

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მუდმივი დენის ელმავლის გაშვების იმიტაციური მოდელის დამუშავება

ნატალია კერესელიძე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ეფერ ატი

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“, შიფრი 0405

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
ელექტრომომხმარებლის ტექნოლოგიების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ. კონსტანტინე წერეთელი

რეცენზენტები: აკადემიური დოქტორი ჯემალ ბეჟანიშვილი
აკადემიური დოქტორი არჩილ ზერეკიძე

დაცვა შედგება 2015 წლის "4" ივლისს, 13⁰⁰საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია 718
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

პროფ. გ. ხელიძე

სამუშაოს აქტუალობა

უშუალოდ ელმავალზე ნატურალური ექსპერიმენტების ჩატარება შრომატევად და ნაკლებად ეფექტურ პროცესს წარმოადგენს, რომელიც მოითხოვს სპეციალური საშუალებებით უზრუნველყოფას და დაკავშირებულია ფინანსების, ელექტროენერჯისა და დროის დიდ დანახარჯებთან. ამ მხრივ დიდად ეფექტურია მათემატიკური მოდელირების გამოყენება. აქედან გამომდინარე, დღესდღეობით უაღრესად აქტუალურია ნებისმიერი მათემატიკური მოდელირების პროგრამის დამუშავება, რომელსაც შესწევს უნარი გარანტირებული სიზუსტით მოახდინოს ელექტრომოწყობილობებში მიმდინარე პროცესების აღწერა.

ელმავლებზე დამონტაჟებული ელექტროპნევმატური კონტაქტორები (ეპკ), ხშირად თითქმის ორჯერ აჭარბებენ ამოქმედების დროის ნორმატიულ სიდიდეებს, რაც იწვევს თვით კონტაქტორებისა და საერთოდ ელმავლის სწრაფად წყობიდან გამოსვლას. აქედან გამომდინარე, სამუშაოში დაისვა საკითხი, ელექტრომაგნიტური კონტაქტორების ჩართვა-გამორთვისა და მათი დაწების დროის გავლენის შეფასებისა ძალოვან ქსელში მიმდინარე პროცესებზე.

კოლექტორული წევის ელექტროძრავებიანი ელექტროამძრავები ექსპლუატაციაში საიმედოობის მხრივ დღესდღეობით შენიშვნებს არ იმსახურებენ, მაგრამ როგორც აღმოჩნდა არსებობს მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების შესაძლებლობა.

კლევის მიზანი და ამოცანა. ინდივიდუალურ ელექტროპნევმატურ რეოსტატულ-კონტაქტორებიანი მუდმივი დენის ელმავლის ამძრავის მათემატიკური მოდელის დამუშავება საფეხურეობრივი გაშვების თავისებურებათა გათვალისწინებით.

გამოკვლევის მეთოდიკა. ნაშრომში გამოყენებულია საინჟინრო გამოთვლების მეთოდები. საკითხები გადაჭრილია ელექტრული ქსელების, ელექტრული მანქანების, მათემატიკური ანალიზისა და კომპიუტერული მოდელირების თეორიათა მეთოდების გამოყენებით.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

- დამუშავდა მუდმივი დენის ელმავლის ამპრავის 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 ელექტროპნევმატური კონტაქტორების ამოქმედების დროთა გაფანტულობის გათვალისწინებით, შესრულდა ამ პარამეტრის სტატისტიკური მოდელირება, განისაზღვრა შემთხვევითი დენებისა და ძაბვების სიდიდეების და მათი ხანგრძლივობათა მახასიათებლები.

პრაქტიკული ღირებულება

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 TII-2K წვევის ძრავის მოდელი, რომელიც ასახავს, არა მარტო დამყარებულ, არამედ გარდამავალ პროცესებსაც.

დისერტაციის შესავალში დასაბუთებულ იქნა სადისერტაციო თემის აქტუალურობა და მისი პრაქტიკული მნიშვნელობა. მოყვანილ იქნა გამოსაკვლევ საკითხის მდგომარეობის მოკლე ანალიზი და გადასაჭრელი ამოცანების რეალიზაციის მეთოდები.

პირველ თავში განხილულია ელექტრომაგნიტური პროცესების სიმდოვრის გამოკვლევა ელმავლის გაქანებისას, გამშვებ რეოსტატთა სხვადასხვა ვარიანტებით.

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

კოლექტორულძრავებიანი მუდმივი დენის ელმავლების წვეის ელექტროძრავებში განსაკუთრებით ფართო გამოყენება ჰპოვა აღზნების გრაგნილის მიმდევრობითმა შეერთებამ ღუზის წრედთან. ღუზის ბრუნვის სიხშირის რეგულირება ხდება ღუზაზე მოდებული ძაბვის ცვლილებით ნულიდან ნომინალურამდე, ხოლო გამოყენებულ მოძრაობის სიჩქარეთა დიაპაზონის გაფართოვება ხდება აღზნების მაგნიტური ველის საფეხურობრივი შესუსტების გზით. ამასთანავე წყდება მთელი რიგი საკითხები წვეის ძრავის მუშაობის მდგრადობასთან დაკავშირებით, სახელდობრ: ღუზის გრაგნილის დიდი ინდუქტიურობა აღზნების გრაგნილთან ერთად ასუსტებს დენის ავარდნებს საკონტაქტო ქსელის ძაბვის მკვეთრი ცვლილებისას. აღზნების 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 წვეის ძრავების მომჭერებზე და მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით მათი აღზნების გრაგნილებში.

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

ელმავლის გაშვებისა და მართვის რეოსტატულ-კონტაქტორული სისტემა, რომელიც თავისი საიმედოობითა და სიმარტივით დღესდღეობით ტოლს არ უდებს უფრო ეკონომიურ და პერსპექტულ იმპულსური რეგულირების სისტემას, მათ შორის ამ ელმავალზეც იქნა გამოყენებული.

ნაშრომში განხილულია ელმავლებში უკვე არსებულ გამშვ რეოსტატ-თა კონსტრუქციული თავისებურებები, წარმოდგენილია მათი რეოსტატული გაშვების სქემები და მოყვანილია დენის მახასიათებლები. ТЛ-2К წევის ელექტროძრავის საიმიტაციო მოდელის შექმნა და გამოყენება. გაშვების თითოეულ საფეხურზე ელმავლის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრისათვის (გამშვი რეოსტატის თითოეული საფეხურისათვის ცნობილი წინაღობების დროს) შეიძლება გამოვიყენოთ წევის ძრავის მოდელი, რომელიც გამოსახულია ნახ. 1-ზე:

1. გამომდინარე იქიდან, რომ პირველი სამი საფეხურის აკრეფისას ელმავალი უძრავია, შესაბამისად მოდელში შეგვაქვს $V=0$.
2. შეგვყავს პირველი საფეხურის წინაღობის სიდიდე.
3. შეგვყავს გამშვები დენის სიდიდე 490ა.
4. უშვებთ მოდელს და ძრავის დენის მარეგისტრირებელი ხელსაწყოს ჩვენების მიხედვით, ვახდენთ გაშვების დენის სიდიდის კორექტირებას.
5. მიღებული სიდიდეები $R_{გამ}$, $I_{ძრ}$, $V_{ელ}$, $\Phi_{ძრ}$ 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 გამშვ დენის დადგენილ მნიშვნელობას 490ა-სა და ხელსაწყოს მიერ დარეგისტრირებულ დენს შორის არ აღემატებოდეს ამპერის მეთედ მნიშვნელობას.

მარტივი გამოსახულებებით, რომლებიც მოსახერხებელი არიან შემდგომი გამოთვლების პროცესში.

ძალიან საინტერესო ნაშრომია [3]. 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).

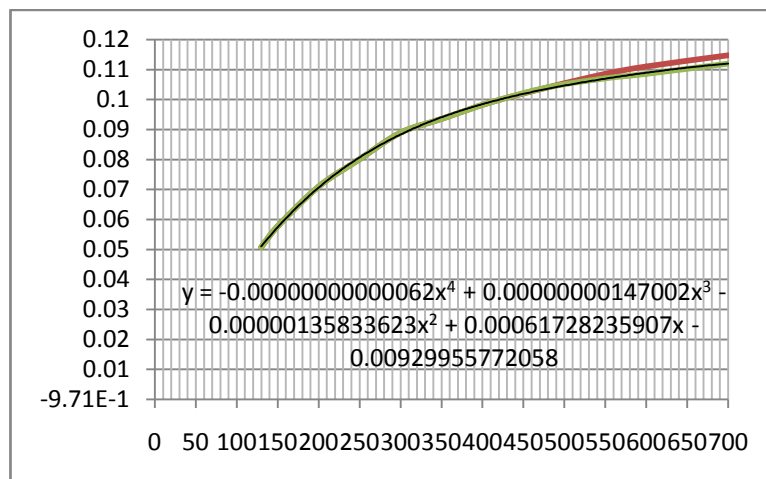
$$C\Phi = [a_0 + a_1(I_{\text{ლ}\beta}) + a_2(I_{\text{ლ}\beta})^2 + a_3(I_{\text{ლ}\beta})^3 + a_4(I_{\text{ლ}\beta})^4] / [1 + (1-\beta)a_5]$$

სადაც: $a_0 \dots a_5$ - მუდმივი კოეფიციენტებია, რომლებიც სხვადასხვა არიან სხვადასხვა ტიპის ძრავებისათვის; $I_{\text{ლ}}$ - ღუზის დენი; β - ადგუნების შესუსტების კოეფიციენტი წვევის რეჟიმში.

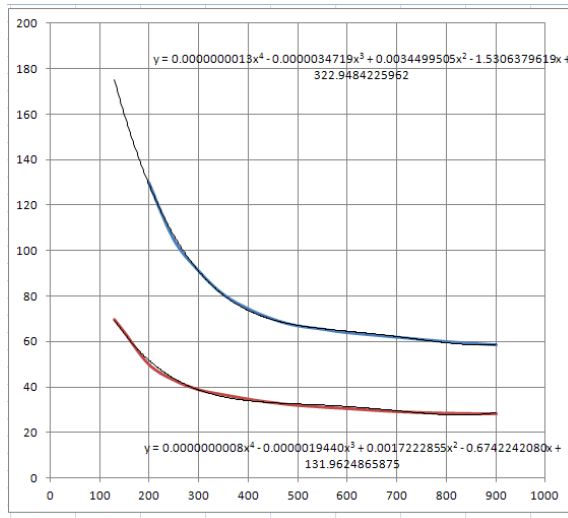
გამოსახულებას მნიშვნელში შეაქვს შესწორება, რომელიც ითვალისწინებს ღუზის რეაქციის გავლენას $C\Phi$ პარამეტრზე. უქმი სვლის რეჟიმში $I_{\text{ლ}\beta}$ გამოსახულება მიღებულია, $I_{\text{ლ}}$ -ს ტოლად, ხოლო გამოსახულება მნიშვნელში ტოლია ერთის.

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

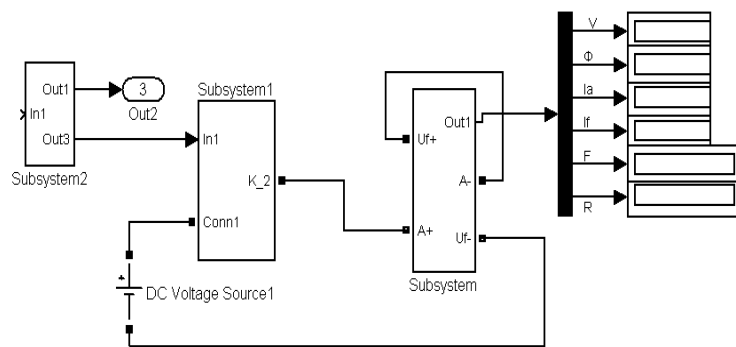
მოცემულ ნაშრომში წვევის ელექტროძრავების დამაგნიტების მრუდები და სიჩქარის მახასიათებლები აპროქსიმირებულია მეოთხე ხარისხის პოლინომიალური განტოლებებით Excel პროგრამის გამოყენებით.



ნახ.2. ТЛ-2K-ს დამაგნიტების მრუდი



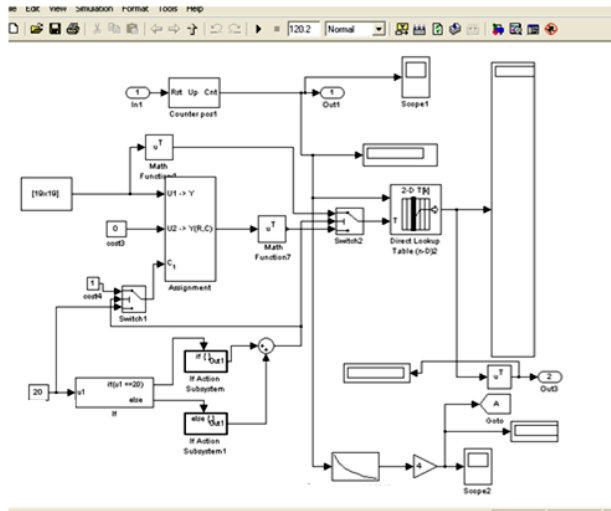
ნახ. 3. TLI-3 წევის ძრავებიანი ელმავალ 4E-ის სიჩქარის მახასიათ. (D=1200 მმ)



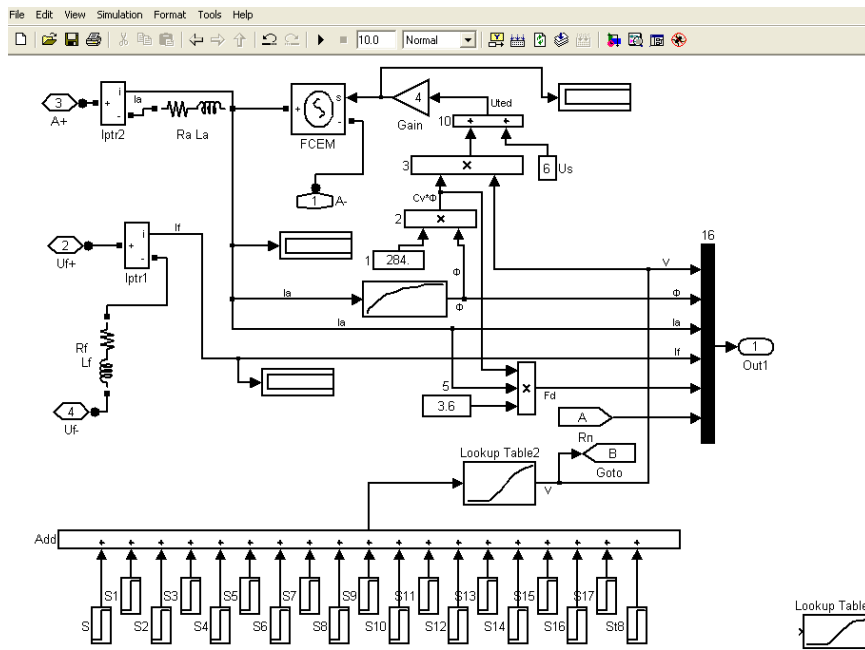
ნახ.4. გამშვები რეოსტატის მოდელის საერთო სტრუქტურა

ნახ. 4-ზე: Subsystem2 განსაზღვრული საკვლევი ობიექტის მონაცემთა მაფორმირებელი მოდელის სქემა. Subsystem1- მიმდევრობითი ადგენების მუდმივი დენის წევის ძრავის მოდელის სქემა; Subsystem - გამშვები რეოსტატის მოდელის სქემა.

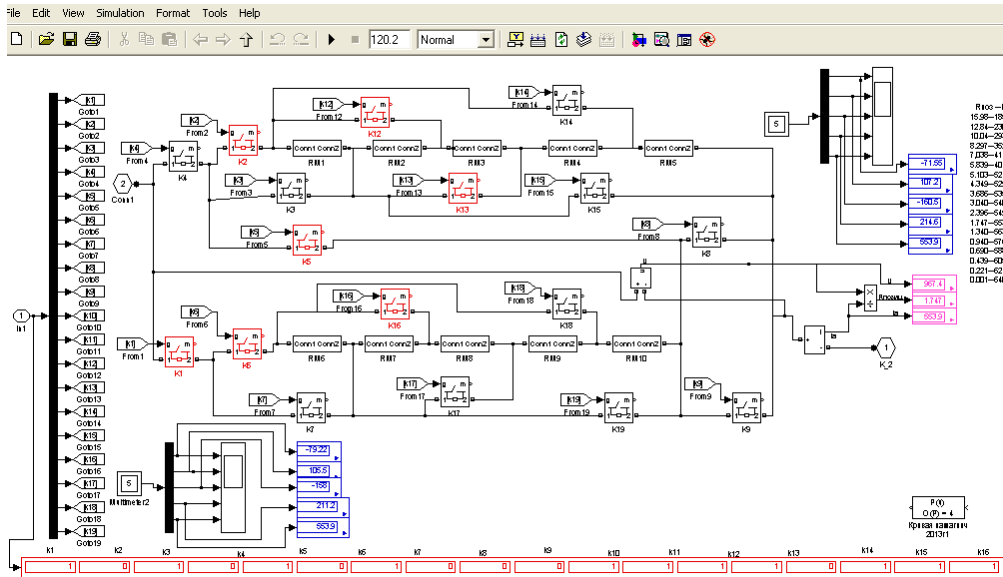
აღნიშნული ქვესისტემებიდან პირველ ორს შეუძლიათ აღწერონ როგორც 4E1 ასევე 4E10² ელმავლის ბლოკები, მათში შესაბამისი პარამეტრების შეყვანის შემთხვევაში.



ნახ.5. მონაცემთა ფორმირების მოდელის სქემა, გამშვი რეოსტატის მოდელისათვის



ნახ. 6. მიმდევრობითი ალგორითმის მუდმივი დენის წვევის ძრავის მოდელის სქემა ძაბვის წყაროს ბაზაზე. (გამოყენებული გამშვი რეოსტატის მოდელში)



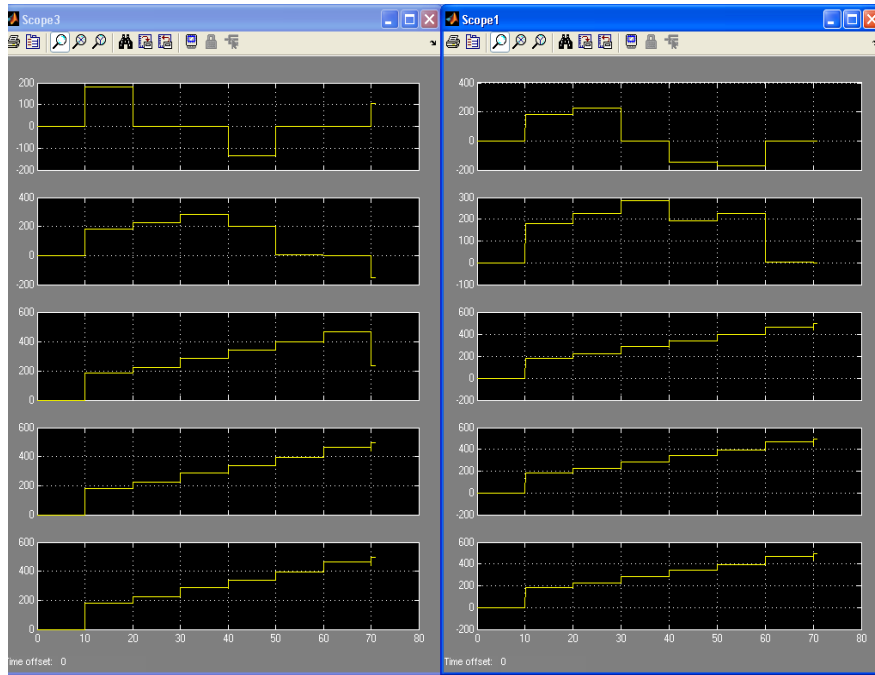
ნახ.7. ელმავალ 4E1-ის გამშვი რეოსტატის მოდელი

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.

მეორე თავში განხილულია წევის ძრავების გამშვი რეოსტატების თბური რეჟიმების გამოკვლევა.

მოდელების 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.



ნახ.8. აქ დარეგისტრირებული არის დენები ყველა 10 სექციაში

ნაშრომში წარმოდგენილია ექსპერიმენტალური გამშვი რეოსტატის აღკაზმვის ახალი სქემა, მისი სექციათა პარამეტრები, რეზისტორების სიდიდეთა ცხრილები გამშვი პოზიციების მიხედვით და რეოსტატის კონტაქტორების ჩართვის თანამიმდევრობა ოთხღერძიანი ემავლისათვის.

მაღალი ტემპერატურის პირობებში მუშაობა, თავისთავად იწვევს გამტარის მასალების მინიმალური ტემპერატურული კოეფიციენტის მოთხოვნას, რადგან წინააღობის მოცემული სიდიდეები, მუშაობის პროცესში უცვლელად უნდა იქნენ შენარჩუნებულნი.

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

- 1) წინააღობათა 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) წინააღმდეგობის მთელი ზედაპირიდან თბოგაცემის პროცესი არათანაბრად მიმდინარეობს რადგანაც წინააღმდეგობის ცალკეული მონაკვეთების ჰაერის ნაკადის გარსდენა არაერთგვაროვნად ხდება; წინააღმდეგობის მეზობელი ელემენტები ენერჯის გამოსხივებით ზემოქმედებას ახდენენ წინააღმდეგობის ცალკეულ მონაკვეთებზე და ყველაფერი ეს იწვევს თბოგაცემის ცვლილებას.
- 3) წინააღმდეგობის 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) წინააღმდეგობის თბომოცულობა არ არის მუდმივი, არამედ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მცირედ მატულობს.

გამოცდილება გვკარნახობს, რომ თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გამაგრებელი 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.

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 .

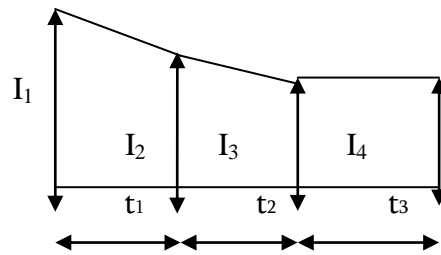
ელმავალთა გამშვი რეზისტორებისათვის ჩვეულებრივ ითვალისწინებენ შემდეგ საანგარიშო რეჟიმებს:

- 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 წევის ძრავის ნომინალური დენის 40-60%-ის პირობებში.
- მანევრულ პოზიციებზე 3-წთ-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, წევის ძრავების ხანგრძლივი მუშაობისას საანგარიშო გამშვი დენით. ასეთი რეჟიმი შესაძლებელია გოგოწყვილების ბუქსირებისა და საანგარიშო აღმართზე მატარებლის გაჩერების თავიდან ასაცილებლად.

წინააღმდეგობათა დატვირთვის პრაქტიკული რეჟიმების კლასიფიკაცია შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგნაირად:

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

მიახლოებით გამოთვლებში შესაძლებელია ერთი საფეხურიდან მეორეზე გადართვებს შორის პერიოდებისათვის წინააღმდეგობის ცალკეულ ელემენტში დენის ცვლილება დროის ფუნქციით ჩაითვალოს სწორხაზო-ბრივად, მაშინ შეგვიძლია დენის ცვლილება გამშვები რეოსტატის პოზიციების მიხედვით ერთი სექციის ერთერთ ელემენტში გრაფიკულად წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად (ნახ. 9):



ნახ.9. დენების სავარაუდო სიდიდეები ერთ-ერთ ელემენტში

მოცემული ნახაზისათვის შესაძლებელია განვსაზღვროთ ექვივალენტური დენი სითბოს მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

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

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

წინააღმდეგობის საფეხურეობრივი ცვლილებისას გამშვები რეოსტატი იყოფა ნაწილებად (სექციებად), რომლებიც გაშვების პროცესში გამოერთვებიან ან ჩაერთვებიან ერთმანეთს სხვადასხვა მეთოდით. პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების რაოდენობა სხვადასხვა სექციაში სხვადასხვაა, რითაც მიიღწევა სხვაობა სექციის წინააღმდეგობებში. 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.

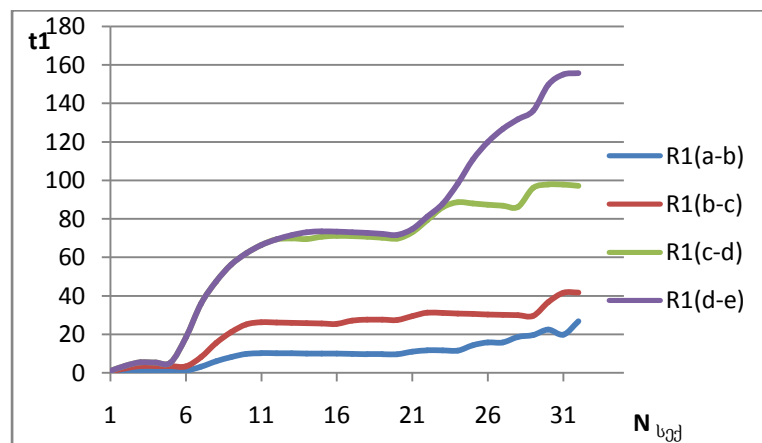
განსახილველ ელემენტში დენის სიდიდის მისაღებად, $I_{საერთო}$ უნდა გაიყოს სექციაში პარალელურად შეერთებული ელემენტების (n) რაოდენობაზე.

$$I_{ელ} = \frac{I_{საერთო}}{n}$$

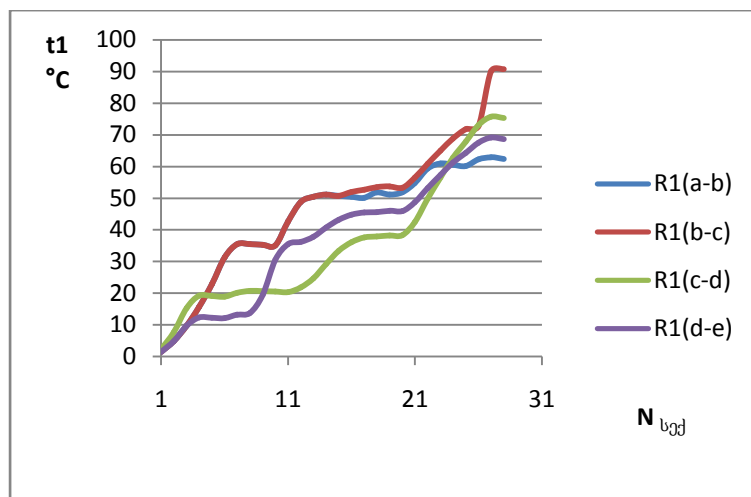
ამასთან დაკავშირებით მოცემულ ნაწილში განხორციელდა გამშვიდ წინაღობების სექციათა ელემენტების გახურების შედარებითი გამოთვლა, გამშვ რეოსტატთა აღკაზმვის არსებული და შეთავაზებული სქემებისათვის.

მაგალითისათვის ნახ. 10,11 მოყვანილია გამშვ წინაღობათა სექციების გახურების გრაფიკები, რომლებზედაც ნათლად ჩანს პირველი ჯგუფის სექციათა დატვირთვის ხარისხი, გამშვი რეოსტატის ორივე ვარიანტის შემთხვევისათვის. შედეგების მიხედვით დადგინდა შემდეგი:

მაქსიმალური ტემპერატურა, ახალი გამშვი რეოსტატის ჯგუფთა სექციებში შეადგენს $t_1=136^{\circ}\text{C}$, $t_2=117^{\circ}\text{C}$, $t_3=115$ რაც უფრო დაბალია არსებულ გამშვ რეოსტატთან შედარებით, $t_1=90^{\circ}\text{C}$, $t_2=133^{\circ}\text{C}$, $t_3=133^{\circ}\text{C}$

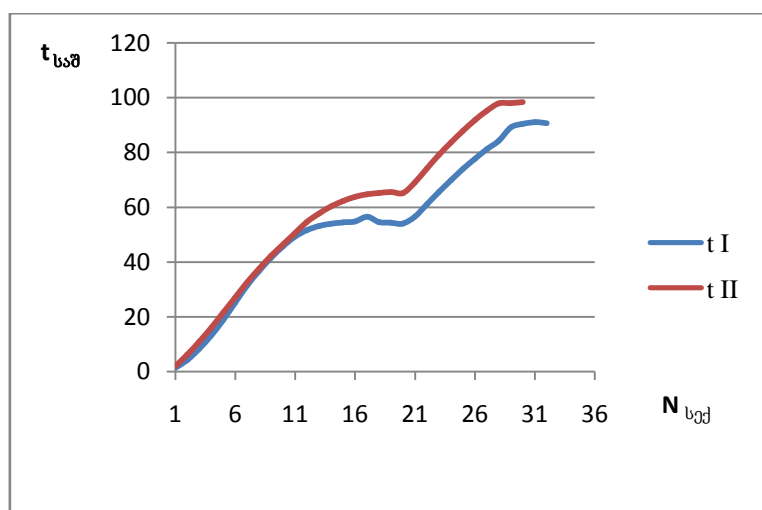


ა)



ბ)

ნახ. 10. სექციის პირველი ჯგუფის გამშვ წინაღობათა გახურების მრუდები ა) არსებული რეოსტატისათვის, ბ) ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის



ნახ. 11. გახურების საშუალო მნიშვნელობები ორი გამშვი რეოსტატისათვის tII-არსებული რეოსტატისათვის, tI-ექსპერიმენტალური რეოსტატისათვის

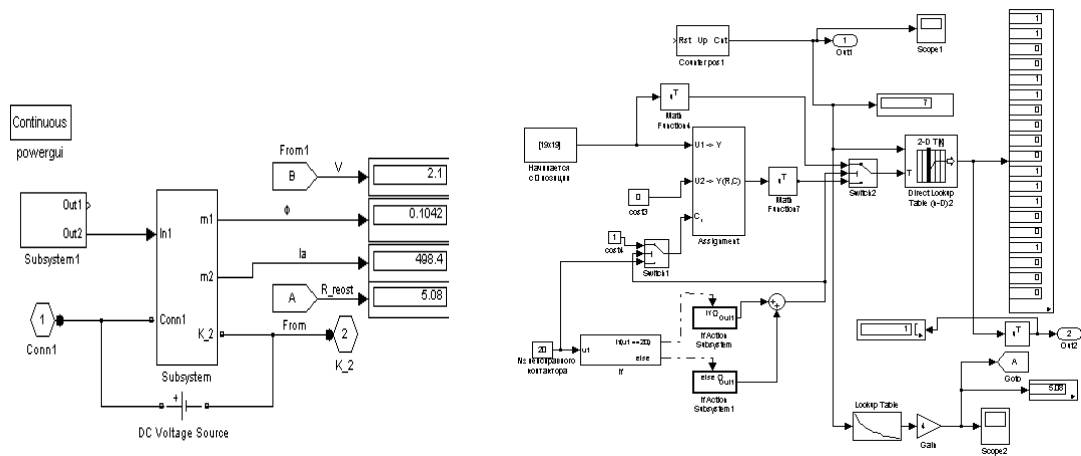
ამკარაა, რომ ახალი გამშვი რეოსტატის პირველ და მესამე ჯგუფებში ტემპერატურა მნიშვნელოვნად უფრო დაბალია არსებული რეოსტატის ამავე ჯგუფებთან შედარებით;

ახალი რეოსტატის ერთ-ერთი ელემენტის ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობა ცოტა უფრო მეტია არსებულ რეოსტატთან შედარებით. ეს

განპირობებულია შედარებით მაღალი საშუალო დენით ჯგუფთა სექცი-
ებში, აგრეთვე ელემენტების უკეთესი დატვირთულობით.

მესამე თავში განხილულია კონტაქტორთა ამოქმედების დროთა
გაზნევის ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე გავლენის გამოკვლევა მოდე-
ლირების საშუალებით.

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



ნახ.12. გაშვების იმიტაციური მოდელი

მოცემული მოდელი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ, როგორ
იცვლებიან გამშვები რელსტატების სექციათა დენის მნიშვნელობები,
კონტაქტორთა არჩართვის ან ჩარჩენის პოზიციათა მიხედვით. მოდელთან
მუშაობის დროს გაუმართავი (არჩართვადი) კონტაქტორის ნომერი
მუდმივი სიდიდის სახით მოგვეწოდება ბლოკში CONSTANT (ნახ. 12)
SUBSISTEM-1-ში მითითებულია კონტაქტორი 20, რომელიც არ მიეკუთვნე-
ბა გამშვებ რელსტატს ანუ მიმდინარეობს რელსტატის ნორმალური
მუშაობის იმიტირება. კონტაქტორის ჩარჩენის იმიტირების აუცილებლო-
ბისას, SUBSISTEM-ზე ნახ. 12 აუცილებელია მოვახდინოთ გაუმართავი
კონტაქტორის დროებითი დაშუნტირება. ნებისმიერი გაუმართავობის
იმიტაცია გამოისახება დენების ცვლილებებში (ნორმალურ მდგომარეობა-

სთან შედარებით) და რეგისტრირდება ოსცილოგრაფებზე SCOPE, რომლებიც იღებენ სიგნალებს MULTIMETER-ის ბლოკებიდან.

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

ამ თავში შესრულებულ იქნა ძალოვანი ქსელის მუშაობის მოდელირება კონტაქტორების ჩართვისა და გამორთვის რეალურ დროთა გათვალისწინებით. ასეთი გამოთვლების შედეგად განსაზღვრულ იქნენ დენებისა და ძაბვების შემთხვევითი სიდიდეების მახასიათებლები და ამ სიდიდეთა ხანგრძლივობები, ამისათვის შესრულებულ იქნა ჩართვისა და გამორთვის დროთა გაზომვის სტატისტიკური მოდელირება იმ ვარაუდით, რომ ეს დროები განაწილებულნი არიან გაუსის მეთოდის მიხედვით.

გამოთვლათა შედეგების შედარებისას, რომლებიც შესრულებულ იქნენ კონტაქტორების ამოქმედების დროთა გაფანტულობისათვის 0.050-დან - 0,250 წმ მდე და 0,050-დან - 0,150 წმ-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.

მეოთხე თავი ეძღვნება ძალოვანი სქემის მოდელის დამუშავებას კონტაქტორების (განსაკუთრებით ხაზურთა) ამოქმედების დროთა გაფანტულობის გავლენის შეფასებისას, მათი დასაშვებობის განმსაზღვრელ ფაქტორად გვევლინება გადატვირთვათა წარმოშობის შესაძლებლობა. რომელთა დროსაც ჩნდება საშიშროება წვევის ელექტროძრავებისათვის, ამიტომ მოდელში ძრავი წარმოდგენილი უნდა იყოს მთლიანად ე.ი. წარმოდგენილნი უნდა იქნენ მისი ყველა გრაგნილის ინდუქტიურობები.

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

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. ოპერატიული გათიშვებისას, წვევის ძრავების გამორთვა ხდება ხაზური კონტაქტორებით (ჩვენს მიერ განხილული $4E10^2$ ელმავლებზე „დედამიწის“ მხრიდან დაყენებულია კონტაქტორი K10, ხოლო ელმავალ $4E1$ -ზე – K6). წვევის ძრავის კორპუსის იზოლაციისათვის ყველაზე საშიშ რეჟიმს „მიწასთან“ კავშირის გაწყვეტა წარმოადგენს.

ელმავალზე მიმდინარე პროცესების შესაბამისი იდენტური პროცესების მისაღებად, წ.ე.ძ. მოდელი უნდა ასახავდეს წევის მანქანებისათვის დამახასიათებელ ყველა თავისებურებას. კერძოდ, ასეთ თავისებურებებს უნდა მივაკუთნოთ გარდამავალ პროცესებზე დიდი გავლენა გრიგალური დენებისა, რომლებიც წარმოიშობიან პოლუსთა ფოლადში, აგრეთვე ის, რომ თანმიმდევრული ალგუნების წევის ძრავები, რომლებიც გამოიყენებიან ელექტრომოდრავ შემადგენლობებზე, მუშაობენ დამაგნიტების მრუდის მთელ ზღვარზე, გაჯერების ზონის ჩათვლით, ამასთანავე მაგნიტური ნაკადის დენზე დამოკიდებულება არ არის სწორხაზოვანი, ამიტომ წ.ე.ძ.-ის ინდუქციურობა წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს, რომელიც დამოკიდებულია ლუზის დენზე, ე.ი. დინამიკური ინდუქტიურობა სიდიდით მეტია სტატისტიკურზე.

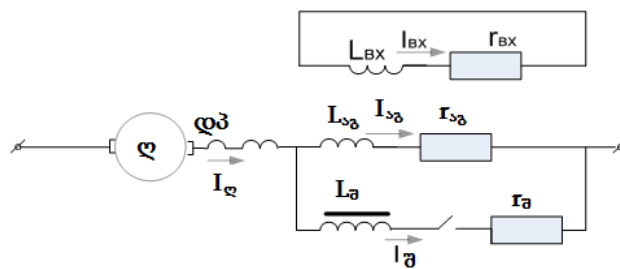
დინამიკური ინდუქტიურობა განისაზღვრება გამოსახულებით:

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

ამ გამოსახულებაში $L_{\text{სტ}}$ – სტატისტიკური ინდუქტიურობა, რომელიც განსაზღვრება, როგორც

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

სადაც, W_b ალგუნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვია.



ნახ. 13. წევის ძრავის ჩართვის სქემა წევის რეჟიმის დროს

მოდელის საფუძვლად აღებულია ელმავალი 4E10-ის წევის ელექტროძრავი TJI-2K. გამოთვლისათვის გამოიყენება წევის ელ. ძრავის ჩართვის სქემა, რომელიც წარმოადგენილია ნახ.13 ველის შესუსტების სხვადასხვა საფეხურები შეიძლება განხორციელდნენ რეზისტორის r_a . სიდიდის ცვალებადობით.

კვების აღდგენის გარდამავალი პროცესის განხილვისას, თუ შემოვიფარგლებით მხოლოდ მთლიანი აღზნების რეჟიმით. მაშინ მიმდინარე პროცესის განსაზღვრისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში მოქმედებს განტოლება

$$C_v V \Phi + i_a r_a + i_b r_b + 2p\sigma \frac{d\Phi}{dt} + L_{\text{დობა}} \frac{di_a}{dt} = U_d$$

სადაც: i_a – დენის ძრავის ქსელში ($i_a = i_b$); U_d – მოდებული ძაბვა; r_a – ჯამური აქტიური წინაღობა ლუზის გრაფილთა, დამატებითი პოლუსების და საკომპენსაციო; p – წყვილ პოლუსთა რიცხვი; σ – მთავარი პოლუსის გაფანტულობის კოეფიციენტი; w_b – მთავარი პოლუსის ხვიათა რიცხვი;

შემოთავაზებული მოდელი არ ითვალისწინებს წვეის 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.

წვეის რეჟიმში მომუშავე ძრავის სტრუქტურული სქემის (ნახ.14) შესადაგნად გამოიყენება მოდელში რეალიზაციისათვის მოსახერხებელი განტოლებათა შემდეგი სისტემა:

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{L_{\text{დობა}}} (U_d - C_v V \Phi - i_a r_a - i_b r_b - L_{\text{დობა}} \frac{di_b}{dt})$$

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

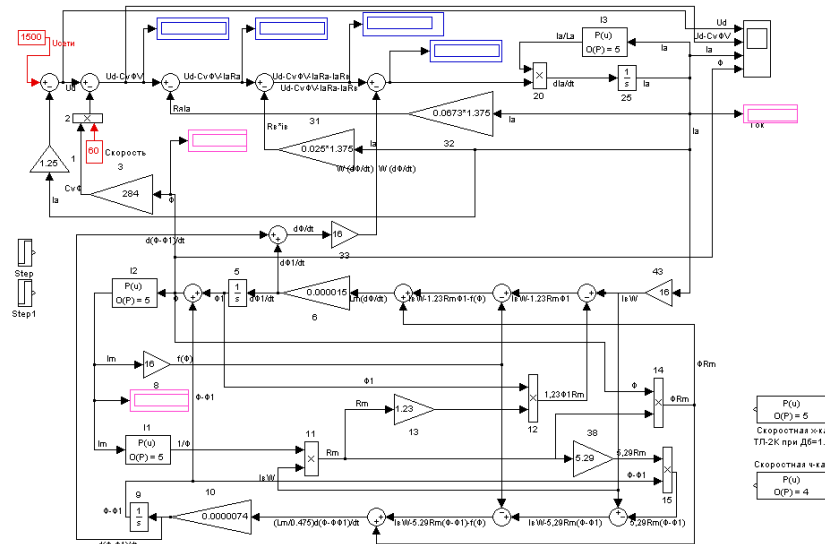
$$L_{\text{დობა}} \frac{di_b}{dt} + i_b r_b - i_{\vartheta} r_{\vartheta} - L_{\text{დობა}} \frac{di_{\vartheta}}{dt} = 0$$

ხდება ამ სისტემის შეკრება დამატებითი განტოლებებით, რომლებიც ითვალისწინებენ ძრავის მაგნიტომძრავის მასიურ ნაწილებში წარმოქმნილი გრიგალური დენების მომქედებას. ამისათვის გამოიყენება მ.ზ. ჟიცის მიერ შემოთავაზებული მეთოდისა, ამ მეთოდის შესაბამისად დამაგნიტების ძალას $F = i_b w_b$ აკავშირებენ მთლიან Φ მაგნიტურ ნაკადთან. პირველი ჰარმონიკის Φ_1 მაგნიტურ ნაკადთან ორი განტოლებით:

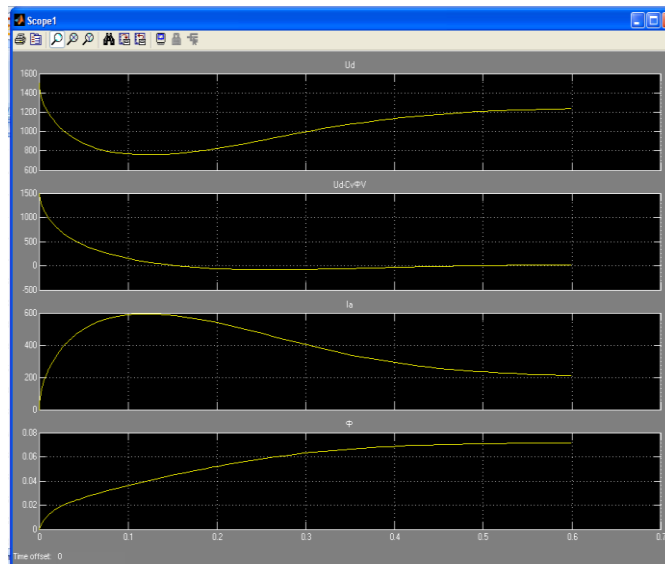
$$1,23r_{\mu 1} \Phi_1 + f(\Phi) - \Phi r_{\mu 1} + L_{\mu} \frac{d\Phi_1}{dt} = F$$

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

სადაც: $f(\Phi)=i_{\mu}$ w უკუ მაგნიუტრი მახასიათებელი; Φ – მთლიანი მაგნიტური ნაკადი; Φ_1 – პირველ ჰარმონიკათა მაგნიტური ნაკადი; $\Phi-\Phi_1$ – უმაღლეს ჰარმონიკათა მაგნიტური ნაკადი; 1,23r_{μ1} და 5,29r_{μ1} მაგნიტური წინააღმდეგობები შესაბამისად ძირითადი ნაკადისა და უმაღლესი ჰარმონიკების მიმართ; L_μ - ძირითადი ნაკადის მაგნიტური ინდუქტიურობა; L_{μ1} - უმაღლეს ჰარმონიკათა მაგნიტური ინდუქტიურობა.



ნახ. 14. ელმავლის ძალოვანი ქსელის მოდელი



ნახ.15. იმიტაციური მოდელის საშუალებით მიღებული დამოკიდებულებები

მიღებული გრაფიკების მიხედვით შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ დამოკიდებულებათა მონაცემები შეესაბამებიან რეალურ ელმავალზე მიმდინარე ელექტრომაგნიტურ პროცესებს.

დასკვნები:

1. შესწავლილია სს „ელმავალმშენებლის“ მიერ გამოშვებული კონკრეტული $4E1$ და $4E10^2$ 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 ავარდნას. 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 ТЛ-2К წევის ძრავის მოდელი, რომელიც ასახავს არა მარტო დამყარებულ არამედ გარდამავალ პროცესებსაც.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. წერეთელი კ., კერესელიძე ნ., ხარშილაძე გ. ელმავლის ძრავების გამშვებ წინაღობათა თბური გახურება. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურ. „ინტელექტუალი“, 2014, 2(54), გვ. 150-155.
2. Церетели К., Кереселидзе Н. Иммитационная модель управления пуска элементов привода электровоза постоянного тока. სამეცნიერო ჟურნალი „ბიზნეს ინჟინერინგი“, 2015, გვ.169-170.
3. წერეთელი კ., კერესელიძე ნ. 2000-იან წლებში შექმნილი მუდმივი დენის ქართული ელმავლები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟ. „ენერჯია“. 2015, 2(73).
4. წერეთელი კ., კერესელიძე ნ. ღრეჩოს უთანაბრობის გავლენის აღრიცხვის პრობლემა ელექტრულ მანქანებში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. 2014, 3 (71), გვ. 21-25.
5. კობხრიძე დ., ხარშილაძე გ., კერესელიძე ნ. ასინქრონული ტიპის ვენტორული ძრავის განტოლებები ცვლადთა მყისი მნიშვნელობებისათვის. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. 2014, 4 (72), გვ. 59-62.
6. Кереселидзе Н. Исследование теплового режима пусковых реостатов тяговых двигателей. კონფერენცია „ბიზნეს ინჟინერინგი“ IEC, 2013, 4, გვ.161-163.

აპრობაცია:

დისერტაციის მასალები მოხსენებული იყო შემდეგ კონფერენციებზე და სემინარებზე:

1. ბიზნეს-ინჟინერინგი 2013. I საერთაშორისო ეკონომიკური კონფერენცია - IEC 2013, თბილისი, საქართველო, 17-18 ოქტ., 2013. „ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუშინ, დღეს, ხვალ“;
2. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების დეპარტამენტის, კოლოქვიუმი - I, 11.0214.
3. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების დეპარტამენტის კოლოქვიუმი- II, 08.07.2014;
4. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების დეპარტამენტის, კოლოქვიუმი - III, 17.02 2015.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытания электрических машин. 1990, 320с.
2. Карипидис С.И. Динамика нелинейных систем тягового электропривода постоянного тока. 2012, 314с.
3. Мугинштейн Л.А., Меншутин Н.Н, Клешнина М.И. Расчет характеристик электровозов. Вестник ВНИИЖТА. №7, 1985, 11-13с.

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.