

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ხელნაწერის უფლებით*

მამუკა ბახტაძე

ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა და  
ელექტროენერგიის ხარისხის ამაღლება ელექტრომომარაგების სისტემებში

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 ფაკულტეტი  
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტები: ასოც. პროფესორი რ. ჩიხლაძე

აკად. დოქტორი თ. ტყემალაძე

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

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

**სამუშაოს აქტუალობა.** თანამედროვე წარმოება მოითხოვს ხარისხიან ელექტრომომარაგებას. სადისერტაციო სამუშაოს აქტუალობა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგით: ელექტრული ენერჯის მთავარი სამომხმარებლო კრიტერიუმია საერთო მიერთების წერტილში მისი პარამეტრების შესაბამისობა ელექტროენერჯის ხარისხის სტანდარტით დადგენილ მაჩვენებლებთან. ამ დროს ელექტრული ენერჯია გამოდის როგორც საქონელი, რომელიც უნდა იყოს სერტიფიცირებული და ამის შესაბამისად უნდა მიეწოდოს მომხმარებელს.

ელექტროენერჯის ხარისხი წარმოადგენს ერთ-ერთ ფაქტორს, რომელიც უშუალო გავლენას ახდენს ენერგოეფექტურობაზე. ევროპის ქვეყნებში არსებობს ნორმატიული დოკუმენტების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ადგენენ მოთხოვნებს ელექტროენერჯის ხარისხის მიმართ. ამავე დროს 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.

ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯების საქმეში დამნაშავენი შეიძლება იყოს, როგორც ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაცია, ასევე მომხმარებელი. ელექტროენერჯის ხარისხის ეფექტური შენარჩუნებისათვის საჭიროა კომპლექსური ტექნიკურ - ეკონომიური გადაწყვეტილებები, რომლებიც ეხება როგორც მომხმარებელს, ასევე ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციას. ეს მოითხოვს დამატებით კაპიტალდაზღვრვებს, რაზეც ორივე მხარე უხალისოდ მიდიან. არ გაგვაჩნია ელექტროენერჯის ხარისხიდან და ტექნიკური საშუალებებიდან გამომდინარე მოხმარებული ელექტროენერჯის

ღირებულების განსაზღვრის მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ელექტროენერჯის ხარისხი გაკონტროლდეს on-line რეჟიმში.

ამგვარად არსებობს ისეთი ტექნიკური პრობლემა, როგორცაა ელექტროენერჯის ხარისხის გათვალისწინებით ელექტრომომხმარებლის მახასიათებლების განსაზღვრის უტყუარობა, რომლის გადაწყვეტა იძლევა საშუალებას მივიღოთ დამატებითი ინფორმაცია ელექტრომომხმარებლის სისტემებში მიმდინარე პროცესების შესახებ, ელექტროენერჯის ხარისხის ასამაღლებლად მივცეთ რეკომენდაციები ტექნიკური სისტემების გამოყენების შესახებ ისეთების, როგორცაა აქტიური ფილტრები და სხვა ელექტროენერჯის ხარისხის ასამაღლებელი მოწყობილობები.

ამჟამად ყოფილ საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში მოქმედი სტანდარტი ГОСТ 13109-97, რომელიც პასუხისმგებელია ელექტროენერჯის ხარისხის დადგენილი ნორმების დაცვაზე, არ იძლევა საშუალებას ადეკვატურად შევაფასოთ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები, რადგანაც უმრავლეს შემთხვევაში იგი რეგლამენტირებულია ელექტრომომხმარებლის ისეთი მახასიათებლით, როგორცაა მკვებავი ძაბვის ხარისხი.

უხარისხო ელექტროენერჯის მოხმარება იწვევს დამატებით დანაკარგებს, რომლებიც დაკავშირებულია უკუ და ნულოვანი თანმიმდევრობის ელექტროენერჯის, ასევე უმაღლესი ჰარმონიკების ნეგატიური მოქმედების კომპენსაციასთან. ყოველივე ამას მივყავართ ელექტრომომხმარებლის საიმედოობის, უწყვეტობისა და უსაფრთხოების შემცირებასთან; იქმნება ელექტროდანადგარების მუშაობის ავარიული და წინა საავარიო რეჟიმები, რაც საბოლოო ჯამში გავლენას ახდენს ქვეყნის ელექტროენერჯეტიკულ უსაფრთხოებაზე.

მაგრამ პრობლემა სრულად არ იქნება გადაწყვეტილი თუ არ გავითვალისწინებთ საკითხის იურიდიულ მხარეს. ამჟამად,

ელექტრომომარაგების ხელშეკრულებაში განსაზღვრული არ არის მომწოდებელსა და აბონენტს შორის ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაუარესებაში მხარეთა პასუხისმგებლობის მოცულობა. საქმის გარჩევის დროს ძირითად სიძნელეს წარმოადგენს დამამტკიცებელი ბაზის მოძიება, რომელიც მოემსახურებოდა იმის დამტკიცებას, რომ უხარისხო ელექტროენერჯის მოხმარება იყო ელექტროდანადგარის მწყობრიდან გამოსვლის ან დამატებითი გაცვეთის მიზეზი. ამიტომ მოცემულ მომენტში აქტუალურია უხარისხო ელექტროენერჯის მოხმარების შედეგად მიყენებული ზარალის განსაზღვრა. შექმნილი სიტუაციის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა უხარისხო ელექტროენერჯის გადადინების ნაკადების გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება, მისი შემდგომი გამოყენება და ამის საფუძველზე საკანონმდებლო ბაზის შექმნა, რომელიც ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების დამრღვევების მიმართ გაამკაცრებს სანქციებს.

ფასდაკლებისა და ფასწამატების არსებული სისტემის გამოყენება არ იძლევა ელექტროენერჯის ხარისხის მოთხოვნილი დონის მუდმივ უზრუნველყოფას, რადგანაც ისინი გამოიყენებოდა ეპიზოდურად და ობიექტების შეზღუდულ რაოდენობაზე. ასევე არ არსებობდნენ ტექნიკური ხერხები და საშუალებები ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ინდივიდუალური და ჯგუფური უშუალო მართვისათვის და ასევე არ არსებობდნენ ტექნიკური ხერხები და საშუალებები ირიბი მართვისათვის ელექტროენერჯის ხარისხიდან გამომდინარე მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების კორექტირების ხარჯზე. ამიტომ ელექტრომომარაგების სისტემების ფუნქციონირების ამაღლების პრობლემა ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგის ხარჯზე აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

გაზომილი დამახინჯების მახასიათებლების ანალიზი, ასევე უხარისხო ელექტროენერგიის ნაკადების რეგისტრაცია უნდა ჩატარდეს ელექტრომომარაგების ისეთ სისტემებში, სადაც დიდია უხარისხო ელექტროენერგიის გენერაციის მოცულობა და მნიშვნელოვანია დამახინჯების სიმძლავრეები.

**სამუშაოს მიზანია** ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების საფუძველზე დამახინჯების გათვალისწინებით და ამ სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლება ელექტროენერგიის ხარისხის მონიტორინგის საშუალებით.

**კვლევის ობიექტია** სტუ-ს კორპუსების ელექტრომომარაგების სისტემები, ხოლო **კვლევის საგანია** ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლები და მომხმარებელზე მიწოდებული ელექტროენერგიის ხარისხი.

**კვლევის მეთოდი.** სადისერტაციო სამუშაოს თეორიულ ნაწილში გამოყენებული იქნა ელექტრული წრედების თეორიის მეთოდები, კერძოდ, არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდეების დაშლა ფურიეს მწკრივად; კომპლექსური მიდგომა, რომელიც მოიცავს მათემატიკური მოდელირებისა და სტატისტიკის მეთოდებს.

**სამეცნიერო სიახლე** მდგომარეობს შემდეგში:

- მიღებულია დამახინჯების დენისა და ძაბვის ანალიზური გამოსახულება;

- დადგენილია აქტიური და რეაქტიული დენებისა და ძაბვების კავშირი დამახინჯების დენებთან და ძაბვებთან;

- დადასტურებულია, რომ ელექტრომომარაგების სრული და ობიექტური ანალიზი საჭიროა ჩატარდეს დამახინჯების მახასიათებლების გათვალისწინებით;

- დამუშავებულია ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემების მათემატიკური მეთოდი, რომელიც ელექტროენერჯის ხარისხის, წყაროსა და დამახინჯების დონიდან გამომდინარე მხედველობაში იღებს ელექტროენერჯის ღირებულების ცვლილებას.

- დამუშავებული ორიგინალური ალგორითმი და ტექნიკური საშუალებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ამაღლდეს ელექტრომომარაგების სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობა ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგის საშუალებით, ელექტროენერჯის ხარისხიდან გამომდინარე მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების ოპერატიული კორექტირების ხარჯზე.

**სადისერტაციო სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა.** მდგომარეობს იმაში, რომ ელექტრომომარაგების სისტემების არასინუსოიდურ რეჟიმებში მუშაობისას სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით საკმარისი სიზუსტით განისაზღვროს ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტროენერჯეტიკული მახასიათებლები, მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, არაწრფივი დატვირთვით გამოწვეული დამახინჯების სიმძლავრე და დამახინჯების სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები.

**სამუშაოს აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია ოთხ სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა;

1. მე-2 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერჯეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 2013 წ;

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 4 თავისაგან, დასკვნისაგან, 45 დასახელების ლიტერატურული წყაროსა და 1 დანართისაგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა წარმოდგენილია 152 გვერდზე, შეიცავს 29 ნახაზსა და 16 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.

ნაშრომის I თავში მოყვანილია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები, სადაც განხილულია ელექტრომომხმარებლის მახასიათებლები და ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები.

ელექტრული ენერგია შეიძლება განვიხილოთ როგორც საქონელი. ელექტროენერგია, როგორც საქონელი უნდა შეესაბამებოდეს განსაზღვრულ ხარისხს, ბაზრის მოთხოვნებს და ენერგიის სხვა სახეებისაგან განსხვავდება განსაკუთრებული მომხმარებლითი თვისებებით: მისი წარმოების, გადაცემისა და მოხმარების დროები ერთმანეთს ემთხვევა; ელექტროენერგიის ხარისხის მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი მოხმარების პროცესზე; შეუძლებელია მისი შენახვა და უხარისხო ელექტროენერგიის უკან დაბრუნება.

ელექტრომომარაგების საიმედოობასთან ერთად ელექტროენერგიის ხარისხი ელექტრული სისტემის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს წარმოადგენს. სტანდარტით ელექტროენერგიის ხარისხს გააჩნია თერთმეტი მაჩვენებელი.

ამ თავში განხილულია ელექტრო-ენერგიის ხარისხის თერთმეტივე მაჩვენებელი: ძაბვის დამყარებული გადახრა ( $\Delta U_{\text{დამყ}}$ ); ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\Delta U_{\text{I}}$ ); ფლიკერის დოზა ( $P_{\text{f}}$ ); ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი ( $K_{\text{U}}$ ); ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი [ $K_{\text{U(n)}}$ ]; უკუთანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{2\text{U}}$ ); ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის



არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{\text{სუ}}$ ); სიხშირის გადახრა ( $\Delta f$ ); ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობა ( $\Delta t_f$ ); იმპულსური ძაბვა ( $U_{\text{იპკ}}$ ); დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი ( $K_{\text{დრ.ს}}$ ). დაწვრილებით განხილულია თითოეული ამ მაჩვენებლის გავლენა ელექტრომომხმარებლის მუშაობაზე.

**ნაშრომის II თავი** ეძღვნება ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ანალიზატორებსა და მიკროპროცესორულ მრიცხველებს.

ამჟამად, საქართველოში ელექტრომომხმარებლის მახასიათებლებისა და ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების კვლევისათვის გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის საზომ-გამომთვლელი კომპლექსები. ყველაზე უფრო გავრცელებულია მრავალფუნქციური, მიკროპროცესორული ელექტროენერჯის მრიცხველი **ЕврoALPH A** და დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA.

ნახ.1. -ზე წარმოდგენილია **ЕврoALPH A1600** ტიპის მრიცხველი, რომელსაც გააჩნია შემდეგი ფუნქციონალური შესაძლებლობები:



**ნახ.1. ЕврoALPH A1600 ტიპის მრიცხველის საერთო ხედი.**

- აქტიური და რეაქტიული ელექტროენერჯისა და სიმძლავრის გაზომვა ორი მიმართულებით;

- ელექტროენერჯის აღრიცხვა 4 სატარიფო ზონით;

- საანგარიშო დროის ინტერვალში დატვირთვის მაქსიმალური სიმძლავრის ფიქსირება;

- მრიცხველის მეხსიერებაში 4 არხით, 30-წუთიანი ინტერვალით, 336 დღემდე დატვირთვის გრაფიკების მონაცემების ჩაწერა და შენახვა;

- კავშირის ციფრული და იმპულსური არხებით გაზომვის შედეგების გადაცემა;

- ელექტროენერჯის პარამეტრების: ფაზური და ხაზური ძაბვებისა და დენების, ქსელის სიხშირის, სიმძლავრის კოეფიციენტის, დენსა და ძაბვას შორის ძვრის კუთხეების გაზომვა (გამოთვლა) და ასახვა;

- დატვირთვის ავტომატური კონტროლი და საჭიროების შემთხვევაში მათი გამორთვა ან სიგნალიზაცია;

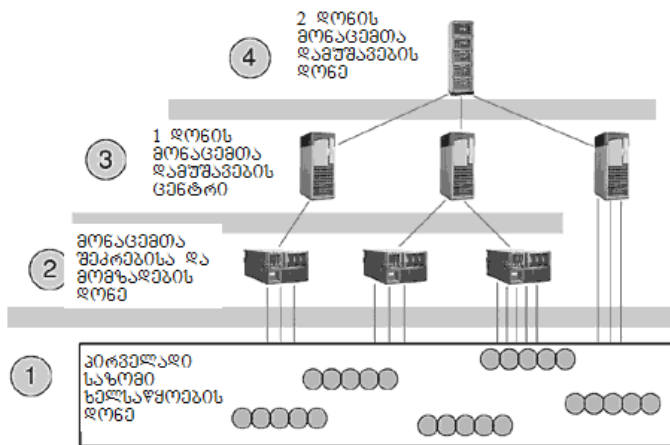
- შიგა საათების გარეშე ტარიფების მართვა.

ზემოთ აღნიშნული ЕВРОАЛБΦА ტიპის ანალოგიური ხელსაწყოები არ იძლევიან როგორც დამახინჯების სიმძლავრის, ასევე ელექტრომოხმარების მთელი რიგი სხვა მახასიათებლების გაზომვისა და უხარისხო ელექტროენერჯის შეფასების საშუალებას.

ენერგორესურსებით თანამედროვე ცივილიზებული ვაჭრობა დაფუძნებულია ავტომატიზებულ ენერგოაღრიცხვაზე, რომელსაც მინიმუმამდე დაჰყავს ადამიანის ჩარევა გაზომვის, მონაცემთა აღებისა და დამუშავების ეტაპზე და უზრუნველყოფს ნამდვილ, ზუსტ, ოპერატიულ და მოქნილ, სხვადასხვა სატარიფო სისტემასთან ადაპტირებულ აღრიცხვას, როგორც ელექტროენერჯის მიმწოდებლის, ასევე მომხმარებლის მხრიდან. ამ მიზნით როგორც მიმწოდებელი, ასევე მომხმარებელი თავიანთ ობიექტებზე ქმნიან ენერგორესურსების კონტროლისა და აღრიცხვის ავტომატიზებულ

სისტემებს – ეკაას, რომლის სტრუქტურაში ზოგად შემთხვევაში შეიძლება გამოვყოთ ოთხი დონე (ნახ.2);

- პირველი დონე – მოიცავს პირველად საზომ ხელსაწყოებს ტელემეტრული ან ციფრული გამოსასვლელებით, რომლებიც ახორციელებენ პარამეტრების (სიმძლავრის, მოხმარებული ენერჯისა და სხვათა) გაზომვას უწყვეტი ან მინიმალური ინტერვალებით აღრიცხვის წერტილებში (მაგ: ფიდერებზე).



ნახ.2. ეკაას-ის სტრუქტურა

- მეორე დონე – მონაცემთა შეკრებისა და მომზადების მოწყობილობები, სპეციალიზებული საზომი სისტემები ან მრავალფუნქციური პროგრამული გარდამქმნელები ენერგოაღრიცხვის ჩაშენებული პროგრამული უზრუნველყოფით, რომლებიც ახორციელებენ მოცემულ ციკლში დღე-ღამის განმავლობაში გაზომილი მონაცემების დაგროვებას, დამუშავებასა და ამ მონაცემების ზედა დონეზე გადაცემას.

- მესამე დონე – პერსონალური კომპიუტერი ან მონაცემთა შეკრებისა და დამუშავების ცენტრის სერვერი სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელიც ახორციელებს მეორე დონიდან ინფორმაციის მიღებას, ამ ინფორმაციის დამუშავებას როგორც აღრიცხვის წერტილების,

ასევე ჯგუფების (დაწესებულებების ობიექტების) მიხედვით, ახდენს აღრიცხვის მონაცემების დოკუმენტირებას, ასახვას ისეთი სახით, რომ მოსახერხებელი იყოს ანალიზისა და ოპერატიული პერსონალისათვის გადაწყვეტილების მისაღებად;

- მეოთხე დონე – მონაცემთა შეკრებისა და დამუშავების ცენტრის სერვერი სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის მიღებას პერსონალური კომპიუტერიდან ან ცენტრის სერვერთა ჯგუფიდან, ახდენს მათ დოკუმენტირებას და მონაცემთა ასახვას ისეთი სახით, რომ მოხერხებული იყოს ოპერატიული პერსონალისათვის ანალიზისა და გადაწყვეტილების მისაღებად, ხელშეკრულებათა გასაფორმებლად ელექტროენერჯის მიწოდებისა და საფასურის გადახდის დოკუმენტების გასაფორმებლად.

ეკაას- ის ყველა დონე ერთმანეთთან დაკავშირებულია კავშირის არხებით.

ყველა თანამედროვე საწარმოსათვის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაციისა და მართვის სისტემის შექმნა, რომელიც უწყვეტად გააკონტროლებს ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობას და მოახდენს მის მართვას.

ასეთ სისტემას წარმოადგენს დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA (Supervisory Control And Acquisition) - ეს არის პროგრამული პაკეტი, რომელიც გამოიყენება რეალურ დროში ობიექტის მონიტორინგის ან მართვისათვის ინფორმაციის შეკრების, დამუშავების, ასახვისა და არქივირების სისტემის დამუშავების ან მუშაობის უზრუნველყოფისათვის.

სისტემა SCADA ელექტროენერგეტიკის დარგში ძირითადად გამოიყენება შემდეგი საკითხების კონტროლისა და მართვის საქმეში:

- ელექტროენერჯის გადაცემისა და განაწილების მართვა;

- ელექტროენერჯის წარმოების მართვა;
- სამრეწველო საწარმოების ელექტრომომარაგების მართვა;
- ელექტროენერჯის პარამეტრების კონტროლი;
- სამრეწველო საწარმოებისა და დაწესებულებების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლი;
- ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი;

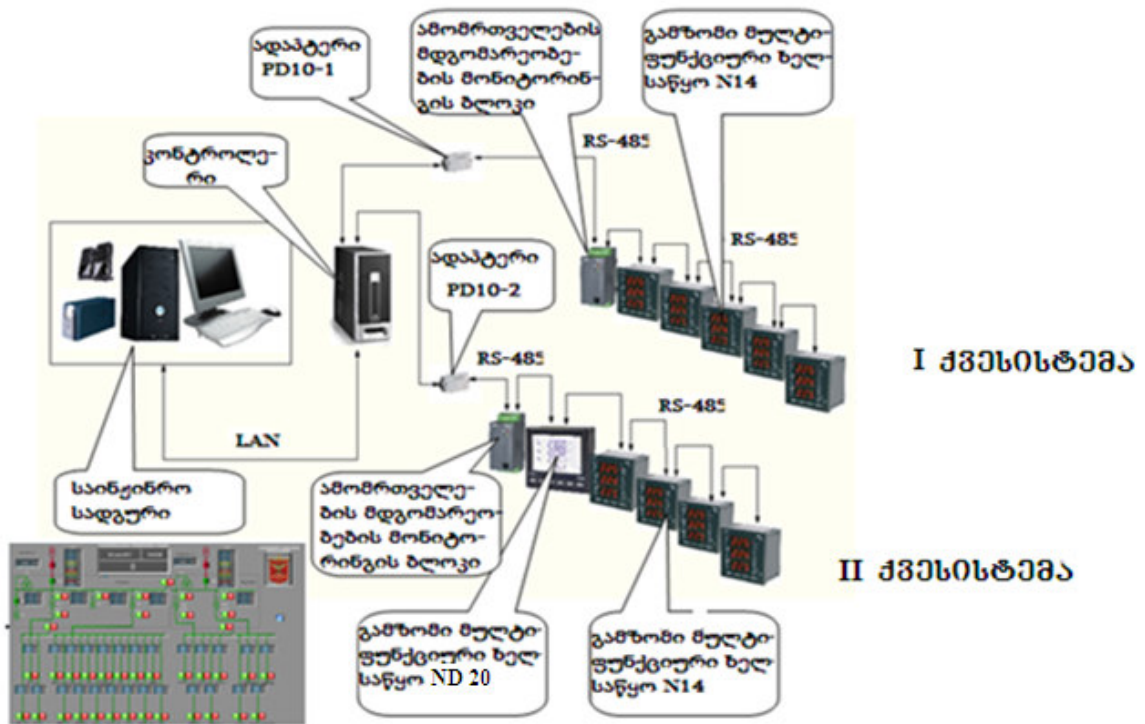
ნაშრომში მოყვანილია სისტემა SCADA-ს ძირითადი სტრუქტურული კომპონენტები: Remote Terminal Unit (RTU) – დაშორებული ტერმინალი, რომელიც ახორციელებს ამოცანების დამუშავებას (მართვას) დროის რეალურ რეჟიმში.; Master Terminal Unit (MTU) – მართვის დისპეტჩერული პუნქტი ანუ მთავარი ტერმინალი, რომელიც ახორციელებს მაღალი დონის მართვასა და მონაცემთა დამუშავებას „რბილი“ რეალური დროის რეჟიმში.

მთავარი ტერმინალის ერთერთი ძირითადი ფუნქციაა სამომხმარებლო ინტერფეისის შექმნა ადამიან-ოპერატორსა და სისტემას შორის; Communication System (CS) - კომუნიკაციური სისტემა (კავშირის არხი), რომელიც აუცილებელია დაშორებული ობიექტიდან მონაცემთა მიღებისათვის და მართვის სიგნალების გადაცემისათვის.

SCADA სისტემა უზრუნველყოფილია პროგრამული გარსით Trace Mode. იგი განკუთვნილია ენერგობიექტების, გამოყენებითი ინტელექტუალური სისტემების, ენერგოსააღრიცხვო სისტემების და სხვა საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციისათვის. ზემოთ ხსენებული პროგრამული პროდუქტის Trace Mode -ს ბაზაზე დამუშავებული ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემა SCADA, რომელიც დაყენებულია სტუ-ში, წარმოდგენილია ნახ.3 -ზე.

მონიტორინგის სისტემა უზრუნველყოფს ელექტროგომომარაგების ქსელის შემომავალ და გამავალ წერტილებში ელექტრული პარამეტრების გაზომვას, ეკრანზე ასახვასა და შენახვა რეალურ დროში (მონიტორინგი).

აგრეთვე ამომრთველების და გამთიშველების მდგომარეობის ფიქსირებასა და შენახვას რეალურ დროში.



ნახ.3. ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემის ფუნქციონირების პრინციპი

ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვა და მათი რიცხვითი მნიშვნელობების მიღება ხორციელდება მოწყობილობით N14.

გაზომვის სისტემაში მაღალი ძაბვის მხარეზე პარამეტრების გასაზომად გამოიყენება მოწყობილობა ND20. ეს მოწყობილობა ასევე განკუთვნილია სამფაზა ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვის, ასახვისა და ციფრული გადაცე-მისათვის. მას ახასიათებს შემდეგი უპირატესობები N14-თან შედარებით:

- მაღალი სიზუსტე;
- დენისა და ძაბვის ჰარმონიკების, THD გაზომვის შესაძლებლობა;

მოწყობილობა ND20 -ის საშუალებით შესაძლებელია ძალოვანი ელექტრული მოწყობილობების და სისტემების მუშაობის კონტროლი და ოპტიმიზაცია.

ადაპტერი PD10-ში ჩაშენებულია სიგნალების მიმღები (RXD) და გადამცემი (TXD). მათი მეშვეობით ხორციელდება მონაცემთა მიღება და გადაცემა RS-485 ინტერფეისის მეშვეობით.

კონტროლერს წარმოადგენს მცირე ზომის სისტემური ბლოკს. მასზე დაყენებულია Windows ოპერაციული სისტემის შემცირებული ვარიანტი. სისტემაში შემაჯავლი მოწყობილობები PD10 ადაპტერების მეშვეობით უკავშირდებიან კონტროლერის USB პორტებს.

საინჟინრო სადგური წარმოადგენს პერსონალური კომპიუტერის აუდიოსისტემისა და უწყვეტი კვების წყაროს (UPS) ერთობლიობას. პერსონალურ კომპიუტერზე დაყენებულია პროგრამული პაკეტი Trace Mode. საინჟინრო სადგურსა და კონტროლერს შორის კავშირი განხორციელებულია LAN ქსელის მეშვეობით.

**ნაშრომის III თავში** წარმოდგენილია დამახინჯების სიმძლავრეები, მათი გამომწვევი მიზეზები, ანალიზის მეთოდები და შემცირების საშუალებები. თანამედროვე არაწვივ დატვირთვებს თან ახლავს სამრეწველო საწარმოთა ელექტრომომარაგების სისტემებში ძაბვის მრუდის დამახინჯების მნიშვნელოვანი გამოვლენა, რამაც განაპირობა ახალი სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემის – მკვებავ ქსელში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებისა და დატვირთვის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემის წარმოშობა.

ჩვენს მიერ ნაშრომში ერთი კონკრეტული ობიექტის მაგალითზე განისაზღვრულია ქსელის სრულ სიმძლავრეში დამახინჯების სიმძლავრის წილი და მის მიერ გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები.

ცხრილი 1-ში წარმოდგენილია 2014 წლის ნოემბრის თვის ამონაწერი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამონტაჟებული

ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს საარქივო მონაცემებიდან. აღნიშნული მონაცემები ეკუთვნის სტუ-ს VI კორპუსის I A-B ბლოკს.

**ცხრილი 1. სტუ -ს VI კორპუსის I A-B ბლოკის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები.**

თარიღი	P, კვტ	Q, კვარ	S, კვა	cosφ
01/11/14	30.43211	2.993355	42.94205	0.71306
02/11/14	27.45639	1.000519	40.01787	0.704864
03/11/14	27.21107	0.134941	38.75309	0.703993
04/11/14	28.9558	1.266921	41.51695	0.709023
05/11/14	25.6644	0.537473	35.43726	0.718434
06/11/14	16.7375	-1.51512	21.30699	0.757426
07/11/14	35.4633	2.530544	50.75389	0.713845
08/11/14	35.91815	1.536088	50.367	0.715742
09/11/14	37.06407	0.075726	51.61204	0.715684
10/11/14	35.25131	1.733133	49.3452	0.710551
11/11/14	35.5542	1.094765	49.96261	0.710897
12/11/14	28.59388	-2.19468	39.14059	0.722445
13/11/14	19.46035	-1.61753	24.15795	0.768348
14/11/14	38.24366	0.48003	53.35181	0.718546
15/11/14	33.23365	0.593683	48.02574	0.694786
<b>16/11/14</b>	<b>36.95287</b>	<b>1.01373</b>	<b>54.13845</b>	<b>0.684359</b>
17/11/14	39.41456	1.070708	55.56178	0.693541
18/11/14	23.38832	-1.49889	30.68628	0.752514
21/11/14	35.74244	3.096582	52.09149	0.689273
22/11/14	29.42199	2.699941	42.60879	0.710777
23/11/14	14.15394	0.066823	17.96183	0.785441
24/11/14	28.25986	4.189	40.4961	0.711886
25/11/14	29.63691	3.136023	43.08619	0.693537
26/11/14	24.67369	1.106866	33.83128	0.730848
27/11/14	13.93873	0.702738	18.24004	0.771249
28/11/14	31.12277	4.8627	46.16076	0.711594
29/11/14	23.32433	2.144947	33.33028	0.733564

ქსელის სრულ სიმძლავრეში დამახინჯების სიმძლავრის წილისა და მის მიერ გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგების განსაზღვრისათვის მაგალითის სახით აღებული იქნა 2014 წლის 16 ნოემბრის მონაცემები: P = 36,95 კვტ; Q = 1,01 კვარ : S = 54,14 კვა; cosφ<sub>2</sub> = 0,68.



ამ მონაცემებიდან ნათლად ჩანს, რომ ქსელში გვაქვს დამახინჯების სიმძლავრე. რაც მტკიცდება იმით, რომ არ კმაყოფილდება სინუსოიდური დენის შესაბამისი სრული სიმძლავრის გამოსახულება:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{36,95^2 + 1,01^2} = 36,96 \neq 54,14 \text{ კვა}$$

დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = \sqrt{54,14^2 - 36,95^2 - 1,01^2} = 39,56 \text{ კვა}$$

დამახინჯების სიმძლავრე აღემატება დენის პირველი ჰარმონიკის სრულ სიმძლავრეს. მიუხედავად იმისა, რომ კორპუსში არის ინდუქციური და ტევადური ხასიათის რეაქტიული დატვირთვები და მათი ურთიერთკომპენსირების შედეგად რეაქტიული სიმძლავრე აქტიურ სიმძლავრესთან შედარებით მცირეა ( $Q = 1,01$  კვარ).

ამ რეაქტიული დატვირთვის შესაბამისი სიმძლავრის კოეფიციენტი აღნიშნულ ქსელში უნდა იყოს ძალიან მაღალი:

$$\text{Cos}\varphi_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{36,95}{36,96} \approx 1$$

მაგრამ დამახინჯების სიმძლავრის არსებობის გამო, სიმძლავრის

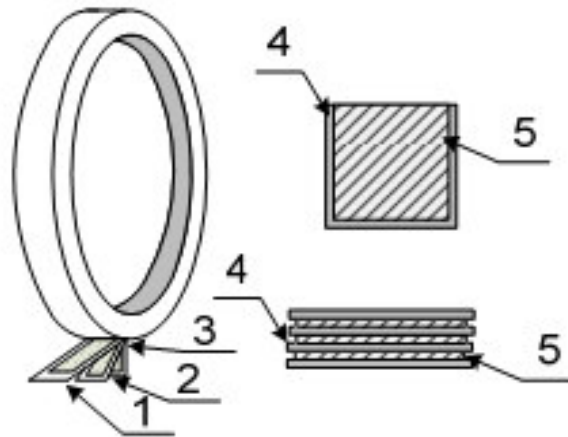
$$\text{კოეფიციენტი ძალიან დაბალია } \text{Cos}\varphi_2 = \frac{P}{S} = \frac{36,95}{54,14} = 0,68$$

ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს მონაცემების მიხედვით განვსაზღვრეთ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგების სიდიდე, რომელიც 3-ჯერ გაიზარდა.

ამავე თავში, ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე, მიღებულია ძაბვისა და დენის ფურიეს მწრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე, დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება, სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე, რაც საშუალებას იძლევა ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამებიდან ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების მიხედვით.

ასევე განხილულია დამახინჯების სიმძლავრეების გამომწვევი ერთერთი ყველაზე უფრო ენერგოტევადი არაწრფივი მომხმარებლები - წვეის ელექტრომომარაგების სისტემები და მათი სპეციფიკური თავისებურებები. წვეის ელექტრომომარაგების აღრიცხვის სისტემები, რომელთა უტყუარ მუშაობაზე დამოკიდებულია ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგების სიდიდე. ელექტროენერჯის დანაკარგების მინიმიზაციის მიზნით შემოთავაზებულია კომპენსირებული ტრანსფორმატორების, ე.წ. ტრანსფორმატორ - კონდენსატორის გამოყენება რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემებში.

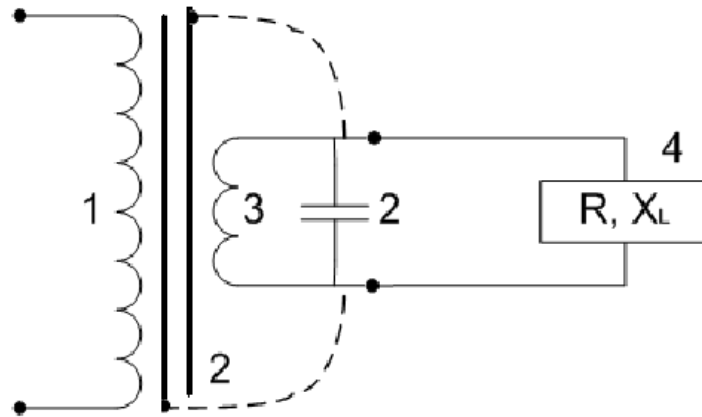
ტრანსფორმატორ - კონდენსატორი ეს არის დღემდე არსებული ტრანსფორმატორების არსებითი მოდერნიზაცია, რომელიც მდგომარეობს ტრანსფორმატორის მაგნიტური სისტემის ჩვეული კონსტრუქციის ცვლილებაში, სახელდობრ, საიზოლაციო მდგენელის დამატებაში. ასეთი ტრანსფორმატორის მაგნიტოგამტარის კონსტრუქცია მოცემულია ნახ.4 -ზე.



ნახ.4. კომპენსირებული ტრანსფორმატორის მაგნიტოგამტარის კონსტრუქცია.

1. კონდენსატორის პირველი შემომონაფენი; 2. კონდენსატორის მეორე შემომონაფენი; 3. კონდენსატორის მესამე შემომონაფენი; 4. მყარი დიელექტრიკის ფენა; 5. ელექტროტექნიკური ფოლადის ფირფიტა.

ნახ.5 -ზე წარმოდგენილია ტრანსფორმატორ - კონდენსატორის მოწყობილობის სქემა.



ნახ.5. ტრანსფორმატორ-კონდენსატორის მოწყობილობის სქემა: 1- მაღალი ძაბვის გრაგნილი; 2- მაგნიტოგამტარი-კონდენსატორი; 3-დაბალი ძაბვის გრაგნილი; 4-აქტიურ-ინდუქციური დატვირთვა.

გაანგარიშებებით დადგენილია, რომ ტრანსფორმატორ-კონდენსატორის ელექტრული ტევადობა მით მეტია, რაც უფრო თხელია ელექტროტექნიკური ფოლადის ფირფიტები.

**ნაშრომის IV თავი** ეძღვნება ელექტროენერჯის ხარისხის მიხედვით მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების განსაზღვრის მეთოდებს.

ელექტროენერჯის ხარისხში ფაქტიური წვლილის განსაზღვრისათვის ნახ.6-ზე წარმოდგენილია ელექტრომომარაგების სისტემის ჩანაცვლების სქემა, რომელიც შედგება ორი S1 და S2 ქვესისტემისაგან;

სადაც -  $I_{S1}$  და  $I_{S2}$  შესაბამისად S1 და S2 ქვესისტემების დენის n-ური ჰარმონიული მდგენელების დამახინჯების წყაროებია;

$Z_{S1}$  და  $Z_{S2}$  - ქვესისტემების შემავალი წინაღობებია განსახილველი დამახინჯების სახის მიმართ;

$I_T$  და  $U_T$  - კონტროლის წერტილში გაზომილი დამახინჯების დენი და ძაბვაა.

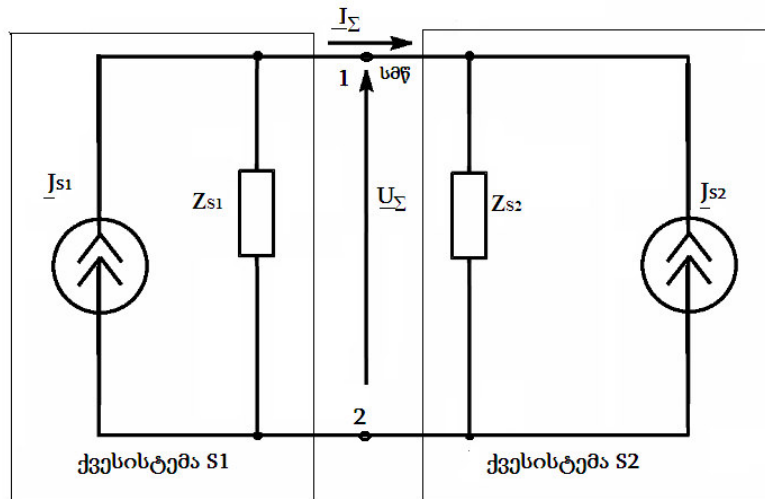
ასეთი ჩანაცვლების სქემა ყველაზე უფრო ობიექტურად ასახავს დამოკიდებულებას ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციასა და მომხმარებელს შორის.

ამ დროს S1 ქვესისტემის ფაქტიური წვლილით ძაბვის მიხედვით შეიძლება მივიღოთ ძაბვა პარალელურად შეერთებულ ორივე ქვესისტემის შემავალ წინაღობებზე, რომელიც შექმნილია S1 ქვესისტემის  $\underline{I}_{S1}$  დენის წყაროს მიერ:

$$\underline{U}_{S1} = \underline{I}_{S1} \frac{Z_{S1} Z_{S2}}{Z_{S1} + Z_{S2}}$$

ხოლო S2 ქვესისტემის წვლილი ძაბვის მიხედვით, შექმნილი  $\underline{I}_{S2}$  დენის წყაროს მიერ:

$$\underline{U}_{S2} = \underline{I}_{S2} \frac{Z_{S1} Z_{S2}}{Z_{S1} + Z_{S2}}$$



ნახ.6. ელექტრომომარაგების სისტემის ჩანაცვლების სქემა

რადგანაც დამახინჯების წყაროების სისტემაში განაწილებული დენების მნიშვნელობები უცნობია, შეუძლებელია მათი გაზომვა და დამოკიდებულია მათი მუშაობის რეჟიმებზე, ამიტომ ძაბვის მიხედვით წვლილი განისაზღვრება დამოკიდებულებებიდან.

$$\underline{U}_{S1} = \left( \frac{\underline{U}_X}{Z_{S1}} + \underline{I}_X \right) \frac{Z_{S1}Z_{S2}}{Z_{S1}+Z_{S2}} = (\underline{U}_X + Z_{S1}\underline{I}_X) \frac{Z_{S2}}{Z_{S1}+Z_{S2}}$$

$$\underline{U}_{S2} = \left( \frac{\underline{U}_X}{Z_{S2}} + \underline{I}_X \right) \frac{Z_{S1}Z_{S2}}{Z_{S1}+Z_{S2}} = (\underline{U}_X + Z_{S2}\underline{I}_X) \frac{Z_{S1}}{Z_{S1}+Z_{S2}}$$

სადაც  $\underline{U}_X$  და  $\underline{I}_X$  – დამახინჯების ძაბვა და დენია, რომელიც გაზომილია საერთო მიერთების წერტილში (სმწ) (მომჭერები „1“ და „2“ ნახ.6 -ზე).

წინააღმდეგობები  $Z_{S1}$  და  $Z_{S2}$  განისაზღვრებიან  $\Delta \underline{U}_{Xi}$  და  $\Delta \underline{I}_{Xi}$  ნაზრდების ფარდობიდან, რომლებიც გაზომილნი არიან  $\Delta t$  ბიჯით:  $Z = \frac{\Delta \underline{U}_{Xi}}{\Delta \underline{I}_{Xi}}$ .

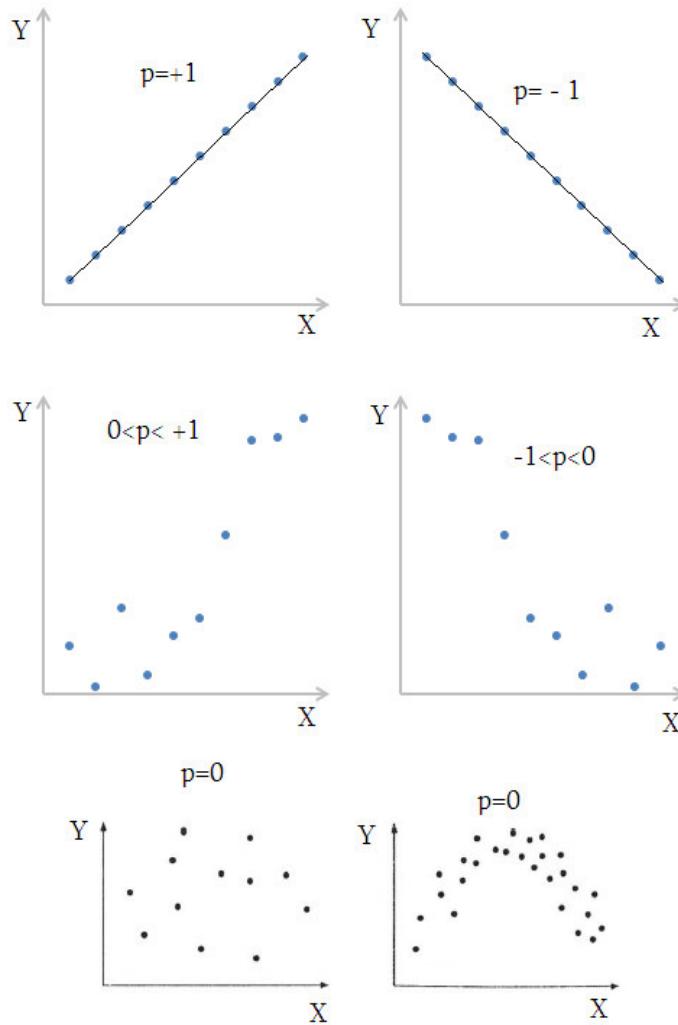
ამ დროს  $\underline{U}_X = \underline{U}_{S1} + \underline{U}_{S2}$ , ანუ საერთო მიერთების წერტილში კონტროლირებადი დამახინჯების ძაბვა ტოლია ორივე ქვესისტემის მიერ შექმნილი ძაბვების ცვლილების ჯამისა.

ნაშრომში ასევე მოცემულია დენისა და სიმძლავრის მიხედვით ფაქტიური წვლილის განსაზღვრის მეთოდი.

კონტროლის წერტილში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებელზე გაბატონებული გავლენა შეიძლება ჰქონდეს როგორც ერთ, ასევე მეორე ქვესისტემას. დომინირებული წვლილი დამახინჯების საკონტროლო ძაბვასა  $U(n)$  და ქვესისტემის მიერ მოხმარებულ დატვირთვის სიმძლავრეს შორის შეიძლება შეფასებული იქნეს კორელაციის  $p$  კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეებს შორის წრფივი სტატისტიკური კავშირის სიმჭიდროვის ხარისხის მაჩვენებელს.

კორელაციის კოეფიციენტი შეიძლება იცვლებოდეს დიაპაზონში  $-1 < P < 1$ :

როცა  $p \rightarrow 1$ , მაშინ გვაქვს პირდაპირი დამოკიდებულება მოხმარებლის დატვირთვის ცვლილებასა და დამახინჯების ძაბვას შორის. ანუ მოხმარებლის დატვირთვის გაზრდის დროს დამახინჯების ძაბვის დონე იზრდება;



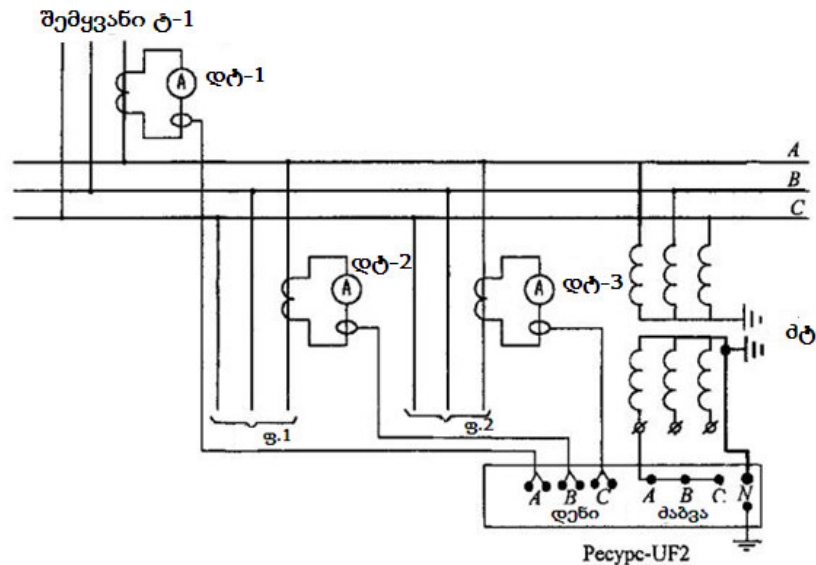
ნახ. 7. დიაგრამები კორელაციის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის

როცა  $p \rightarrow -1$ , მაშინ დატვირთვის გაზრდის დროს დამახინჯების ძაბვის დონე კონტროლის წერტილში მცირდება, ანუ დატვირთვა საკონტროლო წერტილში ელექტროენერგიის ხარისხზე ახდენს მაკომპენსირებელ გავლენას, აუმჯობესებს ელექტროენერგიის ხარისხს;

როცა  $p \rightarrow 0$ , მაშინ არ შეინიშნება დამოკიდებულება განსახილველ პარამეტრებს შორის, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს ან ასეთი დამოკიდებულების არ არსებობით, ან რომელიმე ერთი პარამეტრის უმნიშვნელო ცვლილებით.

ნახ.7 -ზე მოცემულია დიაგრამები კორელიაციის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. კორელიაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობებიდან გამომდინარე, შესაბამისად მოცემულია ფაქტიური წვლილის გაანგარიშების სამი ვარიანტი.

ნაშრომის ამავე თავში წარმოდგენილია წარმოდგენილია ქვესადგურის სალტების სექციისა და მიერთებული ობიექტების პრინციპული სქემა, სადაც ფიდ.1 და ფიდ.2 -თან მიერთებულია შესაბამისად მეტროპოლიტენისა და რკინიგზის დეპოს ქვესადგურები, რომელთა დატვირთვას აქვს არაწრფივი ხასიათი; ხოლო გაზომვის საშუალებად გამოყენებულია ხელსაწყო „Pecypc- UF 2“ (ნახ. 8).



ნახ.9. ხელსაწყო « Pecypc - U F 2 »-ს ჩართვის სქემა. დტ-დენის ტრანსფორმატორი; მტ-ძაბვის ტრანსფორმატორი

გაზომვების ჩატარების მიზანს წარმოადგენს საერთო მიერთების წერტილში არასინუსოიდურობის დონეში თითოეული ობიექტის დამამახინჯებელი ელექტრომიმღებების ფაქტიური წვლილის განსაზღვრა.

გაზომვის შედეგების მაგალითები წარმოდგენილია ცხრილი 2 და ცხრილი 3 -ში. განისაზღვრა თითოეული ჰარმონიული მდგენელის მიხედვით მიერთებული ობიექტების ფაქტიური წვლილი.

ამავე თავში მოცემულია ის ალგორითმი, რომლითაც საზომმა საშუალებებმა უნდა უზრუნველყონ გაზომვის შედეგების დამუშავება.

**ცხრილი 2. გაზომვის შედეგების მაგალითი**

ჰარმონიკის რიგი, n	$K_{U(n)}, \%$	შემყვანი ტ-1		ფიდერი 1		ფიდერი 2	
		$K_{I(n)}, \%$	$\varphi_{U(n)}$	$K_{I(n)}, \%$	$\varphi_{U(n)}$	$K_{I(n)}, \%$	$\varphi_{U(n)}$
1	100	100	166,0°	100	-6,9°	100	-16,9°
3	1,37	1,04	224,7°	1,05	52,7°	1,13	31,9°
5	3,06	13,48	-76,5°	18,85	-6,2°	17,22	109,5°
7	1,69	7,55	-71,9°	10,41	20,7°	8,87	111,5°
9	0,14	0,4	191,0°	0,84	-43,0°	0,74	77,6°
11	1,86	3,19	-84,4°	6,75	201,7°	4,53	104,1°
13	0,76	1,38	-64,4°	4,43	167,2°	2,43	84,5°

**ცხრილი 3. ძაბვისა და დენის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის საანგარიშო მნიშვნელობები**

ჰარმონიკის რიგი, n	$U_{(n)ტ-1}, \text{კვ}$	$I_{(n)ტ-1}, \text{ა}$	$I_{(n)ფ.1}, \text{ა}$	$I_{(n)ფ.2}, \text{ა}$
1	5934,4	422,7	71,1	364,1
3	81,2	4,4	0,75	4,1
5	181,7	57,0	13,4	62,7
7	100,2	31,9	7,4	32,3
9	8,3	1,7	0,6	2,7
11	110,6	13,5	4,8	16,5
13	45,3	5,85	3,15	8,85

ელექტროენერჯის ხარისხის მიხედვით მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების განსაზღვრისათვის საჭიროა განისაზღვროს დამნაშავე ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯებაში და მისი ფაქტიური წვლილი ელექტროენერჯის ხარისხის ცვლილებაში.

ფაქტიური წვლილის განსაზღვრის მეთოდი საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნეს ჯამური დაბრკოლებების ფაქტიური ეფექტი და



შეფასდეს ერთ წერტილში გაზომვის შედეგების მიხედვით როგორც მომხმარებლის, ასევე ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის მიერ ელექტროენერჯის ხარისხის ცვლილებაში შეტანილი წვლილი.

მოცემული მეთოდი გამოყენებული იქნება ასევე ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯებაში დამნაშავის განსაზღვრისათვის.

დამუშავებული მეთოდიკა წარმოადგენს როგორც მომხმარებლის, ასევე ელექტროენერჯის მიწოდებლის სტიმულირების ტექნიკო-ეკონომიურ მექანიზმს ელექტროენერჯის ხარისხის შენარჩუნების ნაწილში.

მექანიზმის ეკონომიური ნაწილი შემდეგში მდგომარეობს: თუ დამახინჯება შეაქვს მომხმარებელს, მაშინ იგი იძულებული გახდება ელექტროენერჯის საფასური გადაიხადოს უფრო მაღალი ტარიფით, ხოლო თუ მომხმარებელზე მიწოდებული ელექტროენერჯია ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის გამო არ შეესაბამება ნორმატიულ დოკუმენტებს, მაშინ მომხმარებელი იხდის ნაკლები ტარიფით. მოცემულია კორექტირების გათვალისწინებით მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების განმსაზღვრელი ფორმულა:

$$C_{\text{მელ}} = T_{\text{საწყ.}} \times K_{\text{შ.კ}} \times K_{\text{მერ}}$$

სადაც:  $C_{\text{მელ}}$  - მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულება, ლარი;

$T_{\text{საწყ.}}$  - ელექტროენერჯის საწყისი ტარიფია, ლარი/კვტ.სთ;

$K_{\text{შ.კ}}$  - შესწორების კოეფიციენტი;

$K_{\text{მერ}}$  - მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, კვტ.სთ.

თუ ელექტროენერჯის ხარისხში დამახინჯება ერთდროულად შეაქვს როგორც მომხმარებელს, ასევე ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციას,

მაშინ:

$$C_{\text{მელ}} = T_{\text{საწყ.}} \times \frac{K_{\text{შ.კ}} + K_{\text{შ.შ.}}}{2} \times K_{\text{მერ}}$$

სადაც:  $K_{\text{შ.შ.}}$  - ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის შესწორების კოეფიციენტი;  $K_{\text{შ.შ.}}$  - მომხმარებლის შესწორების კოეფიციენტი;

ელექტროენერჯის ხარისხზე დამოკიდებული მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების კორექტირების შემოთავაზებული მეთოდის გვაძლევს როგორც მომხმარებლის, ისე ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის სტიმულირების ეკონომიური მექანიზმის რეალიზაციის საშუალებას, რათა მათ მიერ ელექტროენერჯის ხარისხი შენარჩუნებული იქნეს ნორმატიული დოკუმენტების დონეზე.

### დასკვნა.

1. ლიტერატურული წყაროების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯების საქმეში დამნაშავენი შეიძლება იყოს, როგორც ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაცია, ასევე მომხმარებელი. ელექტროენერჯის ხარისხის ეფექტური შენარჩუნებისათვის საჭიროა კომპლექსური ტექნიკურ - ეკონომიური გადაწყვეტილებები, რომლებიც ეხება როგორც მომხმარებელს, ასევე ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციას.

2. შესწავლილია ელექტროენერჯის ხარისხის თითოეული მაჩვენებლის ნორმატიული მნიშვნელობიდან გადახრის გავლენა ელექტროდანადგარებისა და ელექტრომოწყობილობების მუშაობის რეჟიმებზე.

3. ЕВРОАЛБΦА ტიპის ანალოგიური ხელსაწყოები არ იძლევიან როგორც დამახინჯების სიმძლავრის, ასევე ელექტრომოხმარების მთელი რიგი სხვა მახასიათებლების გაზომვისა და უხარისხო ელექტროენერჯის შეფასების საშუალებას. ამიტომ როგორც მიმწოდებელი, ასევე მომხმარებელი თავიანთ ობიექტებზე ქმნიან ენერგორესურსების კონტროლისა და აღრიცხვის ავტომატიზებულ სისტემებს – ეკაას.

4. ყველა თანამედროვე საწარმოსათვის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაციისა და მართვის სისტემის შექმნა,

რომელიც უწყვეტად გააკონტროლებს ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობას და მოახდენს მის მართვას.

ასეთ სისტემას წარმოადგენს დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA.

5. ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით დადასტურებული იქნა ელექტრულ ქსელებში დამახინჯების სიმძლავრის არსებობა. განსაზღვრული იქნა ამ დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები მკვებავ ელექტრულ ქსელში.

6. ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე, ძაბვისა და დენის მრუდების ფურცელს მწკრივად დაშლის შედეგად მიღებული იქნა დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება, სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე, რაც საშუალებას იძლევა ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამებიდან.

7. დადგენილია, რომ ეკაას -ის დანერგვა წევის ელექტრომომარაგების სისტემაში გარდა ელექტროენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოთ მიღებული ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვავლინოთ ელექტროენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

8. დადგენილია, რომ დღეისათვის ელექტრომომრავ შემადგენლობაში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის მიზნით ყველაზე უფრო რაციონალურია სტატიკური კონდენსატორების ბატარეის დაყენება ელექტრომომრავი შემადგენლობის ბორტზე, როგორც რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის ინდივიდუალური საშუალება.

9. შემოთავაზებულია ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებაში დენისა და ძაბვის მიხედვით ფაქტიური წვლილის განსაზღვრის ხერხები და მეთოდები.

10. კონტროლის წერტილში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის დამახინჯებაში დომინირებული წვლილის განსაზღვრისათვის შემოტანილია კორელიაციის კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეებს შორის წრფივი სტატისტიკური კავშირის სიმჭიდროვის ხარისხის მაჩვენებელს.

11. დამუშავებული და დასაბუთებულია ელექტროენერჯის ხარისხის ერთი ან რამდენიმე მაჩვენებლის ნორმატიული მნიშვნელობიდან გადახრის დამოკიდებულების მიხედვით ელექტროენერჯის ღირებულების შესწორების კოეფიციენტების მნიშვნელობები.

12. დამუშავებულია ალგორითმები და ტექნიკური საშუალებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ვაწარმოთ ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგი და მისგან გამომდინარე შევასრულოთ ხარისხზე დამოკიდებული ელექტროენერჯის ღირებულების ოპერატიული კორექტირება. მოცემული ტექნიკური საშუალებების გამოყენება საშუალებას იძლევა კომპლექსურად ავამაღლოთ მომხმარებლისა და ენერგომმარაგებელი ორგანიზაციის ელექტრომომარაგების სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობა.

## Resume

Contemporary manufacturing and mode of life requires power supply of high quality. The main criteria of electric energy is compliance of its parameters in common points of connection to qualitative indices of electricity defined by the standards. In this case electric energy represents goods that are to be certified and delivered to its final users.

The quality of electric energy is of the factors directly influencing energy efficiency. In the same time contemporary electro equipment and automation systems are sensitive to deviation from normalized value of each indicators of quality of electricity.

The possible causes of failure of quality distortion of electric energy can be as electricity suppliers as well as the electricity consumers. In order to maintain the effective quality of electric energy complex technical-economic judgments are needed regarding electricity consumers and suppliers.

The current established standard ГOCT 13109-97 that is responsible for the maintenance of established norms of electric energy quality doesn't enable to adequately measure the electric energy quality performances because in most cases it is regulated by such characteristics of electric consumption as it is the quality of supply voltage.

Consumption of low quality (low grade) electricity caused additional losses that are connected to negative and zero sequence electric energy and also to compensation of negative actions of premium harmonics. All these lead to reduction in reliability, continuity and safety of supply of electric energy; It causes electric equipment to operate in emergency and pre-emergency regimes that finally effects electro energetic national safety.

The problem will not be thoroughly solved without taking into consideration the legal aspects of the issue. The current agreements about energy supply between the supplier and consumer doesn't envisage the responsibilities of the parties in deterioration of electro quality performance measures. It is very hard to inquire the relevant probative data that would enable to prove that the consumption of low quality electricity caused malfunction of electric equipment or extra depreciation of the equipment. So the actual question in this given case is to define the loss caused from the consumption of low-grade electricity. To avoid the undesirable outcomes of the given situation it is necessary to draft low-quality electrical energy overflow flow calculation methods, to develop it and to create a relative legislative base that will strengthen sanctions towards the breaker of electric energy quality indices.

There are no technical methods and means for control of electricity quality performance measures resulting from adjustment of cost of low quality consumed

electricity. So to upgrade the functioning of electricity supply system is very actual problem.

The Chapter I of the work describes the outcomes of literature survey. Namely there are discussed all of eleven performance indicators of electricity quality defined by standards: established deviation of voltage ( $\delta U_{\text{ср.д.}}$ ); alteration distance of voltage ( $\delta U_t$ ); flicker dose ( $P_f$ ); distortion coefficient of sinusoidal voltage curve ( $K_U$ ); coefficient of n-th order harmonic component of voltage [ $K_{U(n)}$ ]; coefficient of asymmetry of negative sequence voltage ( $K_{2U}$ ); coefficient of asymmetry of zero sequence voltage ( $K_{0U}$ ); deviation of frequency ( $\Delta f$ ); duration of voltage failure ( $\Delta t_f$ ); impulsive voltage ( $U_{\text{одн}}$ ); coefficient of short term overvoltage ( $K_{\text{ср.ср.}}U$ ). There are also discussed in details the impact of each of these indicators on the operation of energy consumer.

The Chapter II refers to electro energy quality performance analysis and microprocessor meters. This chapter reviews modern  $\text{ЕВРО-АЛБ}\Phi\text{А А1600}$  type meters and their functional opportunities. The special attention is paid to energy resources controls and automate records systems including auto analyzers of ND1 type of electrical grid parameters and supervisory control and data acquisition systems SCADA.

The Chapter III contains the results of theoretical and experimental researches. More precisely it comprises power distortions, their causing factors, analysis methods and their reduction means. There is discussed one specific case of energy loss in transformers and transmission lines caused by power distortions as an example. The chapter discussed mode of definition of power distortion with method of decomposition by Fourier series of voltage and current curves. High attention is paid to impacts of outer factors on losses of electricity in electric traction net because electric traction nets are the main source of deterioration of electricity quality performance. The chapter also gives recommendations about setting up compensated transformers and their use in railway electro supply systems. It also covers methods and means of raise of quality of electricity.

The Chapter IV discusses a very interesting issue: method of definition of cost of used electricity. It reviews the methods of valuation of actual shares of electricity suppliers and consumers in deterioration of quality of electricity, algorithm of processing outcomes of valuation and adjustments of costs of consumed electricity where consumption valuation is related to electricity quality issues. There are processed and proved estimation methods of adjustment coefficients of electricity value resulting from deviation in one or more standardized indices of quality of electricity.

## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. თ. მუსელიანი, ი. ქათამაძე, მ. ბახტაძე. არაწრფივი დატვირთვის გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხზე. მე-2 საერთაშორისო კონფერენცია „ენერჯეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი. 2013 წელი. გვ.24-28.

2. Кохреидзе Г.К., Муселиани Т.Г., Бахтадзе М.Г., Рехвиашвили З.З. математическое и компьютерное моделирование электромагнитных переходных процессов в ветроэнергетической установке. Сборник трудов Кременчукского национального университета. Проблемы Энергоресурсозбережения в электротехнических системах. Наука, освіта і практика. Випуск 1.2014 (2) - С.70-73.

3. თ. მუსელიანი, მ. ბახტაძე, ი. ქათამაძე, გ. მუსელიანი. დამახინჯების სიმძლავრე და სიმძლავრის დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში. ჟ. „ენერჯია“ №2 (70) 2014 წ. გვ. 28-32

4. თ. მუსელიანი, ი. ქათამაძე, მ. ბახტაძე. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრა ძაბვისა და დენის მრუდების ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე. ჟ. „საქართველოს საინჟინრო სიახლეები“, № 4, 2014 წ. გვ. 19-24.

5. მ. ბახტაძე. კომპენსირებული ტრანსფორმატორების გამოყენება რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემებში. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“. №28, 2015 წ. გვ.136–141.