

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ლაშა ფხაკაძე

სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემექანიკის სისტემათა
ეფექტიანობის ამაღლება დისკრეტული მოქმედების
გადამწოდების გამოყენებით
დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „ტრანსპორტი“ 0407

თბილისი, 2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი : პროფესორი მერაბ გოცაძე

რეცენზენტები: ასოცირებული პროფესორი ალექსანდრე დუნდუა,

პროფესორი თამაზ მელქაძე

დაცვა შესდგება 2019 წლის „28“ „თებერვალს“ „15⁰⁰“ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო კოლეგიის სხდომაზე

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას ქ. 77, I კორპუსი, აუდიტორია

№ „444“

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცენტრალურ სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ის ვებ გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული
მდივანი, პროფესორი

ნ. ნათბილაძე

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. მატარებლების მოძრაობის გრაფიკის უზრუნველყოფასა და უსაფრთხო გადაადგილების გარანტიას ანხორციელებს მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემა, რომლის საელემენტო ბაზა განუწყვეტლივ განიცდის სრულყოფას რკინიგზის გამტარუნარიანობისა და გადაზიდვისუნარიანობის გაზრდის მიზნით.

რკინიგზების ექსპლუატაციის საწყის ეტაპზე მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემები აგებული იყო რელეურ-კონტაქტური აპარატურის გამოყენებით, რომელთა ტექნიკური მომსახურება დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ადამიანურ და მატერიალურ რესურსებთან. გადასარბენებზე ინტერვალური მოძრაობის ყველაზე სრულყოფილ სისტემას წარმოადგენს ავტობლოკირება, რომლის მუშაობის საიმედოობისა და მდგრადობის გაზრდისათვის დაინერგა ძირითადი ხელსაწყოების მუშაობის კონტროლი, შემოღებული იქნა მატარებლის სიჩქარის კონტროლი შესავალი სიგნალის დროულად გაღების მიზნით და სხვ. სტატისტიკა გვიჩვენებს, რომ მიუხედავად გატარებული ღონისძიებებისა დაზიანებათა 69,2% მოდის მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემათა ისეთ ელემენტებზე, როგორებიცაა სარელსო წრედები, საისრე ამძრავები და შუქნიშნები. ამ ელემენტების მართვისა და კონტროლის სქემები აგებულია რელეურ-კონტაქტურ საელემენტო ბაზაზე, ხოლო კავშირი ხორციელდება საკაბელო ქსელებით.

მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემებში უკონტაქტო ელემენტების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ სისტემის ფუნქციონალური შესაძლებლობები, ავამაღლოთ სწრაფმოქმედება და საიმედოობა, შევამციროთ ხარჯები პროექტირებაზე, მშენებლობასა და ექსპლუატაციაზე, უნიფიცირებული და სტანდარტული გავხადოთ

ძირითადი კვანძები, მაგრამ უკონტაქტო ელემენტების მტყუნებამ არ შეიძლება საფრთხე შეუქმნას მოძრაობის უსაფრთხოებას.

რკინიგზის ტრანსპორტზე ინტერვალური რეგულირების სისტემებში ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენება მოითხოვს პრაქტიკულად მთლიანად შეცვალეთ არსებული რელეურ-კონტაქტური აპარატურა, მაგრამ შეუძლებელია დროის მოკლე პერიოდში რკინიგზის მთელ ქსელზე ამ აპარატურის მიკროპროცესორული სისტემებით ჩანაცვლება, ამასთან ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენება დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ტექნიკურ სირთულეებთან, რაც თხოვლობს როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული ასპექტების ახლებურად დამუშავებას, მეთოდოლოგიური საფუძვლების შექმნას, ამიტომ ამ მიმართულებით კვლევების ჩატარება და პრობლემის გადაწყვეტა მეტად აქტუალური საკითხია.

დისერტაციის მიზანი და ამოცანებია:

სამუშაოების მიზანია :

- მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების არსებული სისტემების ანალიზი, მათი საელემენტო ბაზისა და მოქმედების პრინციპის მიხედვით;
- რკინიგზის აღმასრულებელი ობიექტების (შუქნიშნები, სასრო ამძრავები, ელექტრომექანიკური რელეები) მართვის სქემების სრულყოფა ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენებით;
- მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემათა ელემენტების გაანგარიშების გაუმჯობესებული მეთოდის დამუშავება, სადაც აპარატურის ელემენტთა პარამეტრები განხილულია არა როგორც დეტერმინირებული სიდიდეები, არამედ როგორც შემთხვევითი სიდიდეები.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე: ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად, პირველად და დამუშავებული:

- შუქნიშნის მართვის უკონტაქტო საკონტროლო მოწყობილობა შუქნიშნის, საკაბელო ხაზისა და ცენტრალური პოსტის გალვანური განმხოლოებით.
- თვითრეგულირებადი სარელსო წრედი მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემისათვის ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენებით.
- თვითრეგულირებადი სარელსო წრედის გაანგარიშების მეთოდოლოგია.
- ახალი საელემენტო ბაზის მქონე სარელსო წრედების გაანგარიშების გაუმჯობესებული მეთოდოლოგია, სადაც აპარატურის ელემენტთა პარამეტრები განხილულია არა როგორც დეტერმინირებული სიდიდეები, არამედ, როგორც შემთხვევითი სიდიდეები. დადგენილია, რომ შემთხვევითი სიდიდეებია, როგორც სალიანდაგო მიმღების მახასიათებლები, ასევე იზოლაციის წინააღმდეგობა, შუნტის წინააღმდეგობა და კვების წყაროს ძაბვა.
- მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემათა საიმედოობის ფაქტორული ანალიზის განსაზღვრის მეთოდოლოგია ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენების პირობებში.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება. ჩვენი კვლევის შედეგები ინერგება საქართველოს რკინიგზის ბათუმი-მახინჯაურის უბანი, რაც საშუალებას იძლევა შევამციროთ მონტაჟისა და გაწყობა-ამუშავების ხარჯები 50%-მდე, კაბელების რაოდენობა 30%-მდე, ხოლო სისტემის ღირებულება 20%-მდე, ამიტომ დისერტაციაში მიღებულ შედეგებს გააჩნია მნიშვნელოვანი პრაქტიკული დანიშნულება.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული და განხილული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 83-ე და 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებზე (თბილისი, 2015, 2016 წ.)

პუბლიკაციები. დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომის სახით.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დესერტაცია შედგება შესავლის, 2 ნაწილის, 2თავის, დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 126 ნაბეჭდ გვერდზე, მათ შორის 7 ცხრილი 13 ნახაზი.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

შესავალში ნაჩვენებია თემის აქტუალურობა სამუშაოს მიზანი, ძირითადი ამოცანები, მეცნიერული სიახლე და მოკლედ გადმოცემული დისერტაციის შინაარსი.

ლიტერატურის მიმოხილვაში დარგის ცნობილი მეცნიერებისა და სპეციალისტების მიერ გამოქვეყნებული შრომების ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოებასა და ორგანიზაციას ანხორციელებს მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემები: ავტომატური ბლოკირება, ნახევრად ავტომატური ბლოკირება და დისპეტჩერული ცენტრალიზაცია.

რკინიგზების ექსპლუატაციის საწყის ეტაპზე მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემები აგებული იყო რელეურ-კონტაქტური აპარატურის გამოყენებით, რომელთა ტექნიკური მომსახურება დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ადამიანურ და მატერიალურ რესურსებთან.

უკანასკნელ პერიოდში გამოქვეყნებული სამეცნიერო და საინჟინრო შრომების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მიუხედავად გატარებული ღონისძიებებისა დაზიანებათა თითქმის 70% მოდის მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემათა ისეთ ელემენტებზე, როგორებიცაა სარელსო წრედები, შუქნიშნებისა და საისრე ამძრავების მართვისა და კონტროლის სქემები, რადგან ეს სქემები აგებულია რელეურ-კონტაქტურ საელემენტო ბაზაზე, ხოლო კავშირი ხორციელდება საკაბელო ქსელებით.

ეს საკითხები განხილულია ო. პოუპეს, ფ. ბარვილის, ჟ. საფორდის, ა.ბრილევების, მ. ვახნინის, ჟ. დიუმერის, ვ. ჰარისის, ვ. საპოჟნიკოვის, ვლ.საპოჟნიკოვის, ა. კაზაკოვის, მ. ნოვიკოვის, ა. პეტროვის, ა. ბერიძის, მ.მუხიგულაშვილის, ს. კარიპიდისის და სხვათა შრომებში.

რკინიგზის ტრანსპორტზე მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემებში ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენება მოითხოვს პრაქტიკულად მთლიანად შეცვალვით რელეურ-კონტაქტური აპარატურა მიკროპროცესორული აპარატურით, მაგრამ როგორც მ. გოცამე და ნ.მღებრიშვილი აღნიშნავენ თავიანთ შრომებში, შეუძლებელია დროის მოკლე პერიოდში რკინიგზის მთელ ქსელზე ამ ღონისძიების ერთდროულად გატარება, ამიტომ ამ მიმართულებით კვლევების ჩატარება და პრობლემათა გადაწყვეტა მეტად აქტუალურ საკითხია.

გამოყენებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემებში ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენება დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ტექნიკურ სირთულეებთან, რაც თხოულობს როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული ასპექტების ახლებურად დამუშავებას, მეთოდოლოგიური საფუძვლების შექმნასა და ცალკეული ელემენტების გაანგარიშების სრულყოფას მათი საიმედოობის გაზრდის მიზნით.

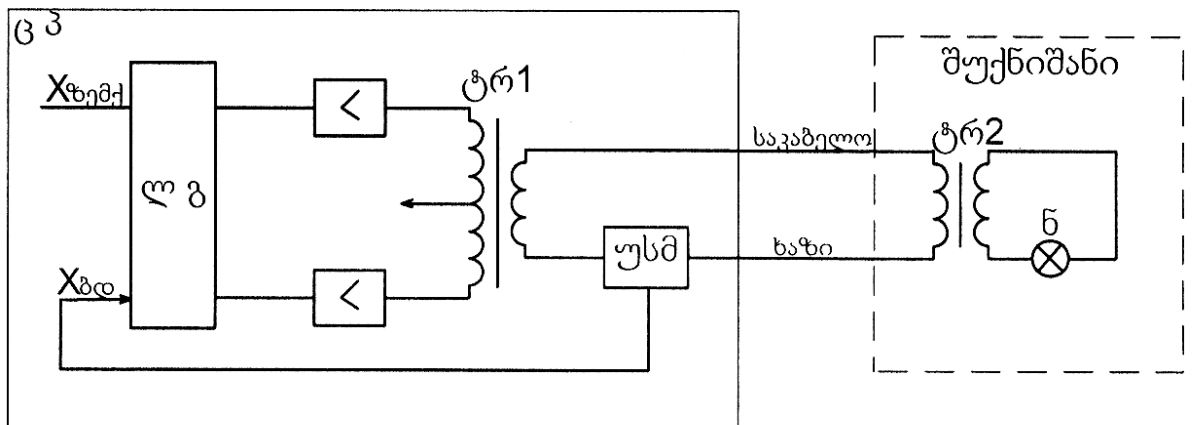
ამ პრობლემათა გადაწყვეტას ეძღვნება ჯ. ადამსის, თ. ჯორჯის, ს.ქერელის, დ. პეკის, ფ. რეინოლდის, გ. საფორდის, დ. ჰერბერტის, ვ.შოლტისის, ი. კრავცოვის, ბ. სტეპენსკის, ნ. ციბულიას, ა. პონომარენკოს, ო.დრეიმანის, დ. გავზოვის, კ. ბოჩკოვის, ა. დუნდუას, თ. მელქაძის, მ.პაპასკირის, ა. ნოდისა, ნ. გოგიშვილისა და სხვათა შრომები, რომელთა გაცნობა საფუძველს გვაძლევს დავასკვნათ, რომ მიუხედავად გატარებული კოლოსალური მოცულობის სამეცნიერო-პრაქტიკული სამუშაოებისა, დღეისათვის ჯერ კიდევ გადაუწყვეტელია ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენებასთან დაკავშირებული მთელი რიგი მნიშვნელოვანი საკითხები.

შედეგებისა და მათი განსჯის ნაწილში განხილულია მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემებში ახალი საელემენტო

ბაზის გამოყენებასთან დაკავშირებული თეორიული და პრაქტიკული საკითხები.

სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემექანიკის უკონტაქტო სისტემების დამუშავებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება აღმასრულებელი ობიექტების (შუქნიშნები, საისრო ამძრავები, ელექტრომექანიკური რელეები) მართვის სქემებს.

მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემისათვის ჩვენს მიერ დამუშავებულია შუქნიშნის მართვის პრინციპული სქემა, რომელიც მოცემულია ნახაზზე 1. ამ სქემაში გამოყენებულია შუქნიშნის, საკაბელო ხაზისა და ცენტრალური პოსტის (ცპ) გალვანური განმხილვა.



ნახ. 1. შუქნიშნის მართვის უკონტაქტო სქემა

ლოგიკურ გარდამქმნელში (ლგ) ლოგიკური სიგნალები „1“ და „0“ კოდირდება იმპულსური სიგნალებით, რომელთა შორის უნდა იყოს მინიმუმ ერთი დროითი ინტერვალი, მაგალითად თუ ლოგიკური სიგნალი „1“ კოდირდება პირველი t1 ან მეორე t2 დროით ტაქტში, მაშინ სიგნალი „0“-ის კოდირება ხდება მესამე 3 ან მეოთხე 4 დროით ტაქტში.

ასეთი კოდირების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს ვუზრუნველყოთ სქემის მუშაობის დინამიური რეჟიმი, როდესაც ყველა ელემენტი მუშაობს იმპულსურ რეჟიმში. ლგ-ის სქემაზე ზემოქმედების არ არსებობისას ($X_{\text{ზემ}}=0$) სქემის შესავალზე t_3 ან t_4 დროით ტაქტში გვაქვს იმპულსური სიგნალი (ლოგიკური „0“), ამიტომ ინფორმაციის გაძლიერებისა და გადაცემის ელემენტები ინარჩუნებენ „0“ მდგომარეობას. მარშრუტის გამზადებისას ($X_{\text{ზემ}}=1$) ლგ-ის სქემა გადადის მდგომარეობაში „1“, ამასთან ლგ-ის სქემის გამოსავალი იმპულსური სიგნალი ახდენს მაძლიერებლების ამოქმედებას, საიდანაც სიგნალი საკაბელო ხაზით გადაეცემა აღმასრულებელ ობიექტს და ჩართავს შუქნიშნის n ნათურას. სასიგნალო შუქნიშანზე ჩვენების ამორჩევა ხდება ლგ-ის სქემით, სადაც მოწმდება ამ მარშრუტით მატარებლის მოძრაობის უსაფრთხოების ყველა პირობა.

რადგან გამოსავალი სიგნალის სიმძლავრე საკმარისი არ არის შუქნიშნის ნათურის ჩასართავად, ამიტომ მის გასაძლიერებლად გამოიყენება დროითი და ამპლიტუდურის გაძლიერება. ლგ-ის სქემის გამოსავალი სიგნალის გაზრდისათვის გამოიყენება სტატიკური ტრიგერი, ხოლო ამპლიტუდის გაზრდისათვის ამპლიტუდური ორკასკადიანი მაძლიერებელი.

ტრიგერის გამოსავალი სიგნალი გაძლიერდება ტრანზისტორული მაძლიერებლით და მიეწოდება ტრ1 ტრანსფორმატორს, რომელიც მუშაობს ჰისპერეზისის მთლიან მარყუჟზე. ტრ1 ტრანსფორმატორის მეორედ გრაგნილში შუქნიშანთან განლაგებული ტრ2 ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის მიმდევრობით ჩართულია უკონტაქტო საკონტროლო მოწყობილობა (უსმ).

უსმ-ის მოწყობილობა დაფუძნებულია საკაბელო ხაზში დენის სიდიდის ფიქსირებაზე უქმი სვლისა და ნომინალური დატვირთვის რეჟიმებში, როცა შუქნიშნის ნათურის ძაფი გავარვარებულია და ანათებს. თუ ნათურა გადამწვარია სქემა გადადის უქმი სვლის რეჟიმში და უსმ-ის ამოქმედება არასაკმარის დენის სიდიდის გამო შეუძლებელია. ამრიგად დამუშავებული სქემა აკმაყოფილებს შუქნიშნის მართვის შეწყობილობებისა

და შუქნიშნის ნათურების მდგომარეობის კონტროლისათვის წაყენებულ ყველა მოთხოვნას.

დამუშავებულია ახალი საელემენტო ბაზის მქონე სარელსო წრედების გაანგარიშების გაუმჯობესებული მეთოდიკა, სადაც აპარატურის ელემენტთა პარამეტრები განხილულია არა როგორც დეტერმინირებული სიდიდეები, არამედ როგორც შემთხვევითი სიდიდეები. დადგენილია, რომ შემთხვევითი სიდიდეებია, როგორც სალიანდაგო მიმღების მახასიათებლები, ასევე იზოლაციის წინაღობა, შუნტის წინაღობა და კვების წყაროს ძაბვა.

დამუშავებულია სარელსო წრედების ალბათური გაანგარიშების მეთოდიკა და მიღებულია სარელსო წრედების მუშაობის რეჟიმების შესრულების კრიტერიუმები, როგორც სალიანდაგო, ისე სალოკომოტივო მიმღებების მიხედვით, აგრეთვე მოცემულია შემთხვევითი ფაქტორების ზემოქმედებისაგან სარელსო წრედების დაცულობის კრიტერიუმები სალიანდაგო და სალოკომოტივო მიმღებების მიხედვით.

სარელსო წრედების რეჟიმების გაანგარიშებისას მიღებულია, რომ აპარატურის ელემენტთა პარამეტრები ჩავთვალოთ დეტერმინირებულ სიდიდეებად, რაც არ შეესაბამება რეალურ სიტუაციას. სინამდვილეში ელემენტთა პარამეტრები (მათ შორის მიმღების მახასიათებლებიც) წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს, ასევე შემთხვევითი სიდიდეებია იზოლაციის წინაღობა, შუნტის წინაღობა და კვების წყაროს ძაბვა. ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით სარელსო წრედების გაანგარიშების სრულყოფისათვის შემოთავაზებულია მუშაობის რეჟიმის ალბათური გაანგარიშების მეთოდი.

განაწილების კანონების განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ან ანალიზური მეთოდი, კერძოდ სტატისტიკური ლინეარიზაციის მეთოდი, ან სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი. სარელსო წრედების გამოკვლევის ამოცანის ალბათურად გადაწყვეტის გათვალისწინებით სალიანდაგო მიმღების მიხედვით სარელსო წრედების მუშაობის ნორმალური, შუნტური და საკონტროლო რეჟიმების მაჩვენებლებად შემოღებულია შემდეგი კრიტერიუმები:

P_6 – ნორმალური რეჟიმის შესრულების ალბათობა;

P_9 – შუნტური რეჟიმის შესრულების ალბათობა;

P_j – საკონტროლო რეჟიმის შესრულების ალბათობა.

მოცემულია ამ კრიტერიუმების განსაზღვრის მეთოდის ერთელებმენტური და ფაზამგრძობიარე მიმღების მქონე სარელსო წრედებისათვის, რადგან I_6 , $I_{9\text{კრ}}$, I_j წარმოადგენს მნიშვნელოვანი რაოდენობის n დამოუკიდებელი შემთხვევითი არგუმენტების ფუნქციას, ამიტომ მოსალოდნელია, რომ ეს სიდიდეები და აგრეთვე $I_{6\text{min}}$ და I_j დენის სიდიდეები განაწილებულ იყოს ნორმალური კანონის მიხედვით.

მიმღების შესავალზე დენების შემთხვევითი სიდიდეების სიმკვრივეთა განაწილების გამოსახულებებს ექნებათ შემდეგი სახე:

$$f(I_{6\text{min}}) = \frac{1}{K_{\text{min}}^u u \sigma_6 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(I_{6\text{min}}^* - K_{\text{min}}^u u \bar{y}_6)^2}{2(K_{\text{min}}^u u \sigma_6)^2}}; \quad (1)$$

$$f(I_{9\text{min}}) = \frac{1}{K_{\text{min}}^u u \sigma_{9\text{კრ}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(I_{9\text{min}}^* - K_{\text{min}}^u u \bar{y}_{9\text{კრ}})^2}{2(K_{\text{min}}^u u \sigma_{9\text{კრ}})^2}}, \quad (2)$$

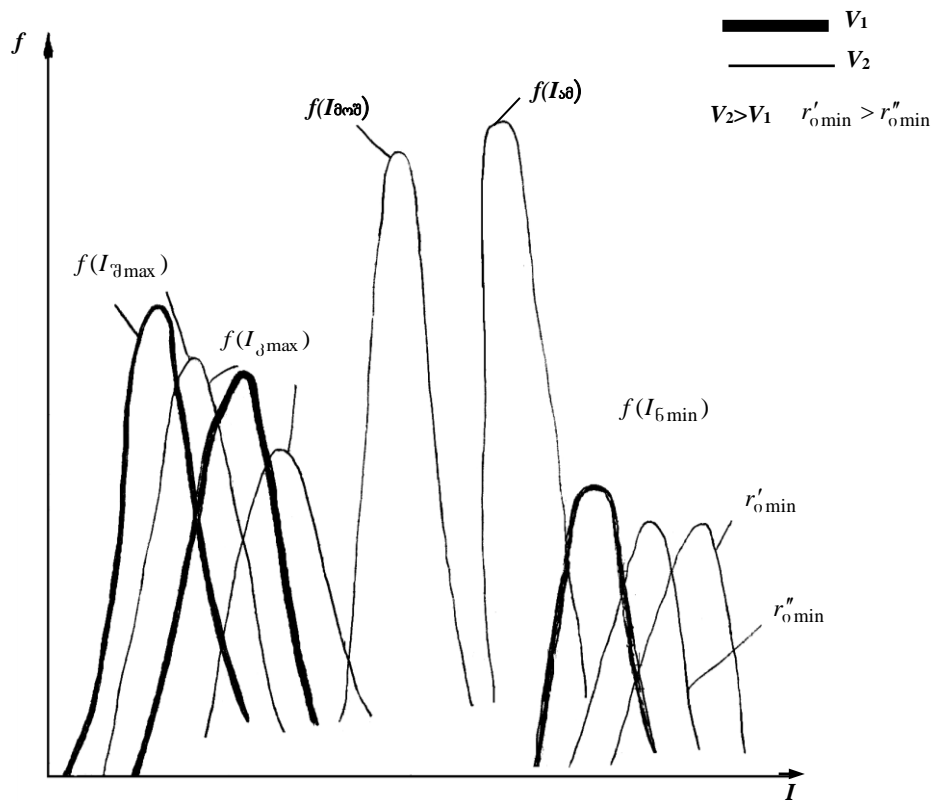
$$f(I_{j\text{min}}) = \frac{1}{K_{\text{min}}^u u \sigma_j \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(I_{j\text{min}}^* - K_{\text{min}}^u u \bar{y}_j)^2}{2(K_{\text{min}}^u u \sigma_j)^2}}. \quad (3)$$

ამ გამოსახულებებში \bar{y}_6 , $\bar{y}_{9\text{კრ}}$, \bar{y}_j , σ_6 , $\sigma_{9\text{კრ}}$, σ_j , I_6 , $I_{9\text{კრ}}$, I_j გამტარობების მათემატიკური მოლოდინი და სამუალოკვადრატული გადახრებია.

სარელსო წრედის მდგომარეობის განმსაზღვრელ ხელსაწყოს წარმოადგენს ამპლიტუდური სელექტორი, რომელიც შეიძლება იყოს როგორც უკონტაქტო, ისე კონტაქტიანი. სელექტორის ამოქმედების $I_{9\text{კრ}}$ და

მოშვების $I_{\text{მთვ}}$ ზღურბლები შემთხვევით სიდიდეებია $f(I_{\text{სმ}})$ და $f(I_{\text{მთვ}})$ განაწილების სიმკვრივებით.

2-ე ნახაზზე მოყვანილია დენების შემთხვევითი სიდიდეების ალბათობათა განაწილების სიმკვრივები ნორმალურ, შუნტურ და საკონტროლო რეჟიმებში კვების ძაბვის ორი V_1 და V_2 მნიშვნელობებისათვის, აგრეთვე დისკრეტული გადამწოდის ამპლიტუდური სექტორის მოშვებისა და $I_{\text{მთვ}}$ და ამოქმედების ზღურბლების $I_{\text{სმ}}$ სიმკვრივეთა განაწილების მიახლოებითი მრუდები.



ნახ. 2. შემთხვევითი სიდიდეების ალბათობათა განაწილების სიმკვრივეთა მრუდები

ერთელემენტის მიმდებარე მქონე სარელსო წრედის ნორმალური შუნტური და საკონტროლო რეჟიმების შესრულების პირობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$I_{6\min} - I_{s\partial} > 0;$$

$$I_{\partial\text{ოშ}} - I_{\partial\max} > 0;$$

$$I_{\partial\text{ოშ}} - I_{\partial} > 0.$$

აქედან გამომდინარე ნორმალური, შუნტური და საკონტროლო რეჟიმების ზემოთ მოყვანილი კრიტერიუმები განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებებით:

$$P_6 = P(I_{6\min} - I_{s\partial}); \quad (4)$$

$$P_{\partial} = P(I_{\partial\text{ოშ}\min} - I_{\partial\max}); \quad (5)$$

$$P_{\partial} = P(I_{\partial\text{ოშ}} - I_{\partial}). \quad (6)$$

აღბათობა იმისა, რომ ამოქმედების ზღურბლის რაღაც მნიშვნელობა იმყოფება $dI_{s\partial}$ სიგანის მცირე ინტერვალში ტოლია $dI_{s\partial}$ ელემენტის ფართობისა, ე.ი.

$$P\left(I_{s\partial 0} - \frac{dI_{s\partial}}{2} < I_{s\partial} < I_{s\partial 0} + \frac{dI_{s\partial}}{2}\right) = f(I_{s\partial})dI_{s\partial}.$$

აღბათობა იმისა, რომ $I_{6\max}$ სიდიდე აჭარბებს $I_{s\partial 0}$ ამოქმედების ზღურბლის რაღაც მნიშვნელობას, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$P(I_{6\min} > I_{s\partial 0}) = \int_{I_{s\partial 0}}^{\infty} f(I_{6\min})dI_{6\min}.$$

აღბათობა იმისა, რომ ამოქმედების ზღურბლის მნიშვნელობა $I_{s\partial}$ იმყოფება $dI_{s\partial}$ ინტერვალში, ხოლო $I_{6\min}$ აჭარბებს ამ ინტერვალით დასახულ სიდიდეს იმ პირობით, რომ $I_{s\partial}$ და $I_{6\min}$ შემთხვევითი სიდიდეები დამოუკიდებელია, იქნება

$$f(I_{\text{სმ}})_{\text{სმ0}} = \int_{I_{\text{სმ0}}}^{\infty} f(I_{\text{6min}}) dI_{\text{6min}} .$$

ამრიგად, ნორმალური რეჟიმის შესრულების ალბათობა არის ალბათობა იმისა, რომ I_{6min} აჭარბებს $I_{\text{სმ}}$ ამოქმედების ზღურბლს $I_{\text{სმ}}$ -ის ყველა შესაძლო მნიშვნელობისათვის და აქედან გამომდინარე, ექნება შემდეგი სახე:

$$P_6 = \int_0^{\infty} f(I_{\text{სმ}}) \left[\int_{I_{\text{სმ}}}^{\infty} f(I_{\text{6min}}) dI_{\text{6min}} \right] dI_{\text{სმ}} . \quad (7)$$

ანალოგიურად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ ნორმალური რეჟიმის შესრულების ალბათობა გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$P_6 = \int_0^{\infty} f(I_{\text{სმ}}) \left[\int_0^{I_{\text{6min}}} f(I_{\text{სმ}}) dI_{\text{სმ}} \right] dI_{\text{6min}} . \quad (8)$$

ამავე მეთოდით შეიძლება გამოვიყვანოთ გამოსახულებები შუნტური და საკონტროლო რეჟიმების შესრულების ალბათობათა გამოთვლისათვის

$$P_{\text{შ}} = \int_0^{\infty} f(I_{\text{შ0}}) \left[\int_0^{I_{\text{შmax}}} f(I_{\text{შmax}}) dI_{\text{შmax}} \right] dI_{\text{შ0}} . \quad (9)$$

$$P_{\text{კ}} = \int_0^{\infty} f(I_{\text{კ0}}) \left[\int_0^{I_{\text{კmax}}} f(I_{\text{კ}}) dI_{\text{კ}} \right] dI_{\text{კ0}} . \quad (10)$$

აღსანიშნავია, რომ რეჟიმების შესრულების კრიტერიუმებისათვის მიღებულ გამოსახულებებში, როგორც მდგენელი, შედის ამავე რეჟიმების შესრულების კრიტერიუმები დეტერმინირებული სიდიდეების შემთხვევაში ($n_6, n_{\text{შ}}, n_{\text{კ}}$). ამ შემთხვევაში თუ არ ხდება ელემენტთა პარამეტრებისა და ამპლიტუდური სელექტორის ზღურბლების გაფანტვა, ე.ი.

$$\sigma_6 = \sigma_{\text{შკრ}} = \sigma_{\text{კ}} = \sigma_{\text{სმ}} = \sigma_{\text{შ0}} = \nu_6 = \nu_{\text{შკრ}} = \nu_{\text{კ}} = \nu_{\text{სმ}} = \nu_{\text{შ0}} 0, \quad (11)$$

შემოთავაზებული კრიტერიუმები ფიზიკური არსით თანხვედრა ცნობილ კრიტერიუმებს. მართლაც ამ შემთხვევაში ნორმალური, შუნტური და საკონტროლო რეჟიმები აუცილებლად შესრულება ($P_6 = P_7 = P_8 = 1$) როცა $n_6 > 1$, $n_7 > 1$, $n_8 > 1$, რადგან $\Phi(\infty) = 1$, და არ შესრულება ($P_6 = P_7 = P_8 = 1$), როცა $n_6 < 1$, $n_7 < 1$, $n_8 < 1$, რადგან $\Phi(-\infty) = 0$.

ცნობილია, რომ ფაზამგრძნობიარე მიმღების პარამეტრები განაწილებულია ნორმალური კანონით. ამ პარამეტრების როცხვითი მახასიათებლები, როგორც ახალი, ისე გარემონტებული რელეებისათვის მოყვანილია ცხრილში 1

ცხრილი 1

რიცხვითი მახასიათებლები	პარამეტრები						
	$u_{3\alpha 1}$ 3	$u_{3\beta 1}$ 3	$u_{3\theta 1}$ 3	$ z_{\text{ლ}} $ ომი	$\varphi_{\text{ლ}}$ გრად.	$ z_{\text{ს}} $ ომი	$\varphi_{\text{ს}}$ გრად.
m	7,57	11,77	7,04	401	72,1	1372	72,2
σ	0,28	0,448	0,25	9,8	1,1	38	1,1

ამ შემთხვევითი სიდიდეების რიცხვითი მახასიათებლები ექსპლუატაციის ნორმატიული პერიოდის შემდეგ მოყვანილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2

რიცხვითი მახასიათებლები	პარამეტრები		
	$u_{3\alpha 2} \cdot 3$	$u_{3\beta 2} \cdot 3$	$u_{3\theta 2} \cdot 3$
m	8,2	12,6	6,72
σ	0,405	0,56	0,41

აღსანიშნავია, რომ ადგილობრივი და სალიანდაგო ელემენტების მოდული და არგუმენტი საექსპლოატაციო დროის განმავლობაში პრაქტიკულად უცვლელია.

მკვებავი და სარელიო ბოლოების დროსელ-ტრანსფორმატორების ოთხპოლუსთა კოეფიციენტებისათვის მიღებულია შემდეგი გამოსახულებები:

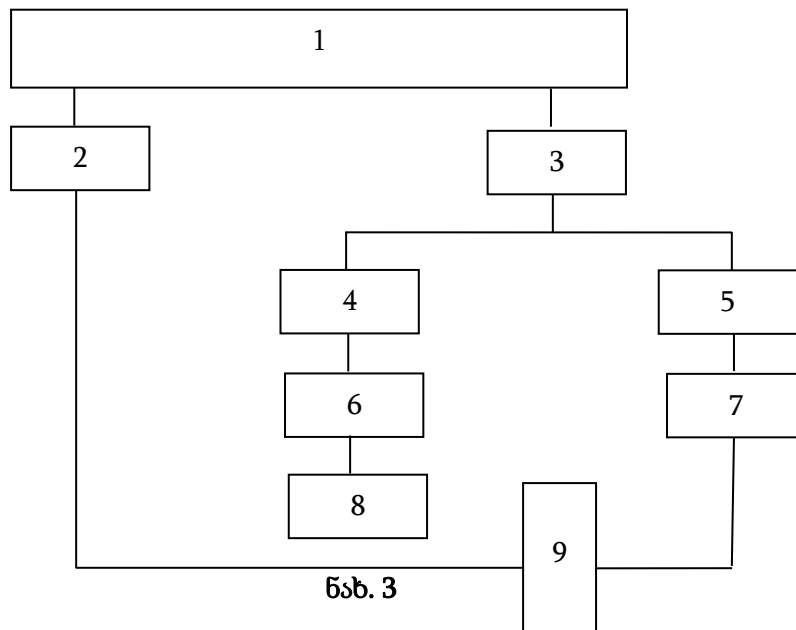
$$A_{\theta} = \left(1 + \frac{z_1}{z_2} \right) n; \quad B_{\theta} = \left(z_1 + z_3 + \frac{z_1 z_2}{z_2} \right) n;$$

$$C_3 = \frac{1}{z_2} \cdot \frac{1}{n}; \quad D_3 = \left(1 + \frac{z_3}{z_2}\right) \cdot \frac{1}{n}; \quad (12)$$

$$A_6 = \left(1 + \frac{z_3}{z_2}\right) \cdot \frac{1}{n}; \quad B_6 = \left(z_1 + z_3 + \frac{z_1 z_3}{z_2}\right) n;$$

$$C_6 = \frac{1}{z_2} \cdot \frac{1}{n}; \quad D_6 = \left(1 + \frac{z_1}{z_2}\right) n.$$

ნაშრომში შემოთავაზებულია ჩვენს მიერ დამუშავებული თვითრეგულირებადი სარელსო წრედი მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემისათვის ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენებით. შემოთავაზებული სარელსო წრედის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახაზზე 3.



ნახ. 3

თვითრეგულირებადი სარელსო წრედის ბლოკ-სქემა შესდგება: 1. სარელსო ხაზი (სხ); 2. კვების წყარო (კწ); 3. ძაბვის სიხშირედ გარდამქმნელი (ძსგ); 4. საინფორმაციო არხის ფილტრები (იაფ); 5. საკონტროლო არხის ფილტრები (საფ); 6. საინფორმაციო ფილტრების ჩამრთველი (იფჩ); 7. საკონტროლო მიმღებები (კმ); 8. საინფორმაციო მიმღები (იმ); 9. ავტომატური რეგულირების ბლოკი (არბ).

თვითრეგულირებადი სარელსო წრედი მუშაობს შემდეგნაირად: ძაბვა კვების წყაროდან 2 სარელსო ხაზის 1 გავლით გადაეცემა ძაბვის

სიხშირედ გარდამქმნელს 3, საიდანაც საინფორმაციო 4 და საკონტროლო 5 არხების ფილტრების გავლით მიეწოდება საინფორმაციო ჩამრთველსა 6 და საკონტროლო მიმღებებს 7. თუ სარელსო წრედის მუშაობის რეჟიმების პირობები შესრულებულია და სარელსო წრედი არ საჭიროებს რეგულირებას საინფორმაციო ჩამრთველი ჩართავს საინფორმაციო მიმღებს 8 და შუქნიშანზე აინთება შესაბამისი სიგნალი. როდესაც სარელსო წრედის მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში წრედის პარამეტრების ცვალებადობა იწვევს ყალბი ჩვენების გაჩენას, საკონტროლო მიმღებები 7 გადასცემს სიგნალს ავტომატური რეგულირების ბლოკს 9, რომელიც გამოიმუშავებს შექმნილი სიტუაციის შესაბამის სიგნალს და მოახდენს ზემოქმედებას კვების წყაროზე 2 მანამ, სანამ სარელსო წრედი არ დაუბრუნდება ნორმალურ მდგომარეობას. უნდა აღინიშნოს, რომ რეგულირება შეზღუდულია კვების წყაროს სიმძლავრით, რაც უზრუნველყოფს შუნტური და საკონტროლო რეჟიმების აუცილებელ შესრულებას.

ახალი სარელსო წრედების სქემების დამუშავებისა და არსებული სქემების კვლევის პროცესი მათი ექსპლუატაციის მრავალგვარი პირობების გათვალისწინებით წარმოადგენს ანალიზისა და სინთეზის ელემენტების ორგანულ შეხამებას.

ანალიზის განზოგადებულ მეთოდებს მიეკუთვნება მეთოდები, რომლებიც ზოგადი სახით გამოხატავენ (ანალიზურად ან გრაფიკულად) სარელსო წრედების რეაქციას სხვადასხვა შემავალ ზემოქმედებაზე ან რომლებიც საშუალებას იძლევიან გავითვალისწინოთ წრედის რეაქცია რამდენიმე ერთდროულ ზემოქმედებაზე.

სინთეზის განზოგადებულ მეთოდებს შეიძლება მივაკუთვნოთ მეთოდები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს გადაწყვიტოთ სარელსო წრედების სქემათა ოპტიმიზაციის ამოცანა.

განზოგადებული მეთოდების საფუძველს წარმოადგენს ჩანაცვლების სქემა და სარელსო წრედების მათემატიკური აღწერა, რომელიც მოიცავს მამხოლოებელპირაპირებიან ყველა სახის წრედს, ხოლო კონკრეტული

სარელსო წრედის ჩანაცვლების სქემა და მათემატიკური აღწერა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ზოგადი სქემისა და აღწერის კერძო შემთხვევა. სარელსო წრედების თანამედროვე თეორია ეყრდნობა კლასიკური ანალიზური და გრაფო-ანალიზური მეთოდების, აგრეთვე მათემატიკური პროგრამირების მეთოდების ჰარმონიულ შეხამებას.

დისკრეტული მოქმედების სწრაფმოქმედი გამომთვლელი მანქანების გამოჩენასთან ერთად შესაძლებელი გახდა სარელსო წრედების სინთეზისა და ანალიზის დროს მათემატიკური პროგრამირების მეთოდების გამოყენება, სადაც საწყის ეტაპზე საჭიროა სარელსო წრედის მათემატიკური აღწერა და იმ კრიტერიუმების დასახვა, რომელთა მინიმუმის ან მაქსიმუმის პოვნაა აუცილებელი. კრიტერიუმებად შეიძლება გამოდგეს სარელსო წრედის მაქსიმალური სიგრძე, ელექტროენერგიის მინიმალური ხარჯი, დეფიციტური მასალების მინიმალური დანახარჯები და სხვა, მაგრამ მთავარი კრიტერიუმია სარელსო წრედის სიგრძე. იგი განისაზღვრება სარელსო წრედების ნორმალური, შუნტური და საკონტროლო რეჟიმების უზრუნველყოფის პირობიდან. ამ რეჟიმების შესრულება დამოკიდებულია სარელსო წრედის ბოლოების შემავალი წინააღმდეგობების სიდიდეზე. შუნტური რეჟიმის გასაუმჯობესებლად წინააღმდეგობა უნდა გაიზარდოს, ხოლო საკონტროლო რეჟიმისათვის კი აუცილებლად უნდა შემცირდეს. ამ შეუსაბამობის გადაწყვეტა წარმოადგენს სარელსო წრედის სინთეზის ძირითად ამოცანას.

სარელსო წრედების საიმედოობისა და მუშაობის უნარიანობის ამაღლება განსაკუთრებით პრობლემატურია ბალასტის იზოლაციის დაბალი წინააღმდეგობის მქონე სარელსო წრედებისათვის, ამიტომ ქვემოთ განხილულია ახალი თვითრეგულირებადი სარელსო წრედის დამუშავებისა და ფუნქციონირების პერსპექტივები თეორიული და პრაქტიკული თვალსაზრისით.

ექსპლუატაციის პირობებში სარელსო წრედების რეგულირებისათვის დამუშავებულია სპეციალური ცხრილები, რომლებიც გაანგარიშებულია

$r_0 = 1$ ომი იზოლაციის წინაღობაზე, მაგრამ ცნობილია, რომ სარელსო წრედების მნიშვნელოვანი ნაწილი მუშაობს გაცილებით დაბალი იზოლაციის წინაღობის პირობებში. ასეთი სარელსო წრედების ექსპლოატაციის დროს სარეგულბელი ცხრილებით ნორმალური რეჟიმის დამყარებისას, ხშირად ირღვევა შუნტური და საკონტროლო რეჟიმები, რაც საფრთხეს უქმნის მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების დაცვას.

სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის პირობიდან გამომდინარეობს, რომ კვების წყაროს ძაბვის E_0 მნიშვნელობის დროს სარელსო წრედი მუშაობისუნარიანია $g_0 \div \infty$ ომი კმ-ს ფარგლებში. ამ დიაპაზონში უზრუნველყოფილია სარელსო წრედის მუშაობის ყველა რეჟიმი. იზოლაციის წინაღობის r_{01} -მდე შემცირებისას (გამტარობა g_{01}) ნორმალური რეჟიმის უზრუნველსაყოფად უნდა დავაყენოთ E_1 ძაბვა, მაგრამ ამ დროს იცვლება სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ზღვარი. ეს განპირობებულია იმით, რომ თუ იზოლაციის წინაღობა იქნება r_{02} -ზე (გამტარობა g_{02}) მეტი, შუნტური და საკონტროლო რეჟიმები არ სრულდება, რაც დაუშვებელია მოძრაობის უსაფრთხოების თვალსაზრისით. ცხადია, რომ კვების წყაროს თითოეულ მნიშვნელობას შეესაბამება მუშაობის უნარიანობის თავისი გარკვეული საზღვრები. მხოლოდ ამ საზღვრებშია უზრუნველყოფილი სამივე სამუშაო რეჟიმი გარკვეული სიგრძისა და შესაბამისი კვების წყაროს სარელსო წრედისათვის.

როცა $g_0 = \infty \frac{1}{\text{ომი.კმ}}$ -ს კვების წყაროს ძაბვა განისაზღვრება შუნტური

რეჟიმის შესრულების პირობიდან

$$E_0 = \frac{U'_{\text{ნაშ}} |Z_{\text{გაშ}}|}{|Z_0|}, \quad (13)$$

სადაც $U'_{\text{ნაშ}}$ სალიანდაგო მიმღების საიმედოდ ჩამოვარდნის ძაბვაა;

$Z_{\text{გაშ}}$ – გადაცემის წინააღმდეგობა შუნტურ რეჟიმში.

ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეზე ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა, როცა კვების წყაროს ძაბვაა E_0 იქნება:

$$U_{\max} = \frac{E_0 |Z_0|}{|Z_{\delta\text{min}}|}, \quad (14)$$

სადაც $|Z_{\delta\text{min}}|$ გადაცემის წინააღმდეგობაა ნორმალურ რეჟიმში, როცა $g_0 = \infty$.

i -ური იზოლაციის წინააღმდეგობის დროს კვების წყაროს ჩართვა აგრეთვე განისაზღვრება შუნტური რეჟიმის შესრულების პირობიდან

$$E_i = \frac{U'_{\text{ბამ}} |Z_{\delta\text{შბ}}|}{|Z_0|}, \quad (15)$$

სადაც $Z_{\delta\text{შბ}}$ – გადაცემის წინააღმდეგობაა i -ური იზოლაციის წინააღმდეგობის დროს.

E_i ძაბვის დროს სალიანდაგო რელეზე, ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა ნორმალურ რეჟიმში იქნება

$$U_{\max i} = \frac{E_i |Z_0|}{|Z_{\delta i}|}, \quad (16)$$

სადაც $Z_{\delta i}$ გადაცემის წინააღმდეგობაა ნორმალურ რეჟიმში i -ური იზოლაციის წინააღმდეგ დროს, მაშინ

$$\frac{U_{\max i}}{U_{\max}} = \frac{E_i |Z_{\delta\text{min}}|}{E_0 |Z_{\delta i}|}. \quad (17)$$

თუ (17)-ში შევიტანთ (13), (14) და (15) მნიშვნელობებს, მცირეოდენი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ

$$E_{\max i} = \frac{|Z_{\text{გაწმ}}|}{|Z_{\text{გა}}|} U'_{\text{წმ}}. \quad (18)$$

თუ განვიხილავთ $Z_{\text{გაწმ}}$ -სა და $Z_{\text{გა}}$ -ს დამოკიდებულებას g_0 -სთან დავინახავთ რომ ფარდობა $\frac{|Z_{\text{გაწმ}}|}{|Z_{\text{გა}}|}$ იზოლაციის წინააღმდეგობის შემცირებასთან ერთად მცირდება, ე.ი. მცირდება ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეზე მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვა. (18)-დან გამომდინარეობს, რომ კვების წყაროს ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ერთ-ერთი ზღვარი დამოკიდებულია ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეზე მაქსიმალურად დასაშვებ ძაბვაზე. მუშაობისუნარიანობის მეორე, ზღვარი განისაზღვრება სალიანდაგო რელის ამოქმედების ძაბვით. სწორედ ეს ამოცანა უნდა გადაიჭრას თვით რეგულირების მქონე სარელსო წრედების საშუალებით.

ცნობილია, რომ რაც მეტია გადამეტვირთვა ნორმალურ რეჟიმში, მით უფრო უარესია საკონტროლო რეჟიმის შესრულების პირობები. სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარი განისაზღვრება ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეზე მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვის სიდიდით. ამ ძაბვას ვუწოდოთ სალიანდაგო რელეს მეორედ ჩამოვარდნის ძაბვა და აღვნიშნოთ $U''_{\text{წმ}}$. ამრიგად სალიანდაგო რელსს თითქოს აქვს ორი ჩამოვარდნის ძაბვა $U'_{\text{წმ}}$ და $U''_{\text{წმ}}$, თანაც $U'_{\text{წმ}}$ მუდმივი სიდიდეა, ხოლო $U''_{\text{წმ}}$ იცვლება ბალასტის იზოლაციის ცვალებადობასთან ერთად, რომელიც წარმოადგენს მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარს.

თვითრეგულირების სარელსო წრედების კვების წყაროს ძაბვის გადართვა ხდება ავტომატურად სარელსო წრედის მუშაობის ყველა რეჟიმის აუცილებელი შესრულების პირობების გათვალისწინებით.

თვითრეგულირებადი სარელსო წრედების გაანგარიშებისათვის ჯერ უნდა შევარჩიოთ შესავალი წინააღმდეგობები თითოეული სიგრძის სარელსო წრედის ბოლოებისათვის. შემდეგ განისაზღვრება რეგულირების საწყისი ძაბვა, როდესაც სარელსო წრედი მუშაობისუნარიანია იზოლაციის წინააღმდეგობის r'_{06} -დან $r''_{06} = \infty$ ომი.კმ-მდე ცვალებადობის ფარგლებში. განისაზღვრება აგრეთვე იზოლაციის წინააღმდეგობის მნიშვნელობა, როდესაც გამომუშავდება საკონტროლო სიგნალი.

საწყისი საფეხური განისაზღვრება შუნტურ რეჟიმში შესრულების პირობიდან, იმის გათვალისწინებით, რომ სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარია $r''_{06} = \infty$, მაშინ

$$E_{0\max} = \frac{U'_{\text{ნაშ}} |Z_{\text{გაშ60}}|}{|Z_{\text{შესბ}}|}, \quad (19)$$

სადაც $U'_{\text{ნაშ}}$ სალიანდაგო მიმღების ჩამოვარდნის ძაბვაა;

$Z_{\text{შესბ}}$ – გადაცემის წინააღმდეგობა შუნტურ რეჟიმში, როცა

$$r''_{06} = \infty;$$

$Z_{\text{შესბ}}$ – აპარატურის შესავალი წინააღმდეგობა სარელსო წრედის ბოლოში.

მუშაობისუნარიანობის ქვედა ზღვარი უნდა ვიპოვოთ ნორმალური რეჟიმის შესრულების პირობიდან გამომდინარე, ე.ი. სალიანდაგო რელეზე ძაბვა r'_{06} -ის დროს ტოლი უნდა იყოს რელეს ამოქმედების $U'_{\text{წ}}$ ძაბვისა

$$E_{0\min} = \frac{U'_{\text{წ}} Z'_{\text{გაწ}}}{|Z_{\text{შესბ}}|}, \quad (20)$$

სადაც $Z'_{\text{გაწ}}$ გადაცემის წინააღმდეგობაა ნორმალურ რეჟიმში r'_{06} -ის დროს.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $E_{0\max} = K_g E_{0\min}$, მაშინ მარტივი გარდაქმნების შედეგად (20) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$|Z'_{გან}| = \frac{K_g}{K_{\varphi}} |Z''_{გაშგ_0}|, \quad (21)$$

სადაც K_g სალიანდაგო რელეს დაბრუნების კოეფიციენტი;

K_{φ} – კვების წყაროს არასტაბილურობის კოეფიციენტი.

ეს ფორმულა საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ქვედა ზღვარი.

სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ამალღებისათვის საკონტროლო მიმღები უნდა ამოირთოს ადრე, ვიდრე სალიანდაგო მიმღები, ამიტომ

$$U'_{ნამკ} = \beta U'_{სმღ}, \quad (22)$$

სადაც $U'_{ნამკ}$ იზოლაციის წინააღმდეგობის შემცირების დროს საკონტროლო მიმღების ჩამოვარდნის ძაბვა;

β – საკონტროლო მიმღების მარაგის კოეფიციენტი.

იზოლაციის წინააღმდეგობა, რომლის დროსაც ჩამოვარდება საკონტროლო მიმღები (რეგულირების საწყისი საფეხური) შეიძლება ვიანგარიშოთ განტოლებიდან

$$U'_{ნამკ} = \frac{E_{0\max} |Z_{შესკ}|}{Z'_{გამკ}}, \quad (23)$$

სადაც $Z'_{გამკ}$ გადაცემის წინააღმდეგობაა ნორმალურ რეჟიმში, როცა იზოლაციის წინააღმდეგობა $Z_{სმღ}$,

თუ (19) შევიტანთ (23)-ში და გარდავქმნით მივიღებთ

$$|Z'_{გაკ}| = \frac{K_g}{K} |Z''_{გაშბ_0}|. \quad (24)$$

ამ განტოლებიდან განისაზღვრება იზოლაციის წინააღმდეგობის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც უდენოდ დარჩება საკონტროლი მიმღები, თუ დაყენებულია რეგულირების საწყისი საფეხური.

რეგულირების თითოეული საფეხურისათვის არსებობს სალიანდაგო რელეზე მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვა ნორმალურ რეჟიმში, რომლის მნიშვნელობაც დამოკიდებულია სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარზე. რეგულირების საწყის საფეხურზე

$$U''_{ნამკ} = \frac{E_{0max} |Z''_{შსკ}|}{Z''_{გან}}, \quad (25)$$

სადაც $U''_{ნამკ}$ ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეს მაქსიმალური დასაშვები ანუ მეორედ ჩამოვარდნის ძაბვაა რეგულირების საწყის საფეხურზე

$Z''_{გან}$ – ნორმალურ რეჟიმში გადაცემის წინააღმდეგობა, როცა $r'_{იგ} = \infty$.

რეგულირების საწყისი საფეხურის შემთხვევაში ძაბვის სიხშირედ გარდამქმნელის გამოსავალზე იქნება შემდეგი სიდიდეები:

ა) მუშაობისუნარიანობის ქვედა ზღვარზე:

$$f_{სმლ} = \alpha U'_{სმლ}, \quad (26)$$

$r'_{იგ}$ იზოლაციის წინააღმდეგობის დროს

$$f'_{ნამკ} = \alpha \cdot \beta \cdot U'_{სმლ}. \quad (27)$$

ბ) მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარზე

$$f''_{\text{ნაშ0}} = \alpha \cdot U''_{\text{ნაშ0}}, \quad f''_{\text{ნაშკ0}} = \alpha \cdot U''_{\text{ნაშ0}}, \quad (28)$$

მაშინ საინფორმაციო არხის ზოლური ფილტრის გატარების ზოლი იქნება

$$\Delta f_{\text{ზ.ფილ}} = f''_{\text{ნაშ0}} - f'_{\text{ამლ.}} \quad (29)$$

ხოლო საკონტროლო არხისათვის

$$\Delta f_{\text{ზ.ფკს0}} = f''_{\text{ნაშ0}} - f'_{\text{ნაშკ}} \quad (30)$$

საკონტროლო სიგნალის მიღების შემდეგ $r'_{\text{ოიკ}}$ იზოლაციის წინააღმდეგობის დროს უნდა დავაყენოთ რეგულირების ახალი საფეხური. ამისათვის უნდა ამოვირჩიოთ სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარი

$$r''_{\text{ოი}} = \varepsilon_0 r'_{\text{ოიკ}}, \quad (31)$$

სადაც ε_0 სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის გაზრდის კოეფიციენტი რეგულირების საწყის საფეხურზე.

რეგულირების ახალი საფეხურის ძაბვა განისაზღვრება იმ პირობით, რომ შესრულებული უნდა იყოს შუნტური რეჟიმის პირობები მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარზე

$$E_{1\text{max}} = \frac{U'_{\text{ნაშ}} |Z_{\text{გაშფ1}}|}{Z_{\text{შესბ}}}, \quad (32)$$

სადაც $Z_{\text{გაშნ1}}$ გადაცემის წინააღმდეგობაა შუნტურ რეჟიმში, როცა იზოლაციის წინააღმდეგობაა $r'_{\text{ო1}}$.

გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

$$E_{1\text{max}} = \frac{|Z''_{\text{გაშნ1}}|}{|Z''_{\text{გაშნა}}|} E_{0\text{max}}. \quad (33)$$

რეგულირების ახალი საფეხურის დროს სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ქვედა ზღვარი განისაზღვრება ნორმალური რეჟიმის შესრულების პირობებიდან

$$E_{1\text{min}} = \frac{U'_{\text{ამლ}} |Z'_{\text{მა1}}|}{Z_{\text{შესბ}}}. \quad (34)$$

აქედან მივიღებთ, რომ

$$|Z'_{\text{მა1}}| = \frac{|Z''_{\text{გაშნ1}}|}{|Z''_{\text{გაშნა}}|} |Z'_{\text{გან}}|. \quad (35)$$

ამ განტოლებიდან განისაზღვრება $r'_{\text{ო1}}$.

ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეზე დასაშვები მაქსიმალური ძაბვა განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$U''_{\text{ნაშ1}} = \frac{U'_{\text{ნამ}} |Z_{\text{გაშნ1}}|}{|Z''_{\text{მა1}}|}. \quad (36)$$

ძაბვის ამ მნიშვნელობაზე სალიანდაგო მიმღები დარჩება უდენოდ, ამიტომ უნდა ავიღოთ

$$U''_{\text{ნაშ1}} = \eta U''_{\text{ნაშ1}}. \quad (37)$$

იზოლაციის წინააღმდეგობა, რომლის დროსაც უდენოდ დარჩება საკონტროლო მიმღები განისაზღვრება შემდეგი განტოლებიდან:

$$U''_{\text{ნაშ1}} = \frac{E_{1\text{max}} |Z_{\text{შესბ}}|}{|Z''_{\text{გა1კ}}|}, \quad (38)$$

სადაც $Z''_{\text{გა1კ}}$ ნორმალურ რეჟიმში გადაცემის წინააღმდეგობაა $r''_{\text{ო1კ}}$ -ის დროს.

(38)-დან შეგვიძლია მივიღოთ

$$|Z'_{\text{გა1კ}}| = \frac{K_{\text{კლ1}}}{\eta} |Z''_{\text{გაშნ1}}|, \quad (39)$$

სადაც $K_{\text{კლ1}} = \frac{U'_{\text{ნსმ}}}{U''_{\text{ნსმ1}}}$ საკონტროლო მიმღების დაბრუნების კოეფიციენტი.

ამ განტოლებიდან განისაზღვრება $r''_{\text{ო1კ}}$.

რეგულირების ახალი საფეხურის დროს ძაბვის სიხშირედ გარდამქმნელის გამოსავალზე გვექნება:

ა) მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარზე:

$$f''_{\text{ნსმ1}} = \alpha U''_{\text{ნსმ1}}$$

ბ) $r''_{\text{ო1კ}}$ იზოლაციის წინააღმდეგობისას:

$$f''_{\text{ნსმკ1}} = \alpha \eta U''_{\text{ნსმ1}}.$$

საინფორმაციო არხის გატარების ზოლი იქნება

$$\Delta f_{\text{ზ.ფია1}} = f''_{\text{ნსმ1}} - f'_{\text{სმლ.}}, \quad (40)$$

ხოლო საკონტროლო არხის გატარების ზოლი:

$$\Delta f_{\text{ზ.ფკა1}} = f''_{\text{ნსმ1}} - f'_{\text{ნსმკ.}}, \quad (41)$$

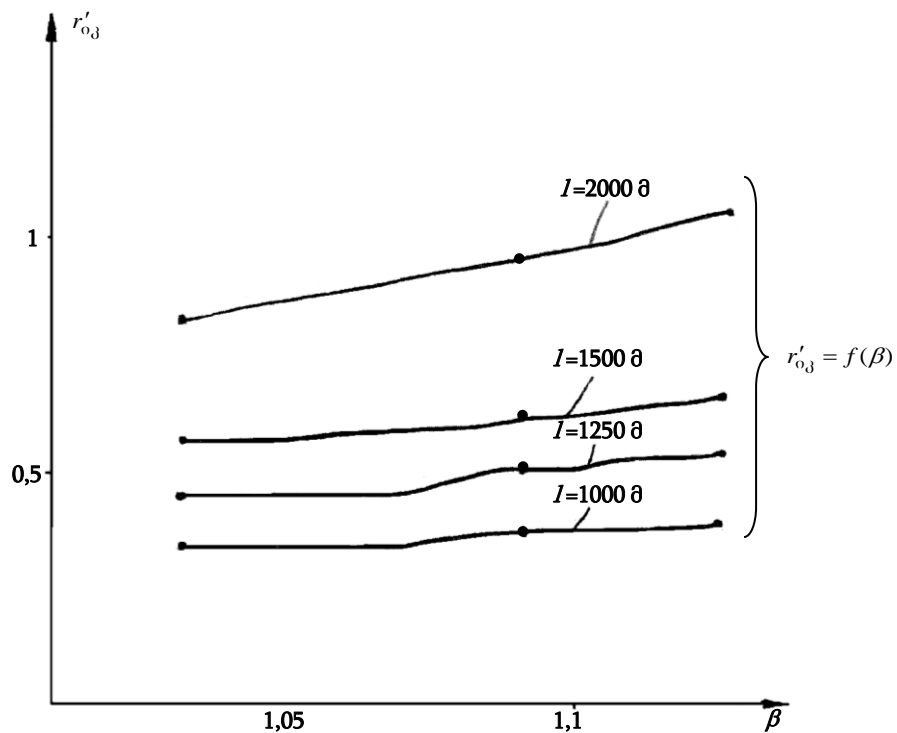
დამუშავებული ალგორითმის მიხედვით ჩატარდა თვითრეგულირებადი სარელსო წრედების თეორიული გამოკვლევა β და ε კოეფიციენტების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

გამოკვლევული იქნა 25 ჰერცი სიხშირის 1000, 1250, 1500 და 2000 მეტრი სიგრძის სარელსო წრედები მუდმივი დენის ელექტრული წევის დროს.

გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ კვების წყაროს ძაბვისა და იზოლაციის წინააღმდეგობის ნებისმიერი მნიშვნელობისას არსებობს ისეთი ძაბვა სალიანდაგო რელეზე, რომლის ზევითაც შუნტური რეჟიმი დაცული აღარაა, ამიტომ სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის ზედა ზღვარი

განისაზღვრება ნორმალურ რეჟიმში სალიანდაგო რელეზე დასაშვები მაქსიმალური ძაბვის მიხედვით.

როდესაც იზოლაციის წინააღმდეგობა უახლოვდება მუშაობის-უნარიანობის ქვედა ზღვარს (იზოლაციის წინააღმდეგობა r'_{03}), უდენოდ რჩება საკონტროლო მიმღები, რაც დამოკიდებულია $U_{\text{ნამკ}}$ საკონტროლო მიმღების ჩამოვარდნის ძაბვაზე და რადგან $U'_{\text{ნამკ}} = \beta U'_{\text{ამლ}}$, აგრეთვე დამოკიდებულია β კოეფიციენტზე. ნახ. 4-ზე მოყვანილია დამოკიდებულება r'_{03} იზოლაციის წინააღმდეგობასა და β კოეფიციენტებს შორის. ამ დამოკიდებულებიდან ჩანს, რომ β -ს გადიდებით იზრდება r'_{03} -ს მნიშვნელობაც.



ნახ. 4. $r'_{03} = f(\beta)$ დამოკიდებულების მრუდები

მუშაობისუნარიანობის საზღვრების მაქსიმალურად გაფართოებისათვის β -ს უნდა ჰქონდეს რაც შეიძლება მცირე მნიშვნელობა, ამასთან დაუშვებელია, რომ $r''_0 \leq r'_{03}$, რადგან ასეთ შემთხვევაში შეუძლებელია გავაკონტროლოთ იზოლაციის წინააღმდეგობის მუშაობისუნარიანობის

ზედა ზღვართან მიახლოება. ამრიგად β კოეფიციენტის გაზრდას ერთის მხრივ მივყავართ რეგულირების საფეხურების რიცხვის შემცირებამდე, მაგრამ მეორე მხრივ სარელსო წრედის მუშაობისუნარიანობის საზღვრების მაქსიმალური გაფართოებისათვის აუცილებელია ამ კოეფიციენტის შემცირება, ამიტომ β კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობის შერჩევა თვითრეგულირების სარელსო წრედების სინთეზის უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს. β კოეფიციენტის შერჩევასა უნდა გავითვალისწინოთ სიხშირის გარდამქმნელსა და ზოლური ფილტრების მახასიათებლები.

თვითრეგულირების სარელსო წრედების თეორიულმა გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ თვითრეგულირების გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია გრძელ სარელსო წრედებში. ამ შემთხვევაში, როგორც თეორიული გამოკვლევები გვიჩვენებს მუშაობისუნარიანობა 70%-მდე იზრდება.

ძირითადი დასკვნები

1. დადგენილია, რომ კვლევის შედეგების რეალიზება, კერძოდ, ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენება საშუალებას იძლევა კაბელების რაოდენობა შემცირდეს 30%-ით, მონტაჟისა და გაწყობა-ამუშავების ხარჯები 50%-ით, ხოლო მთლიანი სისტემის ღირებულება 20%-ით.
2. დამუშავებულია შუქნიშნის მართვის უკონტაქტო საკონტროლო მოწყობილობა შუქნიშნის, საკაბელო ხაზისა და ცენტრალური პოსტის გალვანური განმხილოები.
3. დამუშავებულია თვითრეგულირებადი სარელსო წრედის ბლოკ-სქემა მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემისათვის ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენებით.
4. დამუშავებულია თვითრეგულირებადი სარელსო წრედის მუშაობის რეჟიმების გაანგარიშების ახალი მეთოდიკა.
5. შემოთავაზებულია ახალი საელემენტო ბაზის მქონე სარელსო წრედების გაანგარიშების გაუმჯობესებული მეთოდიკა, სადაც აპარატურის

- ელემენტთა პარამეტრები განხილულია არა როგორც დეტერმინირებული სიდიდეები, არამედ როგორც შემთხვევითი სიდიდეები.
- დადგენილია, რომ შემთხვევითი სიდიდეებია, როგორც სალიანდაგო მიმღების მახასიათებლები, ასევე იზოლაციის წინაღობა, შუნტის წინაღობა და კვების წყაროს ძაბვა.
 - დამუშავებულია მატარებელთა მოძრაობის ინტერვალური რეგულირების სისტემათა საიმედოობის ანალიზის განსაზღვრის მეთოდოლოგია ახალი საელემენტო ბაზის გამოყენების პირობებში.

**დისეტაციის ძირითადი შინაარსი ასახულია
შემდეგ პუბლიკაციებში:**

1. М. Гоцадзе, Л. Пхакадзе. Проблемы автоматизации информационного обеспечения и управления маршрутами. «Транспорт», научно-технический журнал. ISSN 1512-0912 № 1-4(53-56), 2014, с. 7-9.
2. М. Гоцадзе, Л. Пхакадзе . Бесконтактная схема управления светофоров для электронной централизации «Транспорт», научно-технический журнал. № 1-4(69-73), 2018, с. 25-27.
3. М. Гоцадзе, Л. Пхакадзе, А. Нодия, И. Джавшанашвили. Разработка усовершенствованной методики расчета рельсовых цепей. «Транспорт», научно-технический журнал. ISSN 1512-0910 № 1-2(57-58), 2014+, с. 12-14.
4. ლ. ფხაკაძე. რკინიგზის მოძრაობის შემადგენლობის სიჩქარისა და ადგილმდებარეობის კონტროლის მოწყობილობა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები. თბილისი, 2015 წ.
5. ლ. ფხაკაძე. შუქნიშნის მართვის სქემის უკონტაქტო საკონტროლო მოწყობილობა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები. თბილისი, 2016 წ.

Abstract

Providing of train traffic schedule and guarantee of safe traffic of trains is performed by trains interval regulating system, whose element base is continuously undetermined the improvement to increase railway capacity and capability.

The interactive regulatory systems of trains on the initial stage of railway operation were constructed using relay-contact equipment, technical maintenance of that is connected to significant human and material resources. The most complete system of interval motion on spans in is presented by the block for increasing in the reliability and stability of the work t has been implemented the basic devices operation control, and the control of the train speed was introduced in order to timely open the input signal and so forth. The statistics show that 69.2% of the failures that have been occurred despite the carried out actions comes on trains traffic such interval regulatory systems as track circuits, switches drives and traffic lights. The control of these elements and control circuits are constructed on the relay-contact element base, and the communication is carried out by cable networks.

In the train movement interval regulation systems using of contactless elements gives the possibility to increase the functional capabilities of the system, improve the speed and reliability, reduce the costs on design, construction and operation, makes an uniform and standard the units, but caused due the application of the contactless elements failures will not create the threat for the safety of traffic.

Railway transport interval regulation systems require the use of a new base element base almost entirely replace the current of relay-contact equipment, but it is not possible to replace it in a short period of time in the entire railway network microprocessor systems, in addition the application of new element base in most of the cases is associated with considerable technical difficulties that requires the development of theoretical as well as practical aspects of the process in a new way, thus to conduct research in this direction and solve the problem is a very topical issue.

After studying and analyzing the literary materials published by the famous science and specialists of the field it is established that the train safety and organization are carried out by the train's interval regulation following systems: automatic blocking, semi automatic blocking and dispatch centralization.

According to the latest published works, we can conclude that despite the carried out e colossal volume of the scientific-practical papers, there are still a number of important issues related to the use of the new element base, which confirms the actuality of the problems discussed in the present work.

In the thesis are considered the theoretical and practical issues related to the application of a new element base in the interval regulatory systems of train traffic.

The aim of thesis is to:

- Analysis of existing interval regulation systems of trains, according to their element base and validity principle;
- Improvement of control circuits of railway executive facilities (traffic lights, switch drives, track circuits, electromechanical relays) using new element base;
- Development of improved methods of calculation of elements of the trains interval regulating system, where the parameters of the device elements are considered not as the determined values, but as random ones.

In order to achieve the objective, in the work has been developed and solved the following issues:

- Based on the analysis of current trains traffic interval regulatory systems, is determined that the application of a new element base will reduce the number of cables up to 30%, installation and developing costs up to 50% and cost of system up to 20%;
- The contactless control device for traffic lights has been developed for the traffic lights, cable line and the central post galvanic disconnection;
- Is developed the trains traffic interval regulating system of self-regulated track circuit using a new element base;
- Is developed the calculation methodology of self-regulated track circuit;
- Improved methods of calculation of track circuits with a new element base are developed where the parameters of the device elements are considered not as the determined values, but as random ones;
- It is determined that the random values are the rail receiver's characteristics, as well as isolation resistance, shunt resistance and power supply voltage;
- The methodology for determining the factor analysis of the reliability of the train traffic interval regulatory systems has been developed due the application of new element base.

Theoretical and experimental methods of scientific research are used in the dissertation work. Improved methods of calculation of elements of the train traffic interval regulating system have been developed on the basis of track circuits and reliability theories. Modern methods of mathematical statistics are also used.

In the work firstly is developed and presented a self-regulated track circuit that completely changes the existing system of seasonal regulation. Such a track circuit gives the possibility to theoretically regulate from 0 up to ∞ and in practically for unlimited range.

Methodology for calculation of the new self-regulated track circuit is developed and proposed.

The contactless control device for traffic lights is offered.