

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი მთვარელიშვილი

საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემებში
ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული
დანაკარგების გამოკვლევა.

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია
შიფრი 0405

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია N304
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----/გ. გიგინეიშვილი/

შესავალი

რკინიგზის ტრანსპორტის ენერგეტიკული პოლიტიკის ძირითად თავისებურებას წარმოადგენს სათბობენერგეტიკული რესურსების საყოველთაო დაზოგვა და ამავდროულად ამ რესურსების მოხმარების ეფექტურობის ამაღლება. სწორედ ამიტომ, საქართველოს რკინიგზის ხელმძღვანელობის მიერ უნდა განისაზღვროს სათბობისა და ენერჯის ეკონომიისა და დაზოგვის მიზანმიმართული პოლიტიკა.

პირველ რიგში დაგეგმილი უნდა იქნეს მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯის (კვტ.სთ/ტონა.კმ) შემცირება.

ენერგოდაზოგვის პროგრამის შესაბამისად, ერთ-ერთ წინა პლანზე წამოიწევა ენერგოდამზოვი ღონისძიებების კომპლექსის დანერგვის საკითხები. ამ კომპლექსის უმნიშვნელოვანეს მდგენელებს წარმოადგენს კუთრი ხარჯისა და ქსელში ელექტროენერჯის გადაცემაზე ტექნოლოგიური დანაკარგების შემცირების ღონისძიებები.

ელექტრული ენერჯის ტექნოლოგიური დანაკარგების საანგარიშო მნიშვნელობები საბალანსო კუთვნილების საზღვრიდან (წევის ტრანსფორმატორების მაღალი მხარე) ელექტრომომრავი შემადგენლობის დენმიმღებამდე რკინიგზის კონკრეტული უბნებისათვის, როგორც წესი სტაბილური სიდიდეა: მუდმივი დენის წევის ქსელის უბანზე (8-10) %-მდეა, ხოლო ცვლადი დენის უბანზე (3-5) %-მდე.

ამჟამად, საქართველოს რკინიგზაზე ელექტროენერჯის დანაკარგების მიხედვით ასეთი მდგომარეობაა. 2015 წლის მონაცემებით წევის ქვესადგურებში დაყენებული მრიცხველების მიერ აღრიცხულ მატარებლების წევაზე მიღებულ ელექტრულ ენერჯიასა და ელექტრომომრავ შემადგენლობაზე დაყენებული მრიცხველების მიხედვით აღრიცხულ მოხმარებულ ელექტროენერჯიას შორის სხვაობამ (შემდგომში) „უბალანსობამ“ შეადგინა - 7,1 %.

„უბალანსობას“ და ტექნოლოგიურ დანაკარგებს შორის სხვაობას კომერციულ დანაკარგებს უწოდებენ [1,2]. მატარებლის წევაზე კომერციული დანაკარგების მდგენელში შედის ელექტროენერჯის სრულიად განსაზღვრული ელექტროენერჯის ხარჯი (ესენია: საკონტაქტო ქსელიდან ელექტროენერჯის გაუთვალისწინებელი ართმევა, დადგმული სიმლავრის მიხედვით სამგზავრო ვაგონების გათბობაზე ელექტროენერჯის მიახლოებითი აღრიცხვის ცდომილება და სხვა). ამიტომ, ადრე ფართოდ გავრცელებული ტერმინი „პირობითი დანაკარგები“ ამჟამად, შეცვლილია ტერმინით „უბალანსობა“.

„უბალანსობას“ და საანგარიშო ტექნოლოგიურ დანაკარგებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება გვიჩვენებს წევის ქვესადგურებისა და რკინიგზის მოძრავი შემადგენლობის ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემების არადაამკამყოფილებელ ტექნიკურ და ორგანიზაციულ მდგომარეობას.

რკინიგზის წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში „უბალანსობის“ საანგარიშო მნიშვნელობა არ წარმოადგენს რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემის ცალკეულ უბანზე ელექტროენერჯის მომატებული დანაკარგების ინფორმაციულ პარამეტრს, ამიტომ რკინიგზას უნდა გააჩნდეს სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში ვმართოთ „უბალანსობის“ შემცირება. კომპლექსურმა სისტემამ უნდა გადაწყვიტოს შემედი ამოცანები:

- რკინიგზაზე გამოავლინოს მომატებული დანაკარგების მქონე უბნები;
- მოახდინოს რკინიგზის უბნებზე „უბალანსობის“ შემცირებისათვის შერჩეული ღონისძიების დანერგვის ეფექტურობის შეფასება;
- უზრუნველყოს „უბალანსობის“ შემცირებაში რკინიგზის შესაბამისი განყოფილების ეკონომიური დაინტერესება.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმები ხასიათდებიან მომიჯნავე წევის ქვესადგურების არათანაბარი დატვირთვით, სადგურებშორისი საფიდერო ზონებში გამათანაბრებელი დენებით, რომლებიც აღწევენ ნორმალურ საექსპლუატაციო მნიშვნელობებს. შედეგად შეინიშნება წევის ქსელში ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგების მომატებული მნიშვნელობები, რაც ამცირებს წევის ელექტრომომარაგების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიურ მაჩვენებლებს.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმების ნაჩვენები ხარვეზები ძლიერდება წევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომრავი შემადგენლობის ელექტრული ენერჯის აღრიცხვის არასრულყოფილობის გამო. დღევანდლამდე, მთელ რიგ ქვესადგურებში ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვა სწარმოებს ინდუქციური მრიცხველებით, რომლებიც მოწმდება და სამუშაოდ გამოიყენება წრფივ ელექტრულ წრედებში, წევის ელექტრომომარაგების სისტემები წარმოადგენენ ერთერთ ყველაზე უფრო ენერგოტევად არაწრფივ მომხმარებლებს და შესაბამისად, ისინი ქსელში იწვევენ დამახინჯების სიმძლავრეებს. მათ სპეციფიკურ თავისებურებას წარმოადგენს მატარებლების მოძრაობაზე ელექტროენერჯის მოხმარების მნიშვნელოვანი არათანაბრობა, დიდი რაოდენობის გამმართველი ტექნიკის არსებობა და შესაბამისად, ელექტრომომარაგების სისტემებში არსებითი დანაკარგები. ექსპლუატაციის პირობები შესამოწმებელი პირობების არაადეკვატურია და ხასიათდება ძაბვების არასიმეტრიულობით, დენების არასინუსოიდურობით და მცირე დატვირთვებით. შეიმჩნევა ექსპლუატაციის ისეთი რეჟიმები, რომლის დროსაც არ გაითვალისწინება საკონტაქტო ქსელიდან ელექტროენერჯის გარე ელექტრომომარაგების სისტემაში დაბრუნება. ელექტრომომრავი შემადგენლობის ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემებს გააჩნიათ მთელი რიგი ხარვეზები.

წარმოდგენილი სადისერტაციო სამუშაო უშუალოდ დაკავშირებულია ელექტროენერჯის ეკონომიასთან და ეძღვნება რკინიგზის ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების მიზეზების ანალიზს, რომლის საფუძველზე დამუშავებულია ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების კომპლექსური ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებები.

სადისერტაციო სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს საქართველოს რკინიგზისათვის ისეთი სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემის შექმნა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს წვეის ელექტრომომარაგების სისტემებში შევამციროთ ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგები.

ამ მიზნის შესასრულებლად სადისერტაციო სამუშაოში განხილულია და გადაწყვეტილია თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შემდეგი კომპლექსი:

- ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე, შესწავლილია ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა როგორც, ზოგადად ელექტრომომარაგების ქსელებში ასევე, წვეის ქვესადგურებსა და ქსელებში;

- საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზის საფუძველზე შესწავლილია მსოფლიო გამოცდილება ელმომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის დანაკარგების ერთ-ერთი ფაქტორის ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის თანამედროვე მდგომარეობა, მისი სამართლებრივი, ნორმატიულ-მეთოდური მეტროლოგიური და ტექნიკური უზრუნველყოფის საკითხები;

- დამუშავებულია არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის დამახინჯების სიმძლავრის გაზომვის მეთოდიკა;

- შემოთავაზებულია სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით არასინუსოიდური დენის წრედებში ელექტროენერჯეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდიკა

- ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შესწავლილია საქართველოს რკინიგზაზე ელექტროენერჯის აღრიცხვისა და დანაკარგების მდგომარეობა;

- შემუშავებულია რეკომენდაცია, რომლის დანერგვა საქართველოს რკინიგზას მისცემს საშუალებას, გარდა ელექტროენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა შევავასებულ იქნეს ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა; წარმოებულ იქნეს ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვლენილ იქნეს ელექტროენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

კვლევის მეთოდები. სამუშაოში დასმული მიზანი მიიღწევა რკინიგზის მოქმედ უბნებზე ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევების საფუძველზე.

თეორიულ გამოკვლევებს საფუძვლად უდევს წრფივ ელექტრულ წრედებში დამყარებული პროცესების გაანგარიშების მეთოდები, ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის ელემენტები.

სამეცნიერო სიახლე. სადისერტაციო სამუშაოში პირველად კომპლექსურად იქნა დამუშავებული რეკომენდაციები, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შევამციროთ წვეის ქვესადურებისა და ელექტრომომარაგი შემადგენლობის აღრიცხვის სისტემების მიხედვით ელექტროენერჯის „უბალანსობა“ რკინიგზის მომატებული „უბალანსობის“ მქონე უბნებისა და მისი შემცირების ღონისძიების დანერგვის გზით. ამ დროს გადაწყვეტილი უნდა იქნეს შემდეგი ამოცანები:

- შეიქმნას წვეის ქვესადურებისა და ელექტრომომარაგი შემადგენლობის აღრიცხვის სისტემის მიხედვით მატარებლის წვეაზე ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ კონტროლის სისტემა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გამოიყოს მომატებული დანაკარგების მქონე რკინიგზის უბნები;

– თეორიულად და ექსპერიმენტულად განისაზღვროს რკინიგზის მუდმივი და ცვლადი დენის უბნებზე მატარებლის წევაზე ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ მდგენელის ცვლილების საზღვრები;

– დამუშავებულ იქნეს რკინიგზის უბნების საზღვრებში მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯის კონტროლის მეთოდი;

– დამუშავებულ იქნეს საანგარიშო პერიოდის შედეგების მიხედვით მატარებლის წევაზე ელენერჯის „უბალანსობის“ ანალიზის სისტემა;

– დამუშავებულ იქნეს მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯისა და „უბალანსობის“ შემცირების შესახებ ღონისძიების ეფექტურობის კონტროლის სისტემა.

პრაქტიკული ღირებულება. ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ შემცირებისა და კუთრი ხარჯის კონტროლის დამუშავებული ღონისძიებების ერთობლიობის გატარება საშუალებას მოგვცემს ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და წევის ქვესადგურის შემყვანებიდან მიღებული ელექტროენერჯის შემცირების ხაჯზე მივიღოთ საგრძნობი ეკონომიური ეფექტი.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი დებულებები მოხსენებულ იქნა:

1. მე-2 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერჯეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი.2013 წელი. გვ.24-28.

პუბლიკაციები.სადისერტაციო სამუშაოს შესახებ გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი.

სამუშაოს სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 4 თავისაგან, დასკვნისაგან და 52 დასახელების ლიტერატურული წყაროსაგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა წარმოდგენილია 129 გვერდზე, შეიცავს 18 ნახაზსა და 9 ცხრილს.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია გამოსაკვლევი საკითხების წრე, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული წყაროების ანალიზი, რომელთა საფუძველზე ქსელის სხვადასხვა ელემენტებში დანაკარგების მდგენელების შესწავლისა და დანაკარგების შემცირების ამა თუ იმ ღონისძიების ჩატარების საჭიროების შეფასებისათვის ჩატარებულია ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის ანალიზი.

ელექტროენერჯის ფაქტიური (საანგარიშო) დანაკარგები განისაზღვრება როგორც ქსელში შემოსული ელექტროენერჯისა და ქსელიდან მომხმარებელზე გადაცემული ელექტროენერჯის სხვაობა. ეს დანაკარგები თავის თავში შეიცავენ სხვადასხვა ბუნების მდგენელებს: დანაკარგები ქსელის ელემენტებში, რომლებსაც გააჩნიათ სუფთა ფიზიკური ხასიათი; ელექტროენერჯის ხარჯი ქვესადგურებში დადგმული იმ მოწყობილობების მუშაობაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ელენერჯის გადაცემას; ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებით გამოწვეული დანაკარგები; ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების მიერ აღრიცხული დახარჯული ელენერჯის საფასურის გადაუხდელობით ან ნაწილობრივი გადახდით გამოწვეული დანაკარგები.

ფაქტიური დანაკარგების მნიშვნელობების რაოდენობის განსაზღვრის მეთოდების სპეციფიკისა და ფიზიკურ ბუნების შესაბამისად დანაკარგები დაყოფილია ოთხ მდგენელად:

1. ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები ($\Delta W_{\text{ტექ}}$), რომლებიც განპირობებულია ელექტროქსელებში ელექტროენერჯის გადაცემის დროს

მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით, გამოხატული ქსელის ელემენტებში ენერჯის ნაწილის სითბოდ გადაქცევით.

2. ელექტროენერჯის საკუთარი მოხმარების ხარჯები ($\Delta W_{საკ}$), რომლებიც საჭიროა ქვესადგურების ტექნოლოგიური მოწყობილობების მუშაობისა და მომსახურე პერსონალის მოქმედებისათვის. საკუთარი მოხმარების ხარჯები განისაზღვრება ქვესადგურის საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორზე დაყენებული მრიცხველებით.

3. ინსტრუმენტალური დანაკარგები ($\Delta W_{გაზ}$), რომლებიც განისაზღვრებიან გამოყენებული ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლებითა და მუშაობის რეჟიმებით.

4. კომერციული დანაკარგები განპირობებულია ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების ჩვენებისა და მომხმარებლების მიერ დახარჯული ელექტროენერჯის საფასურის გადახდის შეუსაბამობით, გადახდის დაგვიანებით, გადაუხდელობითა და ასევე ენერჯის მოხმარების კონტროლის ორგანიზაციის სფეროს სხვა მიზეზებით.

დანაკარგების შემადგენელი პირველი სამი მდგენელი განპირობებულია ელექტროენერჯის ქსელში გადაცემის პროცესის ტექნოლოგიური მოთხოვნებითა და ელექტროენერჯის შემოდინება გადინების ინსტრუმენტალური აღრიცხვით. ამ დანაკარგების ჯამი კარგად აღიწერება ტერმინით - ტექნოლოგიური დანაკარგები. მეოთხე მდგენელი – კომერციული დანაკარგები - წარმოადგენენ „ადამიანის ფაქტორის“ ზემოქმედებას და აქვს ორგანიზაციული, ეკონომიური, ფსიქოლოგიური და იურიდიული ფესვები. ისინი თავის თავში შეიცავენ ადამიანის ზემოქმედების გამოვლინებას: ზოგიერთი აბონენტის მიერ მრიცხველების ჩვენებების ცვლილებით ელექტროენერჯის შეგნებული დატაცება ან ელექტროენერჯის საფასურის არასრული გადახდა და სხვა. დანაკარგები შეიძლება იყოს ფიზიკური და ეკონომიური ხასიათის.

დაწვრილებით განხილულია დანაკარგების ოთხივე სახე, მოცემულია მათი გაანგარიშების მათემატიკური გამოსახულებები.

მოყვანილია ელექტროენერგიის კომერციული დანაკარგების სტრუქტურა, რომელიც იძლევა ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციის ფუქციონირების ეფექტურობის ამაღლების ძირითად მიმართულებების ფორმირების საშუალებას..

ამავე თავში, ასევე მოყვანილია წევის ქსელში ელექტროენერგიის დანაკარგების სტრუქტურა, რომელიც ნაწილობრივ განსხვავდება სამრეწველო საწარმოების ელექტრომომარაგების სისტემაში არსებულ დანაკარგებისაგან. წევის ქსელში ტექნოლოგიური დანაკარგები მუდმივი დენის პოლიგონზე შედგება შემდეგი მდგენელებისაგან: დანაკარგები დამწვევ, წევის ტრანსფორმატორებსა და წევის ქვესადგურის გამმართველებში; ელექტროენერგიის დანაკარგები წევის ქსელში; სექციონირებისა და პარალელურად შეერთებული პუნქტების არ არსებობის ან არარაციონალურად განლაგების შედეგად გამოწვეული ტექნოლოგიური დანაკარგები; რეკუპერაციის ენერგიის არაეფექტურად გამოყენებით გამოწვეული დანაკარგები. ამავე თავში დიდი ადგილი აქვს დათმობილი ელექტროოწვევის დატვირთვის შემცველი ენერგეტიკული სისტემების გაანგარიშების არსებული მეთოდების ანალიზს.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება ელენერგიის ხარისხის კონტროლის მდგომარეობისა და განვითარების ტენდენციის ანალიზის საკითხებს.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემები წარმოადგენენ ერთერთ ყველაზე უფრო ენერგოტევად არაწრფივ მომხმარებლებს და შესაბამისად, ისინი ქსელში იწვევენ დამახინჯების სიმძლავრეებს და აუარესებენ ელექტროენერგიის ხარისხს. მათ სპეციფიკურ თავისებურებას წარმოადგენს მატარებლების მოძრაობაზე ელექტროენერგიის მოხმარების მნიშვნელოვანი

არათანაბრობა, დიდი რაოდენობის გამმართველი ტექნიკის არსებობა და შესაბამისად ელექტრომომარაგების სისტემებში არსებითი დანაკარგები.

რკინიგზის ელექტრომომარაგების წევის სისტემებში უბალანსობის მიღებული მნიშვნელობები არ წარმოადგენენ ელექტრომომარაგების სისტემების ცალკეულ უბნებზე ელექტრული ენერჯის მომატებული დანაკარგების შესახებ ინფორმატიულ პარამეტრებს. ამიტომ საჭიროა, რკინიგზას ჰქონდეს სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემა, რომელიც მოგვცემს საშუალებას წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში შევამციროთ უბალანსობა.

აქედან გამომდინარე, ამ თავში განხილულია: 1. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის თანამედროვე მდგომარეობა, რადგან ნორმირებული ელექტროენერჯის ხარისხის შენარჩუნების საჭიროება თანამედროვე ელექტრული მოწყობილობებისა და ავტომატიზაციის სისტემების გამოყენებასთან დაკავშირებით, რომლებიც მგრძნობიარენი არიან ელექტროენერჯის ხარისხის თითოეული მაჩვენებლის გადახრის მიმართ, უფრო და უფრო აქტუალური ხდება; 2. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფა, რადგან ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯების საქმეში დამნაშავენი შეიძლება იყოს, როგორც ენერგომომარაგებელი ორგანიზაცია, ასევე მომხმარებელი; 3. ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფა. უკანასკნელ წლებში მთელი რიგი ახალი სტანდარტების გამოვლენამ, რომელთა უმეტესობა საერთაშორისო სტანდარტების ანალოგიურია და მოქმედებენ ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში, მოგვიყვანა ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფის მნიშვნელოვან ცვლილებამდე და არსებითი გავლენა მოახდინა გამოყენებულ საზომ საშუალებებსა და მათ მეტროლოგიურ უზრუნველყოფაზე; 4. ელენერჯის ხარისხის კონტროლის მეტროლოგიური

უზრუნველყოფა, რადგან იგი წარმოადგენს ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზის რთულ სამეცნიერო-ტექნიკურ ამოცანას; 5. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ტექნიკური უზრუნველყოფა. დღეისათვის გამოთვლითი ტექნიკისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარების წყალობით უპირატესობა მოიპოვა ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების მრავალფუნქციურმა საზომმა საშუალებებმა, რომელთაც აქვთ უნარი ეფექტურად გადაწყვიტონ ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში გაზომვის ამოცანების ფართო წრე (კონტროლი, ანალიზი, მართვა). ისინი საშუალებას იძლევიან ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვასთან ერთად გაზომონ ყველა ძირითადი ელექტროენერჯეტიკული სიდიდის მრავალი პარამეტრი.

ამავე თავში მოყვანილია დისერტანტის მიერ ჩატარებული ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზის შედეგები.

ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზმა აჩვენა, რომ ევროკავშირის ქვეყნებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემა წყდება საკანონმდებლო გზით. ევროპულ ელექტრომომარაგების ქსელებში მძლავრი მომხმარებლების მიერთების დროს ელექტრული ქსელის მესაკუთრეს "გამანაწილებელი ქსელის კოდექსის" საფუძველზე უფლება აქვს თითოეული მძლავრი ელექტრომომხმარებლისათვის დაადგინოს დენის ჰარმონიკის ემისიის დასაშვები ნორმები, ხოლო მომხმარებელი ვალდებულია პირველ რიგში გაატაროს დენის ჰარმონიკების ემისიის შეზღუდვის ორგანიზაციულ - ტექნიკური ღონისძიებები.

ნაშრომის III თავი ეძღვნება დამახინჯების სიმძლავრეებს, მათ გამოძწევ მიზეზებს, ანალიზის მეთოდებსა და შემცირების საშუალებებს. კერძოდ, წარმოდგენილია სისტემა SCADA-ს საარქივო მონაცემების მიხედვით

სამფაზა ქსელის არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის შემთხვევისათვის დამახინჯების სიმძლავრის მნიშვნელობისა და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების გაზრდისა და ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

ცნობილია, რომ წვევის ელექტრომომარაგების სისტემები ხასიათდებიან არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვით, რასაც მივყავართ ელექტრულ ქსელებში დენებისა და ძაბვების სინუსოიდურობის დიდ დამახინჯებებთან. ამ დროს მნიშვნელოვან საკითხად დგება სამფაზა ქსელში სრული სიმძლავრისა და მისი აქტიური და რეაქტიული მდგენელების სწორი გაზომვის საკითხი. ამიტომ, ძალიან აქტუალური ხდება არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელების პარამეტრების გაზომვის შედეგების უტყუარი შეფასების ამოცანა.

დღეისათვის, ქსელში სრული სიმძლავრის განსაზღვრისათვის ფართოდ გამოიყენება ორი მიდგომა. პირველი მიდგომით ქსელის სრული სიმძლავრე განისაზღვრება როგორც ფაზების სრულ სიმძლავრეთა ალგებრული ჯამი:

$$S_1 = \sum S_{\varphi} = \sum U_{\varphi} \cdot I_{\varphi} \quad (1)$$

სადაც U_{φ} , I_{φ} - შესაბამისად, ფაზური დენებისა და ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობებია.

ასეთი მიდგომით განსაზღვრულ სრულ სიმძლავრეს ქსელის არითმეტიკულ სრულ სიმძლავრეს უწოდებენ.

მეორე მიდგომით სრული სიმძლავრე განისაზღვრება როგორც ქსელის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების გეომეტრიული (ვექტორული) ჯამი:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

სადაც P და Q - შესაბამისად ქსელის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეებია.

ხელსაწყოთა და გარდამქმნელთა უმრავლესობა, რომლებიც ზომავენ სამფაზა ელექტრული ქსელების პარამეტრებს, ოთხსადენიან ქსელში სრულ სიმძლავრეს განსაზღვრავენ (1) ფორმულით, ხოლო სამსადენიან ქსელში, რადგან ფაზური ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობების გაზომვა შეუძლებელია, ზომავენ (2) ფორმულით. ასეთი მიდგომა სამართლიანია წრფივი სიმეტრიული დატვირთვის მქონე ელექტრულ ქსელებში, მაშინ: $S_1 = S_2$

ამასთანავე, ზოგად შემთხვევაში: $S_1 \geq S_2$

სახელდობრ, ძაბვებისა და დენების სინუსოიდურობის დამახინჯების პირობებში, არითმეტიკული და გეომეტრიული სრული სიმძლავრეების ტოლობა დარღვეულია ქსელის სრული სიმძლავრის მესამე მდგენელის - დამახინჯების T სიმძლავრის გამოვლენის გამო. ამ შემთხვევაში (2) ფორმულა იღებს სახეს:

$$S_3 = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (3)$$

არითმეტიკული და ვექტორული სრული სიმძლავრის განსაზღვრის ტრადიციული მეთოდების ძირითად ხარვეზს წარმოადგენს ის, რომ ქსელის არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის პირობებში ისინი არ ასახავენ სრული სიმძლავრის მთავარ თვისებას: ელექტრულ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები სრული სიმძლავრის პროპორციულია.

არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის პირობებში სრული სიმძლავრის გაზომვისათვის სტანდარტი IEEE Std 1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions.

გვთავაზობს სამფაზა ქსელის სრული სიმძლავრის გამოთვლას ე.წ. ეფექტური სრული სიმძლავრის $S_{\text{ეფ}}$ სახით, ფორმულით:

$$S_{\text{ეფ}} = 3 U_{\text{ეფ}} \cdot I_{\text{ეფ}}$$

სადაც $U_{\text{ფ}}$ - არის სამფაზა ქსელის ეფექტური ძაბვა და სამსადენიანი ქსელისათვის: იანგარიშება ფორმულით:

$$U_{\text{ფ}} = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{9}}$$

ოთხსადენიანი ქსელისათვის- ფორმულით:

$$U_{\text{ფ}} = \sqrt{\frac{3 \cdot (U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{18}}$$

$I_{\text{ფ}}$ - არის სამფაზა ქსელის ეფექტური დენი და სამსადენიანი ქსელისათვის იანგარიშება ფორმულით:

$$I_{\text{ფ}} = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3}}$$

ოთხსადენიანი ქსელისათვის ფორმულით:

$$I_{\text{ფ}} = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_N^2}{3}}$$

სადისერტაციო სამუშაოს შესრულების პროცესში მივედით იმ დასკვნამდე, რომ სამფაზა ქსელის არასიმეტრიული და არასინუსოიდური დატვირთვის დროს სრული სიმძლავრისა და მისი მდგენელების გაზომვა და გაანგარიშება ყველაზე უფრო მარტივი და მოსახერხებელია ელენერგის მონიტორინგის თანამედროვე სისტემა SCADA-ს გამოყენებით, რომელიც ზომავს და არქივში ინახავს ელექტროენერგის თერთმეტ პარამეტრს. სწორედ დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის ეს მარტივი და მოხერხებული ხერხი შემოთავაზებულია სადისერტაციო ნაშრომში.

ცხრილი 1-ში წარმოდგენილია სტუ-ს კომპიუტერული და სხვა საოფისე ტექნიკით დატვირთული, მე-6 სასწავლო კორპუსის ერთი ბლოკის, 2015 წლის 18 მარტის სხვადასხვა დროის შედეგების მიხედვით სიმძლავრეთა და

სიმძლავრის კოეფიციენტის ამონაწერი ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს არქივიდან.

სისტემა SCADA-ს არქივიდან ამოღებულია ცხრილი 1-ის მე-2, მე-3, მე-4 და მე-7 სვეტის მონაცემები.

მე-2 და მე-3 სვეტის მონაცემების საფუძველზე (2) ფორმულით განსაზღვრული განსაზღვრულ იქნა $S_{სინ}$, ხოლო (3) ფორმულიდან განისაზღვრა დამახინჯების სიმძლავრე:

$$T = \sqrt{S_{სინ}^2 - P^2 - Q^2}$$

ამ ფორმულის მიხედვით გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია მე-6 სვეტში.

მე-8 სვეტში მოყვანილი სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობები განისაზღვრა ფორმულით:

$$\cos\varphi_{სინ} = P / S_{სინ}$$

როგორც მე-4, მე-5 და მე-6 სვეტებში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, დამახინჯების სიმძლავრეს არც თუ მცირე მნიშვნელობა აქვს, იგი $S_{არას}$, და $S_{სინ}$, სრული სიმძლავრეების თანაზომადია.

მე-7 სვეტის მონაცემებიდან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დატვირთვის დროს დამახინჯების სიმძლავრე ძალიან ამცირებს ქსელის სიმძლავრის კოეფიციენტს, მოცემულ შემთხვევაში იგი მერყეობს 0,68-0,79-ს ფარგლებში, მიუხედავად იმისა, რომ ძირითადი ჰარმონიკის რეაქტიული სიმძლავრის (მე-2 სვეტი) შესაბამისი სიმძლავრის კოეფიციენტი (მე-8 სვეტი) ძალიან მაღალია და თითქმის 1-ს აღწევს. რადგანაც ელექტრულ ქსელებში დანაკარგები სრული სიმძლავრის პროპორციულია, ამიტომ საკვლევ ობიექტზე დამახინჯების სიმძლავრის არსებობის გამო ელექტროენერჯის დანაკარგები იზრდება

$$\frac{S_{სინ} - S_{სინ}}{S_{სინ}} \times 100 - \text{ჯერ}$$

ცხრილი 3.1. სიმპლავრეთა და სიმპლავრის კოეფიციენტის ამონაწერი
ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს არქივიდან..

N	P, კვტ	Q, კვარ	S _{არას} , კვა	S _{სინ} , კვა	T, კვა	cosφ _{არას}	cosφ _{სინ}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16,90	3,80	22,40	17,32	14,22	0,75	0,98
2	17,80	2,60	23,6	18,00	15,26	0,75	0,99
3	18,60	3,73	23,97	18,97	14,65	0,79	0,98
4	19,60	2,78	25,40	19,79	15,92	0,77	0,99
5	20,04	2,53	26,85	20,10	17,80	0,75	0,99
6	21,02	2,53	26,65	21,15	16,21	0,79	0,99
7	27,67	10,75	40,74	29,68	27,85	0,68	0,93
8	28,90	7,01	41,52	29,73	28,98	0,70	0,97
9	29,60	8,85	43,79	30,9	31,02	0,68	0,96
10	30,60	9,42	44,90	31,06	32,42	0,68	0,98
11	35,13	8,24	54,07	36,08	40,26	0,65	0,97
12	38,24	9,54	54,08	39,41	37,04	0,71	0,97
13	43,14	10,45	62,44	44,39	43,90	0,69	0,97
14	44,70	12,44	64,78	46,40	45,20	0,69	0,96
15	46,67	10,13	65,14	47,75	44,30	0,72	0,98
საშუალო მნიშვნელობა	29,24	6,97	41,37	30,05	28,33	0,706	0,973

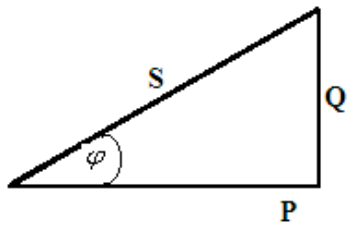
კონკრეტულ განხილულ ობიექტზე საანგარიშო პერიოდში არასინუსოიდური დატვირთვის რეჟიმში მუშაობის გამო, შესაბამის სინუსოიდურ რეჟიმთან შედარებით დანაკარგები გაზრდილია:

$$\frac{S_{არას} - S_{სინ}}{S_{სინ}} \times 100 = \frac{41,37 - 30,05}{30,05} \times 100 = 38 \%$$

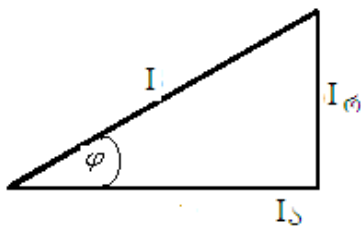
გარდა დამახინჯების სიმპლავრისა, ენერგეტიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს ელმოხმარების ობიექტების ძნელად განსაზღვრადი ელენერგეტიკული

მახასიათებლების: ძაბვისა და დენის დამახინჯების მდგენელების სიდიდეების ზუსტი განსაზღვრის მეთოდის შერჩევას. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ელექტრულ წრედებში არასიმეტრიულ და არასინუსოიდურ რეჟიმებში მიმდინარე პროცესები უფრო რთულია, ვიდრე სინუსოიდურ რეჟიმებში.

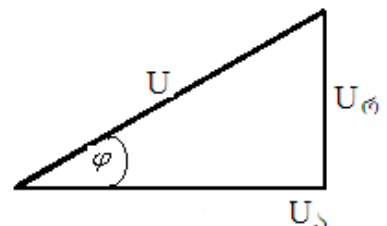
ელექტრული წრედების თეორიიდან ცნობილია, რომ ელექტრულ სისტემებში სინუსოიდური დენის შემთხვევაში აქტიური P, რეაქტიული Q და სრული S სიმძლავრეების გეომეტრიული ინტერპრეტაცია, მაგალითად, წრედის ინდუქციური ხასიათის შემთხვევაში გამოისახება ნახ.1-ზე წარმოდგენილი სიმძლავრეთა სამკუთხედით. თუ სიმძლავრეთა სამკუთხედის ყველა გვერდს გავყოფთ U ძაბვაზე - მიიღება დენების სამკუთხედი (ნახ.2), ხოლო თუ სიმძლავრეთა სამკუთხედის ყველა გვერდს გავყოფთ I დენზე - მიიღება ძაბვების სამკუთხედი (ნახ.3).



ნახ.1



ნახ.2



ნახ.3

ამ სამკუთხედებიდან გამომდინარეობს შემდეგი მათემატიკური დამოკიდებულებები:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = UI \quad (4)$$

$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi = U_{\Delta} I = U_{\Delta} I_{\Delta} \quad (5)$$

$$Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi = U_{\phi} I = U_{\phi} I_{\phi} \quad (6)$$

სრული სიმძლავრე ყველა შემთხვევაში განისაზღვრება (4) გამოსახულებით.

ნახ.1, ნახ.2 და ნახ.3-ზე წარმოდგენილი სამკუთხედებიდან ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის განისაზღვრება ფორმულით:

$$\varphi = \arctg \frac{Q}{P} = \arctg \frac{I_0}{I_3} = \arctg \frac{U_0}{U_3} \quad (7)$$

თუ ცნობილია ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის, მაშინ ადვილად განისაზღვრება მათი მდგენელები.

სინუსოიდური წრედებისაგან განსხვავებით არასინუსოიდური დენის წრედებში, რომელიც შეიცავს რეაქტიულ ელემენტებს L და C-ს, მაშინ (4) დამოკიდებულება არ სრულდება და

$$S^2 \geq P^2 + Q^2 \quad (8)$$

ამ განტოლების ბალანსისათვის მარჯვენა ნაწილში შემოტანილია დამატება - T- დამახინჯების სიმძლავრე და სრული სიმძლავრე გამოისახება ფორმულით:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + T^2 \quad (9)$$

სადისერტაციო ნაშრომში ოთხ სიმძლავრეს (S, P, Q და T) შორის კავშირის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია წარმოვადგინეთ პარალელებიპედის სახით (ნახ.4).

სიმძლავრეთა პარალელებიპედში: P - არის წრედის აქტიური სიმძლავრე, რომელიც განპირობებულია არასინუსოიდური დენის წრედებში დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით და განისაზღვრება ფორმულით:

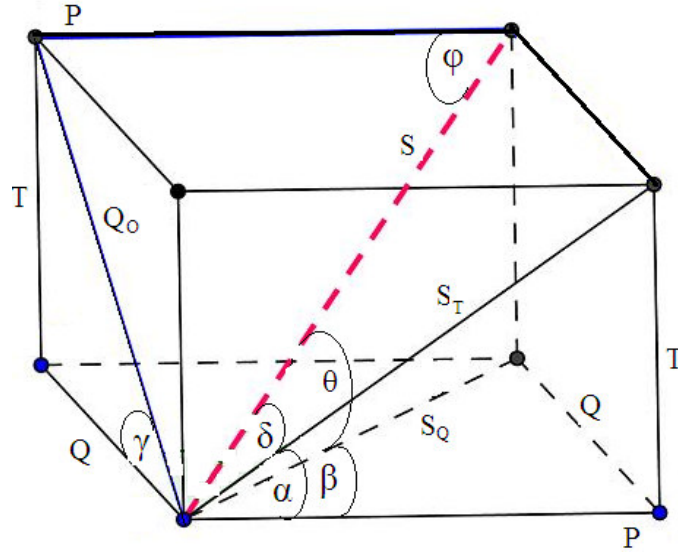
$$P = \sum_{i=1}^n U_i I_i \cos \varphi_i \quad (10)$$

Q - წრედის რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც ასევე განპირობებულია დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით და განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i I_i \sin \varphi_i \quad (11)$$

დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$T^2 = \sum_{i=1}^n (U_i^2 I_{2\gamma-i}^2 + U_{2\gamma-i}^2 I_i^2 - 2U_i U_{2\gamma-i} I_i I_{2\gamma-i} \cos(\varphi_i - \varphi_{2\gamma-i})) \quad (12)$$



ნახ.4. სიმძლავრეთა პარალელეპიპედი

Q_0 - წრედის სრული რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_0 = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (13)$$

S_Q - არის P და Q სიმძლავრეებით განსაზღვრული სრული სიმძლავრე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_Q = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (14)$$

გარდა (9) გამოსახულებისა დამახინჯების სიმძლავრე ასევე განისაზღვრება რეაქტიული სიმძლავრეების საშუალებით

$$T = \sqrt{Q_0^2 - Q^2} \quad (15)$$

S_T - არის P და T სიმძლავრეებით განსაზღვრული სრული სიმძლავრე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_T = \sqrt{P^2 + T^2} \quad (16)$$

სიმძლავრეთა პარალელებიპედიდან ადვილად განისაზღვრება განვსაზღვრეთ ძვრის კუთხეები ელენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის.

ძვრის კუთხე ქსელის სრულ S და აქტიურ P სიმძლავრეებს შორის:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_0}{P} = \arctg \frac{\sqrt{S^2 - P^2}}{P} \quad (17)$$

ძვრის კუთხე დამახინჯებით გამოწვეულ სრულ S_T სიმძლავრესა აქტიურ P სიმძლავრეებს შორის:

$$\alpha = \arctg \frac{T}{P} = \arctg \frac{\sqrt{S_T^2 - P^2}}{P} \quad (18)$$

ძვრის კუთხე ერთი და იგივე რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეულ სრულ S_Q სიმძლავრესა და აქტიურ P სიმძლავრეს შორის:

$$\beta = \arctg \frac{Q}{P} = \arctg \frac{\sqrt{S_Q^2 - P^2}}{P} \quad (19)$$

ძვრის კუთხე ქსელის სრულ რეაქტიულ Q_0 სიმძლავრესა და ერთი და იგივე რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეულ Q სიმძლავრეს შორის:

$$\gamma = \arctg \frac{T}{Q} = \arctg \frac{\sqrt{Q_0^2 - Q^2}}{Q} \quad (20)$$

ძვრის კუთხე ქსელის სრულ S და დამახინჯებით გამოწვეულ სრულ S_T სიმძლავრეს შორის:

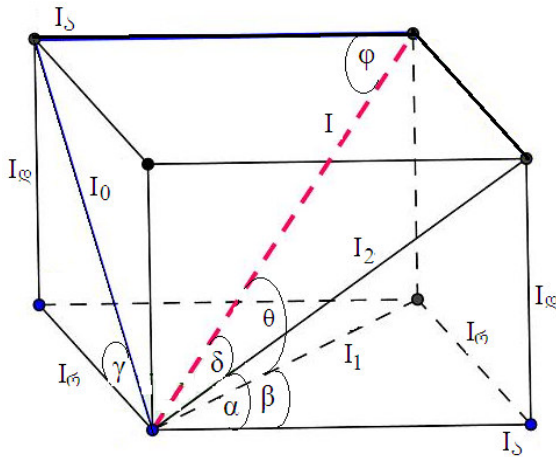
$$\delta = \arctg \frac{Q}{S_T} = \arctg \frac{\sqrt{S^2 - S_T^2}}{S_T} \quad (21)$$

ძვრის კუთხე ქსელის სრულ S და ერთი და იგივე რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეულ სრულ S_Q სიმძლავრეს შორის:

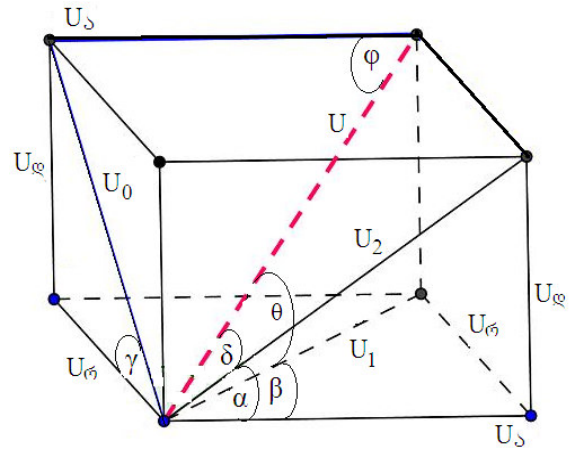
$$\theta = \arctg \frac{T}{S_Q} = \arctg \frac{\sqrt{S^2 - S_Q^2}}{S_T} \quad (22)$$

სინუსოიდური დენის წრედებში სიმპლავრეთა სამკუთხედის ყველა გვერდის დენზე გაყოფით მივიღეთ ძაბვების სამკუთხედი, ხოლო ძაბვაზე გაყოფით - დენების სამკუთხედი.

სინუსოიდური დენის წრედების ანალოგიურად, პარალელეპიპედის ყველა გვერდისა და დიაგონალების ძაბვაზე გაყოფით წარმოვადგინეთ დენების პარალელეპიპედი (ნახ.5), ხოლო დენზე გაყოფით-ძაბვების სამკუთხედი (ნახ.6).



ნახ.5. დენების პარალელეპიპედი



ნახ.6. ძაბვების პარალელეპიპედი

ნახ.5-დან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დენის წრედში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_რ^2 + I_ფ^2} \quad (23)$$

ხოლო ნახ.6-დან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დენის წრედზე მოდებული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_რ^2 + U_ფ^2} \quad (24)$$

თუ მივიღებთ, რომ საზომი საშუალებების დახმარებით ცნობილია არასინუსოიდური დენის წრედში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობა I,

მაშინ (17)-(22) გამოსახულებების მიხედვით განსაზღვრული ძვრის კუთხეების დახმარებით ნახ.5-დან ვსაზღვრავთ დენის მდგენელებს (ზუსტად ანალოგიურად განისაზღვრება ძაბვის მდგენელები ნახ.6-დან, თუ ცნობილია არასინუსოიდური დენის წრედზე მოდებული U ძაბვა):

წრედში გამავალი დენის აქტიური, რეაქტიული და დამახინჯების მდგენელები განისაზღვრებიან ფორმულებით:

$$I_a = I \cos\varphi; I_r = I \sin\delta; I_d = I \sin\Theta. \quad (25)$$

სადისერტაციო ნაშრომის ამავე თავში მოყვანილია სისტემა SCADA-ს მონაცემების საფუძველზე ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მაგალითი, როელმაც დაამტკიცა არასინუსოიდური დენის წრედებისათვის სიმძლავრეთა პარალელეპიპედის შემოღების მართებულობა.

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემების ანალიზის შედეგები და მიღებული შედეგების საფუძველზე შემუშავებული რეკომენდაციები.

სადისერტაციო ნაშრომში საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სქემა წარმოდგენილია შემდეგი მონაკვეთის სახით. ეს მონაკვეთებია: ინგირი - ზესტაფონის, ზესტაფონი - ხაშურის, ხაშური-თბილისი საკვანძოს, თბილისი საკვანძო - რუსთავის, თბილისი საკვანძო - გურჯაანის, თბილისი საკვანძო - ახალქალაქი-სადახლო.

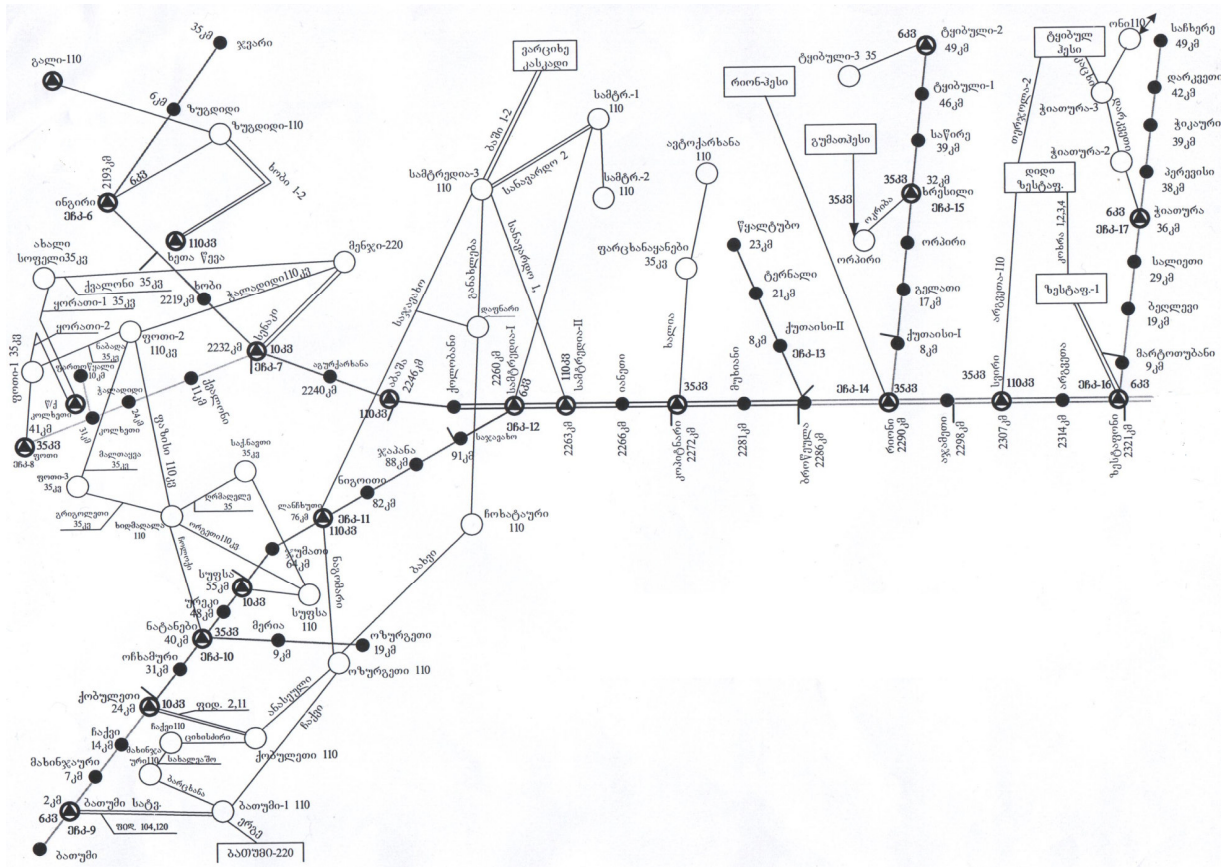
ნახ.7-ზე მაგალითის სახით მოცემულია საქართველოს რკინიგზის ინგირი-ზესტაფონის მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა.

საქართველოს რკინიგზაზე ეჩკ-ების რაოდენობა შეადგენდა 33-ს, რომელთაგან ხუთი ეჩკ განთავსებულია აფხაზეთის ტერიტორიაზე.

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია წევის ქვესადგურების ძირითადი მაჩვენებლები.

საქართველოს რკინიგზის წევის ქვესადგურების დამწევი ტრანსფორმატორების დადგმული ჯამური სიმძლავრე შეადგენს 422 200 კვა-ს, წევის ტრანსფორმატორებისა - 542 920 კვა-ს, ხოლო გამმართველი აგრეგატებისა - 676 500 კვა-ს. ცხადია, ასეთი სიმძლავრის გამმართველები წარმოადგენენ ჰარმონიკების წყაროს, რომლებიც თავის მხრივ ელექტრულ ქსელებში იწვევენ დამახინჯების სიმძლავრეებს.

ნახ.7. საქართველოს რკინიგზის ინგირი-ზესტაფონის მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა.



**ცხრილი 2. საქართველოს რკინიგზის დასავლეთის ელექტრომომარაგების
სამმართველოს წარმოდგენილი 2015 წლის ელექტრომომარაგების ანგარიში.**

N	ქვესადგურის დასახელება	სულ მიწოდებული ელენერგია კვტ.სთ	მათ შორის, კვტ.სთ				დანაკარგი კვტ.სთ
			მატარებლი ს წვევაზე	საკუთარ მოხმარებაზე	რკინიგზის მომხმარე- ბელზე	გარეშე მომხმარე- ბელზე	
1	ხეთა	7606,1	7606,1	0	0	0	0
2	სენაკი	4873977,7	4516480	0	344326,4	13171,3	0
3	ფოთი	3793748	2821432,8	23260,4	554392,6	360156	34506,2
4	კოლხეთი	110740	0	26997	0	0	83743
5	ინგირი	1923881,4	1868955	0	54926,4	0	0
6	აბაშა	17126,3	0	17126,3	0	0	0
7	ბათუმი	2914560	1642317,6	30363,2	976402,8	211157,6	54318,8
8	ქობულეთი	3859353,2	3696235,2	0	163118	0	0
9	ნატანები	6564302	2516321,9	47332,4	24068,8	3976578,9	0
10	სუფსა	2603530,4	2412080	35674,8	130003,6	0	25772
11	ლანჩხუთი	14590825,6	2924800	13065	302797,2	10993023,8	357139,6
12	სამტრედია-1	895637,6	177709,6	0	717928	0	0
13	სამტრედია-2	20764927,6	19080116	60380	1516817,6	74698	32916
14	კოპიტნარი	5487615	2212560	53726	935101,6	2067062,4	21916,5
15	რიონი	6264552	6194839,8	38264	26029	424,4	4994,8
16	ზრესილი	1860663	634410	28199	14905	1044483,9	138665,1
17	ტყიბული	1034820	1012464	9679,2	0	0	12676,8
18	სვირი	777587,3	3547040	61766,6	568586,6	3422759,1	175635
19	ზესტაფონი	3685239	3607195	63228	948	0	13868
20	ჭიათურა	878703,2	791463,2	0	87240	0	0
სულ ჯამი		89907595,4	59664026,2	509061,9	6417591,6	22163515,4	1153400,3

ამ ანგარიშიდან ჩანს, რომ საქართველოს რკინიგზის დასავლეთ საქართველოს წვევის ქვესადგურებზე მიწოდებულ იქნა 89 907 597,4 კვტ. სთ ელექტროენერგია. მათ შორის: მატარებლის წვევაზე მოხმარებულ იქნა 59 664 026,2 კვტ.სთ ანუ 66,4 %; საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯულ იქნა 509 061,9

კვტ.სთ, ანუ 0,5 %; რკინიგზის მომხმარებლებზე მიწოდებულ იქნა 6 417 591,6 კვტ.სთ, ანუ 7,1 %; გარეშე მომხმარებლებზე მიწოდებულ იქნა 22 163 515,4 კვტ.სთ, ანუ 24,7 %, ხოლო ელექტროენერჯის დანაკარგებმა შეადგინა 1153400 კვტ.სთ, ანუ 1,3 %.

როგორც ამ ანგარიშიდან ჩანს, საქართველოს რკინიგზის დასავლეთ საქართველოს უბანზე ელექტროენერჯის დანაკარგი ძალიან მცირეა, მაგრამ ამასთანავე ჩანს, რომ ზოგიერთ წევის ქვესადგურში გვაქვს ელექტროენერჯის ნულოვანი დანაკარგი, რაც რეალობას არ შეესაბამება, რადგან როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის გამო, რკინიგზის წევის ელექტრულ ქსელებში ადგილი აქვს დამახინჯების სიმძლავრეებს, რომლებიც ელექტრულ ქსელებში იწვევენ ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს. ასეთი დატვირთვების შემთხვევაში შეუძლებელია ნულოვანი დანაკარგების არსებობა. წარმოდგენილი ანგარიშით უდაოა, რომ საქართველოს რკინიგზაში აღრიცხვის სისტემები მოუწესრიგებელია და საჭიროებს სასწრაფოდ გამოსწორებას.

სადისერტაციო ნაშრომში ასევე განხილულია დიდუბის, ზაჰესისა და გორისა წევის ქვესადგურები და ამ ქვესადგურების მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი, ხოლო წიფის უღეტეხილის მაგალითზე გაანალიზებულ იქნა ელექტროენერჯის დანაკარგების ცვლილების დინამიკა თვეების მიხედვით. ცვლილების დინამიკამ შეადგინა 1,2-2,5 %-ის ფარგლებში, ხოლო საშუალო წლიური კარგვა შეადგენს - 1,9 % -ს. რაც ციფრებში გამოხატული შეადგენს - 1 957 631,4 კვტ.სთ-ს. ყველაზე ნაკლები დანაკარგები იყო სექტემბრის თვეში -1,2 %, ხოლო ყველაზე დიდი - მარტის თვეში -2,5 %.

საქართველოს რკინიგზის ელექტროენერჯის მოხმარების ანალიზმა ცხადყო, რომ წესრიგშია მოსაყვანი ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემები. უნდა დაყენებულ იქნეს თანამედროვე მაღალი სიზუსტის აღრიცხვის სისტემა.

განსაკუთრებით მიზანშეწონილია სისტემა SCADA-ს გამოყენება, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება არამარტო მოხმარებული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები, არამედ დამახინჯების სიმძლავრეებიც, რომლებიც გამოწვეულია წევის დატვირთვის სისტემების არასიმეტრიულობითა და არაწრფივობით.

ჩვენს მიერ განხილული წევის ქვესადგურების არც ერთ მიღება-ჩაბარების აქტში აღრიცხული არ არის რეკუპერაციის შედეგად მიღებული ელექტროენერგიის რაოდენობა ამასთანავე, ელექტროენერგიის მოხმარების მიღება - ჩაბარების აქტში აუცილებლად უნდა აისახოს ელენერგიის დანაკარგები. რათა დაცულ იქნეს ელენერგიის მიღება - ჩაბარების ბალანსი.

სადისერტაციო ნაშრომის ამავე თავში რეკომენდაციის სახით შემოთავაზებულია მუდმივი დენის წევის ქვესადგურებში მიღებულ და გაცემულ ელექტროენერგიებს შორის დასაშვები სხვაობის გაანგარიშების მეთოდიკა და წევის ქვესადგურებში ელექტროენერგიის კომერციული აღრიცხვის კონტროლის სისტემების სრულყოფის რეკომენდაციები.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე, საქართველოს რკინიგზას ეძლევა რეკომენდაცია, რომ ეკაას-ის, კერძოდ, სისტემა SCADA-ს დანერგვა წევის ელექტრომომარაგების სისტემაში, რომელიც გარდა ელექტროენერგიის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა, საშუალებას მოგვცემს შევავსოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოოთ მიღებული ელექტროენერგიის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვავლინოთ ელენერგიის არარაციონალური ხარჯები.

დასკვნა

1. დადგენილია, რომ ელექტროენერგიის დანაკარგების სტრუქტურა საშუალებას გვაძლევს ფორმულირება გავუკეთოთ ელექტრომომარაგებელი

ორგანიზაციის ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების ძირითად მიმართულებებს.

2. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ საქართველოს რკინიგზაზე წესრიგშია მოსაყვანი ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემები.

3. დადგენილია, რომ მიღება-ჩაბარების აქტებში არ ფიქსირდება ელექტროენერჯის დანაკარგები. დახარჯული ელექტროენერჯის საფასური გადაიხდება ენერჯო-პრო ჯორჯიას კუთვნილი მრიცხველების მიხედვით, რომლებიც დაყენებულია წვევის ქვესადგურების მაღალი ძაბვის მხარეზე, ხოლო დაბალი ძაბვის მხარეზე არ ხდება ელენერჯის მოხმარების კონტროლი.

4. დადგენილია, რომ არ ხდება რეკუპირაციის შედეგად მიღებული ელექტროენერჯის აღრიცხვა და ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი.

5. ელექტროენერჯის აღრიცხვის მოწესრიგების მიზნით საჭიროა საქართველოს რკინიგზაზე დანერგილი იქნეს ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვის ავტომატიზებული სისტემები (ეკაას), რაც გარდა ელექტროენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა, საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოთ მიღებული ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე, გამოვავლინოთ ელენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

6. ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით განსაზღვრულ იქნა დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები მკვებავ ელექტრულ ქსელში.

7. ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე ელენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის მიღებულ იქნა დამოკიდებულებანი, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ მარტივად გავაანალიზოთ ელმომხმარების ესა

თუ ის მხარეები: პროცესის რეაქტიულობა, დამამახინჯებელი ფაქტორები და სხვა.

8. შემუშავებულ იქნა ელექტროენერგეტიული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდოლოგია სისტემა SCADA-ს მონაცემების საფუძველზე.

9. საქართველოს რკინიგზაზე ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შემუშავებულია ისეთი რეკომენდაციები, რომლებიც გარდა ელექტროენერგიის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოთ მიღებული ელექტროენერგიის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვავლინოთ ელექტროენერგიის არარაციონალური ხარჯები.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. თ.მუსელიანი, გ.მთვარელიშვილი. ელექტროენერგიის კომერციული აღრიცხვის სისტემების შექმნისა და ექსპლუატაციის საზღვარგარეთული გამოცდილება. პირველი საერთაშორისო კონფერენცია “ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუშინ, დღეს, ხვალ“. ჟურ. ბიზნეს-ინჟინერინგი N4, 2013 წ. გვ. 184-185.

2. გ.მთვარელიშვილი ელექტრომომარაგების სისტემებში ელენერგიის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზი. ჟურ. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, № 4, 2015 წ. გვ. 67-70.

3. თ.მუსელიანი, დ.შარიქაძე, გ.ტორონჯაძე გ.მთვარელიშვილი. დამახინჯების სიმძლავრის გაზომვა არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში. ჟურ. „ენერჯია“, N3(75). 2015 წ. გვ. 46-50.

4. დ.შარიქაძე, გ.მთვარელიშვილი, მ.გურგენიძე, გ.ტორონჯაძე. ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა არასინუსოიდური

დენის წრედებში სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით. მე-3 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი. 24–25 ოქტომბერი, 2015 წ. გვ.50–56.

5. თ.მუსელიანი, გ.მთვარელიშვილი, ი.ქათამაძე. შუქდიოდური სანათები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ქუჩის განათებისათვის. ჟურ. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“. № 4, 2014 წ. გვ. 89-91.

Abstract

The main feature of the railway transport energy policy is the general conservation of energy resources and hereby raising the efficiency of the energy consumption.

Traction power supply systems are characterized by uneven loads of contiguous traction substations, equalizing currents in feeder zones between the stations, reaching normal operational values. As a result there is traction network voltage and power losses at higher values, thus reducing the technical and economic parameters of the traction power supply systems.

The deficiency of operational conditions in traction power supply system is intensified due to incompleteness of electric power accounting in traction substations and rail transport systems.

The presented dissertation is actually related to energy conservation and is dedicated to develop of complex organizational and technical measures to reduce electricity losses which are based on the analyses of technical and economic losses of railway electric power.

Chapter 1 of dissertation dwells on the results of literature review, which first of all contains the results of power losses structure analyses for estimation of necessity of different measures of wastage reduction and study of electric power losses components in various network elements. The types of losses are discussed as for the power supply

schemes, as well as specifically for traction substations and networks. The chapter contains the formulas of mathematical calculation.

The second chapter deals with the issues of quality control of the electricity and development trend analysis.

The imbalanced values in railway traction power supply system do not represent the informative parameters of increased electric energy losses in separable areas of power supply system. So it is necessary for railway to have scientific, technical and organizational measures in a complex system, which will allow us to reduce imbalance of the traction power supply system.

Therefore, this chapter examines the current state of electric power quality control, the legal, normative methodical, technical and metrological maintenance issues, also the results of international practice analysis for the solution of electric energy quality problem.

Chapter 3 refers to distortion capacities, including the causes, analysis methods and means of reducing. In particular, there are shown SCADA system based three-phase network non-linear distortion capacities and increased electric energy losses caused by distortion, also determination methods of electric power characteristics.

Chapter 4 describes the analysis of Georgian railway power supply system and recommendations based on the obtained results. Georgian railway electric power supply scheme is represented as separate section of thesis.

In the same chapter, there is recommended the methods of calculation for permissible difference between DC traction substations received and supplied electricity and recommendations for the improvement of electricity commercial accounting control, allowing us evaluate the condition of electrical equipment, control electricity shortages and quality indicators, also detect Irrational costs of electricity.