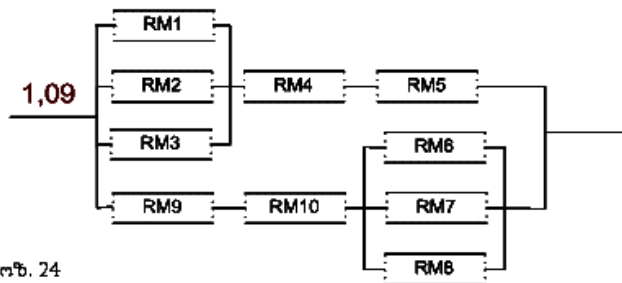
Յոճ. 21



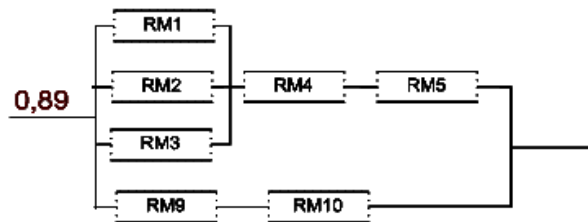
Յոճ. 22



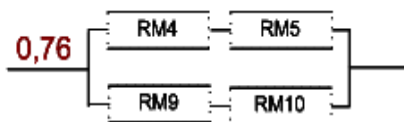
Յոճ. 23



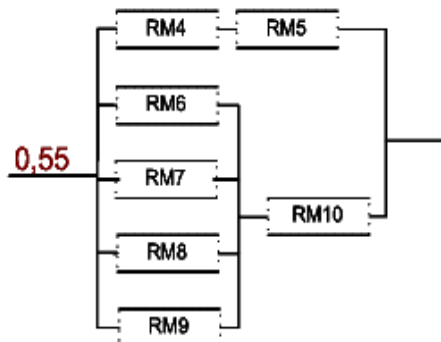
Յոճ. 24

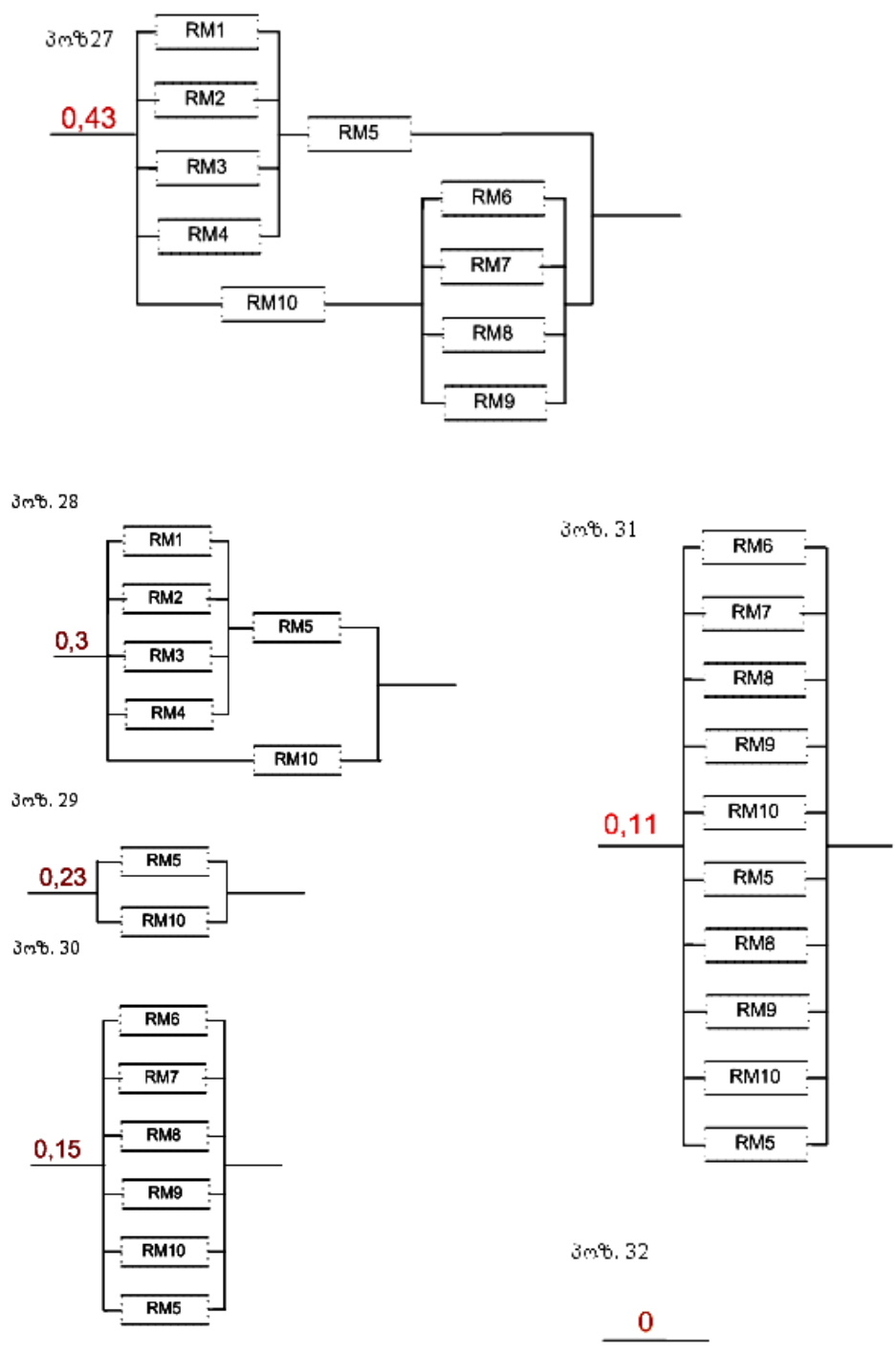


Յոճ. 25

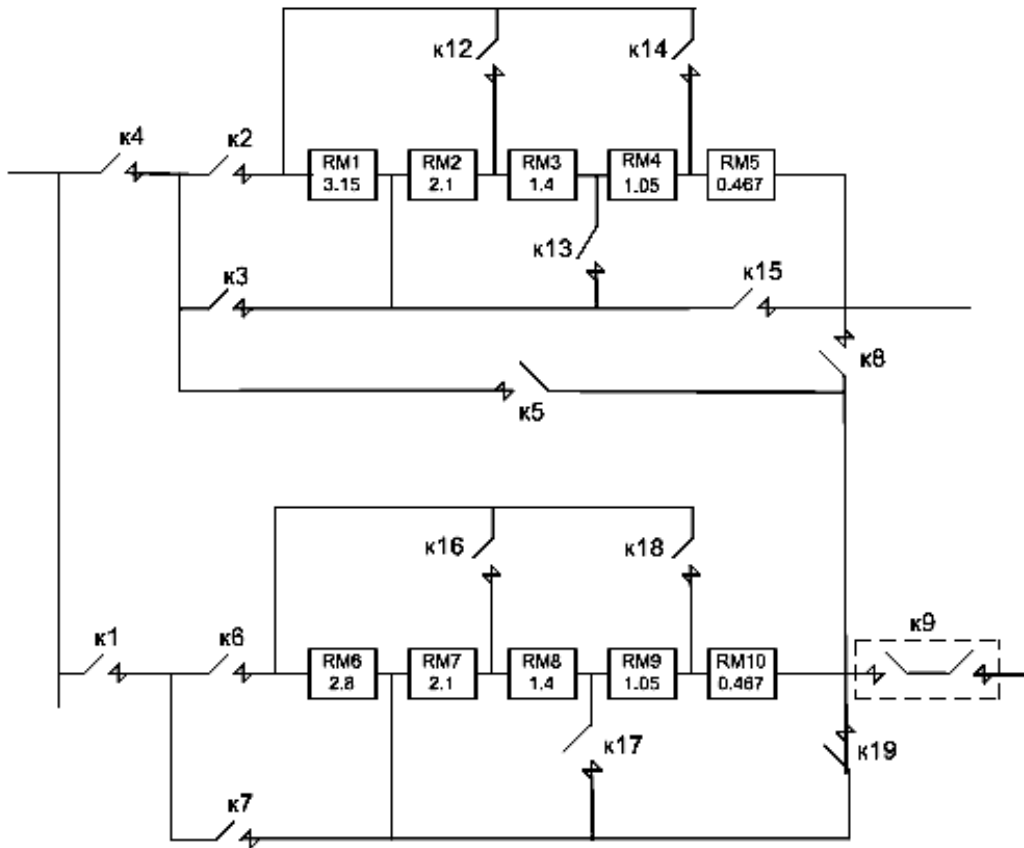


Յոճ. 26





ნახ. 1.3 ელმავალ 4E10⁰-ის გამშვ რეზისტორთა წინაღობები პოზიციების მიხედვით



ნახ.1.4 ელმავალ 4E10²-ში არსებული გამშვით რეოსტატის სქემა

1.3. ელმავალ 4E10²-ში არსებული გამშვით რეოსტატის თავისებურებათა განხილვა

ნახ.1.4-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით, გათვალისწინებულია ელმავლის წევის ძრავებისათვის საერთო გამშვითი წინაღობის გამოყენება შეერთების ორივე “მ” და “კ” ჯგუფისათვის. ამ სქემაში ყველა სექციები (რომლებიც მონაწილეობენ გარკვეული პოზიციისათვის წინაღობის შედგენაში) მიმდევრობით არიან ჩართულნი მხოლოდ 1, 2, 3, 6, 10, 14 პოზიციებზე. პირველ სამ პოზიციაზე, სადაც ადგილი აქვს წევის ძრავების დენის მნიშვნელობის დაწევას, ეს აბსოლუტურად ლოგიკურია. ბევრ პოზიციებზე სექციები ჯგუფდებიან ორ, სამ და მეტ

პარალელურ შტოებად, მაგრამ მიმდევრობით ჩართული დარჩენილი სექციები, დატვირთული არიან წევის ძრავების დენით. ბოლო რეოსტატულ პოზიციებზე ყველა სექციები პარალელურად ირთვებიან.

მუდმივი გამშვები აჩქარების უზრუნველყოფისათვის გამშვების პროცესში იჭერენ წევის ძალის მუდმივ სიდიდეს.

რადგანაც იგულისხმება, რომ $4E10^2$ ელმავლის გამშვი დენი 490 ამპერის ტოლია, პირველი მანევრირებადი პოზიციის დენი $I_{a1}=175,4$ ა. თუ მანევრირებად ვთლით პოზიციებს, რომლის დროსაც ელექტროძრავების დენი გამშვი დენის მინიმალურ მნიშვნელობაზე ნაკლებია, მათ შორის ელმავლის უძრავობის დროსაც კი, განვსაზღვრავთ, რომ ელმავალ $4E10^2$ -ს გააჩნია ხუთი მანევრირებადი საფეხური. მეექვსე პოზიციაზე $I_{a6}=426,3$ ა.

მანევრირებადი საფეხურები გამოიყენება მატარებლის ადგილიდან დაძვრისათვის და მანევრირებადი მუშაობისათვის.

მე-6-დან მე-18-მდე საფეხურების დანიშნულებაა ელმავლის შემადგენლობის გაქანება იმ სიჩქარემდე, რომელიც შეესაბამება გამშვ რეზისტორთა სრულ გამოყვანას წევის ელექტროძრავის წრედიდან.

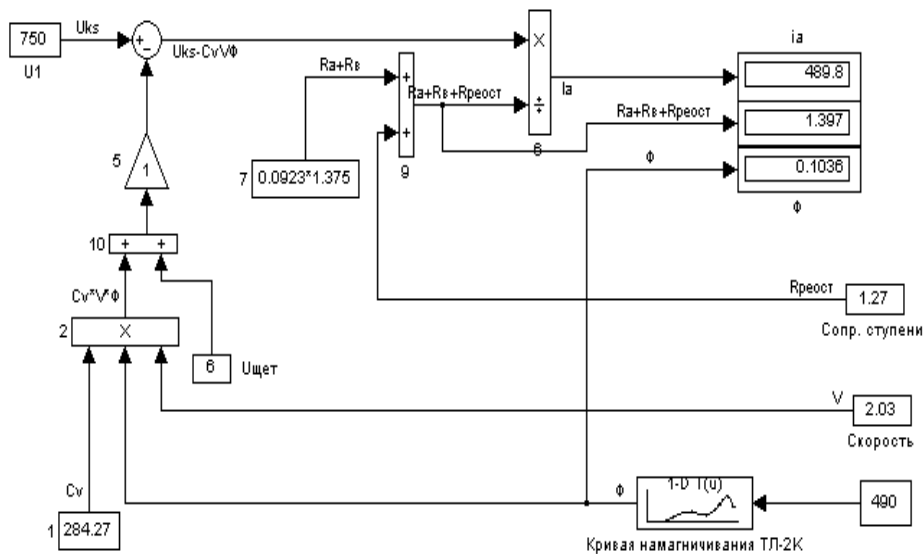
მეთვრამეტე საფეხურის შემდეგ მოდის ერთი დამატებითი საფეხური, რომლის დროსაც ხდება გადასვლა წევის ძრავების “მ“ დაჯგუფებიდან “პ“ დაჯგუფებაზე.

გამშვი რეოსტატის კონტაქტორთა ჩართვა-გამორთვის თანამიმდევრობა, აგრეთვე, წინააღობათა სიდიდეები თითოეული პოზიციისათვის მოყვანილია ცხრილ 1.3-ში.

1.4. TJI-2K წვევის ელექტროძრავის საიმიტაციო მოდელის შექმნა და გამოყენება

გაშვების თითოეულ საფეხურზე ელმავლის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრისათვის (გამშვი რეოსტატის თითოეული საფეხურისათვის ცნობილი წინაღობების დროს) შეიძლება გამოვიყენოთ წვევის ძრავის მოდელი, რომელიც გამოსახულია ნახ.1.6 (მხედველობაში გვაქვს ელმავალი $4E10^2$, ძრავით TJI-2K) და ვიქცევით შემდეგნაირად):

1. გამომდინარე იქიდან, რომ პირველი სამი საფეხურის აკრეფისას ელმავალი უძრავია, შესაბამისად მოდელში შეგვაქვს $V=0$.
2. შეგვყავს პირველი საფეხურის წინაღობის სიდიდე.
3. შეგვყავს გამშვების დენის ნომინალური მნიშვნელობა.
4. ვუშვებთ მოდელს და ძრავის დენის მარეგისტრირებელი ხელსაწყოს ჩვენების მიხედვით, ვახდენთ გაშვების დენის სიდიდის კორექტირებას.
5. მიღებული სიდიდეები $R_{გაშ}$, $I_{მრ}$, $V_{ელ}$, $\Phi_{მრ}$ შეგვაქვს ცხრილ 1.4-ში
6. იმ პოზიციებზე, რომლებზედაც დენი მარეგისტრირებელ ხელსაწყოზე აღწევს გაშვების დენის დადგენილ საშუალო მნიშვნელობას 490ა, სიჩქარეთა სიდიდეების განსაზღვრა ხდება ისეთი შერჩევით, რომ სხვაობა გამშვი დენის დადგენილ მნიშვნელობას 490ა-სა და ხელსაწყოს მიერ დარეგისტრირებულ დენს შორის არ აღემატებოდეს ამპერის მეთათედ მნიშვნელობას.



ნახ.1.5 სიჩქარის განსაზღვრის მოდელი

ელმავალთა ელექტრომექანიკური, წევისა და დამუხრუჭების მახასიათებელთა გამოყენება მათემატიკური ფორმულების სახით, საყოველთაოდ ცნობილია. ცნობარებში ელექტრომოდრავ შემადგენლობათა ელექტრომექანიკური და წევის მახასიათებლები ჩვეულებრივ მოცემულია გრაფიკული სახით. გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებით გამოთვლების შესრულების მეთოდიკაში დამკვიდრებულია მანქანის მეხსიერებაში ლოკომოტივის მახასიათებელთა შეყვანა ცხრილების სახით, რომლებიც შედგენილია გრაფიკული მახასიათებლების მიხედვით. მახასიათებელთა წარმოდგენა აპროქსიმირებული ფუნქციის (ა.ფ) სახით, უფრო ნათელ წარმოდგენას იძლევა მიმდინარე პროცესის ფიზიკური ბუნების შესახებ. აღნიშნული (ა.ფ.) სიზუსტის შემოწმებისას ნაშრომის ავტორები [8],[30]. გვთავაზობენ, გამოვიყენოთ ისეთი ხერხი, რომელსაც საფუძვლად უდევს აპროქსიმირებული ფუნქციის “გასწორება” სიდიდეთა ან მთლიანად ფუნქციის გარდამქნის ხარჯზე, რასაც მივყავართ წრფივ გრაფიკამდე. აპროქსიმაციის ვარგისიანობის თავის კრიტერიუმს გვთავაზობს მონოგრაფიის ავტორი [9]. ამ მონოგრაფიაში კრიტიკულადაა განხილული რამოდენიმე დღეისათვის მრავლად არსებული დამაგნიტების მრუდის ანალიტიკური გამოსახულების მეთოდები. ცალკეულ

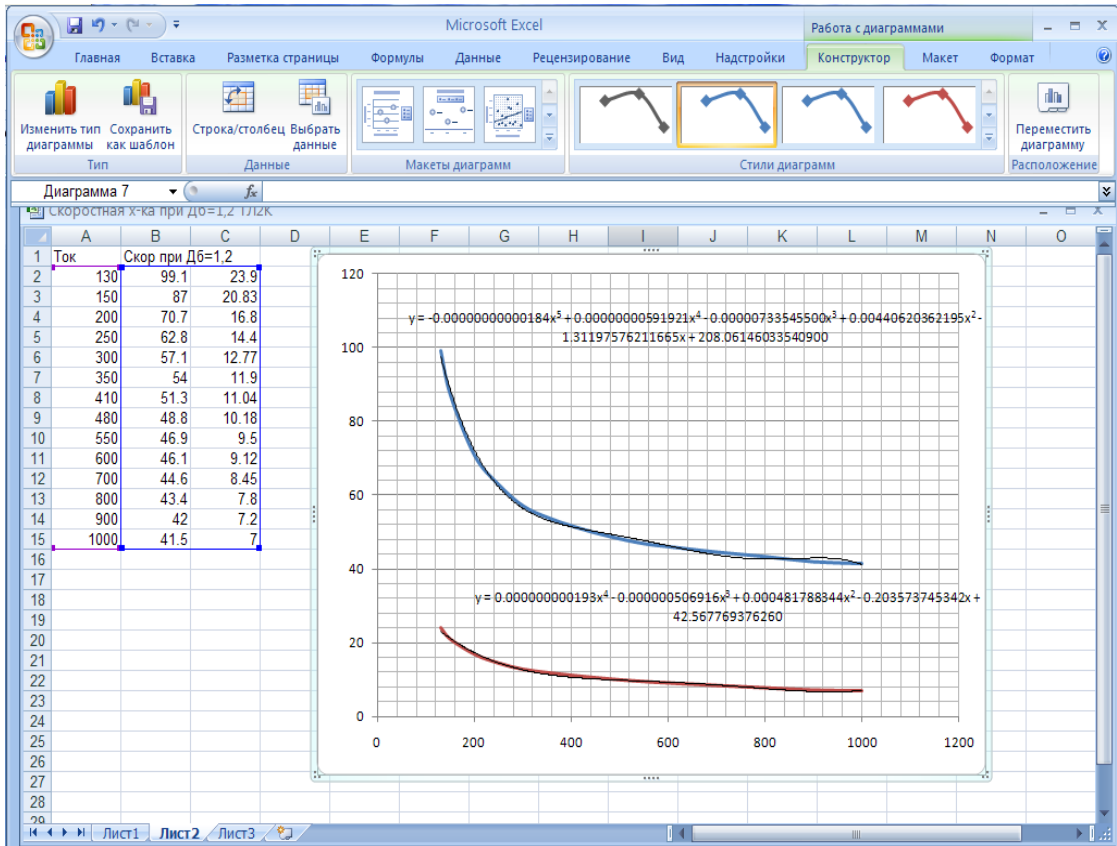
ამოცანათა ანალიტიკურ ამოხსნებში გამოიყენებოდა მახასიათებელთა უბან-უბან წრფივი აპროქსიმაციის მეთოდი ანუ მათი ნაწილის აპროქსიმაცია შედარებით მარტივი გამოსახულებებით, რომლებიც მოსახერხებელი არიან შემდგომი გამოთვლების პროცესში.

ძალიან საინტერესო ნაშრომია [10]. მასში ავტორები წყვეტდნენ ანალიტიკური გამოსახულების პოვნის ამოცანას, რომელიც ელმავლის ელექტრომექანიკური და წვევის მახასიათებელთა აღწერის საშუალებას მოგვცემდა მუშაობის ყველა რეჟიმისათვის. აღმოჩნდა, რომ დამაგნიტების მახასიათებელთა აპროქსიმაციისათვის ყველაზე მოხერხებულია მეოთხე ხარისხის პოლინომი (მრავალწევრი).

$$C\Phi=[a_0+a_1(I\beta)+a_2(I\beta)^2+a_3(I\beta)^3+a_4(I\beta)^4]/[1+(1-\beta)a_5] \quad (1.7)$$

სადაც, $a_0...a_5$ – მუდმივი კოეფიციენტებია, რომლებიც სხვადასხვა არიან სხვადასხვა ტიპის ძრავებისათვის; I - ღუზის დენი; β - ალგუნების შესუსტების კოეფიციენტი წვევის რეჟიმში.

გამოსახულებას მნიშვნელში შეაქვს შესწორება, რომელიც ითვალისწინებს ღუზის რეაქციის გავლენას $C\Phi$ პარამეტრზე. უქმი სვლის რეჟიმში $I\beta$ გამოსახულება მიღებულია, I -ს ტოლად, ხოლო გამოსახულება მნიშვნელში ტოლია ერთის.



ნახ. 1.6. 4 E10⁹ ელმავლის დენის მახასიათებლები

ТЛ-2К წვეის ძრავისთვის შემოთავაზებულია $a_0=0$; $a_1=0,151$; $a_2=-3,02 \cdot 10^{-4}$; $a_3=2,94 \cdot 10^{-7}$; $a_4=-1,08 \cdot 10^{-10}$; $a_5=0$

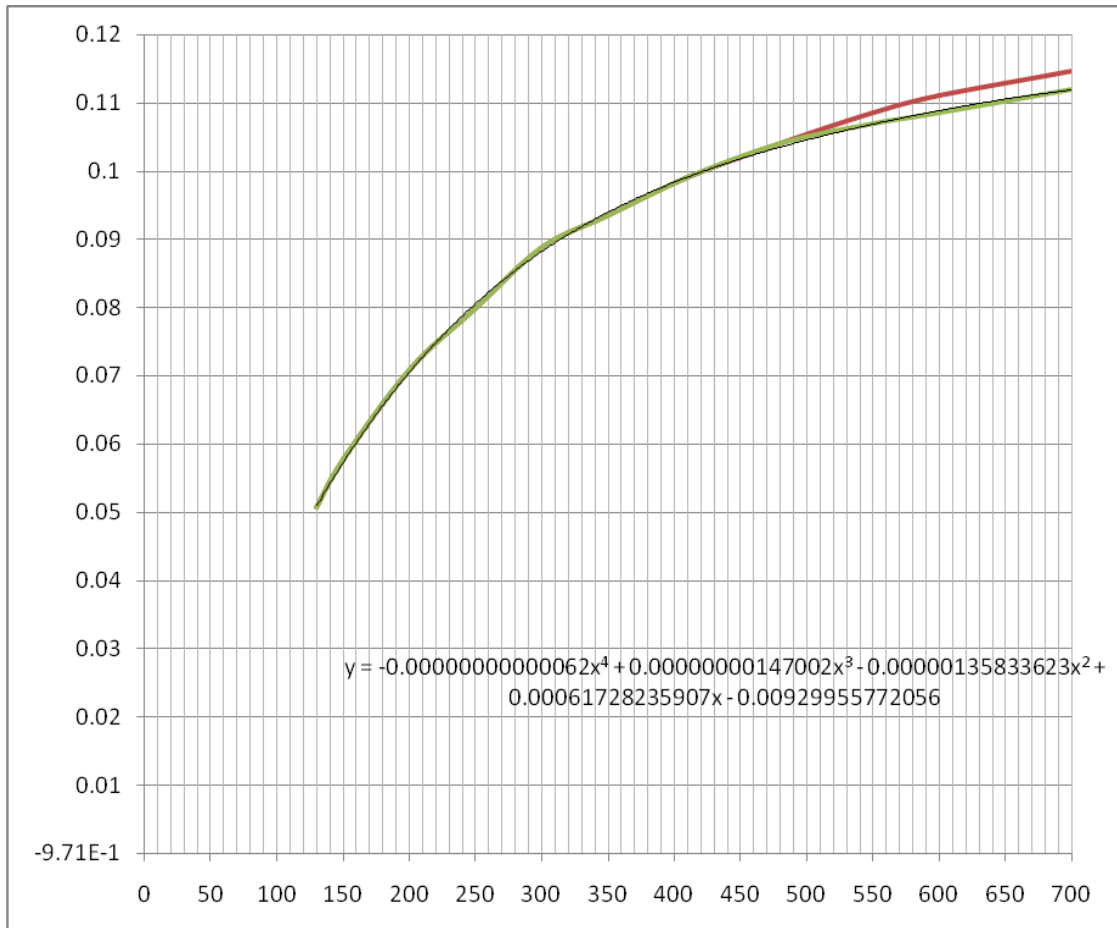
მოცემულ ნაშრომში წვეის ელექტროძრავების დამაგნიტების მრუდები და სიჩქარის მახასიათებლები აპროქსიმირებულია მეოთხე ხარისხის პოლინომიალური განტოლებებით Excel პროგრამის გამოყენებით.

საათობრივ დენებზე მეტი დენების დროს ღუზის რეაქციის გავლენის გათვალისწინება ხდებოდა მრუდის გარკვეული დაბლა გადახრით უქმი სვლის მრუდთან შედარებით. ამ ოპერაციის შესრულება სირთულეს არ წარმოადგენს, როდესაც გაგვაჩნია სასტენდო გამოცდის დროს მოხსნილი დატვირთვის მახასიათებლები.

ТЛ-2К წვეის ძრავის ბორბლის ფეროსათვის განკუთვნილი სიჩქარის მახასიათებლები აგებული არიან პირობისათვის, როცა ძაბვა ძრავზე შეადგენს 750ვ და 1500ვ, გრაფიკები გახურებულნი არიან 110°C-მდე, გადაცემის რიცხვი $i=3,826$ და ბორბლის დიამეტრი $D=1200$ მმ.

სიჩქარის მახასიათებელთა გადათვლისას ბორბლის 1200 მმ-იან დიამეტრზე, გამოყენებულ იქნა ლიტერატურა [11].

წევის ელექტროძრავის კოეფიციენტისა და კბილანური გადაცემის მრუდები მათი ფორმათა სირთულის გამო მოცემულნი არიან ცხრილის სახით.

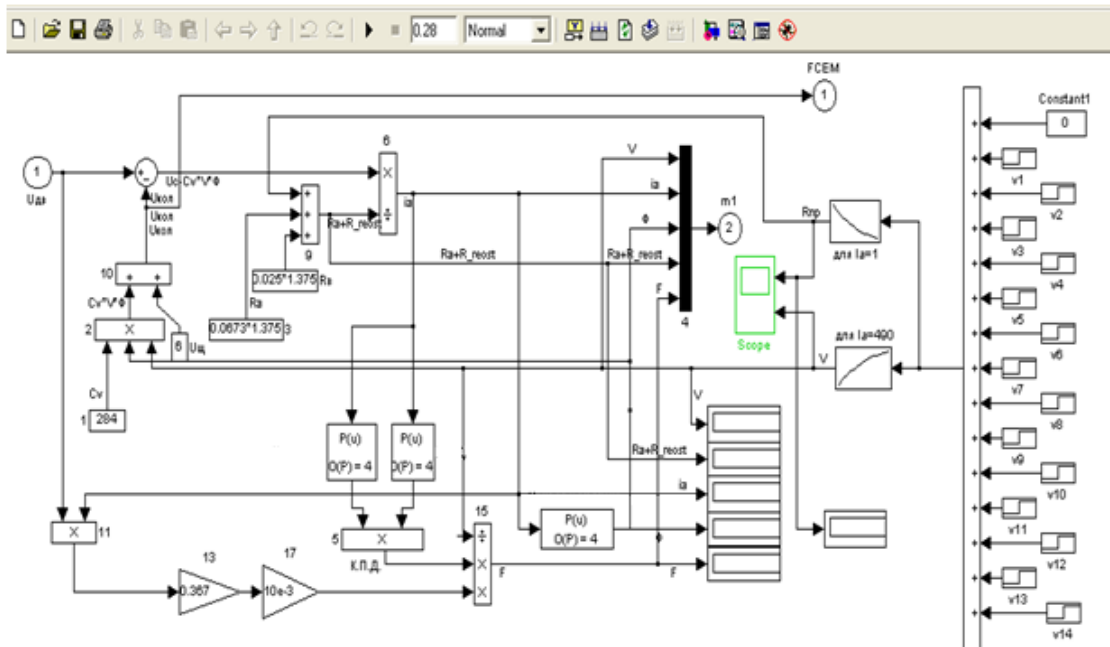


ნახ.1.7. TII-2K-ს დამაგნიტების მრუდი

ცხრილი 1.4.

პოზიცია	R _{გაბ}	I _{ბრ}	V _{კლ}	Φ _{ბრ}
1	3.996	180.5	0	0.06585
2	3.21	223	0	0.07553
3	2.51	282.1	0	0.08545
4	2.07	336.3	0.2	0.09197
5	1.76	391.4	0.2	0.0969
6	1.46	460.2	0.5	0.1017
7	1.27	489.9	2.03	0.1034
8	1.086	489.8	5.1	0.1033
9	0.92	489.9	7.86	0.1034
10	0.76	490.1	10.52	0.1033
11	0.6	490.3	13.18	0.1034
12	0.43	490	16.02	0.1034
13	0.33	490.5	17.68	0.1033
14	0.23	490.3	19.35	0.1034
15	0.17	490.3	20.35	0.1034
16	0.11	490.4	21.35	0.1034
17	0.054	489.4	22.29	0.1033
18		489.3	23.19	0.1033
19	2.07	490	14.2	0.10344
20	1.71	490,1	20.19	0.10344
21	1.46	490	24.36	0.10344
22	1.25	490	27.86	0.10344
23	1.09	489,9	30.53	0.10344
24	0.89	490	33.86	0.10344
25	0.76	489,9	36.03	0.10344
26	0.56	490	39.36	0.10344
27	0.43	490,3	41.52	0.10344
28	0.3	490,1	43.69	0.10344
29	0.23	489,9	44.86	0.10344
30	0.15	490,2	46.19	0.10344
31	0.11	491	46.85	0.10344
32	0	490,2	48.69	0.10344

ამ მოდელის დახმარებით პირველ პოზიციებზე უნდა მივანიჭოთ სიჩქარე (0; 0; 0; 0,2; 0,2; 0,5) და განვისაზღვროთ დენები, შემდეგ პოზიციებზე მივიღოთ 490 ა დენი სიჩქარის შერჩევის საშუალებით.



ნახ.1.8 „პ“ რეჟიმში ელმავალ 4E1-ის მოდელი

ეს მოდელი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ელმავლის სიჩქარის ზრდის ნახტომები მისი გაქანებისას, რომლებიც განპირობებული არიან გამშვები რეოსტატის საფეხურების წინააღმდეგობათა სიდიდეების შერჩევით

1.5 ზოგიერთი ცნობა 4E1 ელმავლის შესახებ

მომსახურების სახე	სამგზავრო
დენის სახე	მუდმივი
საკონტაქტო ქსელის ძაბვა	3000 ვ
ელმავლის მასა	82 ტ
410 ² ელმავლის გოგოწვილის დაწოლა რელსზე	215,8 კნ
გოგოწვილის დიამეტრი (არტახის საშუალო ცვეთის პირობებში)	1,2 მ
სიმძლავრე საათობრივ რეჟიმში (ძრავის ლილვზე)	3000 კვტ
სიმძლავრე ხანგრძლივ რეჟიმში	2800 კვტ

მაქსიმალური სიჩქარე	120კმ/სთ
გადაცემის რიცხვი	2,7
ელმავალზე დამონტაჟებულია TA-3 წვევის ძრავი, რომელსაც გააჩნია შემდეგი ტექნიკური მონაცემები:	
ძაბვა ელექტროძრავის მომჭერებზე	1500 ვ
საათობრივი რეჟიმი	
დენი	535 ა
სიმძლავრე	750კვტ
ბრუნთა რიცხვი	790 ბრ/წთ
მ.ქ.კ	0,9365
ხანგრძლივი რეჟიმი	
დენი	500 ა
სიმძლავრე	700 კვტ
ბრუნთა რიცხვი	810 ბრ/წთ
მ.ქ.კ.	0,9382
გადაცემათა შეფარდება	81/30
• გრაგნილთა წინაღობები 20°C ტემპერატურაზე, ომი:	
მთავარი პოლუსების	0,01866
დამატებითი პოლუსების	0,00945
საკომპენსაციო გრაგნილის	0,02329
ღუზის	0,03713
• გრაგნილთა წინაღობა 115°C ტემპერატურის პირობებში, ომი:	
მთავარი პოლუსების	0,02561
დამატებითი პოლუსების	0,01297
საკომპენსაციო გრაგნილის	0,03196
ღუზის	0,05096
მთავარი პოლუსის ხვიათა რიცხვის რაოდენობა	W=17
მავენტილირებელი ჰაერის რაოდენობა	არანაკლებ 110მ ³ /წთ

ჰაერის მიწოდება წვეის ძრავების, კომპრესორის ელექტროძრავის, გამშვები რეზისტორების, ველის შესუსტების რეზისტორებისა და ინდუქტიური შუნტების გასაგრძელებლად, ასევე ჰაერის მიწოდება ძრავში, მასში დამატებითი წნევის შესაქმნელად ხორციელდება ცენტრალური ვენტილატორის Ц13-50 №8 საშუალებით, რომლის წარმადობა შეადგენს $435000\text{მ}^3/\text{სთ}$

ტექნიკური მონაცემები ТЛ-3-ის შესახებ, აღებულია ანგარიშიდან СКБЭ ТЭБ3 [12] ელმავალ 4E1 -ის გამშვები რეოსტატი შედგენილია КФ ტიპის ერთნაირი ელემენტებით, რომლებიც წარმოადგენენ ლენტურ ფეხრალურ წინაღობებს აქტიური წინაღობით 1.05 ომი რეოსტატში სულ 354 ელემენტია. ეს ელემენტები წარმოადგენილნი არიან ორ ჯგუფად, რომელთაგან თითოეული შედგება ხუთი სექციისგან. ელმავალ 4E1-ის გამშვები რეოსტატის სრული წინაღობა შეადგენს 15.733 ომს. КФ ელემენტებიანი ყუთი შეიცავს 28 ელემენტს, რომლებიც განლაგებულნი არიან ოთხ ფენად, რიგში შვიდ-შვიდად.

БЛ სერიის ელმავლებისგან განსხვავებით, რომლებშიც ინდივიდუალურთან ერთად ჯგუფური კონტაქტორებიც გამოიყენებოდნენ, ელმავალ 4E1-ზე, ისევე როგორც ელმავალ 4E10²-ზე გამოიყენებიან მხოლოდ ინდივიდუალური კონტაქტორები. ელმავალ 4E1-ის ყველა რეოსტატულ კონტაქტორებს გააჩნიათ რკალჩამქრობი საკნები. ელმავლის გამშვებისა და მოძრაობის დროს კონტაქტორებისა და გამშვები რეზისტორების სექციათა გადართვის თანმიმდევრობა პოზიციების მიხედვით მოყვანილია ცხრილ 1.5-ში.

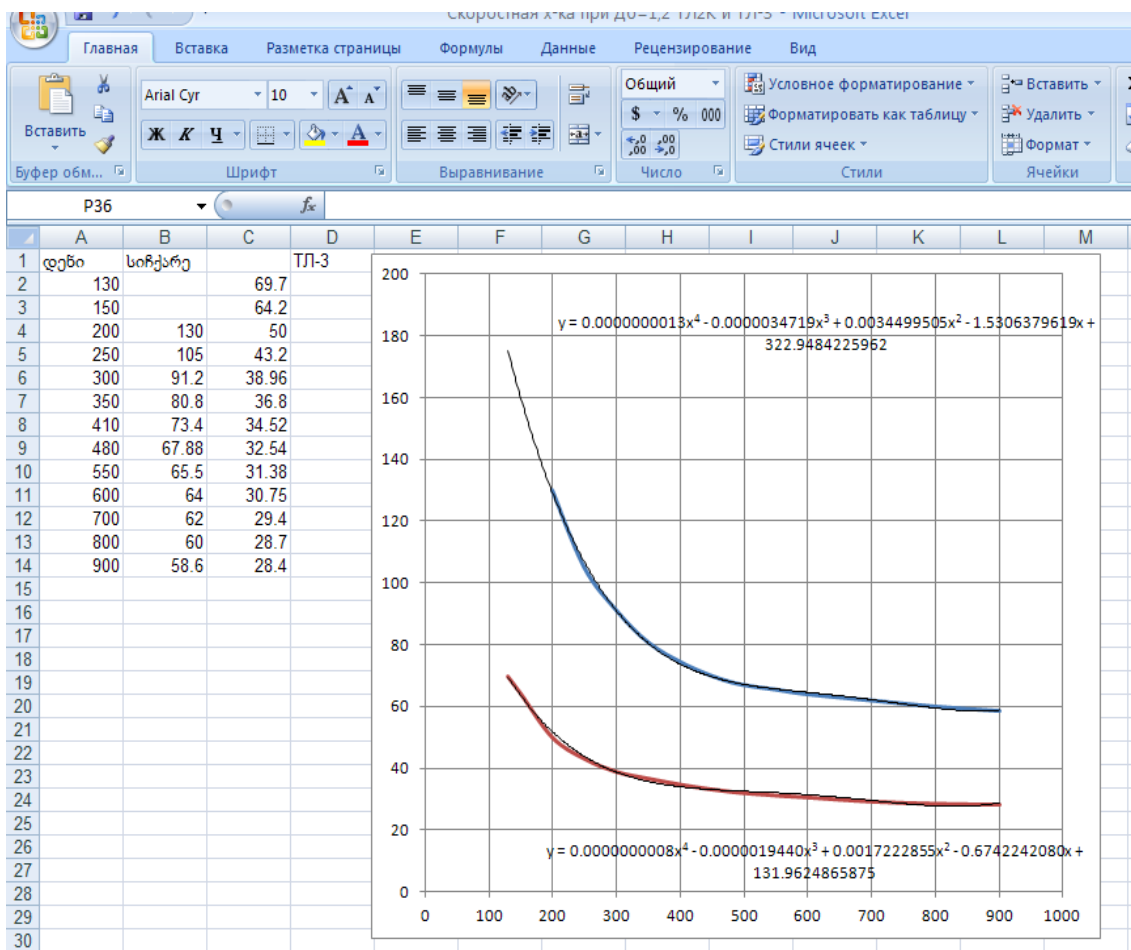
ცხრილი 1.5. ელმავალ 4E1 გამშვები რეოსტატის სექციათა პარამეტრები

რეზისტორ თა სექციები	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
წინაღობის ნომინალურ მნიშვნელობა, ომი	0,788	2,45	2,45	1,05	0,45	0,394	0,525	0,788	2,1	2,1	2,1	0,45	0,394	0,394
ჯგუფში პარალ. შეერთებულ ელემენტთა რაოდენობა	8	3	3	4	7	8	8	8	3	3	3	7	8	8
მიმდევრობ. შეერთებულ ჯგუფთა რაოდენობა	6	7	7	4	3	3	4	6	6	6	6	3	3	3
ელემენტთა რიცხვი სექციაში	48	21	21	9	21	24	8	48	18	18	18	21	24	24
ელემენტთა საერთო რაოდენობა	354													

ცხრილი 1.6. ელმავალ 4E1-ის გამშვები პოზიციების რეზისტორთა
სიდიდეები და რეოსტატის კონტაქტორთა ჩართვის თანამიმდევრობა

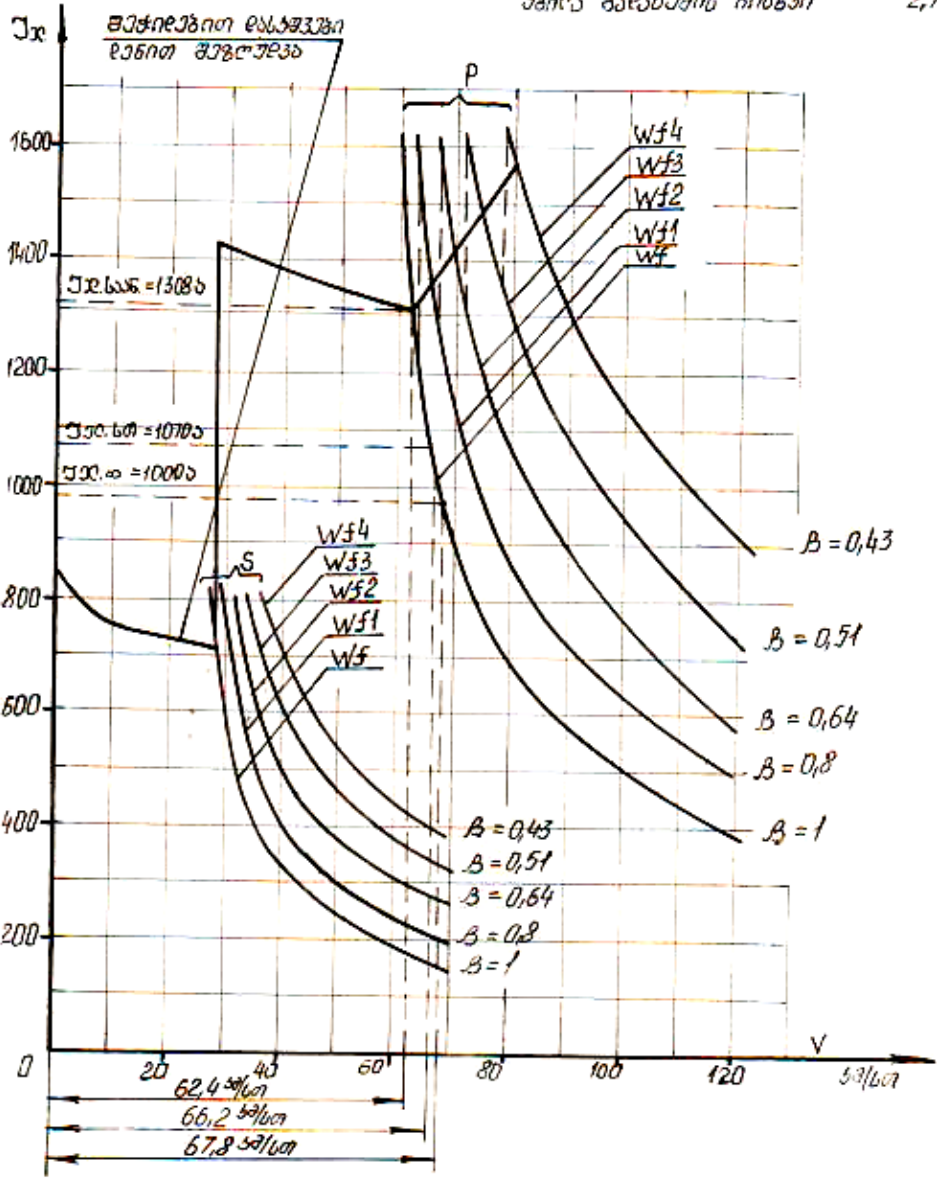
პოზიც. №	საფეხურთა წინაღობა	მორიგ პოზიციებზე ჩართული კონტაქტორები	შეერთება ელემენტების პოზიციებზე
1	15,733	1,3,7	R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R10+R11+R12+ R13+R14
2	15,733	1,3,7	R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R10+R11+R12+ R13+R14
3	11,533	1,3,7,22	R1+R2+R3+R4+R5+R6+R7+R8+R9+R12+ R13+R14
4	8,033	1,15,3,22,7	R1+R2+R5+R6+R7+R8+ R9+R12+ R13+R14
5	6,633	1,15,3,18,22,7	R1+R2+R5+R6+R7+R8+(R9 R10 R11) +R12+R13+R14
6	5,449	1,15,11,3,18,22,7	R1+(R2 R3 R4)+R5+R6+R7+R8+(R9 R10 R11)+R12+ R13+R14
7	4,661	1,10,15,11,3,18,22,7	(R2 R3 R4)+R5+R6+R7+R8+(R9 R10 R11)+R12+ R13+R14
8	3,873	1,10,15,11,3,17,18 22,7	(R2 R3 R4)+R5+R6+R7+(R9 R10 R11) +R12+ R13+R14
9	3,173	1,10,15,11,3,17,18 19,22,7	(R2 R3 R4)+R5+R6+R7+R12+ R13+R14

10	2,157	1,10,15,11,12,3,17,19,22,7	R5+R6+R7+R12+R13+R14
11	1,707	1,10,14,15,12,3,17,19,22,7	R6+R7+R12+R13+R14
12	1,313	1,10,14,15,12,3,21,17,19,22,7	R6+R7+R13+R14
13	0,919	1,10,14,15,12,13,3,21,17,19,22,7	R7+ R13+R14
14	0,8369	1,10,15,12,13,3,21,17,19,20,22,7	R7+R14
15	0,544	1,10,15,12,13,3,17,19,20,22,7	(R5 R6 R7) +R14
16	0,287	1,10,15, 12,13,3,17,19,20,22,23,7	(R5 R6 R7) +(R12 R13 R14)
17	0,137	1,10,14,15,12,13,14,3,17,19,20,22,23,7	R12 R13 R14
18	0		

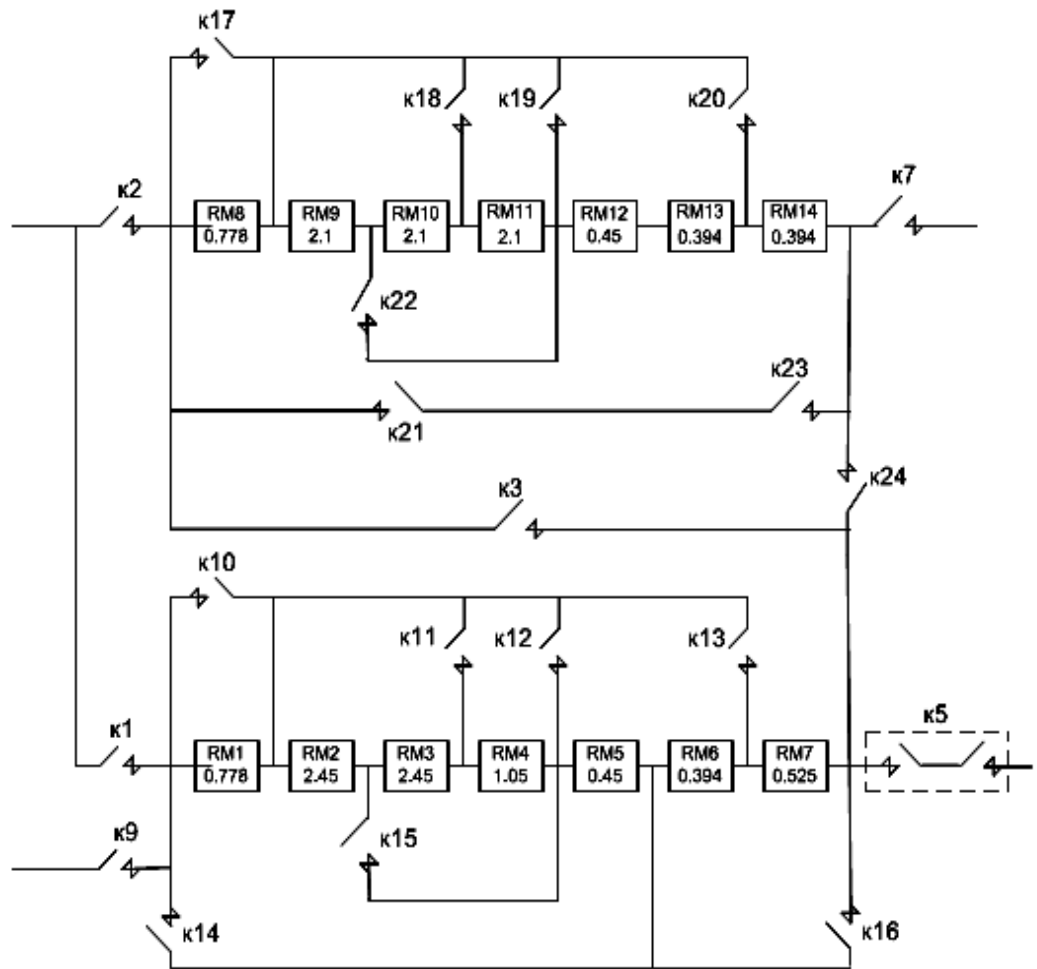


ნახ 1.9 TЛ-3 წევის ძრავებიანი ელმავალ 4E1-ის სიჩქარის მახასიათებლები, როცა D=1200 მმ

- 4E1 ქვეპროექტის დენური მახასიათებლები - $\Sigma P = f(V)$
- სამომხმარებელ ქსელის ძაბვა, V - 3000
- ქვეპროექტის ძაბვა, V - 82
- თვალყვიანი ჩვენებები დაშვება, ა/ს - 215,8
- თვალყვიანი რიგაობის (საშ. მასშტაბით) ანტიბუნების პირიქით) მძ - 1200
- სიღრმეების ნაათვის ჩვენებით, ა/ს - 3000
- სიღრმეების ნაათვის ჩვენებით, ა/ს - 2725
- დასტურებული სიღრმეები, ა/ს - 120
- ანტიბუნების დაშვების რიგაობა - 2,7(81:30)



ნახ. 1.10. ელმავალ 4E1 დენური მახასიათებლები



ნახ. 1.11. ელმავალ 4E1 გამშვები რეოსტატის სქემა

მუშაობის აღწერილობა	ჯომბაქთორიდან დასახლება და დანიშნულება																													
	ბაზური									ჩელსტატილი																მუშაობის ჯამი				
	K1	K2	K5	K6	K7, K8	K9	K3	K4	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24	K26, K27	K30, K33	K31, K34	K32, K35			
ბაზა	0																													
	1																													15, 733
	2																													15, 733
	3																													11, 533
	4																													8, 033
	5																													6, 633
	6																													5, 449
	7																													4, 661
	8																													3, 873
	9																													3, 173
	10																													2, 607
	11																													2, 157
	12																													1, 707
	13																													1, 313
	14																													0, 919
	15																													0, 544
	16																													0, 287
	17																													0, 137
	18																													0
	შ.პ.1																													0, 18808
	შ.პ.2																													0, 074258
	შ.პ.3																													0, 03651
	შ.პ.4																													0, 02184
	ბაზისი																													2, 0068
	შეკრება	19																												2, 0068
		20																												1, 6059
		21																												1, 3624
		22																												1, 1322
		23																												0, 9682
		24																												0, 8022
		25																												0, 6501
		26																												0, 5275
27																														0, 4243
28																														0, 3151
29																														0, 2250
30																														0, 1086
31																														0, 0716
32																														0
შ.პ.1																													0, 18808	
შ.პ.2																													0, 074258	
შ.პ.3																													0, 03657	
შ.პ.4																													0, 02184	
პარალელი																														
ბიძგა																														
ბიძგა																													3, 9246	

ნახ.1.12 ელმავალ 4E1 გამზვი რეოსტატის კონტაქტორთა ჩართვის ცხრილი

პეზ. 1



პეზ. 2



პეზ. 3



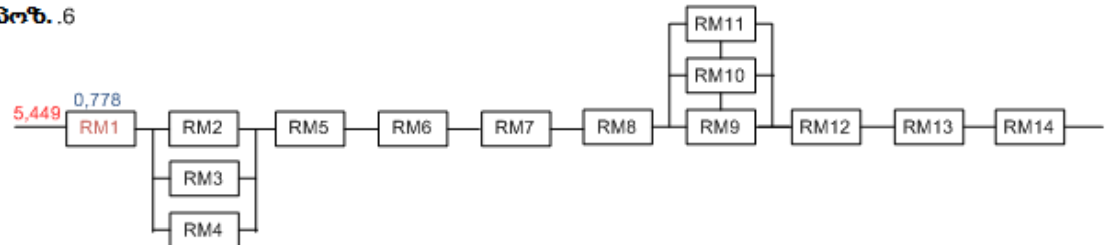
პეზ. 4



პეზ. 5

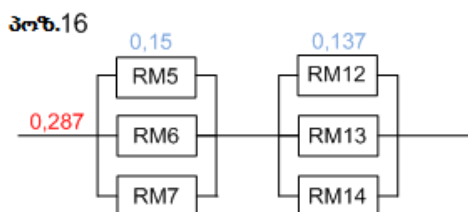
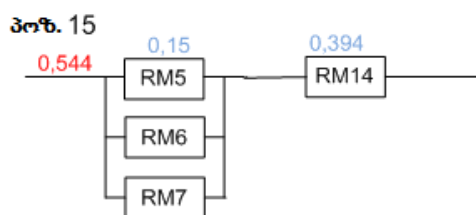
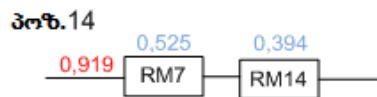
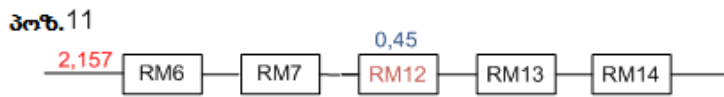
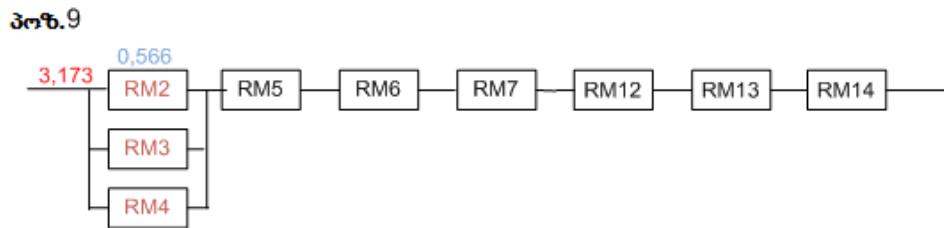
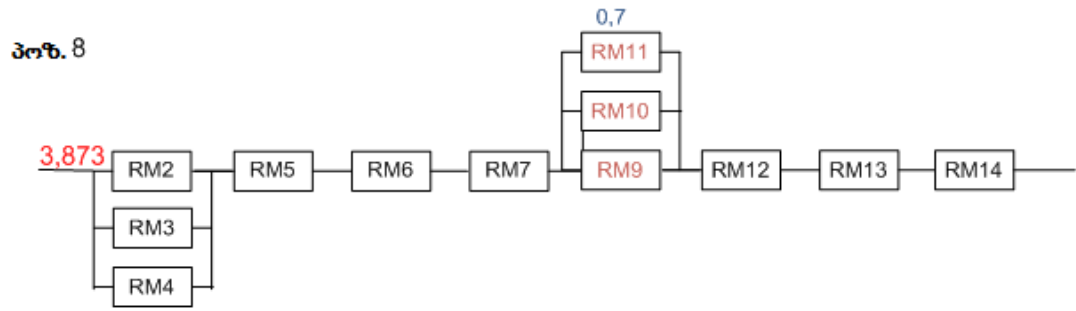


პეზ. 6



პეზ. 7





პოზ. 17

0,137

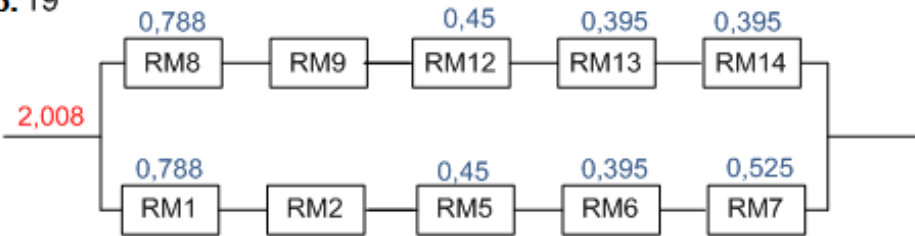


პოზ. 18

0

პარალელური შეერთება

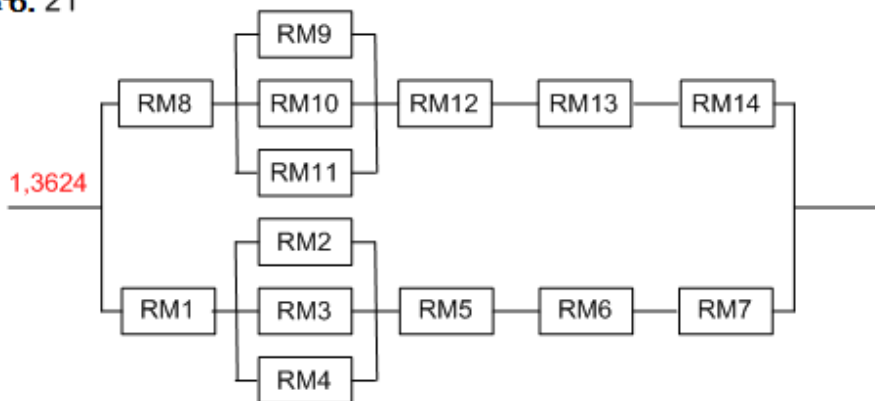
პოზ. 19



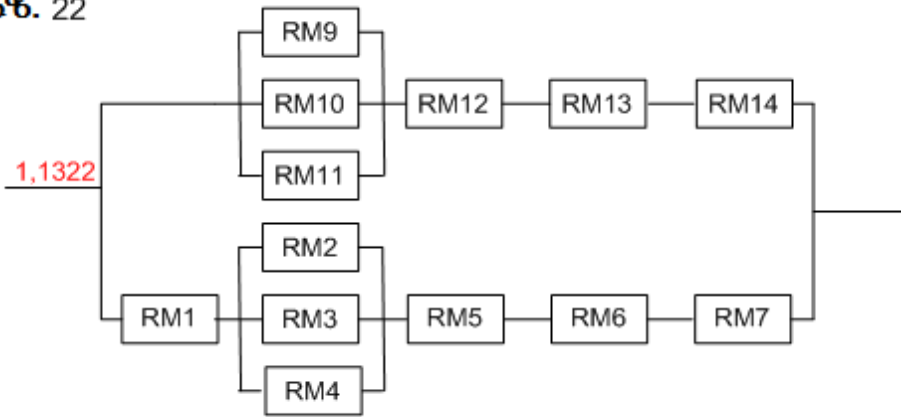
პოზ. 20



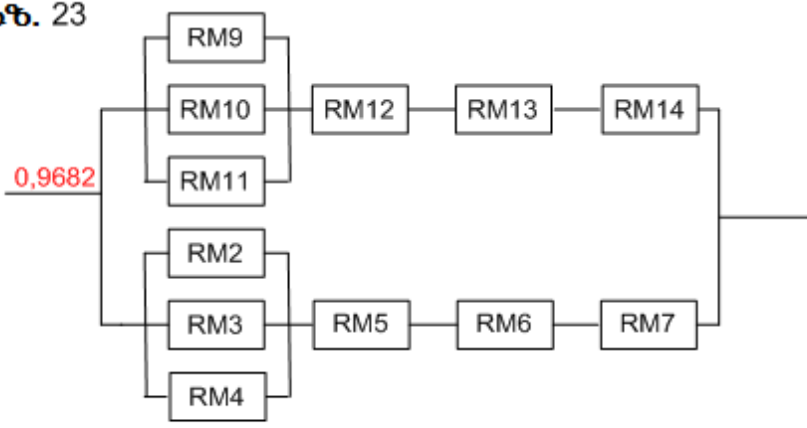
პოზ. 21



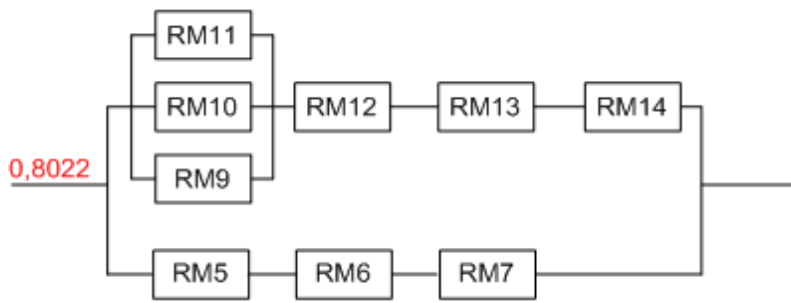
პეზ. 22

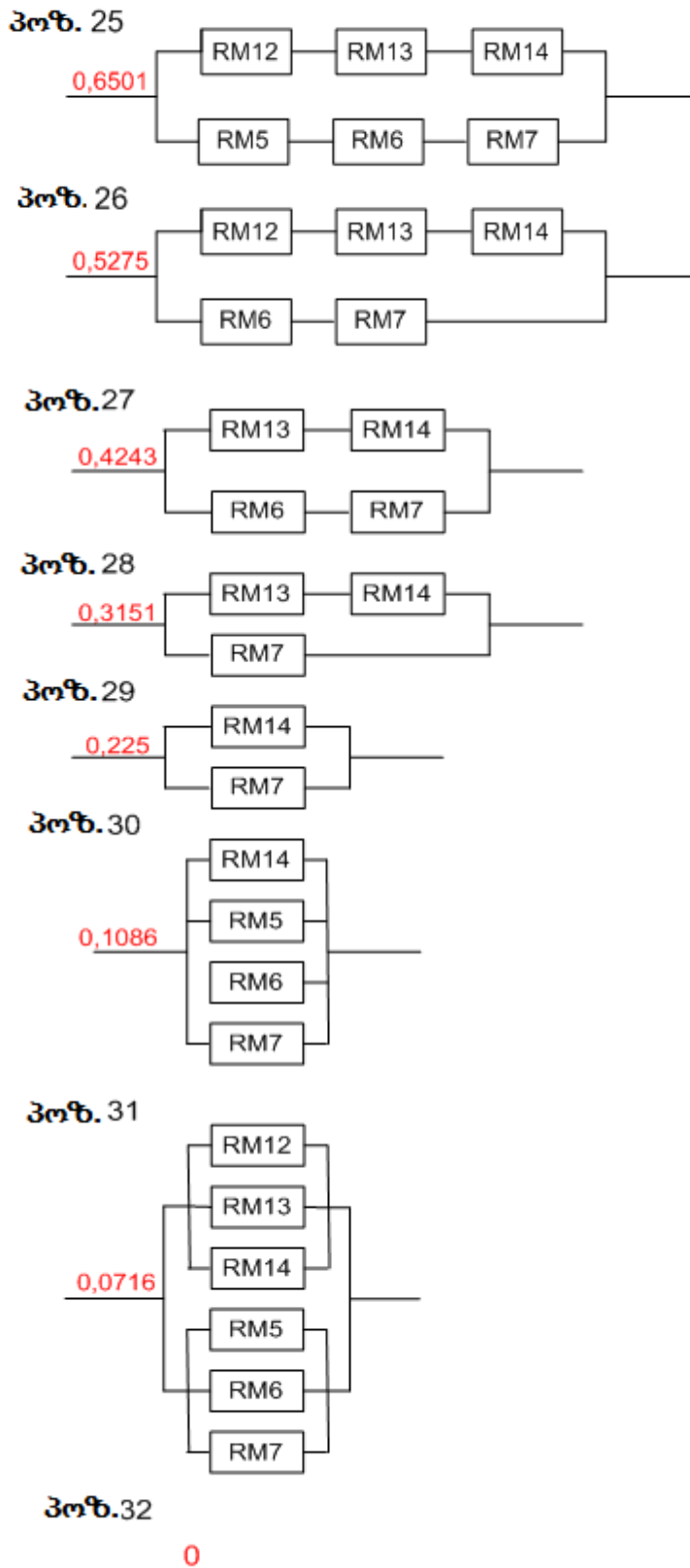


პეზ. 23

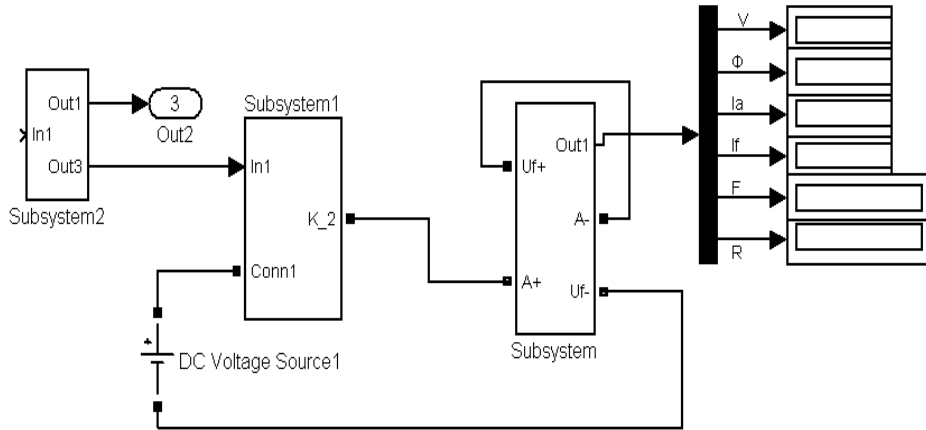


პეზ. 24





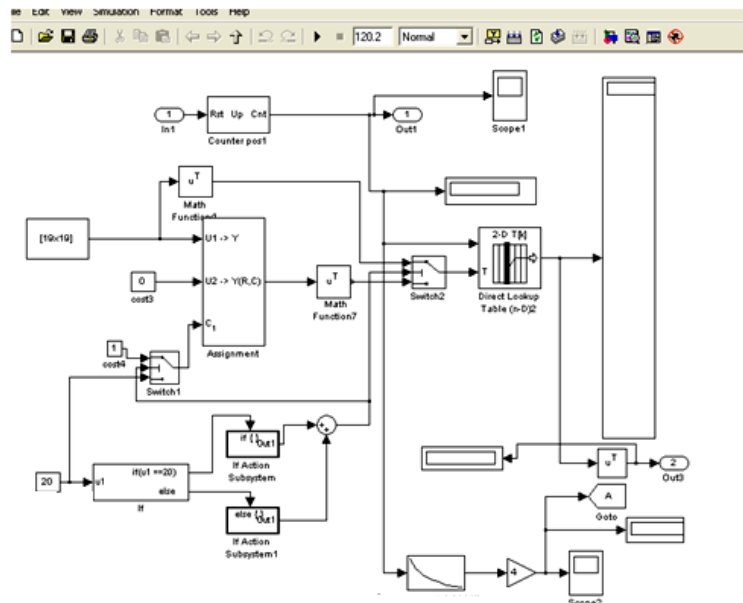
ნახ.1.13. ელმავალ 4E1-ს გამშვ რეზისტორთა წინაღობები პოზიციების მიხედვით



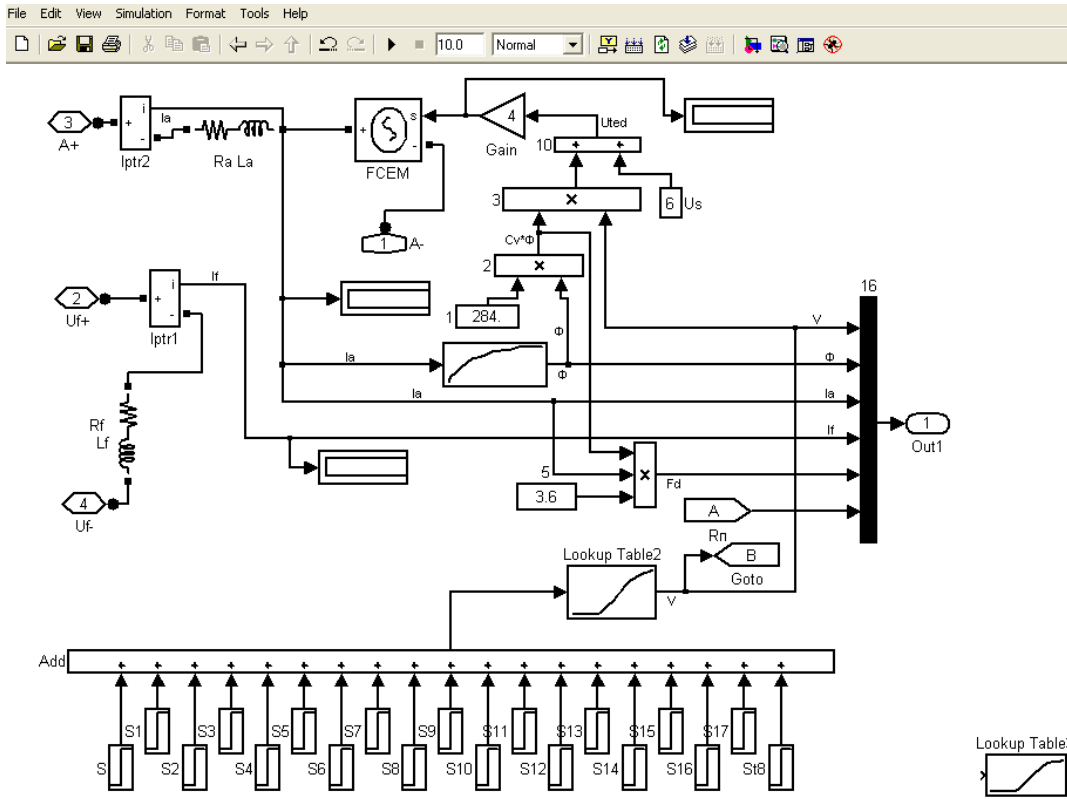
ნახ.1.14 გამშვი რეოსტატის მოდელის საერთო სტრუქტურა (სექციებში დენების განსაზღვრისათვის)

ნახ. 1.14-ზე: Subsystem2 განსაზღვრული საკვლევი ობიექტის მონაცემთა მაფორმირებელი მოდელის სქემა. Subsystem1- მიმდევრობითი ალგზნების მუდმივი დენის წვეის ძრავის მოდელის სქემა; Subsystem - გამშვები რეოსტატის მოდელის სქემა.

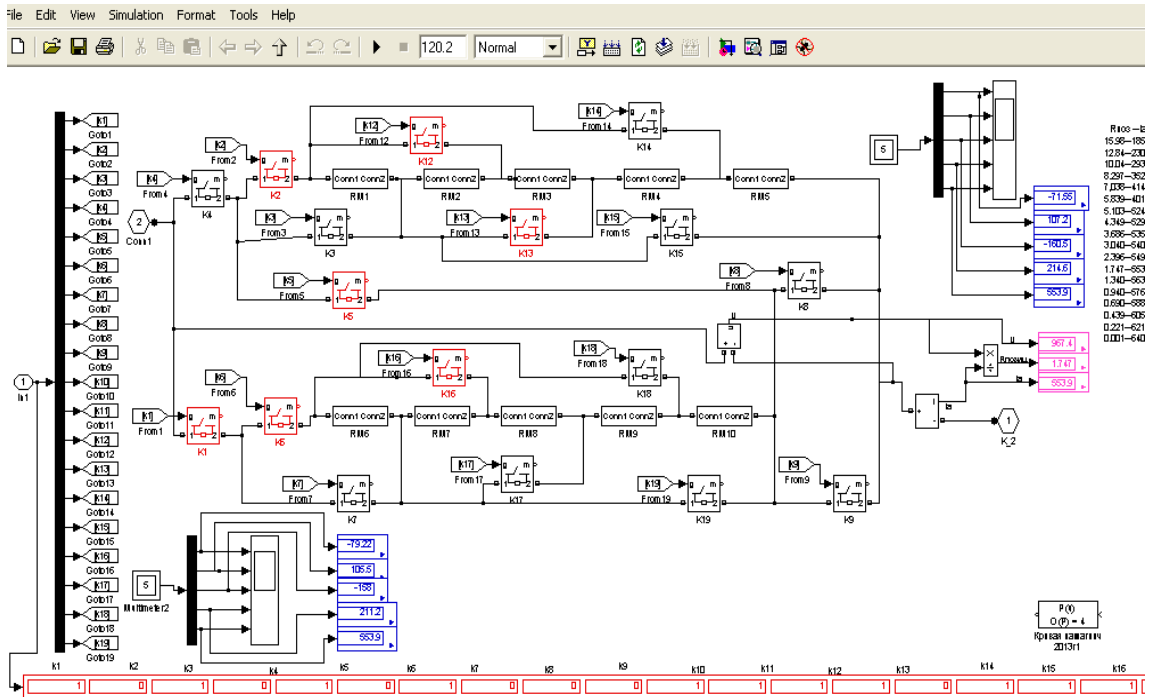
აღნიშნული ქვესისტემებიდან პირველ ორს შეუძლიათ აღწერონ როგორც $4E1$ ასევე, $4E10^2$ ელმავლის ბლოკები, მათში შესაბამისი პარამეტრების შეყვანის შემთხვევაში.



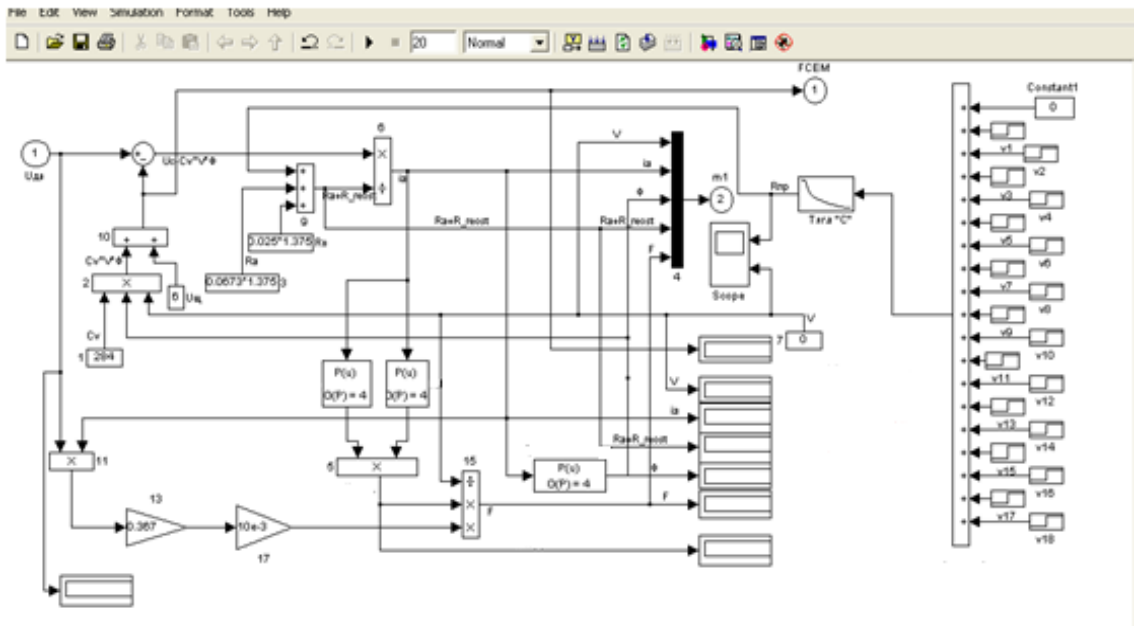
ნახ. 1.15 მონაცემთა ფორმირების მოდელის სქემა, გამშვი რეოსტატის მოდელისათვის



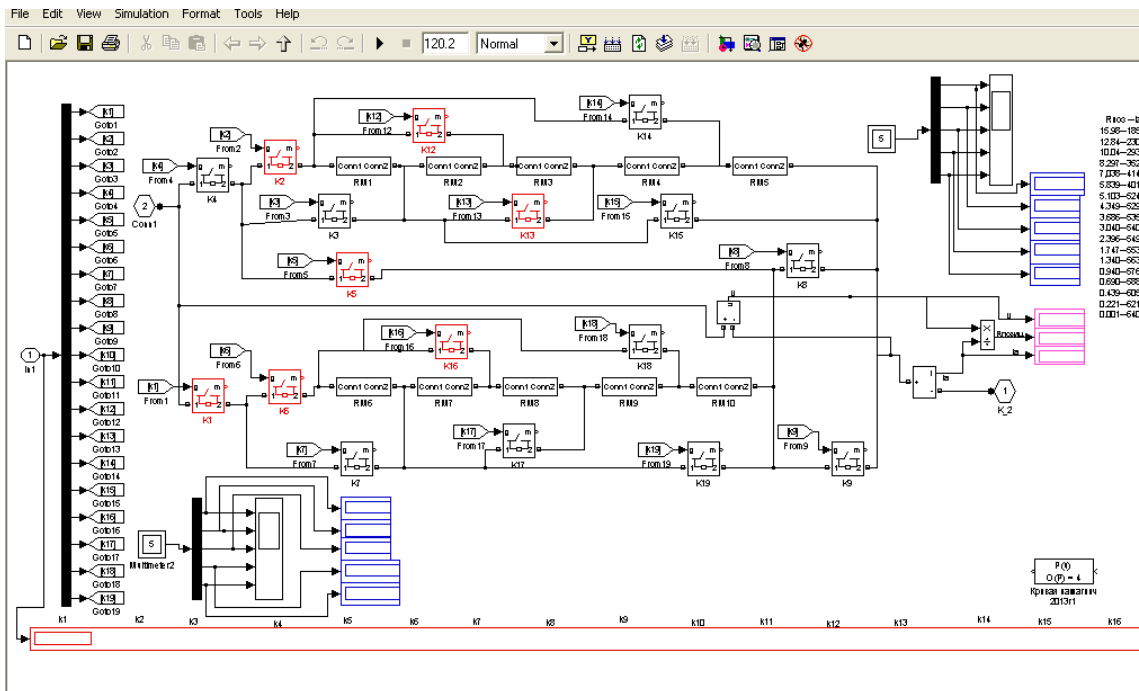
ნახ. 1.16. მიმდევრობითი ალგორითმის მუდმივი დენის წევის ძრავის მოდელის სქემა ძაბვის წყაროს ბაზაზე (გამოყენებული გამშვი რეოსტატის მოდელი)



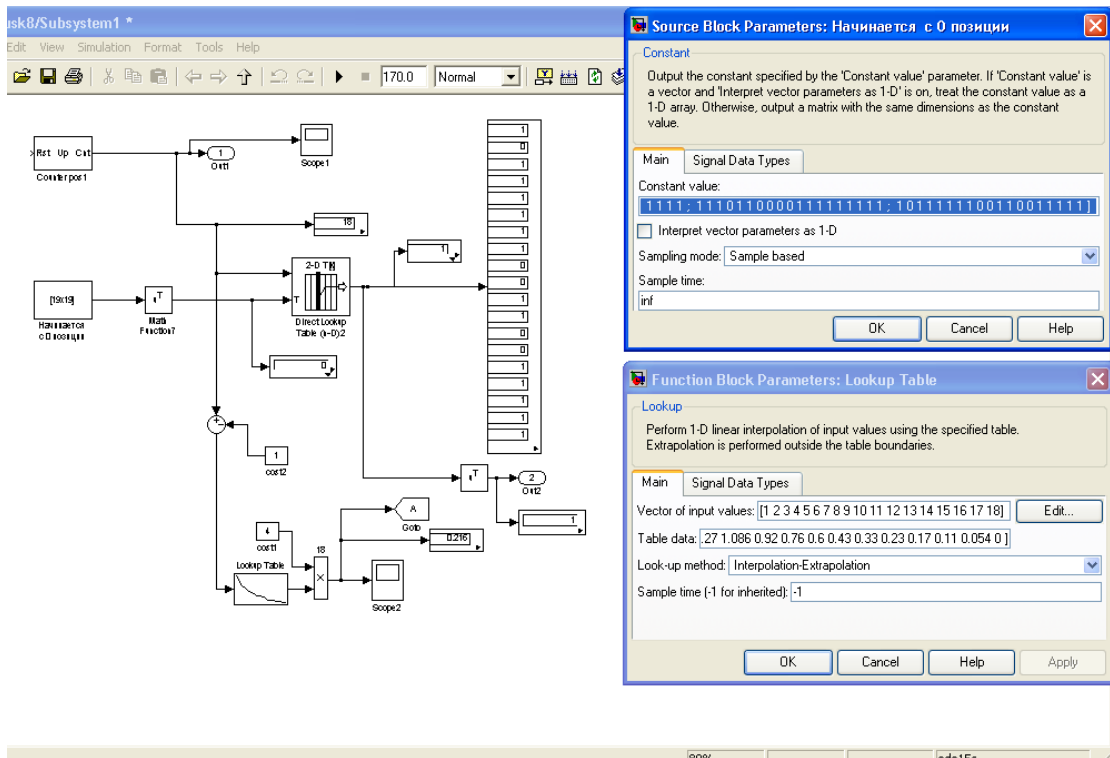
ნახ.1.17 ელმავალ 4E1-ის გამშვი რეოსტატის მოდელი



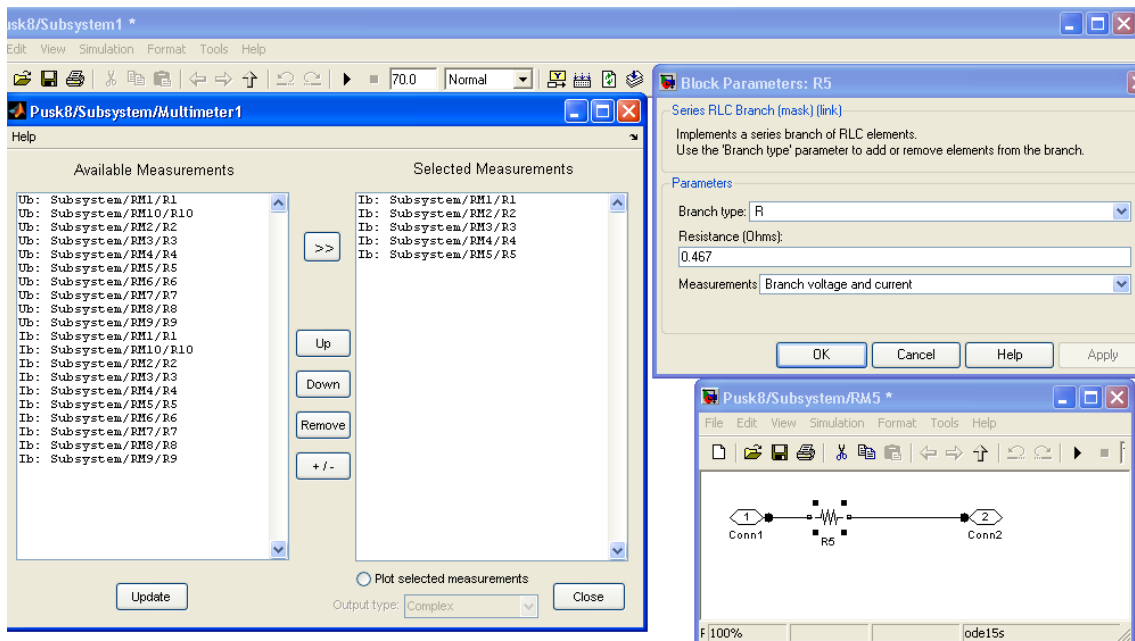
ნახ.1.18. «მ» რეჟიმში გამშვით რეოსტატის ყოველ საფეხურზე ელმავალ 4E10-ის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრის მოდელი

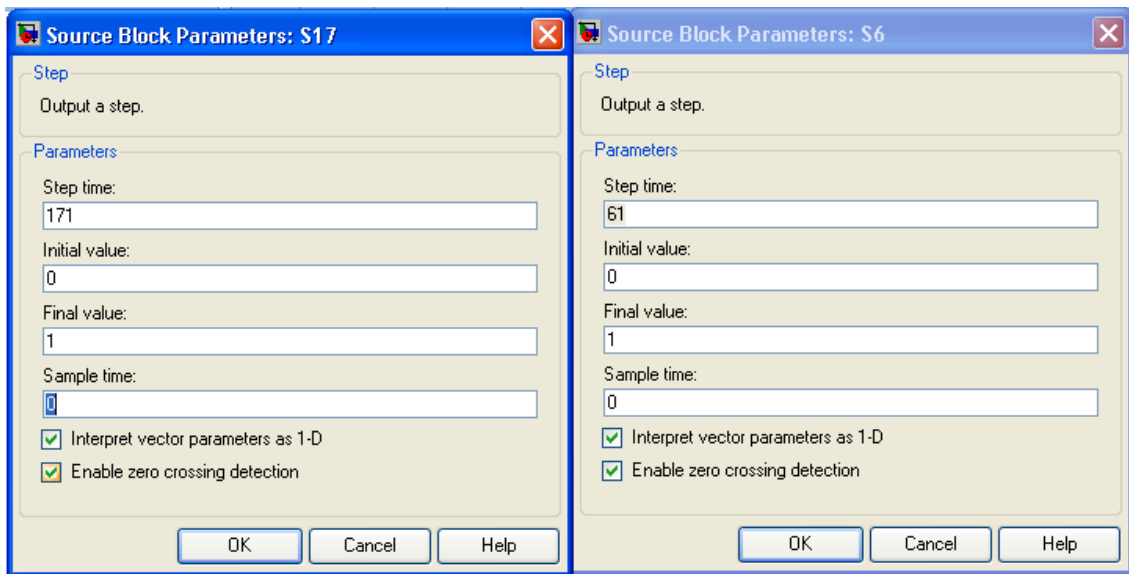


ნახ.1.19. ელმავალ 4E10^რ ის გამშვით რეოსტატის მოდელი

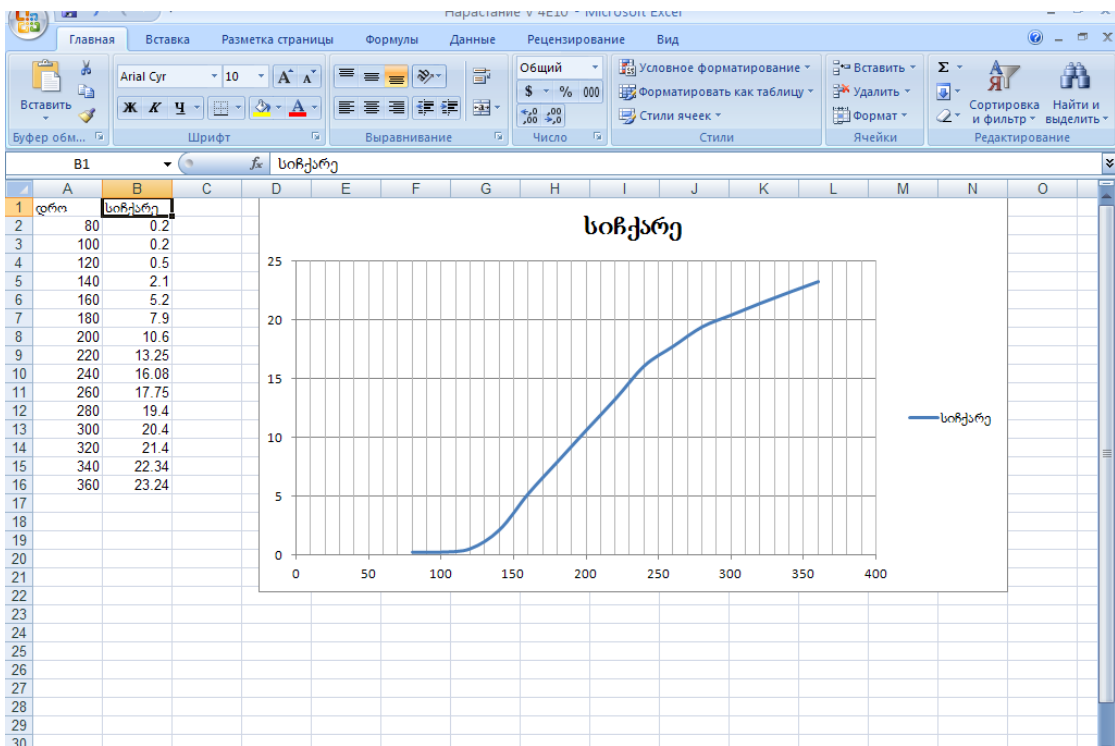


ნახ. 1.20 გამშვი რეოსტატის მოდელის მონაცემთა ფორმირების მოდელის სქემა პარამეტრების შესაყვანი თავისი მუშა ფანჯრებით

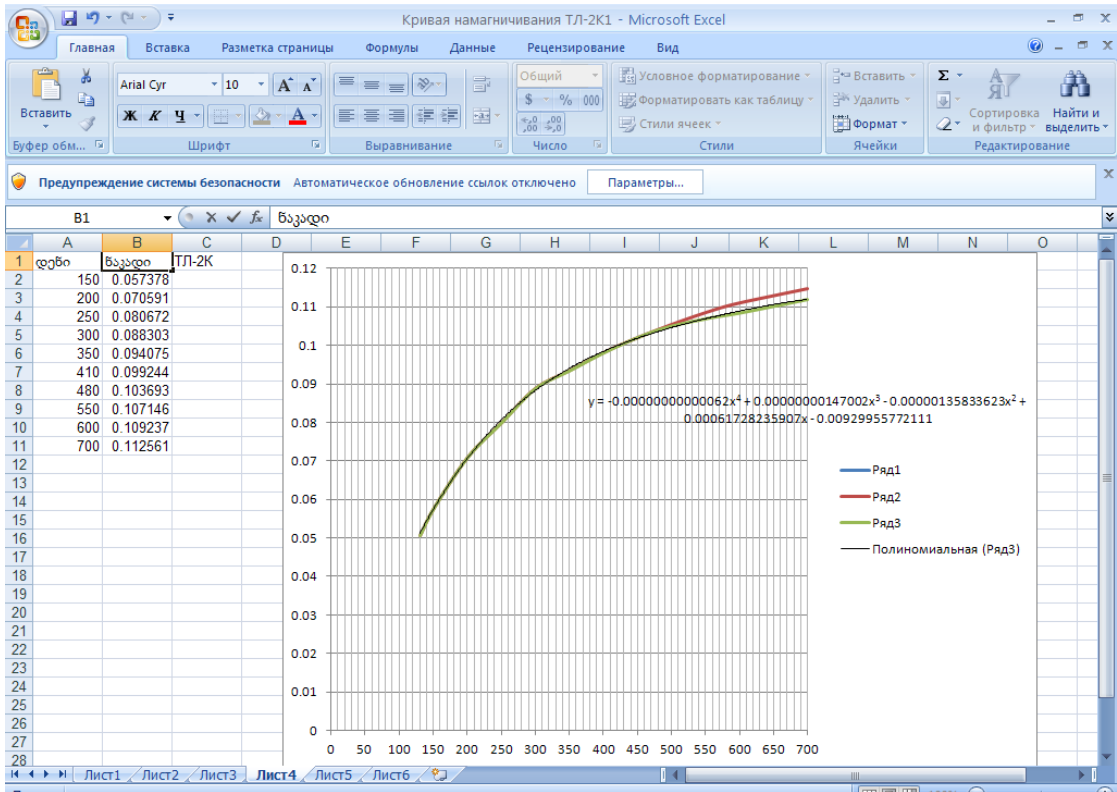




ნახ. 1.21 საიმიტაციო მოდელების პარამეტრების შესაყვანი მუშა ფანჯრები



ნახ.1.22 სიჩქარის გაზრდის გრაფიკი ელმავალ 4E10-თვის



ნახ.1.23 *TL-2K-ის დამაგნიტების მრუდი*

I თავის დასკვნა:

შექმნილი მოდელები საშუალებას იძლევიან განვიხილოთ და გავაანალიზოთ $4E10^2$ და $4E1$ ელმავლების ელექტრულ და მექანიკურ ნაწილებში მიმდინარე პროცესები.

იმიტაციური მოდელების დახმარებით აპროქსიმაციის მეთოდით მიღებული დენისა და სიჩქარის მახასიათებლები ემთხვევიან ქარხნულ მახასიათებლებს, რაც ადასტურებს შემუშავებული მოდელების ადეკვატურობას.

თავი II. წვევის ძრავების გამშვი რეოსტატების თბური რეჟიმების გამოკვლევა

მაგისტრალურ ელმავალთა წვევის ელექტრული ძრავები მათზე მიწოდებული ელექტროენერჯის გარდაქმნის პროცესში, ასრულებენ გარკვეულ მექანიკურ მუშაობას, რომელიც იხარჯება მატარებლის გადაადგილებაზე. წვევის ელექტროამძრავის ყველა რგოლში: გამშვებ რეზისტორებში (მუდმივი დენის ელმავლებზე), წვევის ძრავებში და წვევის გადაცემებში – ადგილი აქვს მიწოდებული ენერჯის ნაწილობრივ კარგვას.

წინააღმდეგობაში დენის გავლისას გამოიყოფა სითბო და ადგილი აქვს ტემპერატურის მომატებას (გახურებას), ამიტომ წინააღმდეგობა გამტარებისა და იზოლაციის მასალების შერჩევისას უნდა შეირჩეს ისეთი მასალები, რომლებიც ხანგრძლივად უძლებენ მაღალ სიმბურვალეს. მაღალი ტემპერატურის პირობებში მუშაობა, თავისთავად იწვევს გამტარის მასალების მინიმალური ტემპერატურული კოეფიციენტის მოთხოვნას, რადგან წინააღმდეგობის მოცემული სიდიდეები, მუშაობის პროცესში, უცვლელად უნდა იქნენ შენარჩუნებულნი.

სითბოს გადაცემა მყარი სხეულის ზედაპირიდან მოძრავ გარემოზე (მაგ., ჰაერზე) საკმაოდ რთულ პროცესს წარმოადგენს. ამ პროცესში ჩართულია მინიმუმ სამი მექანიზმი: თბოგამტარობა, გამოსხივება და კონვექცია. თითოეული მათგანი ემორჩილება თავის კანონებს, ხოლო მათი წილი მთლიანი თბოგადაცემის პროცესში, სხვადასხვა შემთხვევაში შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს [19], [40], [42].

რეალურ წინააღმდეგობა გახურების პირობები შორს არიან სხეულის იდეალურ პირობებში გახურებასთან, როდესაც სხეულის ტემპერატურის მომატების მიუხედავად, გარემოს ტემპერატურა უცვლელი რჩება. განსხვავება მდგომარეობს შემდეგში:

- 1) წინააღმდეგობა მასალების თბოგამტარობა არ არის უსასრულოდ დიდი და რადგანაც სითბოს წარმოქმნა თითქმის თანაბრად

მიმდინარეობს მთელ მოცულობაში, ხოლო გაგრილება – მხოლოდ ზედაპირიდან, ზედაპირის ტემპერატურა უფრო დაბალია, ვიდრე მოცულობის შიდა წერტილებისა.

- 2) წინაღობის მთელი ზედაპირიდან თბოგაცემის პროცესი არათანაბრად მიმდინარეობს, რადგანაც წინაღობის ცალკეული მონაკვეთების ჰაერით გარსდენა არაერთგვაროვნად ხდება; წინაღობის მეზობელი ელემენტები ენერჯის გამოსხივებით ზემოქმედებას ახდენენ წინაღობის ცალკეულ მონაკვეთებზე და ყველაფერი ეს იწვევს თბოგაცემის ცვლილებას.
- 3) წინაღობის ტემპერატურის მომატებასთან ერთად მისი გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურაც რამდენადმე მატულობს და ესეც ამცირებს თბოგაცემას იდეალური სხეულის შემთხვევასთან შედარებით.
- 4) ცნობილია, რომ თბოგამტარობის გზით გაცემული სითბო პროპორციულია ტემპერატურათა სხვაობისა პირველ ხარისხში; კონვენციით გაცემული სითბო, დაახლოებით პროპორციულია ტემპერატურათა სხვაობისა 1,25 ხარისხში; გამოსხივებით გაცემული სითბო კი პროპორციულია ტემპერატურათა სხვაობისა მე-4 ხარისხში.
- 5) წინაღობის თბომოცულობა არ არის მუდმივი, არამედ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მცირედ მატულობს.

გამოცდილება გვკარნახობს, რომ თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გამაგრილებელი გარემოს დინების ხასიათზე – ლამინარულია ის, თუ ტურბულენტური. ჰაერის ნაკადები, რომელსაც ჭირხნავს იძულებითი ვენტილაცია, ატარებენ ტურბულენტურ ხასიათს და ეს აიხსნება ზედაპირის მრავალრიცხოვანი უსწორმასწორობებით, კუთხოვანი წანაზარდებით და ჩაღრმავებებით [19].

რეალური სხეულის გახურებაზე მოქმედი ყველა ფაქტორის გათვალისწინება, უარის თქმა იდეალური სხეულის გახურების განხილვაზე,

წარმოდგენილია მოვლენის სირთულიდან გამომდინარე, ამიტომ გვიწევს იდეალური სხეულისათვის გამოყვანილი კანონების გამოყენება განსაზღვრული ცდომილებებით.

იმის დაშვებით, რომ შექმნილი სითბო შედგება დაგროვილ სითბოს პლუს გაცემული, მარტივად მიიღება იდეალური სხეულის თბური მდგომარეობის ცნობილი განტოლება:

$$\tau = \tau_{\infty} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \tau_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.1)$$

სადაც: τ , τ_0 , τ_{∞} – სხეულის ტემპერატურის გადამეტება $^{\circ}\text{C}$ -ში გარემოსთან შედარებით, შესაბამისად დაწყებიდან t წმ-ის შემდეგ, დასაწყისში და დამყარებულ რეჟიმში, T -დროის მუდმივა წამებში, e -ნატურალური ლოგარითმის ფუნქცია.

აპარატურაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა პირდაპირ პროპორციულია მოწყობილობის მოცემულ ელემენტში გამავალი დენის კვადრატისა, ე.ი. დამოკიდებულია მისი მუშაობის რეჟიმზე და საერთო ქსელში ჩართვის სქემაზე. გარემოს მუდმივი ტემპერატურის პირობებში ძალიან ელექტრომოწყობილობის თბური რეჟიმი ლოკომოტივის სიჩქარის რეგულირების მოცემულ პოზიციაზე, საბოლოო ჯამში, განისაზღვრება ძრავის დენით. იმდენად, რამდენადაც გარემოში სითბოს გაცემა დამოკიდებულია წინააღმდეგობისა და გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურათა სხვაობაზე, გათვლებში ოპერირებენ არა წინააღმდეგობის გახურების აბსოლუტური ტემპერატურით, არამედ, მისი ტემპერატურის გარემოს ტემპერატურაზე გადამეტებით, ანუ გადახურებით τ .

მატარებლის მოძრაობის რეჟიმი ჩვეულებრივ შეიცავს შემდეგ ელემენტებს:

- გაშვებას, რომელიც მოიცავს მატარებლის გაქანებას ლოკომოტივის არჩეულ სავალ მანძილზე გასვლამდე.
- დენის ქვეშ მოძრაობას (ჩართული წვევის ძრავების პირობებში) რესტატულ პოზიციებზე.
- გამორბენს, მოძრაობას გამორთული წვევის ძრავებით.

- შემუხრუჭებას, მკვეთრ დაღმართზე მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესანარჩუნებლად.
- დამუხრუჭებას, სიჩქარის შესანელებლად, გამაფრთხილებელი სიგნალებისა და გაჩერების წინ.

ლოკომოტივის მუშაობის პირობები ხასიათდება წვევის ძალის, მოძრაობის სიჩქარის და მაშასადამე დენის ძალის განუწყვეტელი ცვლილებით. ლოკომოტივის ასეთი მუშაობის რეჟიმი გამოწვეულია გზის პროფილისა და გეგმის უწყვეტი ცვალებადობით, დასაშვებ სიჩქარეთა სხვადასხვა დონით, აგრეთვე, მატარებლის გაჩერების აუცილებლობით სხვადასხვა პუნქტებში.

ელმავალთა გამშვი რეზისტორებისათვის ჩვეულებრივ ითვალისწინებენ შემდეგ საანგარიშო რეჟიმებს:

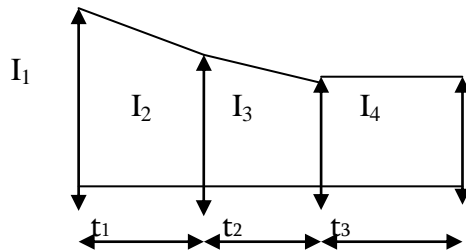
- გაშვება პირველიდან ბოლო პოზიციამდე გაშვების დენის საანგარიშო მნიშვნელობისა და გაშვების $0,02-0,03\text{მ/წმ}^2$ აჩქარებისას სამგზავრო ელმავლებისათვის;
- ხანგრძლივი მუშაობა რეოსტატის ნებისმიერი საფეხურისათვის წვევის ძრავის ნომინალური დენის 40-60%-ის პირობებში.
- მანევრულ პოზიციებზე 3-5წთ-ის განმავლობაში მუშაობა. ამ შემთხვევაში დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება თითოეული პოზიციისათვის, როცა სიჩქარე უტოლდება ნულს.
- მოძრაობა საანგარიშო აღმართზე ორი ან სამი პოზიციიდან თითოეულზე, რომლებიც ურეოსტატოს წინმსწრებნი არიან, წვევის ძრავების ხანგრძლივი მუშაობისას საანგარიშო გამშვი დენით. ასეთი რეჟიმი შესაძლებელია გოგოწყვილების ბუქსაობისა და საანგარიშო აღმართზე მატარებლის გაჩერების თავიდან ასაცილებლად.

წინააღმართა დატვირთვის პრაქტიკული რეჟიმების კლასიფიკაცია შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგნაირად:

- 1) ხანგრძლივი რეჟიმი.
- 2) ხანმოკლე რეჟიმი.

- 3) განმეორებითი - მოკლევადიანი რეჟიმი.
- 4) შენაცვლებითი რეჟიმი - რომლის დროსაც წინაღობა დატვირთულია ხანგრძლივი დროით, მაგრამ დატვირთვის სიდიდე პერიოდულად იცვლება.

მიახლოებით გამოთვლებში შესაძლებელია ერთი საფეხურიდან მეორეზე გადართვებს შორის პერიოდებისათვის წინაღობის ცალკეულ ელემენტში დენის ცვლილება დროის ფუნქციით ჩაითვალოს სწორხაზობრივად. მაშინ შეგვიძლია დენის ცვლილება გამშვი რეოსტატის პოზიციების მიხედვით ერთი სექციის ერთ-ერთ ელემენტში გრაფიკულად წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად (ნახ.2.1):



ნახ.2.1 დენების სავარაუდო სიდიდეები ერთ-ერთ ელემენტში

მოცემული ნახაზისათვის შესაძლებელია განვსაზღვროთ ექვივალენტური დენი სითბოს მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

$$I = \sqrt{\frac{(I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2)t_1 + (I_2^2 + I_3^2 + I_2 I_3)t_2 + (I_3^2 + I_4^2 + I_3 I_4)t_3}{3(t_1 + t_2 + t_3)}} \quad (2.2)$$

რომ განიხილებოდეს რეოსტატის მხოლოდ ორი პოზიცია, მაშინ ექვივალენტური დენი განისაზღვრებოდა როგორც ორი დენის საშუალო არითმეტიკული სიდიდე.

წინააღობის საფეხურეობრივი ცვლილებისას გამშვები რეოსტატი იყოფა ნაწილებად (სექციებად), რომლებიც გამშვების პროცესში გამოერთვებიან ან ჩაერთვებიან ერთმანეთს სხვადასხვა მეთოდით. პარალე-

ლურად და მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების რაოდენობა სხვადასხვა სექციაში სხვადასხვაა, რითაც მიიღწევა სხვაობა სექციის წინააღმდეგობაში. სექციათა ერთმანეთთან სხვადასხვა კომბინაციური შეერთების გზით შესაძლებელი ხდება, შესაბამის საფეხურზე, გამშვები რეოსტატის საჭირო წინააღმდეგობის მიღება.

რადგანაც თითოეულ გამშვებ პოზიციაში არ ხდება რეოსტატის ყველა სექციის გამოყენება, ამიტომ თითოეული სექციის (და მისი ელემენტების) მუშაობისა და მოცდენის აღწერა შესაძლებელია მხოლოდ ინდივიდუალურად სექციის ცალკეულ ელემენტთა გახურების გათვლის ბლოკ სქემების მიხედვით.

ამრიგად, საფეხურიანი რეოსტატის და მისი ცალკეული ელემენტების სწორედ შერჩევას დიდი მნიშვნელობა აქვს მოძრავი შემადგენლობის საიმედო და ეფექტური მუშაობისათვის. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მათ თბურ რეჟიმს, რადგანაც ის უზრუნველყოფს მუშაობის საიმედოობას და ეკონომიურობას. მათემატიკური მოდელირების თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია ოპტიმალურად გადაიჭრას ეს პრობლემა.

განსახილველ ელემენტში დენის სიდიდის მისაღებად, $I_{საერთო}$ უნდა გაიყოს სექციაში პარალელურად შეერთებული ელემენტების (n) რაოდენობაზე.

$$I_{ელ} = \frac{I_{საერთო}}{n} \quad (2.3)$$

ელექტრომოდრავ შემადგენლობათა მართვის სისტემების პროექტირების სასწავლო სახელმძღვანელოში [2] მოყვანილია $K\Phi$ ტიპის რეზისტორთა გახურების მრუდები, ელემენტზე $3\text{მ}^3/\text{წთ}$ გამაგრილებელი ჰაერის მიწოდების პირობებში. ნორმის მიხედვით $БПС$ და $ИШ$ გაედინება $195\text{მ}^3/\text{წმ}$, ე.ი. ერთ გამშვებ რეზისტორულ ელემენტზე მოდის დაახლოებით $0,5\text{მ}^3/\text{წთ}$. ამავე ავტორთა წიგნის ახალ გამოცემაში [2] ერთ ელემენტზე მოწოდებული ჰაერის რაოდენობის შესახებ არაფერია მოხსენებული, მაგრამ ნათქვამია, რომ გაქრევის სიჩქარე $3\text{მ}^3/\text{წმ}$. [ბ.ნ. ტიხმენევის და ლ.მ. ტრახმანის

(1986წ) მონაცემებით] გამაგრებელი ჰაერის ხარჯი რეზისტორთა ერთ ყუთზე, რომელიც 28 (4x7) ელემენტისგან შედგება, არის - 20მ³/წთ. ნ.ა. როტანოვის მიერ მოყვანილი მრუდები მოცემული არიან 20 წუთიან მონაკვეთში და მათი ხასიათი არ მეტყველებს იმაზე, რომ მიღწეულია დამყარებული გადახურება.

ცნობილია, რომ 52ა ხანგრძლივი დენის დროს (ბ.ნ. ტიხმენევის და ლ.მ. ტრახმანის მონაცემებით - 51ა) KΦ ტიპის რეზისტორის დამყარებული გადახურება აღწევს 350°C. ამ, თითქოს და უტყუარ მონაცემებზე დაყრდნობით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს თანაფარდობა, რომელიც მოყვანილია [3]:

$$I'_{\infty} = I_{\infty} \sqrt{\tau'_{\infty} / \tau_{\infty}} \quad (2.4)$$

უნდა გვახსოვდეს, რომ რეზისტორთა აღნიშნულ ყუთში, რომელიც შედგება 28 ელემენტისგან, ეს ელემენტები განლაგებულნი არიან ოთხ ფენად და იმყოფებიან არათანაბარი გაგრილების პირობებში და გამაგრებელი ნაკადის შემოსვლა ხდება ქვემოდან. ამასთან იმ ელემენტებს, რომლებიც ვენტილატორისგან უფრო მოშორებით მდებარეობენ სავარაუდოდ ნაკლები ჰაერი მიეწოდებათ. ელემენტები არა ყველა ყუთში მიეკუთვნებიან ერთი და იმავე სექციას, მაგრამ მათი ერთ სექციაზე მიკუთვნების შემთხვევაშიც კი, გათბობა-გაცივების პროცესში, მათი ერთმანეთზე გავლენის უგულებელყოფა არ შეიძლება. გაგრილების თვალსაზრისით შედარებით მომგებიანი მდებარეობა გააჩნიათ ქვედა კუთხეებში მდებარე ელემენტებს.

თუ ტიხმენევის მიერ შემოთავაზებულ, ზემოთმოყვანილ შეფარდებას დენებსა და გადახურებებს შორის გამოვიყენებთ ახალ გადახურებასთან მიმართებაში და ჩავსვამთ „უტყუარ“ სიდიდეებს: 52ა და 350°C, მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$\tau_{\infty} = 350 * I_{\infty}^2 / 52^2 \quad (2.5)$$

ცნობილია, რომ წინააღობის ელემენტის თბოგაცემის კოეფიციენტი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$B = I_{\infty}^2 * R_{\text{эл}} / \tau_{\infty} \quad (2.6)$$

თუ მნიშვნელში ჩავსვამთ გადახურების მნიშვნელობას მივიღებთ:

$$B = 1,05 * 52^2 / 350 = 8,112 \quad (2.7)$$

ე.ი. გამაგრებული ჰაერის გარკვეული რაოდენობის შემთხვევაში თბოგაცემის კოეფიციენტი მუდმივ სიდიდედ წარმოგვიდგება. გახურების დროის მუდმივას განტოლებაში, ელემენტის მასალის „c“ კუთრ თბოტევადობას წარმოვადგენთ როგორც ტემპერატურაზე დამოკიდებულ ცვლადს:

$$T = C * m / B \quad (2.8)$$

X23H05T მარკის ფეხრალისათვის (სხვა მარკის შესახებ ინფორმაცია ვერ აღმოვაჩინეთ) ცნობილია თბოტევადობის გახურების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ორი წერტილი 480 Bт*с/°C*кг --- 25°C; და 750 --- >800°C.

რამდენადაც ტიხმენევი გვთავაზობდა „c“ ჩაგვეთვალა მუდმივად და 700-ის ტოლად, ხოლო ყველა წყაროში გვირჩევენ, რომ რეზისტორების გადახურება შევინარჩუნოთ 350-450°C-ის ფარგლებში, ლოგიკური იქნებოდა ჩაგვეთვალა, რომ დამოკიდებულების მესამე წერტილის კოორდინატებია 700-400°C.

შემოთავაზებულია, რომ დამოკიდებულება $C=f(\tau_{\infty})$ წარმოვიდგინოთ აპროქსიმირებად ლოგარითმულ მრუდად:

$$C = 64,296 * \ln \tau_{\infty} + 307,48 \quad (2.9)$$

თუ ანათვლებს შორის დროს ავლნიშნავთ Δt ასოთი, ელემენტის გადახურების განმსაზღვრელი ფორმულა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\tau = \tau_{\infty} (1 - e^{-\Delta t/T}) - \tau_0 * e^{-\Delta t/T} \quad (2.10)$$

ელმავალ BJI1K-ზე წვევის ელექტრო ძრავის და გამშვები რეოსტატის გამაგრებული ვენტილატორის ბრუნთა რიცხვი და მამასადამე, მიწოდებული ჰაერის რაოდენობაც, დამოკიდებულია წვევის ელექტროძრავის დენის სიდიდეზე და ეს ფაქტორი გავლენას იქონიებს გამშვები რეოსტატის ელემენტთა გადახურების სიდიდეზე (ამ ელმავლებზე გამშვებ წინააღობათა ვენტილაცია ხორციელდება ჰაერის მუდმივი ართმევით).

ზამთრის პერიოდში გამაგრილებელი ჰაერის ტემპერატურა შედარებით დაბალია ზაფხულის პერიოდთან შედარებით, მაგრამ ზამთარში მისი მიწოდების რაოდენობა დამოკიდებულია არა მარტო ვენტილატორის ბრუნთა რიცხვზე, არამედ ვენტილატორში მოხვედრილი ჰაერის რაოდენობაზეც, რომელიც მას ფილტრების საშუალებით მიეწოდება.

წვევის ძალის გათვლის წესების მიხედვით მიხედვით თოვლდაცვისა და გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურის გავლენა წვევის ელექტრო ძრავის გადახურებაზე გავითვალისწინოთ კოეფიციენტებით $K_{სფ}$ (სეზონის კოეფიციენტი) და $K_{გა}$ (გარე ჰაერის კოეფიციენტი). თუ $K_{გა}$ კოეფიციენტით გამოხატული, გარემო ტემპერატურის გავლენა (წვევის ძალის გათვლის წესების მიხედვით) ითვალისწინებს, რომ გადახურების ცვლილება 1%-ით გარემოს ტემპერატურის 5°C ცვლილების პირობებში სრულიად მისაღებია რეზისტორთა გახურების აღწერისთვისაც, მაშინ თოვლდამცავი ფარების დაყენების გავლენის აღწერა, რომლებიც იწვევენ რეზისტორის გამაგრილებელი ჰაერის მიწოდების რაოდენობის შემცირებას, შეიძლება დავუკავშიროთ ვენტილატორის მიერ ჰაერის გაქრევის შემცირებას, რაც გამოწვეულია მოტორ-ვენტილატორზე შემომავალი ძაბვის შემცირებით.

ელმვალ BJI11K-ზე განხორციელებულია გამაგრილებელი ჰაერის მიწოდების მოცულობის რეგულირების წვევის ელ. ძრავის დენზე დამოკიდებული სისტემა. რამდენადაც წვევის ელ. ძრავების და რეზისტორების გამაგრილებელი ჰაერის წყარო ერთი და იგივეა, ამიტომ გამშვ რეზისტორთა გამაგრილებელი ჰაერის რაოდენობის ცვლილება ხდება წვევის ელ. ძრავზე მიწოდებული ჰაერის რაოდენობის ცვლილების პროპორციულად. თუ ვიცით რა რაოდენობის ჰაერი მიეწოდებათ რეზისტორებს გასაგრილებლად, მოტორ-ვენტილატორის 3000ვ ნომინალური ძაბვით მუშაობის დროს, შეიძლება გვესარგებლა შეფარდებით [5],[29] :

$$Q/Q_H = (U/U_H)^{0,6} \quad (2.11)$$

მაგრამ ამისთვის აუცილებელია გვექონდეს გახურების მრუდები სხვა ხარჯებისთვისაც.

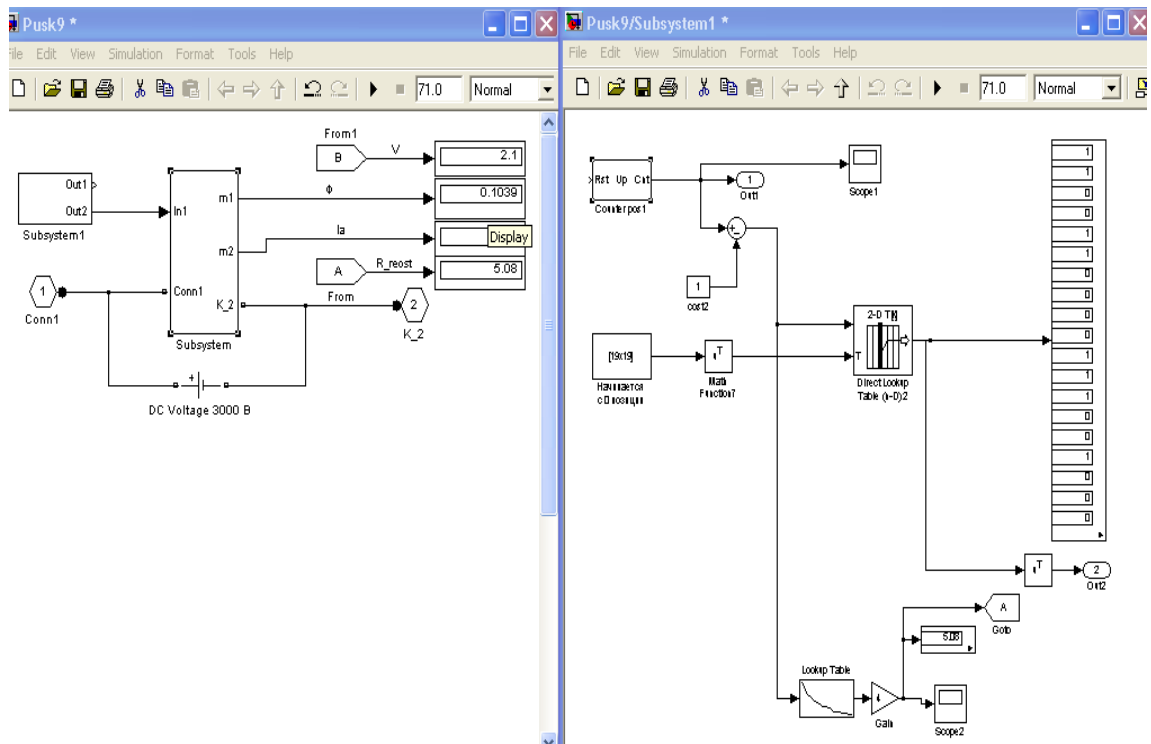
რომ ვიცოდეთ მოტორ-ვენტილატორის დატვირთვის დენის დამოკიდებულება ყველა ობიექტის გაგრილებისათვის მიწოდებული ჰაერის საჭირო რაოდენობაზე (მართვის გენერატორის მომსახურებაზე დახარჯული ნაწილის გამოყოფით), მაშინ მოტორ-ვენტილატორის ძაბვის შემცირების ფაქტორი და თოვლდამცავი ფარის გავლენა, გათვალისწინებულნი იქნებოდნენ ერთდროულად.

რადგანაც ჰაერის შებერვის სიმცირის შემთხვევაში სხეულის გახურების მრუდი გარკვეული დენის პირობებში გაივლის იმავე დენით, მაგრამ დიდი რაოდენობის ჰაერით გახურების მრუდზე მაღლა, ამიტომ კოეფიციენტი K_d , რომელიც ითვალისწინებს გახურების „T“ დროს მუდმივას ცვლილებას, გაქრვის ჰაერის რაოდენობის შემცირების პირობებში, უნდა იყოს 1-ზე მეტი.

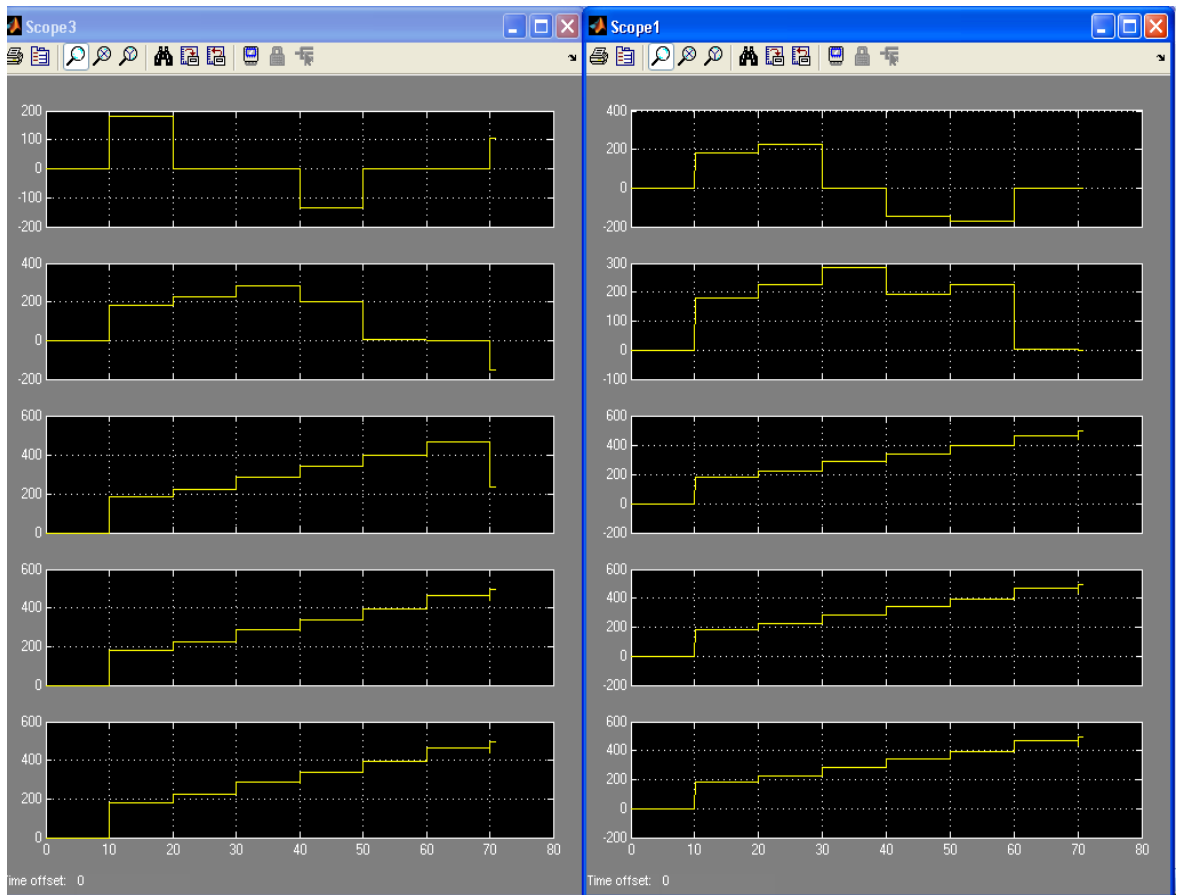
ცხრილი 2.1. $4E10^2$ -ის დაბვრისა და გაქანების დროს დენების განაწილება რეზისტორთა სექციის ელემენტების მიხედვით

პოზ. №	რეოსტ დენი	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
		3.15 ომ 3x9	2.1 ომ 4x8	1.4 ომ 6x8	1.05 ომ 7x7	0.467 ომ 9x4	2.8 ომ 3x8	2.1 ომ 4x8	1.4 ომ 6x8	1.05 ომ 7x7	0.467 ომ 9x4
დენები ცალკეულ ელემენტებში თითოეული სექციის მიხედვით											
1	180.5	60.2	45.1	30.1	25.8	20.1	60.2	45.1	30.1	25.8	20.1
2	223	-----	55.6	37.2	31.9	24.8	74.3	55.6	37.2	31.9	24.8
3	282.1	-----	70.5	47	40.3	31.3	-----	70.5	47	40.3	31.3
4	336.3	44.8	50.4	56	48	37.4	48.4	48.1	56	48	37.4
5	351.4	-----	-----	58.6	50.2	39	50.2	50.2	58.6	50.2	39
6	460.2	-----	-----	76.7	65.7	51.1	-----	-----	76.7	65.7	51.1
7	490	34.4	38.7	38.7	70	54.4	-----	-----	81.7	70	54.4
8	490	34.4	38.7	38.7	70	54.4	36.3	40.8	36.3	70	54.4
9	490	-----	-----	-----	70	54.4	36.3	40.8	36.3	70	54.4
10	490	-----	-----	-----	70	54.4	-----	-----	-----	70	54.4
11	490	22.3	22.3	22.3	28.6	54.4	-----	-----	-----	70	54.4
12	490	22.3	22.3	22.3	28.6	54.4	23.3	23.3	23.3	26.7	54.4
13	490	-----	-----	-----	-----	54.4	23.3	23.3	23.3	26.7	54.4
14	490	-----	-----	-----	-----	54.4	-----	-----	-----	-----	54.4
15	490	9.3	15.7	14	18	21	-----	-----	-----	-----	54.4
16	490	9.3	15.7	14	18	21	3.3	16.4	14.6	18.8	19.5
17	490	-----	-----	-----	-----	-----	3.3	16.4	14.6	18.8	19.5
18	490	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

19	490	65	73.1	81.2	69.6	51.4	70.4	70.4	82.1	70.4	54.7
20	480	-----	-----	78.9	67.6	52.6	58	58.1	67.7	58	45
21	480	-----	-----	81.7	70	54.4	-----	-----	81.7	70	54.4
22	480	32.6	36.6	36.6	66.3	51.6	-----	-----	69.3	59.4	46.2
23	480	17.2	22.2	25.9	70.2	54.6	18.1	23.2	24.3	69.8	54.3
24	480	28.4	32	32	57.9	45	-----	-----	-----	82.1	63.8
25	480	-----	-----	-----	70	54.4	-----	-----	-----	70	54.4
26	480	-----	-----	-----	81.3	63.2	19.6	19.6	19.6	22.4	45.7
27	480	22.2	22.2	22.2	28.5	54.2	23.4	23.4	23.4	26.8	54.6
28	480	15.5	15.5	15.5	19.9	37.9	-----	-----	-----	-----	70.9
29	480	-----	-----	-----	-----	54.4	-----	-----	-----	-----	54.4
30	480	-----	-----	-----	-----	34.4	17.2	17.2	17.2	19.6	34.4
31	480	11.2	12.6	12.6	14.4	25.2	13.1	12.6	12.6	14.4	25.2
32	480	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



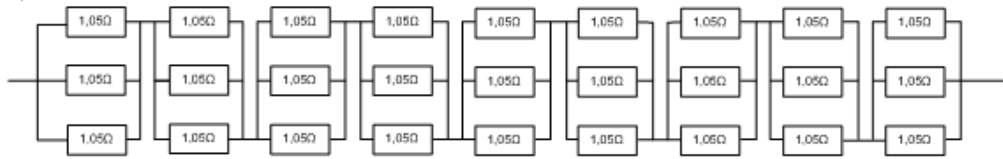
ნახ.2.2 ექსპერიმენტის დროს მოდელის მუშა ფანჯრები



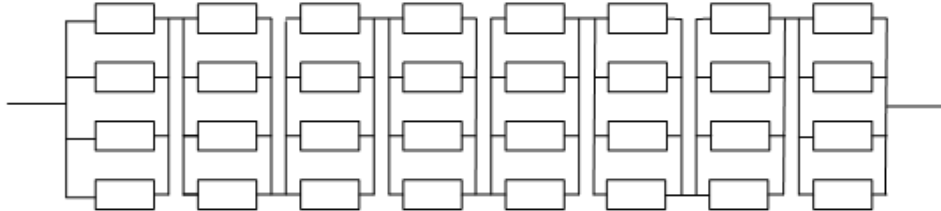
ნახ.2.3 აქ დარეგისტრირებული არის დენები ყველა 10 სექციაში

მოდელის საშუალებით მიღებულ ცხრილებისა და მახასიათებლების საფუძველზე შეიძლება დასკვნის გაკეთება, რომ არსებული რეოსტატისთვის დამახასიათებელია დენების არათანაბარი განაწილება სექციათა მიხედვით. ამიტომ აუცილებელია გადაანგარიშდეს გამშვი რეოსტატი და შეიცვალოს აღკაზმვა გამშვი მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით ანუ ერთი პოზიციიდან მეორეზე გადასვლის დროს დენებისა და ძაბვების ავარდნების შემცირების მიზნით.

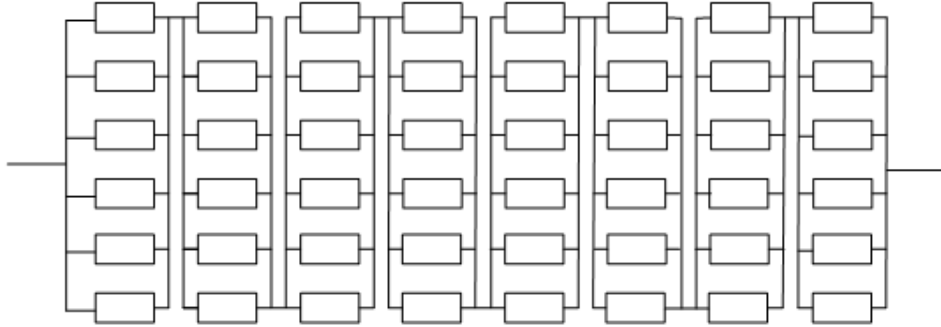
R1
 $\rho_s = 3 \times 9 = 3,15 \text{ Ом}$



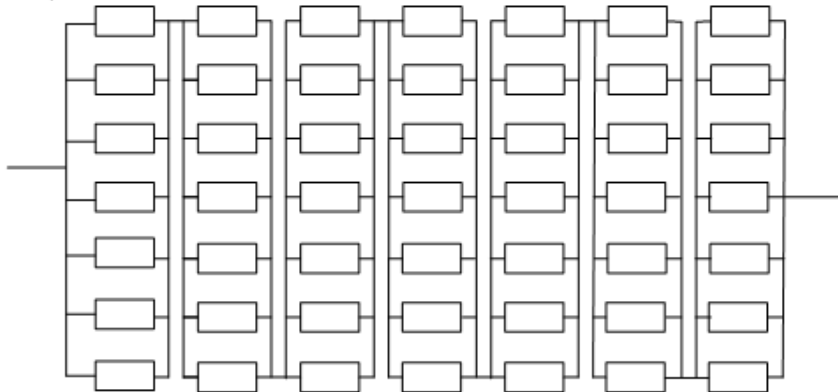
R2
 $\rho_s = 4 \times 8 = 2,1 \text{ Ом}$



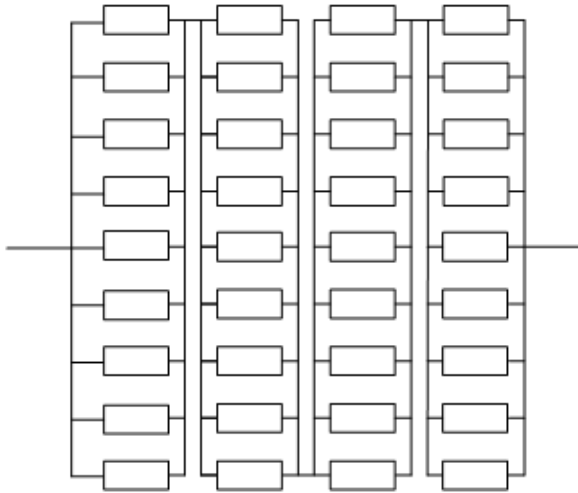
R3
 $\rho_s = 6 \times 8 = 1,4 \text{ Ом}$



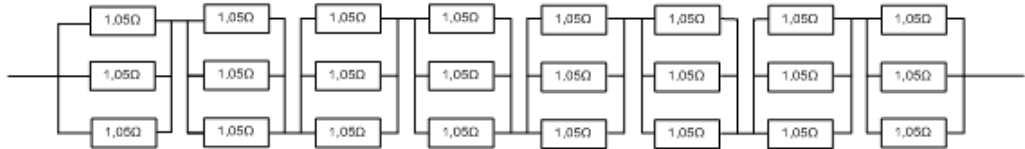
R4
 $\rho_s = 7 \times 7 = 1,05 \text{ Ом}$



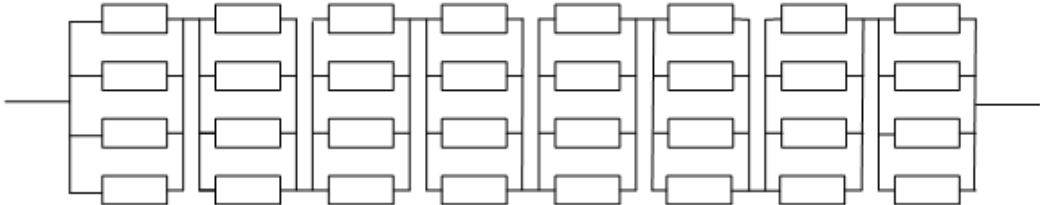
R5
 $ps=9 \times 4=0,467$



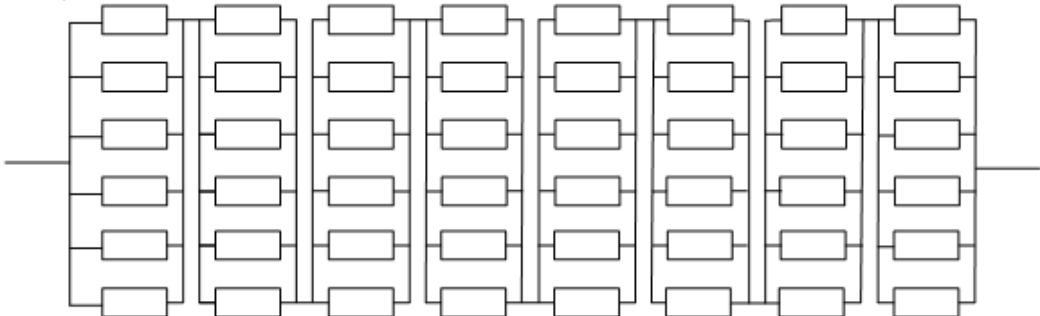
R6
 $ps=3 \times 8=2,8 \text{ Om}$

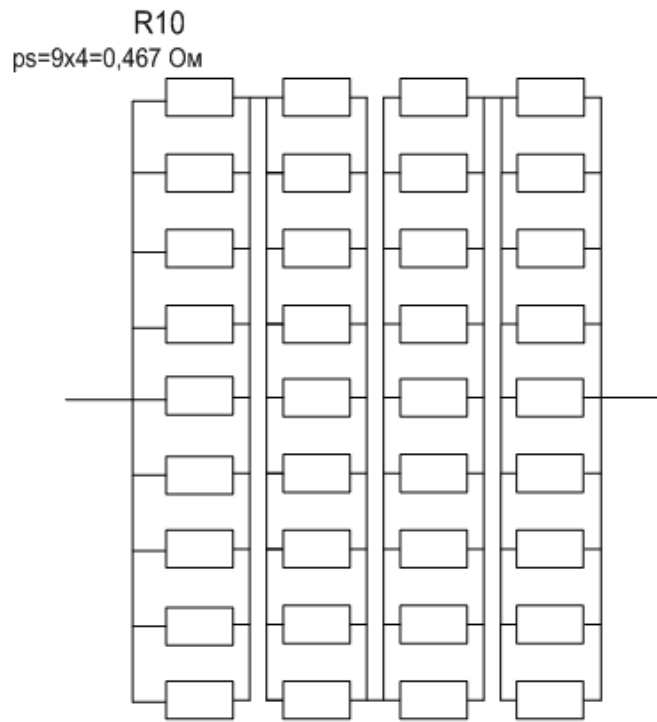
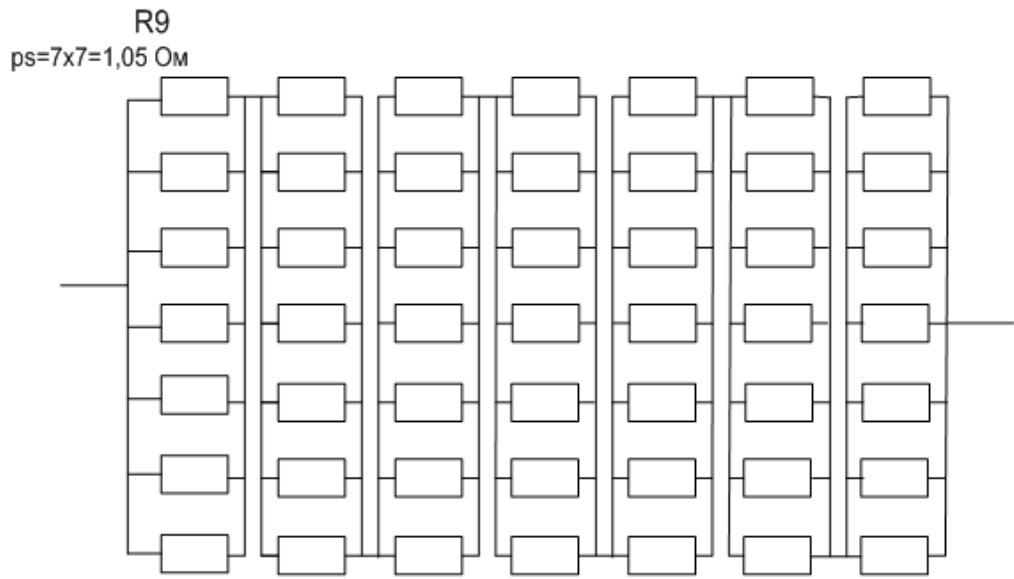


R7
 $ps=4 \times 8=2,1 \text{ Om}$



R8
 $ps=6 \times 8=1,4 \text{ Om}$





ნახ.2.4 ექსპერიმენტულ გამშვებ რეზისტორთა წინაღობები პოზიციების მიხედვით

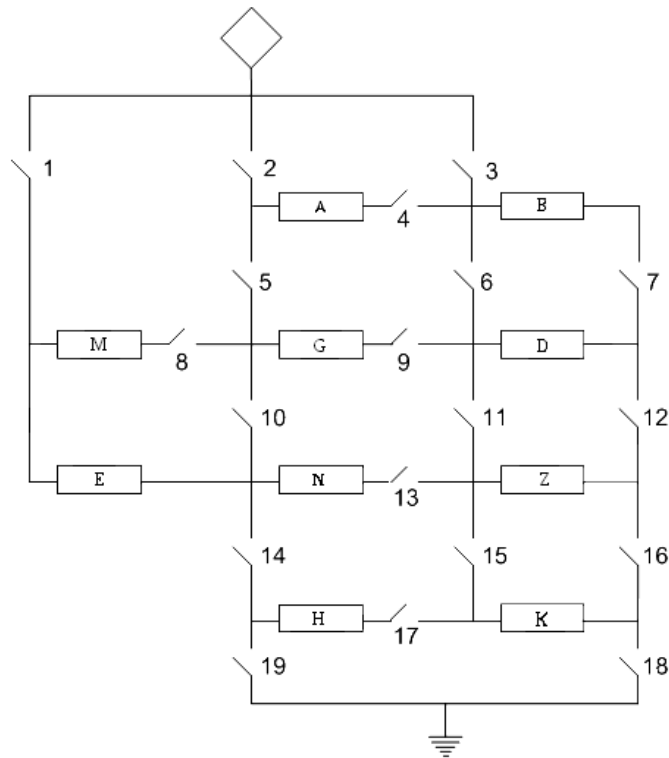
ცხრილი 2.2. დენების განაწილება რეზისტორთა სექციის ელემენტების მიხედვით ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის

პოზ. №	რეოსტატ. დენი	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
		0.788 ომ 8x6	2.45 ომ 3x7	2.45 ომ 3x7	1.05 ომ 4x4	0.45 ომ 7x3	0.394 ომ 8x3	0.525 ომ 8x4
დენები ცალკეულ ელემენტებში თითოეული სექციის მიხედვით								
1	185	23.1	61.6	61.6	46.2	26.4	23.1	23.1
2	185	23.1	61.6	61.6	46.2	26.4	23.1	23.1
3	249.6	31.2	83.2	83.2	62.4	35.6	31.2	31.2
4	352.2	44	117.	-----	-----	50.3	44	44
5	421.4	52.7	140.	-----	-----	60.2	52.7	53
6	490	61.2	37.7	37.7	66	70	61.2	61.2
7	490	-----	37.7	37.7	66	70	61.2	61.2
8	490	-----	37.7	37.7	66	70	61.2	61.2
9	490	-----	37.7	37.7	66	70	61.2	61.2
10	490	-----	-----	-----	-----	70	61.2	61.2
11	490	----	-----	-----	-----	-----	61.2	61.2
12	490	---	----	----	----	---	61.2	61.2
13	490	-----	----	----	-----	---	-	61.2
14	490	-----	----	----	-----	---	-	61.2
15	490	-----	----	----	-----	23.4	23.4	34.7
16	490	-----	----	----	-----	23.4	23.4	34.7
17	490	-----	-----	-----	-----	-----	--	-----
18	490							

პოზ. №	რეოსტატ. დენი	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
		0.788 ომ	2.1 ომ	2.1 ომ	2.1 ომ	0.45 ომ	0.394 ომ	0.394 ომ
		8x6	3x6	3x6	3x6	7x3	8x3	8x3
დენები ცალკეულ ელემენტებში თითოეული სექციის მიხედვით								
1	185	23.1	61.6	61.6	61.6	26.4	23.1	23.1
2	185	23.1	61.6	61.6	61.6	26.4	23.1	23.1
3	249.6	31.2	83.2	-----	-----	35.6	31.2	31.2
4	352.2	44	117.	-----	-----	50.3	44	44
5	421.4	52.7	46.8	46.8	46.8	60.2	52.7	52.7
6	490	61.2	54.4	54.4	54.4	70	61.2	61.2
7	490	61.2	54.4	54.4	54.4	70	61.2	61.2
8	490	-----	54.4	54.4	54.4	70	61.2	61.2
9	490	-----	-----	-----	-----	70	61.2	61.2
10	490	-----	-----	-----	-----	70	61.2	61.2
11	490	--	---	---	---	70	61.2	61.2
12	490	--	---	---	---	--	61.2	61.2
13	490	---	---	---	---	--	61.2	61.2
14	490	---	---	---	---	--	--	61.2
15	490	---	---	---	---	--	----	61.2
16	490	---	---	---	---	21.3	21.2	21.2
17	490	-----	-----	-----	-----	21.3	21.2	21.2
18	490							

ცხრილი 2.3. ექსპერიმენტული გამშვი რეოსტატის შესაძლებლობათა

რეზისტორთა სექციები	A	B	M	G	D	E	N	Z	H	K
ნომინალური წინაღობა	2.1	2.8	2.1	1.05	1.4	1.05	2.1	0.467	1.4	0.467
ჯგუფში პარალელურად შეერთებულ ელემენტთა რაოდენობა	4	3	4	6	6	7	4	9	6	9
ჯგუფში მიმდევრობითად შეერთებულ ელემენტთა რაოდენობა	8	8	8	6	8	7	8	4	8	4
ელემენტთა რიცხვი სექციაში	32	24	32	36	48	49	32	36		
ელემენტთა საერთო რაოდენობა	373									



ნახ. 2.5 ექსპერიმენტული გამშვით რელსტატის სექციათა პარამეტრები

ცხრილში 2.4. ოთხღერძიანი ელმავლის ექსპერიმენტული რელსტატის გამშვით პოზიციების რეზისტორთა სიდიდეები და კონტაქტორების ჩართვის თანამიმდევრობა

პოზ. №	საფეხ. წინაღობა	მორიგ პოზიციებზე ჩართული კონტაქტორები	პოზიციებზე ელემენტების შეერთებები
1	14,934	2,4,7,9,8,13,16,17,19	A+B+M+G+D+E+N+Z+H+K
2	11,784	2,4,7,9,10, 13,16,17,19	A+B+D+G+N+Z+K+H
3	9,984	3,4,5,9,12,13,14,17,18	A+G+D+Z+N+H+K
4	7,884	2,5,9,12, 13,14,17,18	G+D+Z+N+H+K
5	6,484	3,9,10, 13,14,17,18	G+N+Z+K+H
6	5,434	2,5,10,13,16, 17,18	N+Z+K+H
7	4,424	1,10,9,12,15,18	E+G+D+Z+K
8	3,461	1,8,10,5,4,6,11,13,7,12, 15,19	(B E)+(A N)+(B D Z)+H
9	2,8003	1,8,10,5,4,6,9,7,12,16, 18	(B E)+(A G)+(B D)
10	2,0151	1,8,10,13,14,15,18	(B E)+(N+H)+K
11	1,3519	2,4,5,10,14,7,12,16,18	(A+B) (H+K)
12	1,0832	2,5,10,14,13,17,16,18	(N+Z) (H+K)
13	0,9652	1,8,9,13,12,14,15,17,16,18	(M+G+D) (E+N+Z) (H+K)
14	0,8369	2,5,9,11,10,14,17,16,18	(G+Z) (H+K)
15	0,5827	3,5,6,10,12,14,18,19	(A B) (G+D) (N+Z) H
16	0,3818	3,4,5,6,9,10,11,13,14, 15,19	A G N H
17	0,1868	3,6,7,11,12,15,16,18	B D Z K
18	0		

თბური გამოთვლების შედეგები მოყვანილია ცხრილ 2.5 და 2.6-ში. გამშვი რეოსტატების სექციათა გახურების გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 2.6-2.9.

ცხრილი 2.5. გამშვი წინალობების გახურების ტემპერატურა არსებული რეოსტატისათვის

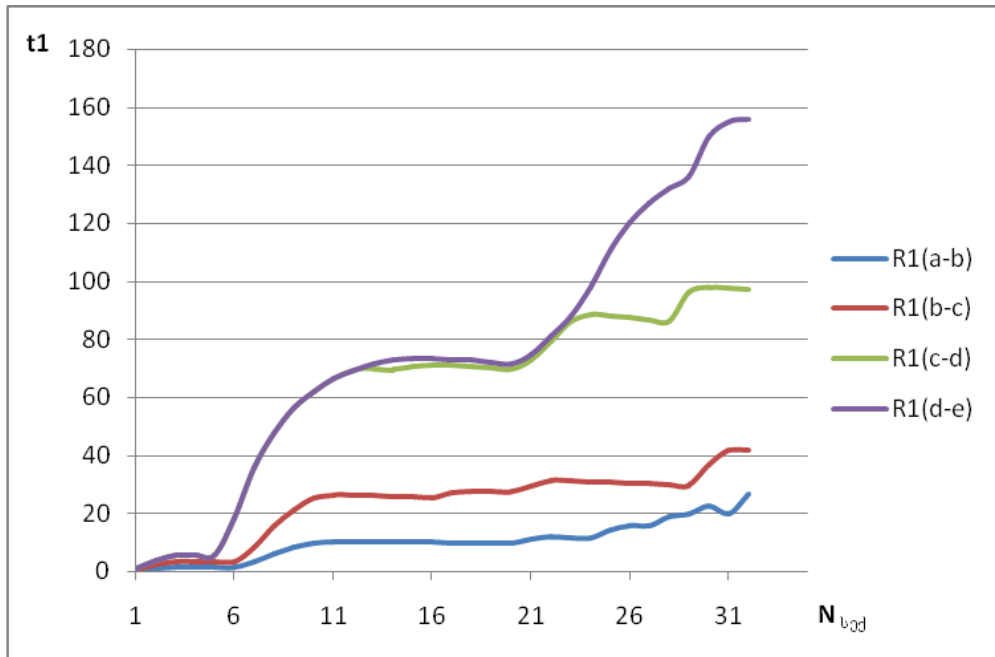
შეი რთ ება	№	t ₁ °C (ჯგ R1)				t ₂ °C (ჯგ R2)			
		a-b	b-c	c-d	d-e	a-b	b-c	c-d	d-e
ბ	1	0,3	0,7	1,0	1,0	1,0	1,8	1,8	1,8
	2	0,9	2,4	3,8	3,8	3,6	6,8	3,5	1,5
	3	1,4	3,5	5,5	5,5	9,6	17,0	3,4	3,4
	4	1,4	3,5	5,4	5,4	13,3	23,7	3,4	3,4
	5	1,4	3,5	5,4	5,4	13,2	23,5	3,4	3,4
	6	1,3	3,4	18,5	18,5	13,1	23,3	3,4	3,4
	7	3,2	8,2	36,0	36,0	14,2	25,3	5,0	5,0
	8	6,1	15,5	47,5	47,5	16,6	29,5	9,5	9,5
	9	8,3	21,2	56,2	56,2	20,6	36,6	16,7	16,7
	10	9,9	25,2	62,1	62,1	24,3	43,2	23,4	23,4
	11	10,3	26,3	66,5	66,5	25,4	45,2	28,5	28,5
	12	10,2	26,2	69,4	69,4	25,2	44,8	30,4	37,1
	13	10,2	26,0	69,9	71,6	25,0	44,6	30,2	44,1
	14	10,1	25,8	69,5	73,0	24,8	44,3	30,8	46,8
	15	10,1	25,7	70,7	73,5	24,7	43,9	29,8	48,0
	16	10,0	25,5	71,2	73,4	24,5	43,6	30,7	48,4
	17	9,9	27,1	71,1	73,1	24,4	43,3	30,7	48,4
	18	9,8	27,6	70,7	72,7	24,2	43,0	30,6	48,3
ვ	19	9,8	27,7	70,3	72,2	26,0	45,2	30,5	47,8
	20	9,7	27,5	69,8	71,7	26,3	45,0	30,3	47,5
	21	11,1	29,5	73,0	74,8	28,2	48,3	33,6	51,0
	22	11,8	31,3	79,4	81,2	29,8	51,2	41,0	58,2
	23	11,7	31,1	86,0	87,8	29,6	50,8	48,8	65,8
	24	11,6	30,9	88,7	98,3	29,4	50,6	55,2	72,1
	25	11,5	30,6	88,1	110,8	29,2	50,2	57,6	83,7
	26	11,4	30,4	87,4	120,0	29,0	49,8	59,4	93,3
	27	11,4	30,2	86,8	126,8	28,8	49,5	60,5	100,0
	28	11,3	30,0	86,2	131,8	28,6	49,2	60,1	108,5
	29	11,1	29,7	96,1	136,3	28,2	48,4	62,0	116,8
	30	11,1	36,8	97,9	136,6	28,0	48,1	63,5	117,8
	31	17,3	41,6	97,8	135,3	27,6	53,4	63,5	117,1
	32	18,1	41,7	97,2	134,4	27,4	53,4	63,1	116,4

მნიშვნელობა	№	t ⁰ C (ჯგ R3)				t _{საშ} 0C	i _{საშ} , s
		a-b	b-c	c-d	d-e		
0	1	1,0	1,8	1,8	1,8	1,3	41,6
	2	3,8	6,7	6,7	3,8	4,2	43,1
	3	9,6	17,0	17,0	9,6	8,3	37,3
	4	18,5	32,8	32,8	18,5	13,2	36,0
	5	23,0	40,9	58,0	32,6	18,8	34,0
	6	22,8	40,6	72,1	40,6	25,2	37,0
	7	23,8	42,4	73,7	41,4	31,4	63,0
	8	26,2	46,7	74,5	41,9	36,8	55,0
	9	27,5	48,8	73,9	41,6	41,5	48,0
	10	28,7	51,0	76,6	43,1	45,8	56,0
	11	29,3	52,2	80,5	45,3	49,2	43,5
	12	29,1	51,8	83,7	47,1	51,6	33,0
	13	28,9	51,3	84,2	50,7	53,1	21,5
	14	28,7	51,1	84,9	54,3	53,9	19,5
	15	28,5	50,7	85,2	55,9	54,4	17,0
	16	28,3	52,5	84,9	56,4	54,7	15,5
	17	28,1	52,5	84,5	56,4	64,7	11,0
	18	30,9	52,3	84,0	56,2	54,5	6,4
3	19	32,7	52,0	83,4	55,8	54,3	4,7
	20	52,9	51,6	82,8	55,5	54,0	0,0
	21	34,2	53,9	85,2	56,8	56,5	59,1
	22	35,2	57,8	88,8	58,8	61,1	52,7
	23	34,9	59,3	94,0	61,7	65,5	50,3
	24	34,7	59,0	99,8	64,8	69,8	44,2
	25	34,4	58,6	104,2	67,2	73,9	38,7
	26	34,2	58,2	105,5	76,7	77,7	36,2
	27	34,0	57,7	104,7	92,5	81,1	32,0
	28	33,8	57,3	107,7	103,8	84,2	35,0
	29	33,3	61,3	111,4	115,2	89,1	35,5
	30	33,1	63,3	111,7	116,8	90,4	28,7
	31	39,7	63,6	110,5	116,4	91,0	14,3
	32	43,0	63,3	109,8	115,7	90,6	0,0

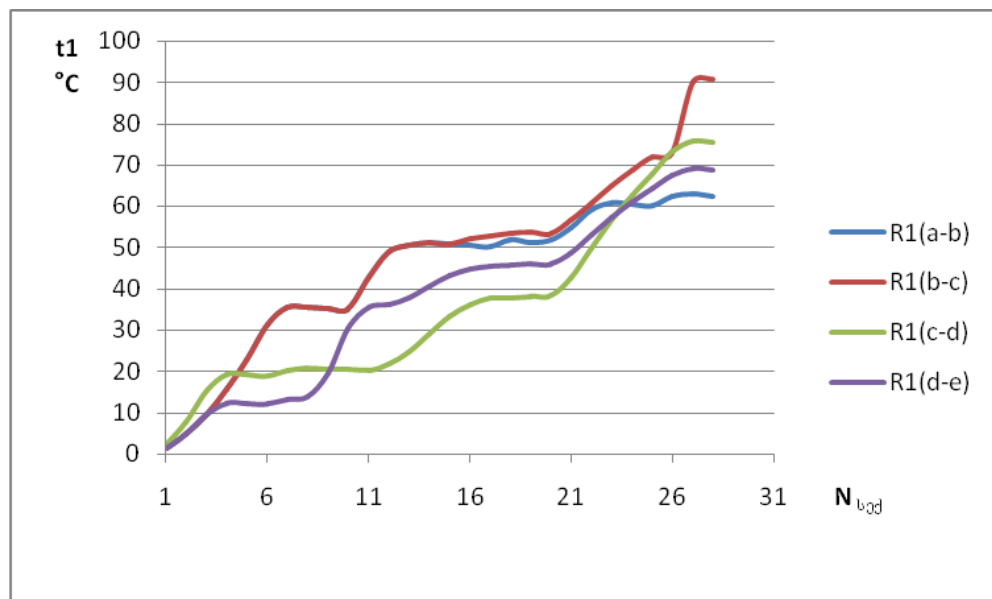
**ცხრილი 2.6. გამშვი წინააღობების გახურების ტემპურატურა
ექსპერიმენტალური გამშვი რეოსტატისათვის**

შე რო ება	№	t ₁ °C (ჯგ R1)				t ₂ °C (ჯგ R1)			
		a-b	b-c	c-d	d-e	a-b	b-c	c-d	d-e
ბ	1	1,4	1,4	2,2	1,4	2,3	1,5	4,0	2,3
	2	4,9	4,9	7,7	4,9	7,7	5,0	13,6	7,7
	3	9,7	9,7	15,3	9,7	15,2	9,7	27,0	15,2
	4	15,7	15,7	19,2	12,3	19,2	15,7	43,7	24,6
	5	22,8	22,8	19,1	12,2	25,7	22,9	52,1	29,2
	6	31,3	31,3	18,9	12,1	31,3	26,4	51,7	36,8
	7	35,5	35,5	20,1	13,2	39,5	31,7	51,3	43,1
	8	35,5	35,5	20,7	13,8	54,7	41,3	51,0	42,7
	9	35,3	35,3	20,6	19,5	70,5	51,4	50,7	42,4
	10	35,1	35,1	20,5	30,5	87,3	62,1	50,3	42,2
	11	42,7	42,7	20,3	35,5	94,8	66,9	49,9	54,0
	12	48,8	48,8	21,8	36,2	95,9	67,6	54,0	63,8
	13	50,4	50,4	24,7	37,8	96,2	67,7	55,3	66,3
	14	51,1	51,1	29,2	40,7	95,5	67,3	54,8	70,6
	15	50,7	50,7	33,4	43,2	94,8	66,8	54,5	74,5
	16	50,4	52,0	36,1	44,8	94,2	68,7	57,8	77,0
	17	50,1	52,7	37,6	45,5	93,5	69,4	60,8	78,4
	18	51,8	53,5	37,9	45,6	92,8	69,3	61,4	79,8
კ	19	51,1	53,7	38,2	46,0	92,2	69,9	61,0	80,3
	20	51,8	53,3	38,3	45,9	91,5	70,0	60,6	79,8
	21	54,8	56,5	42,5	48,7	98,8	71,7	66,3	83,1
	22	59,3	60,8	49,8	53,2	100,7	76,0	79,1	90,0
	23	60,9	65,0	56,5	57,3	102,7	79,6	90,0	95,8
	24	60,5	68,8	62,8	61,2	103,8	82,5	98,9	100,4
	25	60,1	71,8	67,8	64,3	103,1	83,9	103,8	116,2
	26	62,3	72,8	73,1	67,5	108,2	86,7	103,2	126,9
	27	62,9	90,0	75,7	69,1	111,2	89,6	106,6	128,5
	28	62,4	90,7	75,3	68,6	110,4	89,6	108,2	133,8

შენიშნული ნომერი	№	t ⁰ C (ჯგ R1)				t _{საშ} °C	i _{საშ} , s
		a-b	b-c	c-d	d-e		
ა	1	2,3	2,3	1,4	1,9	1,9	52,3
	2	7,7	7,7	4,4	2,7	6,1	50,4
	3	10,7	10,7	4,3	2,7	10,8	48,8
	4	14,7	10,8	9,7	6,3	16,0	51,3
	5	22,9	11,0	21,0	13,5	21,4	51,0
	6	32,5	11,2	34,1	21,8	27,0	47,7
	7	37,0	11,2	48,6	31,2	32,5	48,5
	8	36,8	11,1	63,8	40,8	37,6	40,0
	9	36,5	11,1	70,6	50,9	42,2	35,7
	10	37,7	11,8	71,4	56,7	46,4	38,8
	11	37,9	12,3	71,7	57,3	50,6	30,5
	12	37,7	17,5	76,8	60,6	54,6	49,5
	13	37,4	25,3	84,2	65,3	57,7	42,8
	14	37,2	30,8	89,3	68,4	60,2	34,5
	15	40,8	32,7	94,6	71,8	62,2	29,5
	16	42,7	33,5	97,9	73,8	63,8	32,6
	17	45,4	36,8	98,0	73,8	64,7	22,8
	18	48,1	39,6	97,4	73,3	65,2	15,2
ბ	19	48,6	40,2	96,7	74,2	65,5	9,0
	20	48,2	39,8	96,0	74,0	65,1	0,0
	21	52,1	43,6	101,5	76,2	69,0	64,5
	22	57,8	49,5	107,0	79,7	74,2	59,5
	23	60,2	51,8	116,3	85,5	79,1	55,2
	24	59,8	51,4	128,3	93,1	83,6	50,8
	25	59,3	53,7	134,8	97,2	87,8	44,3
	26	67,7	62,5	135,5	97,6	91,8	40,3
	27	79,4	74,2	134,6	96,8	95,2	34,7
	28	83,5	83,3	133,6	96,2	97,9	28,5

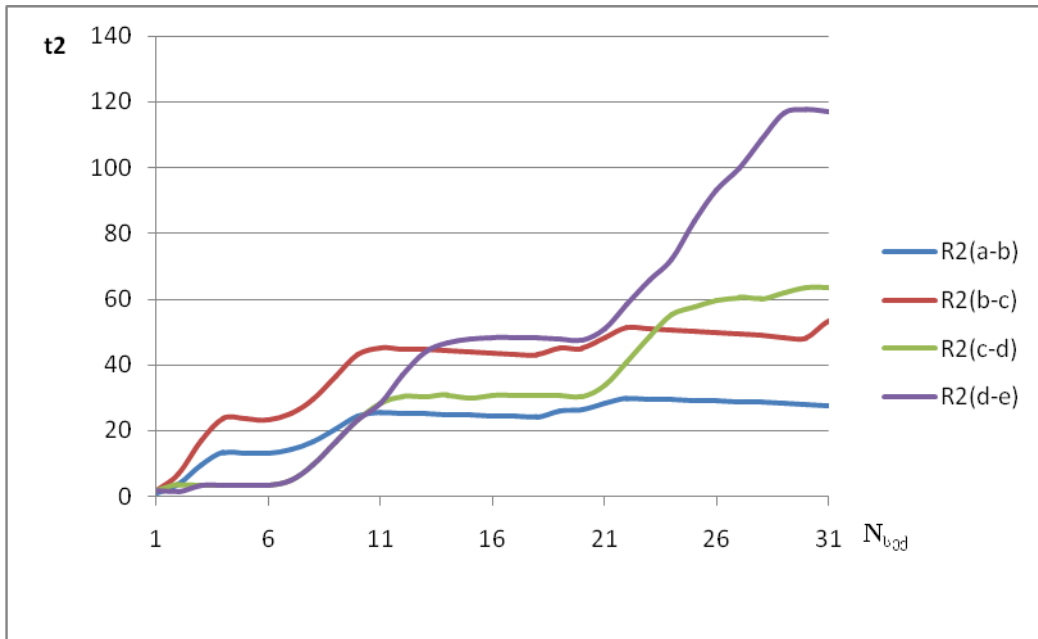


ა)

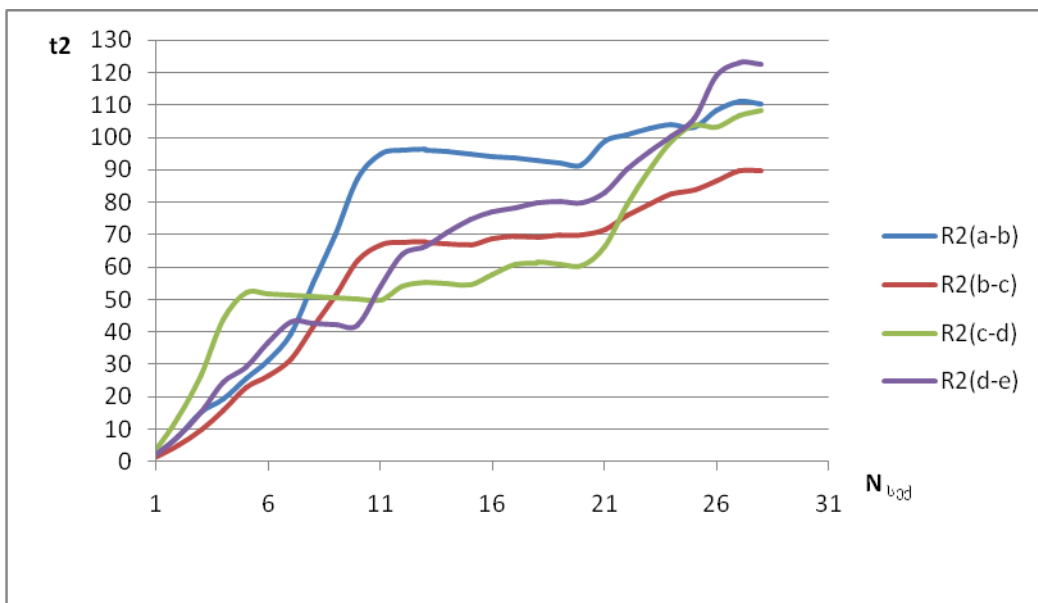


ბ)

ნახ. 2.6 სექციის პირველი ჯგუფის გამზვ წინააღობათა გახურების მრუდები
 ა) არსებული რეოსტატისათვის, ბ) ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის

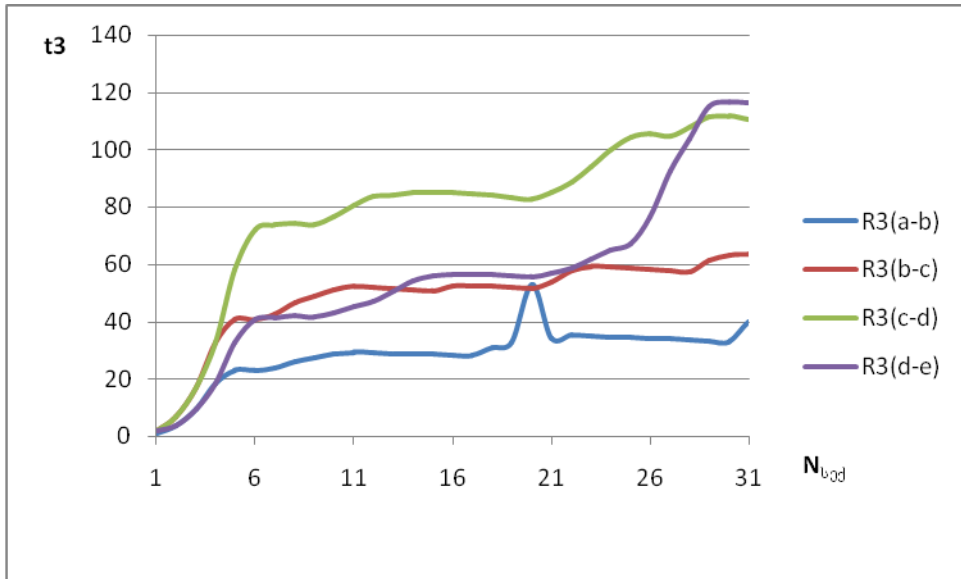


ა)

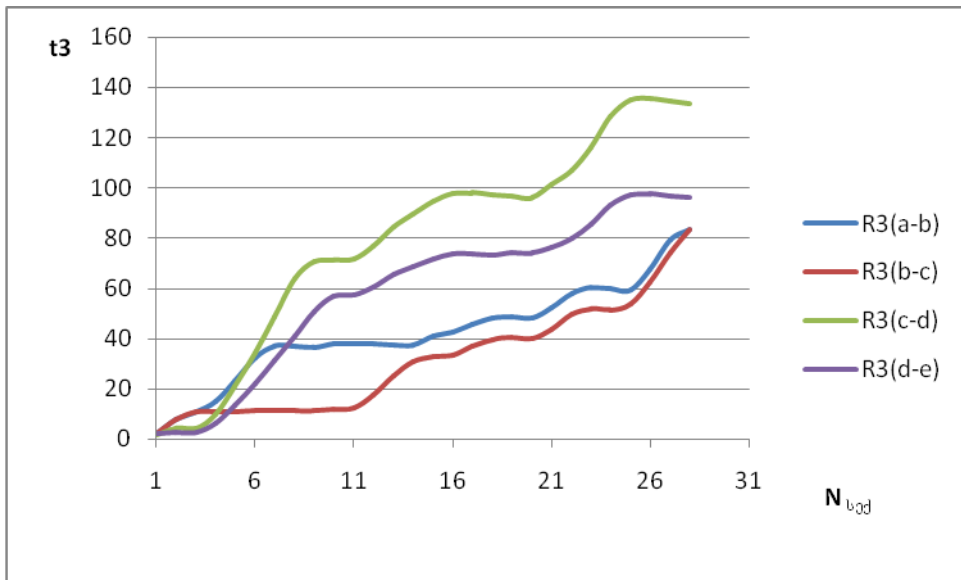


ბ)

ნახ. 2.7 სექციის მეორე ჯგუფის გამშვ წინაღობათა გახურების მრუდები
 ა) არსებული რეოსტატისათვის, ბ) ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის

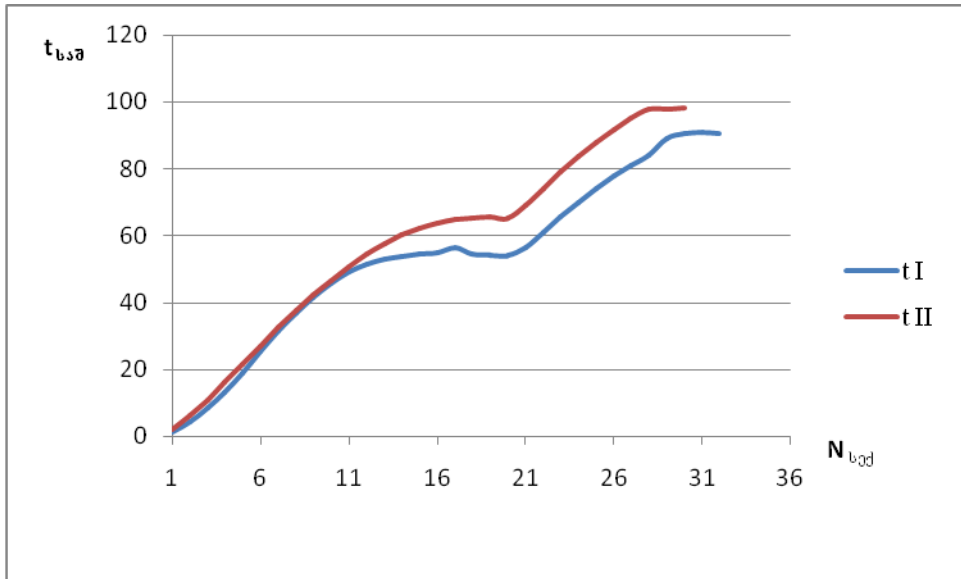


ა)



ბ)

ნახ. 2.8 სექციის მესამე ჯგუფის გამშვ წინაღობათა გახურების მრუდები
 ა) არსებული რეოსტატისათვის,
 ბ) ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის



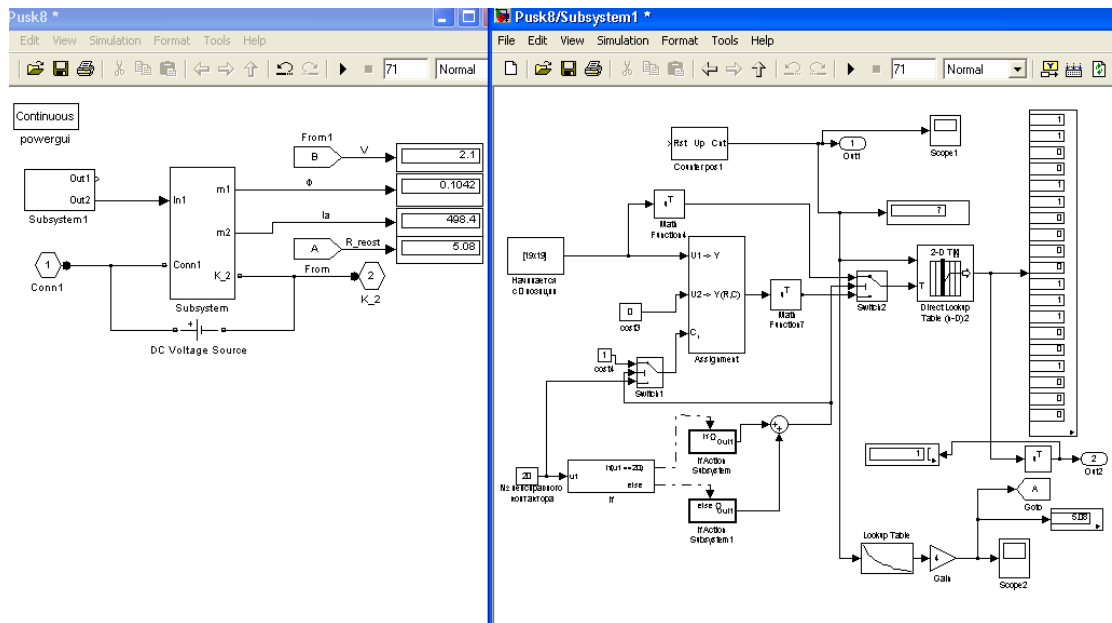
ნახ. 2.9 გახურების საშუალო მნიშვნელობები
 t_{II} -არსებული რეოსტატისათვის, t_I -ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის

გამშვი რეოსტატის გაერთმთლიანების არსებულ და ახალი სქემისათვის გამშვი წინააღობების გახურებაზე თბური გამოთვლების შედეგების შედარებისას შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. მეორე შემთხვევაში ტემპერატურების სიდიდეები პრაქტიკულად ყველგან შემცირდა.
2. ახალი სქემის შემთხვევაში ელემენტთა დატვირთვა თანაბარი გახდა.

თავი III. კონტაქტორთა მიწებების პროცესის გამოკვლევა. ამოქმედების დროის გაზნევის გავლენა ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე

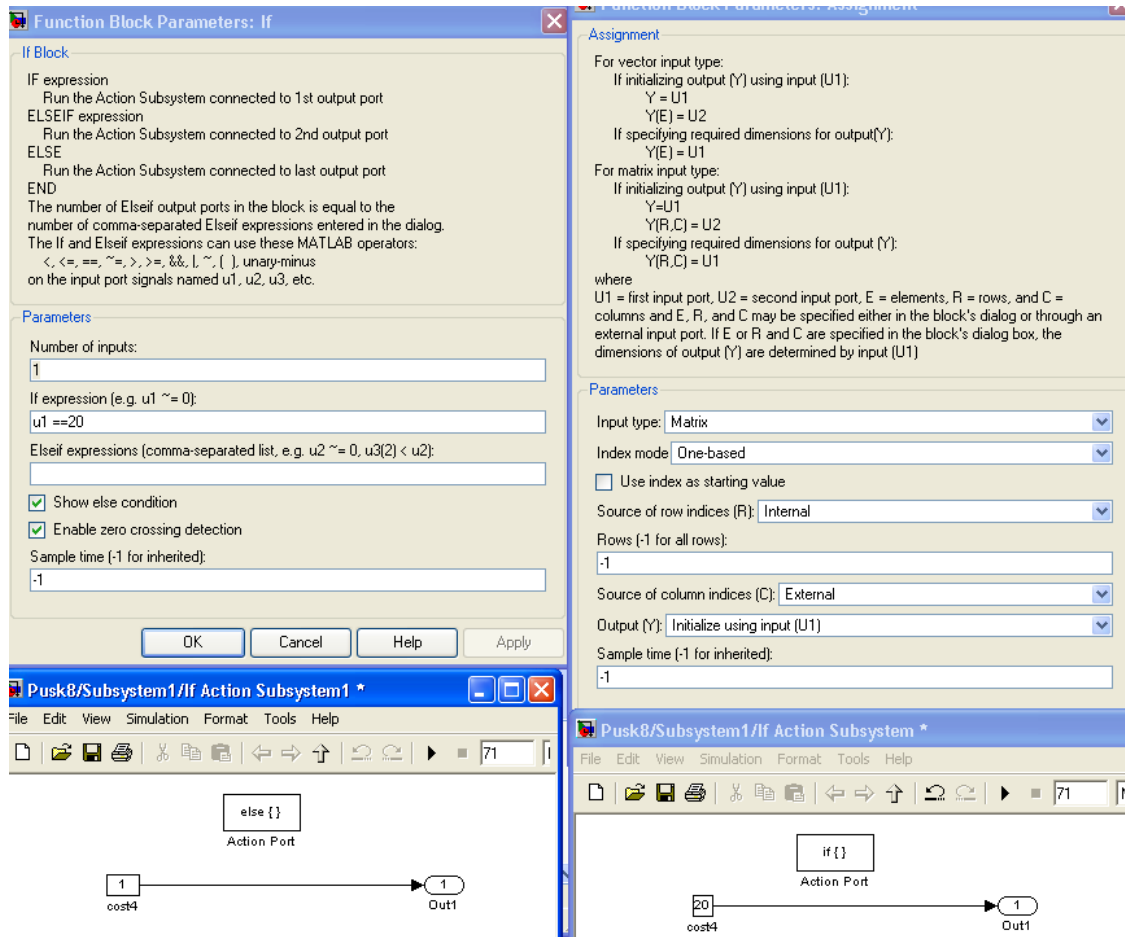
მოდელირება საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ძალოვან ქსელში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების ხასიათი, გამშვები რეოსტატის ელექტრომაგნიტურ კონტაქტორთა არჩართვა-არგამართვაზე (მიწებებაზე) დამოკიდებულებაში.



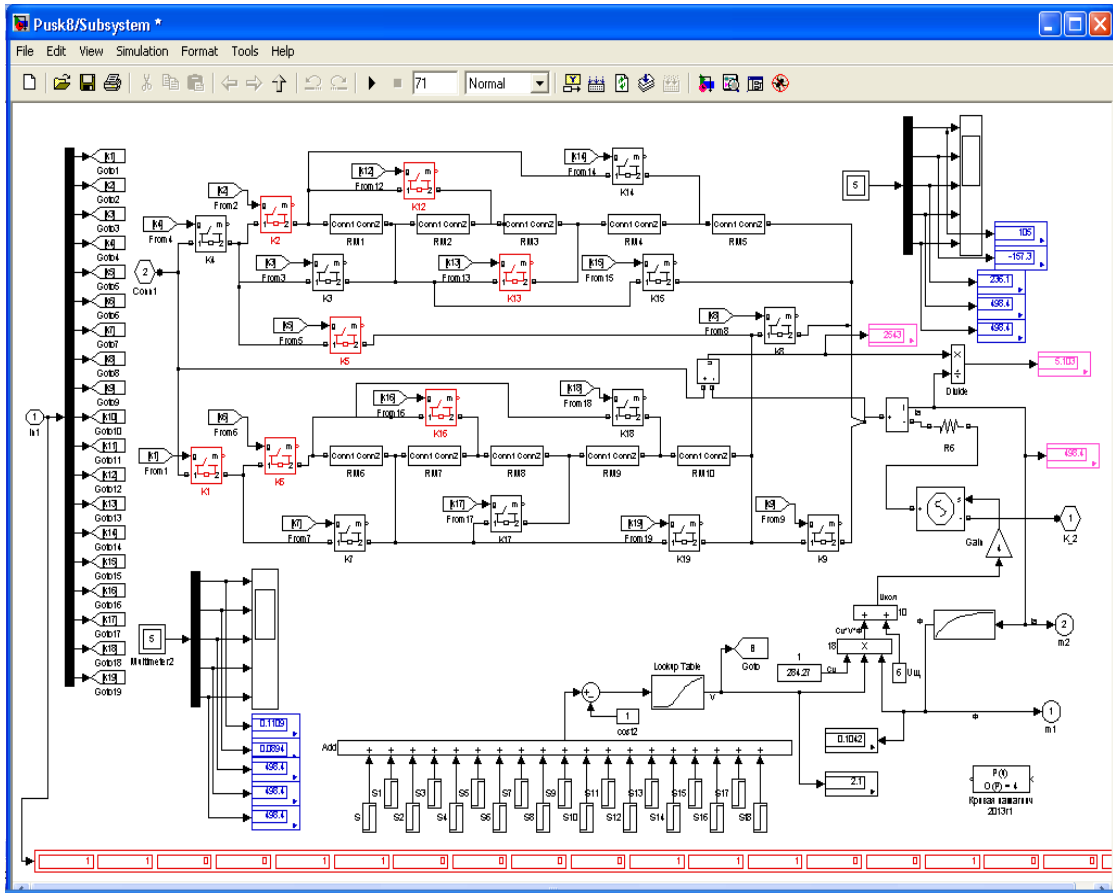
ნახ.3.1. გაშვების იმიტაციური მოდელი

მოცემული მოდელი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ, როგორ იცვლებიან გამშვები რეოსტატების სექციებში დენის მნიშვნელობები, კონტაქტორთა არჩართვის ან ჩარჩენის პოზიციათა მიხედვით. მოდელთან მუშაობის დროს გაუმართავი (არჩართვადი) კონტაქტორის ნომერი მუდმივი სიდიდის სახით მოგვეწოდება ბლოკში CONSTANT (ნახ. 3.1). SUBSYSTEM 1-ზე მითითებულია კონტაქტორი 20, რომელიც არ მიეკუთვნება გამშვებ რეოსტატს ანუ მიმდინარეობს რეოსტატის ნორმალური მუშაობის იმიტირება). კონტაქტორის ჩარჩენის იმიტირების აუცილებლობისას, SUBSYSTEM-ზე ნახ. 3.1 აუცილებელია მოვახდინოთ გაუმართავი კონტა-

ქტორის დროებითი დაშუნტირება. ნებისმიერი გაუმართაობის იმიტაცია გამოისახება დენების ცვლილებებში (ნორმალურ მდგომარეობასთან შედარებით) და რეგისტრირდება ოსცილოგრაფებზე SCOPE, რომლებიც იღებენ სიგნალებს MULTIMETER - ის ბლოკებიდან.



ნახ.3.2 გაშვების მოდელის მუშა ფანჯარა



ნახ.3.3. ელმავალ 4E10^რ ის გამშვდი რეოსტატის მოდელი გაშვების ექსპერიმენტისათვის

მოდელთან მუშაობისას ნახ. 3.3 ისეთ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა ყურადღების გამახვილება რეოსტატის გარკვეულ პოზიციაზე ინსტრუმენტთა პანელზე სანამ დავაჭერთ ღილაკ START-ს, საჭიროა ფანჯარაში დავაყენოთ შესაბამისი დრო, შესაბამისი პოზიციის მიმდინარეობისა. მომდევნო პოზიციის გამომუდვენების დროის განმსაზღვრელი ტაქტი წინასწარ უნდა იქნეს ჩადებული ბლოკების აწყობისას.

კონტაქტორების ამოქმედების დროს გააჩნია მნიშვნელოვანი გაფანტულობა 0,5წმ-დან 0,25წმ-მდე, რაც ხშირად იწვევს წინაღობათა დამატებით გახურებას და კონტაქტორთა კომუტაციის გაუარესებას. ხდება კონტაქტორთა ჯგუფის გადახურება და ხანდახან დადნობაც კი.

ნაშრომის მოცემულ ნაწილში შესრულებულია ძალოვანი სქემის მუშაობის მოდელირება კონტაქტორების ჩართვისა და გამორთვის რეალურ

დროთა გათვალისწინებით. ასეთი გამოთვლების შედეგად განისაზღვრა დენებისა და ძაბვების შემთხვევითი სიდიდეები და ამ სიდიდეთა ხანგრძლივობები. ამისათვის შესრულდა ჩართვისა და გამორთვის დროთა გაფანტულობის სტატისტიკური მოდელირება იმ ვარაუდით, რომ ეს დროები განაწილებული არიან გაუსის კანონით.

ასეთი ამოცანის ამოხსნისას პირველ ეტაპზე შესრულებული იქნა მოდელირება ელექტროპნევმატურ კონტაქტორთა ჩართვისა და გამორთვის დროთა შემთხვევითი სიდიდეებისათვის [21], [22]. ამისათვის გაფანტულობის მასალები დიაპაზონის მიხედვით აღებული იქნა დროთა საშუალო \bar{x} მნიშვნელობა და საშუალოკვადრატული გადახრა S_x . ამ რიცხობრივ მახასიათებელთა სიდიდეები, რომლებიც შეესაბამებიან შემთხვევით სიდიდეებს განისაზღვრებოდნენ შესაბამისი ფორმულით:

$$\bar{x} = 0,5(x_{\text{ფ}} + x_{\text{გ}}) \quad (3.1)$$

$$S_x = \frac{1}{6}(x_{\text{ფ}} - x_{\text{გ}}) \quad (3.2)$$

სადაც, $x_{\text{ფ}}$ და $x_{\text{გ}}$ – შემთხვევითი სიდიდეების უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობებია.

ექსპლუატაციში მიღებული, კონტაქტორების უმცირეს და უდიდეს ამოქმედების დროთა $x_{\text{ფ}} = 0,250$ წმ, $x_{\text{გ}} = 0,050$ წმ მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ რიცხობრივ მახასიათებელთა შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$\bar{x} = 0,5(0,250 + 0,050) = 0,150 \text{ წმ}$$

$$S_x = \frac{1}{6}(0,250 - 0,050) = 0,033 \text{ წმ}$$

მიღებულ მახასიათებელთა მიხედვით გენერირებულ იქნა რიგი შემთხვევითი რიცხვებისა, განაწილების ნორმალური კანონის მიხედვით დიაპაზონში 0,05წმ-დან 0,25წმ-მდე. შესრულებულ იქნა R_i შემთხვევითი რიცხვების გენერაცია და მათი განაწილება თანაბარობის პრინციპით. ამ რიცხვების გადაანგარიშება გაუსის კანონის მიხედვით განაწილებულ x_i რიცხვებში სრულდება ფორმულით :

$$x_i = S_x(\sum_{j=1}^{12} R_j - 6) + \bar{x} \quad (3.3)$$

ყველა მიღებული შემთხვევითი რიცხვი ჩაწერილი იქნა შესაბამის ფაილებში 50 მნიშვნელობით მათი შემდგომი გამოყენების მიზნით (ერთი ფაილის შემთხვევითი რიცხვების რაოდენობა ტოლია კონტაქტორთა რაოდენობისა ელმავლის ძალოვან სქემაში).

გამოთვლები იწარმოება წევის ძრავების ყველა შეერთებებისათვის და ველის შემცირებისათვის ძრავების პარალელურ შეერთებებზე გამოთვლების შესრულებისას ხდებოდა შემდეგი პარამეტრების გაზომვა:

- ძრავის დენის იმპულსის სიდიდე i , ა;
- ძრავზე ძაბვის იმპულსის სიდიდე u , ვ ;
- ძრავის დენის იმპულსის ხანგრძლივობა t_i , წმ ;
- ძრავის ძაბვის იმპულსის ხანგრძლივობა t_u , წმ;

განაწილებათა რიცხობრივი მახასიათებლების გამოთვლა ხდებოდა შემდეგი ფორმულების მიხედვით:

- საშუალო მნიშვნელობა

$$\bar{x} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i n_i \quad (3.4)$$

სადაც, n_i - რიცხვი, x_i შემთხვევითი მნიშვნელობის სიდიდისა; n - საერთო რიცხვი X შემთხვევითი მნიშვნელობის სიდიდისა; საშუალო კვადრატული გადახრა:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot n_i} \quad (3.5)$$

მიღებული მნიშვნელობები \bar{x} და S_x გამოკვლეული შემთხვევითი მნიშვნელობებისათვის მოყვანილია ცხრილ (3.1)-ში.

ცხრილი 3.1. \bar{x} და S_x მნიშვნელობები გამოკვლეული შემთხვევითი სიდიდე-ებისათვის წევის ელექტროძრავების შესაბამის შეერთებებზე

შეერთ	F(i)			F(t _i)			F(u)			F(t _u)		
	$\bar{x}, \text{ა}$	$S_{x,\text{ა}}$	$n\omega^2$	$\bar{x}, \text{წმ}$	$S_{x,\text{წმ}}$	$n\omega^2$	$\bar{x}, \text{ვ}$	$S_{x,\text{ვ}}$	$n\omega^2$	$\bar{x}, \text{წმ}$	$S_{x,\text{წმ}}$	$n\omega^2$
მ	69	88	0,309	0,04	0,026	0,159	164	142	0,249	0,05	0,029	0,191
ვ	141	126	0,231	0,03	0,025	0,164	800	689	0,183	0,03	0,040	0,181

სტატისტიკური განაწილების აპროქსიმაციის შესაძლებლობის შემო-წმება შესრულებული იქნა სიმძლავრის კრიტერიუმის $n\omega^2$ [20].

$$n\omega^2 = \frac{1}{12 \cdot \bar{s}_x^2} + \sum_{i=1}^{\bar{s}_x} [F_{\delta} - F_{\bar{n}\delta}]^2 \quad (3.6)$$

სიმძლავრის კრიტერიუმების გამოთვლილი მნიშვნელობები განხილული სტატისტიკური განაწილებისათვის ამ კრიტერიუმის დასაშვებ მნიშვნელობაზე $n\omega^2 = 0,347$ -ზე ნაკლებია. ამგვარად, გამოკვლეული სტატისტიკური განაწილებები არ ეწინააღმდეგებიან ჰიპოთეზას გაუსის კანონით მათი დარბილების შესაძლებლობის შესახებ.

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int f(x) dx, \quad (3.7)$$

$$f(x) = \frac{1}{S_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[- \left(\frac{x - \bar{x}}{2S_x} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

შემთხვევითი სიდიდეების მაქსიმალურად შესაძლებელი მნიშვნელობები, რომლებიც გაუსის კანონის მიხედვით არიან განაწილებული, აღებული არიან ცხრილ 3.1-დან და მოყვანილნი არიან ცხრილ 3.2-ში.

გამოთვლა იწარმოება შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$x_{imax} = \bar{x}_i + 3S_{xi} \quad (3.9)$$

ცხრილი 3.2. დენის იმპულსების, ძაბვისა და მათი ხანგრძლივობების მაქსიმალურად შესაძლებელი სიდიდეები

შეერთებები	შემთხვევითი სიდიდეები			
	i, ა	t _i , წმ	u, ვ	t _u , წმ
მ	335	0,158	591	0,117
ვ	543	0,164	2901	0,147

როგორც ცხრილ 3.2-დან ჩანს დენის იმპულსის უდიდესი მნიშვნელობა შესაძლებელია „პ“ შეერთებაზე და შეადგენს 543 ა, ხოლო ძაბვის იმპულსის უდიდესი მნიშვნელობა და ამ იმპულსის ხანგრძლივობა შესაძლებელია „პ“ შეერთებაზე და აღწევს 2901 ვ და 0,147 წმ.

იმდენად, რამდენადაც გამოსაკვლევი დროის ინტერვალი არ არის ნორმატიული, გამოთვლები შესრულებულ იქნა ჩართვისა და გამორთვის დროთა გაფანტულობის სიდიდის შემცირებით 0,05 წმ-დან 0,150 წმ-მდე. შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მოხდა დენებისა და ძაბვების ავარდნათა შემცირება, ასევე შემცირდა მათი რაოდენობა და ხანგრძლივობა [23],[24].

ამ ამოცანის ამოხსნა შესრულდა ზემოთ მოყვანილი სქემის მიხედვით. შემთხვევით სიდიდეთა შესაბამისი რიცხობრივ მახასიათებელთა სიდიდეები ტოლია:

$$\bar{x} = 0,5(0,150 + 0,050) = 0,100 \text{ წმ}$$

$$S_x = \frac{1}{6}(0,150 - 0,050) = 0,0166 \text{ წმ}$$

შედეგად მივიღეთ ცხრილი 3.3 და ცხრილი 3.4.

ცხრილი 3.3. \bar{x} და S_x მნიშვნელობები გამოკვლეული შემთხვევითი სიდიდეებისათვის წვეის ელექტროძრავების შესაბამის შეერთებებზე

შერთ	F(i)			F(t _i)			F(u)			F(t _u)		
	\bar{x} ,ა	S_x ,ა	$n\omega^2$	\bar{x} ,წმ	S_x ,წმ	$n\omega^2$	\bar{x} ,ვ	S_x ,ვ	$n\omega^2$	\bar{x} ,წმ	S_x ,წმ	$n\omega^2$
მ	42	56	0,267	0,019	0,015	0,119	180	128	0,246	0,02	0,017	0,118
პ	141	124	0,205	0,021	0,014	0,151	932	657	0,171	0,02	0,014	0,151

ცხრილი 3.4. დენის იმპულსების, ძაბვისა და მათი ხანგრძლივობების მაქსიმალურად შესაძლებელი სიდიდეები

შერთებები	შემთხვევითი სიდიდეები			
	i,ა	t _i , წმ	u, ვ	t _u , წმ
მ	212	0,073	548	0,071
პ	523	0,057	2945	0,054

როგორც ცხრილ 3.4-დან ჩანს დენის იმპულსის უდიდესი მნიშვნელობა შესაძლებელია „პ“ შეერთებაზე და შეადგენს 523 ა, ხოლო დენის იმპულსის უდიდესი ხანგრძლივობა შესაძლებელია „მ“ შეერთებაზე და აღწევს 0,073 წმ. ძაბვის იმპულსის უდიდესი მნიშვნელობა და ამ იმპულსის ხანგრძლივობა შესაძლებელია „პ“ შეერთებაზე და აღწევს 2915.

გამოთვლათა შედეგების შედარებისას, რომლებიც შესრულებულ იქნენ კონტაქტორების ამოქმედების დროთა გაფანტულობისათვის 0.05-დან – 0,250წმ-მდე და 0,050-დან - 0,150წმ-მდე საჭიროა აღინიშნოს შემდეგი:

1. დენის იმპულსთა სიდიდეები „C“ შეერთებებზე მნიშვნელოვნად შემცირდნენ (საშუალოდ 30%-ით) ამოქმედების დროთა 0,050-0,150წმ დიაპაზონით შეზღუდვის დროს.
2. დენის იმპულსთა ხანგრძლივობები მეორე ვარიანტში პრაქტიკულად 2-ჯერ შემცირდნენ.
3. ძაბვის იმპულსთა სიდიდეები პრაქტიკულად უცვლელი დარჩნენ, მათი ხანგრძლივობები თითქმის 2- ჯერ შემცირდნენ.

აქედან გამომდინარე, ელექტროპნევმატურ კონტაქტორთა ჩართვის დროთა მიმართებით ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნების მკაცრი დაცვის შემთხვევაში, ხდება დენის იმპულსთა სიდიდეებისა და ხანგრძლივობების შემცირება, რაც აუმჯობესებს ამ კონტაქტორთა მუშაობის უნარიანობას.

თავი IV. ძალოვანი სექტორის მოდელის დამუშავება

გამშვები რეოსტატის კონტაქტორთა არჩართვის ან არგამორთვის გავლენის შესწავლისას მე-3 თავში ხდებოდა დენების დამყარებული სიდიდეების განსაზღვრა გამშვებ რეოსტატთა სექციებში და არ ხდებოდა ამ დროს შესაძლებელი გადატვირთვების შესწავლა. ამისათვის საკმარისი იყო გამშვებ რეოსტატთა გამოყენებულ პრინციპულ მოდელებში ე.მ.დ.-ისა და ძრავის გრაგნილთა აქტიური წინაღობების საწინააღმდეგო ძაბვის შეყვანა.

კონტაქტორების (განსაკუთრებით ხაზურთა) ამოქმედების დროთა გაფანტულობის გავლენის შეფასებისას, მათი დასაშვებობის განსაზღვრულ ფაქტორად გვევლინება გადატვირთვათა წარმოშობის შესაძლებლობა. რომელთა დროსაც ჩნდება საშიშროება წვეის ელექტროძრავებისათვის. ამიტომ მოდელში ძრავი წარმოდგენილი უნდა იყოს მთლიანად ე.ი. წარმოდგენილნი უნდა იქნენ მისი ყველა გრაგნილის ინდუქტიურობები.

კომუტაციურ გადატვირთვებს აქვთ მოკლევადიანი ერთეული იმპულსის ფორმები, რომელთა ამპლიტუდა აჭარბებს კვების ძაბვას. ელექტრული გარღვევის მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს მისი მოქმედების დაგროვების შესაძლებლობა. ე.ი. დიელექტრიკის თანდათანობით დარღვევა იმპულსების რიგის ზემოქმედებით, მაშინ, როდესაც ცალკეულად თითოეული მათგანის ზემოქმედება დარღვევას არ იწვევს.

მუდმივი დენის ელმავლებზე მისი კორპუსი რელსების საშუალებით შეერთებულია წვეის ქვესადგურის კვების წყაროს უარყოფით პოლუსთან. ამიტომ კომუტაციური გადატვირთვები და შესაბამისად თვითინდუქციის ე.მ.დ.-ები, რომლებიც ზემოქმედებას ახდენენ ძალოვანი მოწყობილობის იზოლაციაზე ორგვაროვანია. პირველი – თვითინდუქციის ე.მ.დ., რომელიც ზემოქმედებს ქსელის ინდუქტიურობაზე, ზემოქმედებას ახდენს თვით იმ ინდუქტიურობის გრაგნილთაშორის იზოლაციაზე, რომელზედაც თვითონ წარმოიქმნა და მეორე – თვითინდუქციის ე.მ.დ., რომელიც ცვლის ძალოვანი ქსელის წერტილთა პოტენციალებს „დედამიწასთან“ მიმართებაში, რითაც

ზემოქმედებას ახდენს ელექტრო მოწყობილობის კორპუსის იზოლაციაზე [7],[20],[35].

აღნიშნული ნაშრომის ავტორის მიერ დადგენილია, რომ ძალოვანი ქსელის წერტილთა პოტენციალები „დედამიწასთან“ მიმართებაში დამოკლებულნი არიან არა მარტო კომუტაციური აპარატის რეალურ ძაბვაზე, არამედ ამ უკანასკნელის შეერთების ადგილზე და აგრეთვე ძრავების ელექტრო მამოძრავებელი ძალების არსებობაზე ან არარსებობაზე. წვევის ძრავის კორპუსის იზოლაციისათვის ყველაზე საშიშ რეჟიმს „მიწასთან“ კავშირის გაწყვეტა წარმოადგენს.

ოპერატიული გათიშვებისას, წვევის ძრავების გამორთვა ხდება ხაზური კონტაქტორებით (ჩვენს მიერ განხილულ $4E10^2$ ელმავალზე „დედამიწის“ მხრიდან დაყენებულია კონტაქტორი K10, ხოლო ელმავალ $4E1$ -ზე – K6).

მზრუნავი წვევის ძრავის გათიშვის პროცესში მისი ე.მ.დ. უმნიშვნელოდ იცვლება, ამიტომ მოძრავ ელმავალზე ძრავის გამორთვისას, რკალის ენერგია გამომრთველ აპარატზე გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე იგივე გამორთვისას გაჩერებულ ელმავალზე.

ელმავალზე მიმდინარე პროცესების შესაბამისი იდენტური პროცესების მისაღებად, წ.ე.დ. მოდელი უნდა ასახავდეს წვევის მანქანებისათვის დამახასიათებელ ყველა თავისებურებას. კერძოდ ასეთ თავისებურებებს უნდა მივაკუთვნოთ გარდამავალ პროცესებზე დიდი გავლენა გრიგალური დენებისა, რომლებიც წარმოიშვებიან პოლუსთა ფოლადში, აგრეთვე ის, რომ თანმიმდევრული ადგზნების წვევის ძრავები, რომლებიც გამოიყენებიან ელექტრომოდრავ შემადგენლობებზე, მუშაობენ დამაგნიტების მრუდის მთელ ზღვარზე, გაჯერების ზონის ჩათვლით, ამასთანავე მაგნიტური ნაკადის დენზე დამოკიდებულება არ არის სწორხაზოვანი. შესაბამისად, წ.ე.დ.-ის ინდუქციურობა წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს, რომელიც დამოკიდებულია ლუზის დენზე, ე.ი. დინამიური ინდუქციურობა სიდიდით მეტია სტატიკურზე. პრაქტიკაში, გამოთვლების დროს, როგორც წესი, ამას უგულებელყოფენ და იყენებენ ინდუქციის ერთგვარ გასაშუალოებულ

სიდიდეს, რომელიც მიიღება დამაგნიტების მრუდის ლინეარიზაციით, რაც რამდენადმე ამახინჯებს გარდამავალ პროცესის ნამდვილ სურათს.

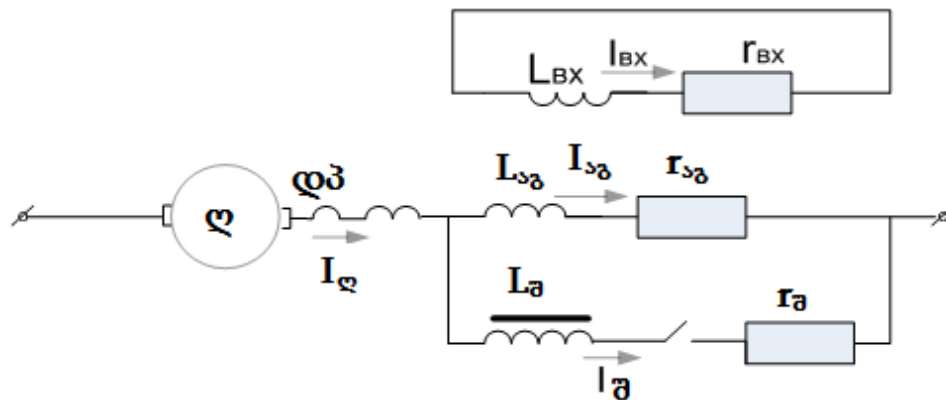
დინამიკურ ინდუქტიურობათა გამოთვლის გრაფიკული მეთოდი-საგან განსხვავებით, რომელსაც გვთავაზობენ [27]-ე და [28]-ე ნაშრომში, დინამიკური ინდუქტიურობა განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$L_{\text{დინ}}(i) = L_{\text{სტ}}(i) + \frac{dL_{\text{სტ}}(i)}{di} i \quad (4.1)$$

ამ გამოსახულებაში $L_{\text{სტ}}$ – სტატიკური ინდუქტიურობა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც

$$L_{\text{სტ}}(i) = W_b \frac{\Phi(i)}{i} \quad (4.2)$$

სადაც, W_b ალგუნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვია.



ნახ. 4.1 წევის ძრავის ჩართვის სქემა წევის რეჟიმის დროს

მოდელის საფუძვლად აღებულია ელმავალ $4E10^2$ -ის წევის ელექტრო-ძრავი TJI-2K. გამოთვლისათვის გამოიყენება წევის ელ. ძრავის ჩართვის სქემა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 4.1. ველის შესუსტების სხვადასხვა საფეხურები შეიძლება განხორციელდეს რეზისტორის r_a სიდიდის ცვალებადობით.

კვების აღდგენის გარდამავალი პროცესის განხილვისას, თუ შემოვიფარგლებით მხოლოდ მთლიანი ალგუნების რეჟიმით, მაშინ მიმდინარე

პროცესის დროის ნებისმიერ მომენტში მოდებული ძაბვის განსაზღვრისათვის მოქმედებს განტოლება:

$$C_v V \Phi + i_a r_a + i_b r_b + 2p\sigma_B \frac{d\Phi}{dt} + L_{დონ a} \frac{di_a}{dt} = U_d \quad (4.3)$$

სადაც: i_a – დენის ძრავის ქსელში ($i_a = i_b$);

U_d – მოდებული ძაბვა;

r_a – ჯამური აქტიური წინაღობა ლუზის გრაგნილთა, დამატებითი პოლუსების და საკომპენსაციო;

p – წყვილ პოლუსთა რიცხვი;

σ – მთავარი პოლუსის გაფანტულობის კოეფიციენტი;

W_b – მთავარი პოლუსის ხვიათა რიცხვი.

შემოთავაზებული მოდელი არ ითვალისწინებს წვევის ამძრავში მიმდინარე მექანიკურ პროცესებს. ამის დაშვება გამომდინარეობს იქიდან, რომ მექანიკური პროცესების დროთა მუდმივა გაცილებით მეტია ელექტრომაგნიტური პროცესების დროის მუდმივაზე და შეიძლება ჩაითვალოს რომ გამოთვლების პერიოდში სიჩქარე მუდმივა.

წვევის რეჟიმში მომუშავე ძრავის სტრუქტურული სქემის (ნახ. 4.3) შესადგენად გამოიყენება მოდელში რეალიზაციისათვის მოსახერხებელი განტოლებათა შემდეგი სისტემა:

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{L_{დონ a}} (U_d - C_v V \Phi - i_a r_a - i_b r_b - L_{დონ b} \frac{di_b}{dt}) \quad (4.4)$$

$$i_a = i_b + i_{\sigma}$$

$$L_{დონ b} \frac{di_b}{dt} + i_b r_b - i_{\sigma} r_{\sigma} - L_{დონ \sigma} \frac{di_{\sigma}}{dt} = 0 \quad (4.5)$$

ხდება ამ სისტემის შეკრება დამატებითი განტოლებებით, რომლებიც ითვალისწინებენ ძრავის მაგნიტოამძრავის მასიურ ნაწილებში წარმოქმნილი გრიგალური დენების მოქმედებას. ამისათვის გამოიყენება მ.წ. ჟიცის მიერ შემოთავაზებული მეთოდის [25], ამ მეთოდის შესაბამისად, დამაგნიტების ძალას $F=i_b W_b$ აკავშირებენ მთლიან Φ მაგნიტურ ნაკადთან და პირველი ჰარმონიკის Φ_1 მაგნიტურ ნაკადთან ორი განტოლებით:

$$1,23r_{\mu 1} \Phi_1 + f(\Phi) - \Phi r_{\mu 1} + L_{\mu} \frac{d\Phi}{dt} = F \quad (4.6)$$

$$5,29r_{\mu 1} (\Phi - \Phi_1) + f(\Phi) - \Phi r_{\mu 1} + 0,475 \frac{d}{dt} (\Phi - \Phi_1) L_{\mu} = F \quad (4.7)$$

სადაც, $f(\Phi) = i_{\mu}$ w უკუმაგნიტური მახასიათებელია;

Φ – მთლიანი მაგნიტური ნაკადი;

Φ_1 – პირველი ჰარმონიკთა მაგნიტური ნაკადი;

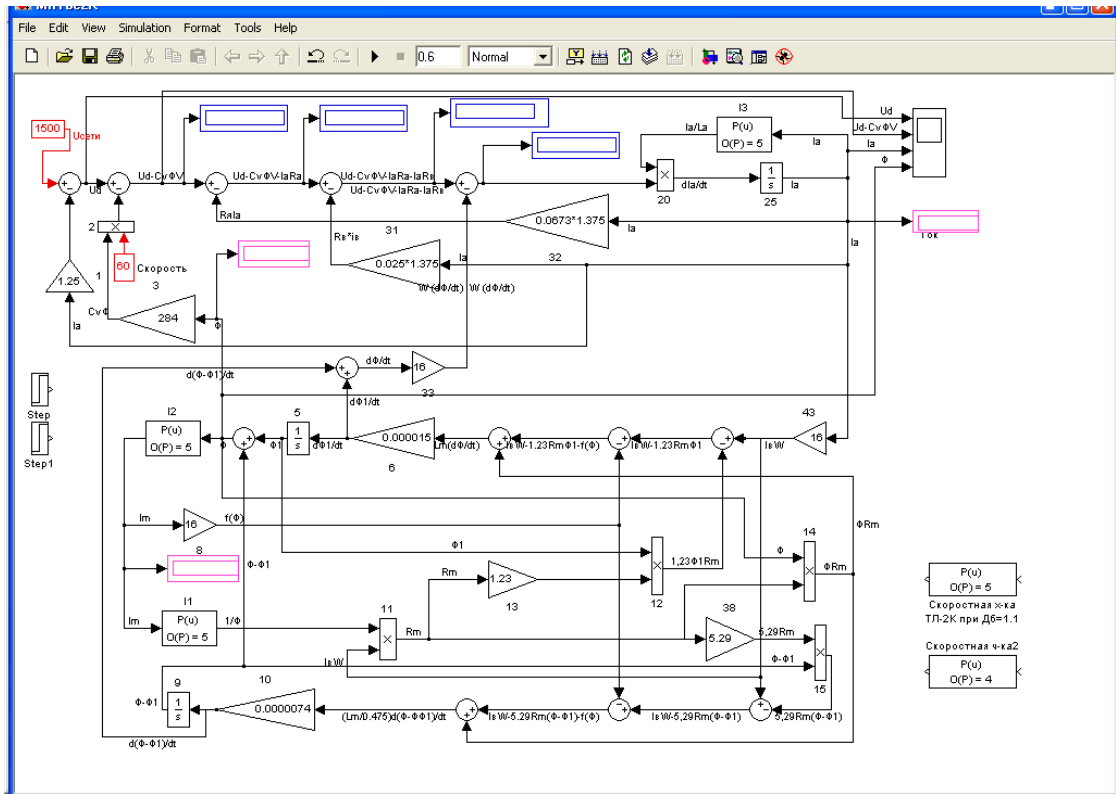
$\Phi - \Phi_1$ – უმაღლეს ჰარმონიკთა მაგნიტური ნაკადი; $1,23r_{\mu 1}$ და $5,29r_{\mu 1}$ მაგნიტური წინაღობებები შესაბამისად ძირითადი ნაკადისა და უმაღლესი ჰარმონიკების მიმართ;

L_{μ} – ძირითადი ნაკადის მაგნიტური ინდუქტიურობა;

$L_{\mu 1}$ – უმაღლეს ჰარმონიკთა მაგნიტური ინდუქტიურობა.

მაგნიტური ინდუქტიურობა L_{μ} განისაზღვრება ძრავის გეომეტრიული ზომებით და მთავარი პოლუსების ჩონჩხისა და გულარის ელექტროგამტარობის სიდიდით [25], [53].

მუშაობაში [26] გარდამავალ რეჟიმთა მოქმედების განსაზღვრისათვის ასევე ეყრდნობიან მ. ჟიცის მეთოდს, შეჰყავთ რა განტოლებათა სისტემაში ინერციული რგოლების დროის მუდმივთა განტოლება, რაც გრიგალურ დენტა გავლენის გათვალისწინების საშუალებას იძლევა მანქანის მაგნიტური ველის მნიშვნელოვნად.



ნახ. 4.2 ელმავლის ძალოვანი ქსელის მოდელი

საინტერესოაა განხილული მასიურ მაგნიტომძრავიან მოწყობილობებში გრიგალური დენების მოქმედების აღრიცხვის საკითხი ს.ი. კარპიდისის ნაშრომში [9]. კერძოდ განხილულია მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს გრაგნილური მოკლედჩართული კონტურის არსებობას. ავტორთა მიერ მოყვანილია ორი განტოლება, რომელთაგან პირველი ითვალისწინებს მეორადი კონტურის არსებობას, ხოლო მეორე მის არარსებობას

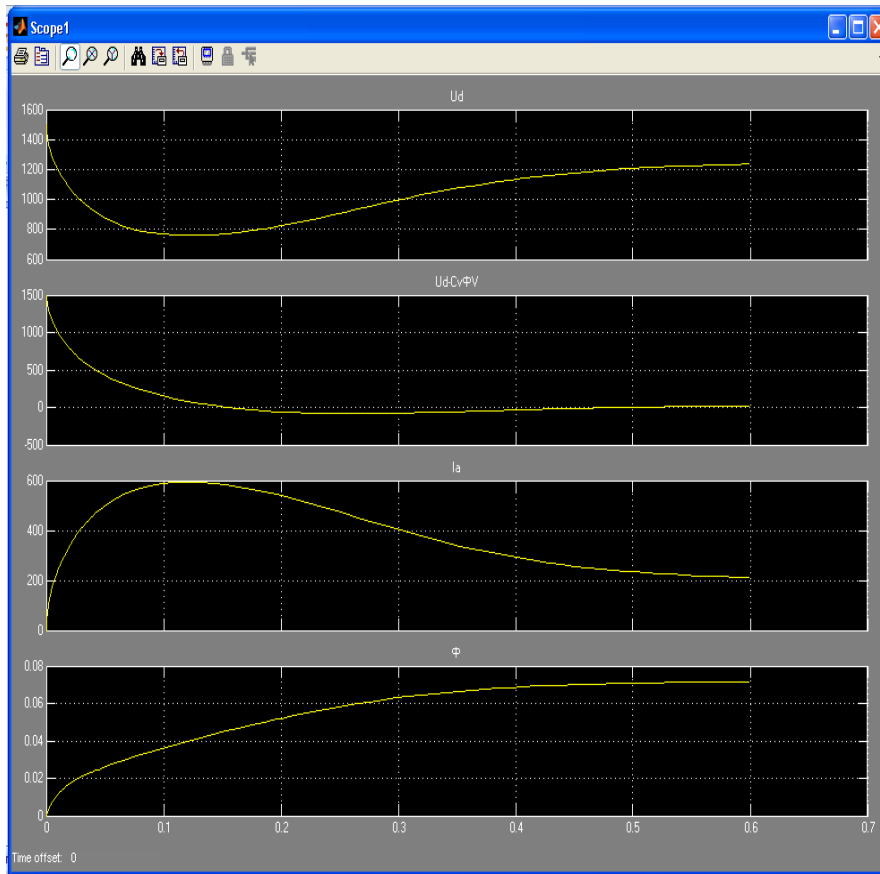
$$I_{\mu} = \frac{U_{\Sigma}}{R} \left[1 - e^{\frac{-R}{L+L_{\mu}} i} \right] \quad \text{и} \quad I_{\mu} = \frac{U_{\Sigma}}{R} \left[1 - e^{\frac{-R}{L} i} \right] \quad (4.8)$$

მეორადი კონტურის არსებობის პირობებში დამამაგნიტებელი დენი (და შესაბამისად, ნაკადი) მნიშვნელოვნად უფრო ნელა იცვლება, ვიდრე მისი არარსებობისას. ა.ბ. იოფე ამავე საკითხების განხილვისას [24] მიიჩნევდა, რომ ნაკადის ზრდის სიჩქარე მიმდევრობითი აღგზნების ძრავში ძაბვის აღდგენისას, არ არის დამოკიდებული გრიგალური დენების სიდიდეზე. ის განსაკუთრებულად განისაზღვრება ძრავის გრაგნილთა

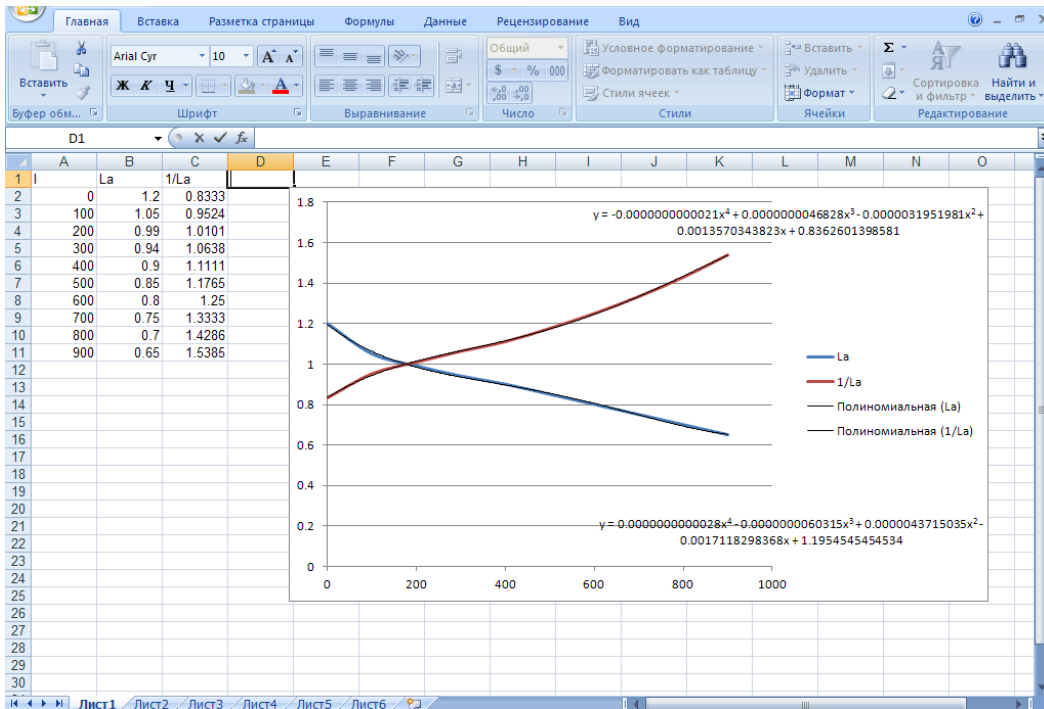
პარამეტრებით. პროცესზე გრიგალური დენების გავლენა მჟღავნდება იმაში, რომ ძრავს, დამამაგნიტებელი დენის გარდა ქსელიდან მიაქვს დამატებითი დენი, რომელიც ახდენს გრიგალური დენების განმამაგნიტებელი მოქმედების კომპენსირებას.

დამტკიცებულია, რომ გაფანტვის ნაკადის მოქმედების სწორი აღრიცხვისათვის აუცილებელია გაფანტვის ინდუქციურობა განცალკევდეს დამამაგნიტებელი შტოსაგან და მიმდევრობით იქნეს ჩართული აქტიურ წინაღობასთან.

იმიტაციურ მოდელში ყველა ამ თავისებურებათა გათვალისწინებით მიღებულ იქნა შემდეგი დამოკიდებულებები.

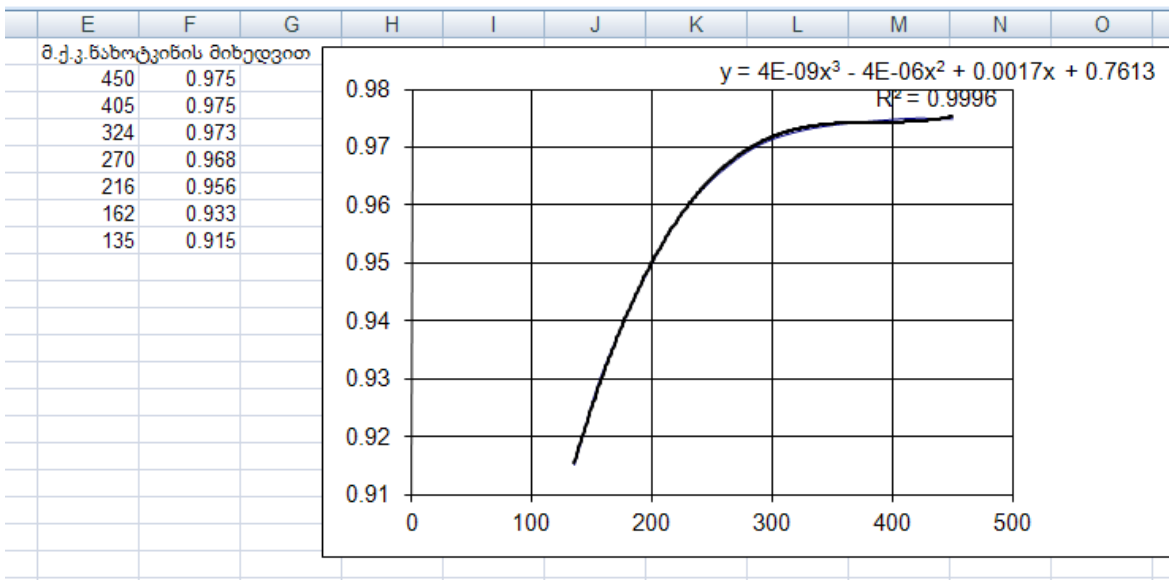


ნახ.4.3. იმიტაციური მოდელის საშუალებით მიღებული დამოკიდებულებები

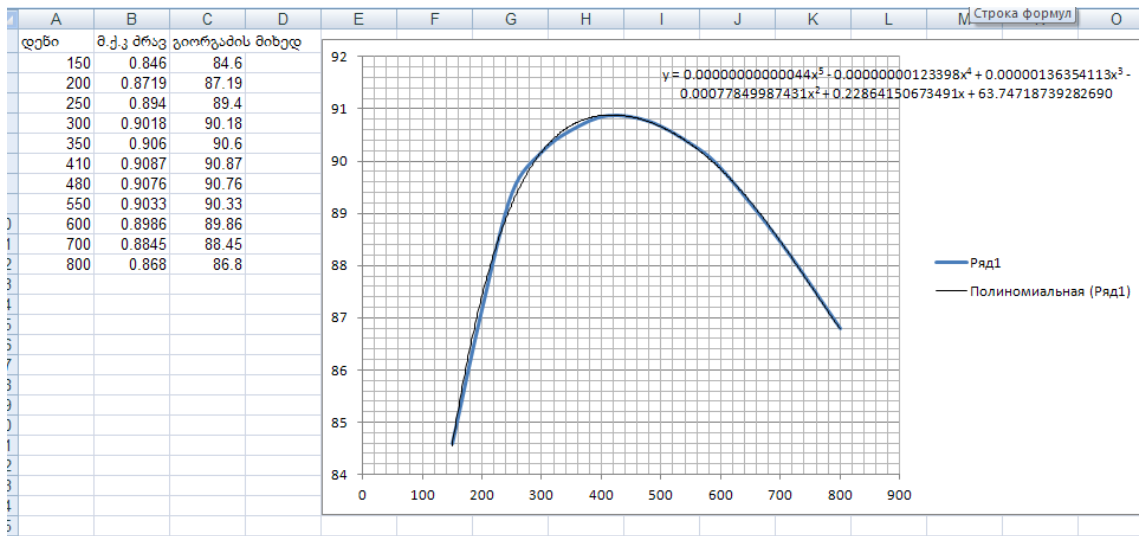


ნახ.4.4 ინდუქტიურობები

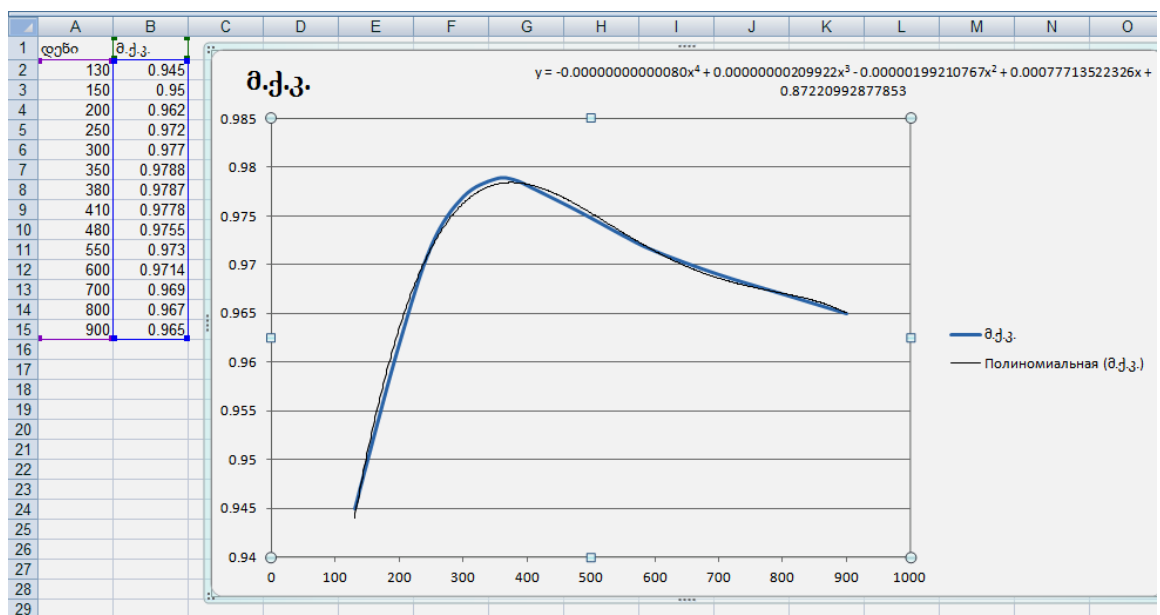
ნახოდკინისა და გორგაძის მეთოდით მიღებული მარგი კმედების კოეფიციენტის აპროქსიმირებული გრაფიკები.



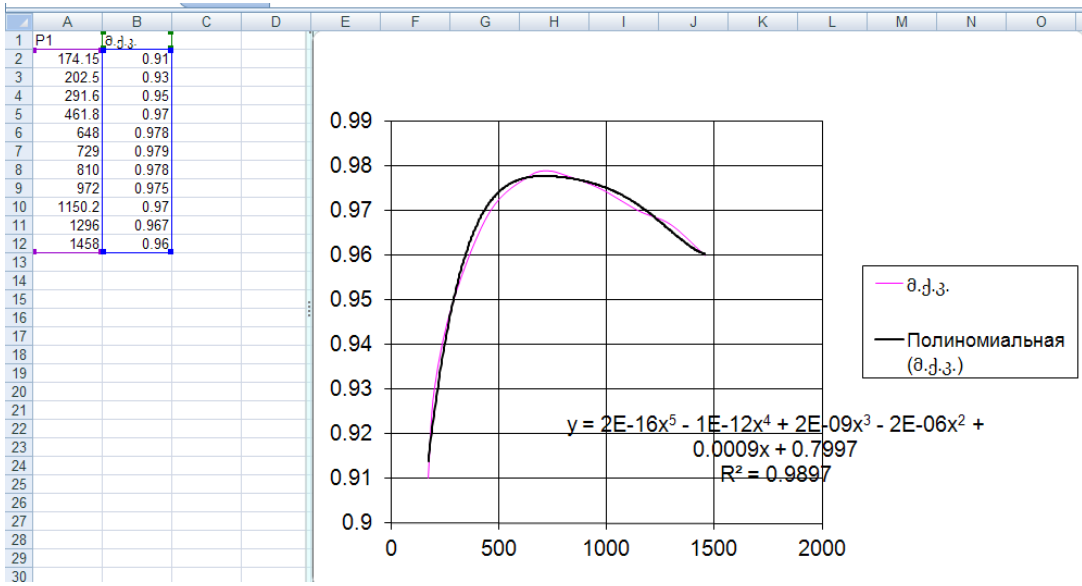
ნახ.4.5 მ.კ. ნახოდკინის მიხედვით



ნახ. 4.6. მ.კ.კ. გორგადის მიხედვით



ნახ. 4.7. კბილანური გადაცემის მ.კ.კ.



ნახ.4.8. სრული სიმძლავრის მ.კ.კ.

შედეგები და მათი განსჯა

ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა:

- დაგვედგინა, რომ ახალი გამშვები რეოსტატის სექციათა გახურების ტემპერატურის გაფანტულობა შემცირდა და შემცირდა გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა არსებულ გამშვებ რეოსტატთან შედარებით;
- დაგვედგინა ელექტრომაგნიტურ კონტაქტორთა ამოქმედების დროთა გაფანტულობის დასაშვები დიაპოზონი;
- შეგვექნა TJI-2K წევის ძრავის მოდელი, რომელიც ასახავს, არა მარტო დამყარებულ, არამედ გარდამავალ პროცესებსაც.

დასკვნები:

1. შესწავლილია სს „ელმავალშენებლის“ მიერ გამოშვებული კონკრეტული 4E1 და 4E10² მარკის ელმავლების ამძრავებთან დაკავშირებული ყველა მასალა. შესწავლილი მასალების საფუძველზე შექმნილია მუდმივი დენის ელმავლის ამძრავის იმიტაციური მოდელები, რომლებიც ასახავენ არსებული რეოსტატების ყველა ძირითად თავისებურებებს.
2. მოდელები შექმნილია MatLab-ის პროგრამულ კომპლექსებში.
3. გამშვი რეოსტატების ჩვენს მიერ შექმნილი მოდელების საშუალებით შესაძლებელია მოვახდინოთ გამშვი რეოსტატის გამოყვანის იმიტაცია.
4. მოდელირების დროს მიღებული და აპროქსიმაციის მეთოდით დამუშავებული ელექტრომაგნიტური პროცესების გაანგარიშების მონაცემები სრულიად შეესაბამება ექსპერიმენტალურ მონაცემებს, რაც მიუთითებს შემუშავებული მოდელების მუშა უნარიანობაზე და მათ ადექვატურობაზე.
5. ელმავლის გაქანების და ადგილიდან დაძვრის დროს პროცესების მოდელირებამ აჩვენა, რომ რეოსტატული გაშვების დროს ადგილი აქვს დენების არათანაბარ განაწილებას. ეს მიუთითებს იმას, რომ საჭიროა ახალი გამშვი რეოსტატის შემუშავება.
6. შემუშავებულია გამშვი რეოსტატის ახალი სქემა, შემოთავაზებულია მისი აღჭურვილობა და კონტაქტორების შეკვრის ცხრილი.
7. ჩატარებულია თბური ანგარიში და შედარებითი თბური ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ გამშვი რეოსტატის აღჭურვილობის ახალი ვარიანტი უზრუნველყოფს სექციის ელემენტების გახურების ტემპერატურის დიდ თანაბრობას არსებულთან შედარებით და ამცირებს გახურების მაქსიმალურ ტემპერატურას.
8. შემუშავებულია ძალოვანი სქემის მოდელი ელექტროპნევმატური კონტაქტორების ამუშავების დროის განზნევის მხედველობაში მიღებით, შესრულებულია ამ პარამეტრის სტატისტიკური მოდელირება, განსა-

ზღვრულია დენებისა და ძაბვების შემთხვევითი სიდიდეების მახასიათებლები და მათი ხანგრძლიობები.

9. შემუშავებულია პროგრამული კომპლექსი მუდმივი დენის ოთხღერძიანი $4E10^2$ ელმავლის ძალურ წრედში ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე დაკვირვებისათვის,
10. შექმნილია TJI-2K წვეის ძრავის მოდელი, რომელიც ასახავს არა მარტო დამყარებულ არამედ გარდამავალ პროცესებსაც.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Болашвили Д.Н., Георгадзе Д.П., Плакс А.В. и др. Исследование на АВМ переходных процессов в силовых цепях электровозов ВЛ10 и ВЛ11. Отчет о НИР ЛИИЖТ, 1976, 76 с.
2. Ротанов Н.А., Захарченко Д.Д. и др. Проектирование систем управления подвижным составом электрических железных дорог. Транспорт, 1986г. 327с.
3. Тихменев Б.Н., Трахман Л.М., Подвижной состав электрифицированных железных дорог, 1980, 471с.
4. Андросов Н.Н., Костарев П.А. Схема переключения пусковых резисторов обеспечивающая повышение их энергоемкости при пуске и электрическом торможении ЭПС постоянного тока. Вестник ВНИИЖТ, №6 1997г.
5. Осипов С.И. Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов. Транспорт, 1984, 280с.
6. Чиракадзе Г.И., Кикнадзе О.А. Электровоз ВЛ11-руководство по эксплуатации. Транспорт, 1983г, 464с.
7. Путкарадзе Г.В. Коммутационные перенапряжения в магистральных грузовых электровозах постоянного тока. Автореф. к.т.н. 1983 19с.
8. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытания электрических машин. 1990, 320с.
9. Карипидис С.И. Динамика нелинейных систем тягового электропривода постоянного тока. 2012, 314с.
10. Мугинштейн Л.А., Меншутин Н.Н, Клешина М.И. Расчет характеристик электровозов. Вестник ВНИИЖТа. №7, 1985, 11-13с.
11. Гиоргадзе Д.П., Болашвили Д.Н. Особенности электрических цепей электровозов ВЛ-11. 1983, 192с
12. ДЖИТ.652 351. 002 PP8
13. Корзина И.В. Имитационная модель электровоза для отладки микропроцессорных систем управления. Авт. реферат к.т.н., 2006, 23 с.
14. Антонюк М.С. Регулятор скорости для электровоза ЧС2К с индивидуальными электропневматическими контакторами реостатного пуска. Авт. реферат к.т.н., 2008, 23с.
15. Алексеев А.С. Система автоматического регулирования тока коллекторных тяговых двигателей электровоза. Авт. реферат к.т.н. 2009, 21с.
16. Окка Пьо. Вагон метрополитена с независимым возбуждением для союза Мьянмы. Авт. реферат к.т.н. 2010. 23с.
17. Орлов Ю.А. Управление тяговым приводом с двигателями независимого возбуждения на э.п.с. переменного тока. Авт. реферат к.т.н. 2010. 20с.
18. Охотников Н.С. Повышение тяговых свойств электровозов при помощи накопителей энергии. Авт. реферат к.т.н. 2010. 24с
19. Токов М.И., «Проектирование электрических машин», (расчеты), 1975, 214с.
20. Савоськин А.Н., Бурчак Г.П., Матвеевичев А.П. и др. «Прочность и безопасность подвижного состава железных дорог. » -М. Машиностроение 1990, 298с.
21. Detmold P. ATCS Moves railroads toward a total train management system. Modern Railroads, 1988, January, p.34-36.

22. Locomotive 2000 of the Swiss Federal Railways. Special edition out of SCHWEIZER EISENBAHN-REVUE. ABB Transportatin Systems Ltd? Zurich? Switzerland. 1991, p. 48.
23. Электровозы для железных дорог Австрии. Железные дороги мира. 1998.
24. Иоффе А.Б. «Тяговые электрические машины», 1965, 232с.
25. Жиц М.З «Переходные процессы в машинах постоянного тока», 1974, 112с.
26. Баранов В.А. «Усовершенствованный тяговый электропривод магистральных электровозов постоянного тока для эксплуатации на участках с трудным профилем», Автореф. к.т.н., 2011, 19с.
27. Находкин М.Д. др. «Проектирование тяговых электрических машин», 1976, 624с.
28. Алексеев А.С. «Исследование влияния нелинейности кривой намагничивания тягового электродвигателя на переходные процессы в силовой цепи электровоза», Тр МИИТа, вып.912, 1997, 84-88с.
29. Головатый Ф.Т., Борцова П.И. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт: учебник для вузов ж.-д. трансп.-М.: Транспорт.1983. 350с.
30. Refne recives first AVE locos. Raulway Gazette International, August 1991, 523-525 p.p.
31. MatLab. Language of Technical Computing. Version6. The MathWorks.2002.
32. Дебни Дж.Б. Харман Т.Л.; Пер. с англ. М.Л.Симонова. Simulink 4. Секреты мастерства.-М.;БИНОМ. Лаборатория знаний.2003. 403с.
33. SimPowerSystem. User'sguide. Version5.The MathWorks.2003
34. The electronic railroad emerges. Progressive RailRoding 1989, May .23-30 p.
35. C³ comes to the railroads. Progressive Railroading, 1989, September, 43-48 p.
36. The electronic railroad emerges. Progressive RailRoding,1989,May, 23-30 p.
37. Иноземцев В.Г., Казаринов В.М., Ясенцев В.Ф. Автоматические тормоза. М.: Транспорт,1981. 464 с.
38. Matlab. Language of Technical Computing. Version 6. The MathWorks.2002.
39. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт: Учебник для вузов ж.-д. трансп. А. Т. Головатый, И. П. Исаев. П. И. Борцов и др.; под ред. А. Т. Головатого и П. И. Борцова. М.: транспорт, 1983 -350с.
40. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н.Теория электрической тяги. М.:Транспорт.1983. 328с.
- 41 Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизельпоездам. Под общ. Ред. А.И.Тищенко. Т II. М. Транспорт. 1976. 376 с.
- 42.Кубасов А. С. Седов В.И., Сорин Л.Н. Проектирование тяговых двигателей: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.:Транспорт.1987.536 с.
- 43.Калинин В.К. Электровозы и электропоезда. М.:Транспорт 1991.480 с.
- 44.Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: транспорт.1985. 287 с.
45. Медведев В.С. Потемкин В.Г. Control System Toolbox, MaLab 5 для студентов. М.:ДИАЛОГ-МИФИ, 1999.287 с.
- 46 Гуляев А. Визуальное моделирование в среде MaLab.СПБ. Питер. 2000. 429
- 47 Потемкин В.Г. Инструментальные средства MaLab 5.x. М.: ДИАЛОГ-МИФИ. 2000. 332 с.

48. Simulink 4. Секреты мастерства. Дебни Дж. Б., Харман Т.Л. Пер. с англ. Симонова М.Л. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний. 2003. 403 с.
49. Simulink. Model-Based and System-Based Design. Version 5. The MathWorks. 2003.
50. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины. Лабораторные работы на ПК. Сан-Петербург Корона. 2013.
51. MaLab. Language of Technical Computing. Version 6. The Math Works. 2002.
52. Ануфриев И.Е. Самоучитель MaLab 5.3/6.x. СПб.: БХВ-Петербург. 2002. 736
53. Устройство для автоматического регулирования скорости тягового подвижного состава. Патент РФ №2202481 от 20.04.2003 Оpubл. БИ№11 2003. Савоскин А.Н., Пудавиков О.Е.