

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით იარალაშვილი

ელექტროენერჯის ხარისხის გამოკვლევა 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2012. წელი

დანართი 2.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკისა და ელექტრომექანიკის  
დეპარტამენტის ელექტროტექნიკისა და ელექტრომოწყობილობების  
დიაგნოსტიკის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტები: -----  
-----

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

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს  
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

**სამუშაოს აქტუალობა.** ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების პრობლემა წარმოადგენს ელექტრომოწობილობის ელექტრომაგ-ნიტური თავსებადობის ნაწილს. მისი მნიშვნელობა ძლიერ გაიზარდა უკანასკნელი 20-25 წლის განმავლობაში ახალი ტექნოლოგიების მძაფრ განვითარებას-თან ერთად, რომელმაც ერთის მხრივ მიგვიყვანა ისეთი ელექტრომიმღებების მიერ ელექტროენერჯის გაზრდილ მოხმარებასთან, რომელთაც შეაქვთ დამახინჯებანი ელექტრულ წრედში (გარდამქმნელი დანადგარები, რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები, და სხვა), ხოლო მეორეს მხრივ - ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ელექტრონული ავტომატიზირებული სისტემების ფართო გავრცელებასთან, რომლებიც მგრძობიარენი არიან ძაბვისა და დენის ფორმის დამახინჯებების მიმართ. უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში ელექტ-რომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის, საკითხებს. ელექტრომომარაგების ეკონომიური დანახარჯების შემცირება დაკავშირებულია ელექტროენერჯის ხარისხისა და ელექტრომო-წობილობის საიმედოობის ამაღლებასთან. თანამედროვე წარმოება-დაწესებუ-ლებები, ადმინისტრაციული და საცხოვრებელი შენობები აღჭურვილია საზღვარ-გარეთიდან შემოტანილი უახლესი ტექნოლოგიური და საყოფაცხოვრებო დანადგარებით.

ასეთ დანადგარებს მიწოდებული ელექტროენერჯის მიმართ გააჩნიათ გარკვეული სახის მოთხოვნები. ერთერთი მათგანია სტანდარტის შესაბამისი ელექტროენერჯის ხარისხი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი ელექტ-როენერჯის მონიტორინგის სისტემა „SCADA” საფუძველზე ჩატარებული ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც თვალნათლივ გვიჩვენებენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების სტანდარტთან შეუსაბამობას.

სტანდარტის მიხედვით 0,4 კვ ძაბვის ქსელებისათვის არსებობს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის

ნორმირებული ნორმალური და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომლებიც შეადგენენ შესაბამისად 8 % და 12 % -ს.

0,4 კვ ძაბვის ქსელებისათვის ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი სახელმწიფო სტანდარტით ნორმირებულია თითოეული ჰარმონიკისათვის (ნორმები დადგენილია მე-40 ჰარმონიკამდე).

უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა 0,4 კვ ძაბვის ქსელების დატვირთვის კვანძებში იწვევს ძაბვების დასაშვებზე მეტ მკვეთრ რყევას; ტექნოლოგიური მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლას; ქსელების დატვირთვას; მოაქვს მნიშვნელოვანი მატერიალური ზარალი და ამცირებს ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ტექნიკო-ეკონომიურ მაჩვენებლებს; გარდა ამისა ისინი ახდენენ ნეგატიურ გავლენას ელექტროენერჯის მრიცხველების მუშაობაზე, ზრდიან მათი გაზომვის ცდომილებას.

აღნიშნული პრობლემის შესწავლისადმი მიძღვნილია უამრავი ნაშრომი

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის დანაკარგები შეადგენენ ქსელში გაშვებული ელექტროენერჯის 9-10%. მართალია შემცირდა ელექტროენერჯის მოხმარება, მაგრამ გაიზარდა ჯამური დანაკარგები და შეადგენს ქსელში გაშვებული ელექტროენერჯის 8-13 % -ს. სპეციალისტების შეფასებით ელექტროენერჯის დანაკარგების ზრდის მიზეზია მოძველებული ელექტროდანადგარები და ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების ზრდა. ი.ჟელეზკოს გამოკვლევების მიხედვით სასარგებლოდ იხარჯება ენერგორესურსების პოტენციალური ენერჯის 30 % .

სახელდობრ, სოფლის მეურნეობაში, ელექტროენერჯის მოხმარება მნიშვნელოვნად შემცირდა აგროსამრეწველო წარმოების შემცირების გამო, ხოლო კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო კომპლექსის მიერ მოხმარებული ენერჯია გაიზარდა.

ელექტრომომარაგების სფეროში ტექნიკური საშუალებების ეფექტური ანალიზისათვის, დამუშავებისა და დანერგვისათვის საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს ელექტროენერჯის დანაკარგების ყველა მდგენელი და მათი აღქმის მიზეზები.

უკანასკნელ ხანებში ელექტრული რეჟიმების მაჩვენებლების გაზომვის თანამედროვე მრავალფუნქციური საშუალებებისა და კომპიუტერული ტექნიკის გამოჩენისა და გავრცელების ხარჯზე შესაძლებელია ისეთი დამატებითი ფაქტორების დრმა ანალიზი და აღრიცხვა, რომელთა შეფასება ადრე ძნელი იყო.

დამატებით და მცირედ გამოკვლეული ფაქტორებს მიეკუთვნება ელექტროენერჯის დაბალი ხარისხი და სახელდობრ, დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობა.

ელექტრომომარაგებაში პირველ რიგში ეს დაკავშირებულია დატვირთვის არაწრფივი მახასიათებლის მქონე ელექტრომიმღებების სიმძლავრისა და რაოდენობის ზრდასთან.

ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების საკითხებთან ერთად, უკანასკნელ ხანებში მეცნიერებისა და სპეციალისტების მუშაობა მიმართულია ყველა კლასის ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის გაუმჯობესებისაკენ.

ამ მიმართულებით ძირითადი კვლევები ჩატარებულია ელექტრული ქსელის კვანძებში ელექტროენერჯის ხარისხზე სხვადასხვა ელექტრომიმღებების გავლენის შეფასებისათვის. განხილულ სამუშაოებში ელექტროენერჯის ხარისხის შემცირების დროს გამოკვლეულია ელექტრული ქსელის ელემენტებისა და სხვადასხვა სახის დატვირთვების რეჟიმები და შედგენილია მათი მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან პროექტირების სტადიაზე განსაზღვრული სიზუსტით შევაფასოთ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები, ასევე შევიშალოთ ელექტროენერჯის ხარისხის გაუმჯობესების ღონისძიებანი.

გამოკვლევების თანახმად ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებისაგან გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების დონე შეადგენს სინუსოიდური ძაბვის დროს არსებული მთელი დანაკარგების 9 %-ს. ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებით გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების შესახებ სპეციალისტთა აზრი სხვადასხვაა, მაგრამ მათი უმრავლესობა აღნიშნავს, რომ ამ დანაკარგების მნიშვნელობა არსებითია და მათი უგულვებელყოფა არ შეიძლება.

**სამუშაოს მიზანს** წარმოადგენს 0,4 კვ ძაბვის ელექტრომომარაგების ქსელებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის გამოკვლევა.

**საკვლევ ობიექტად** შერჩეული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, რადგან იგი არის დაბალი ძაბვის ელექტროენერჯის ერთერთი მსხვილი მომხმარებელი (დაახლოებით 5 მლნ კვტ.სთ წელიწადში) და ამავე დროს გააჩნია დიდი დატვირთვის როგორც წრფივი, ასევე არაწრფივი მომხმარებლები.

**კვლევის მეთოდები.** სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა შემდეგი მეთოდები: ელექტრული წრედების თეორია; ჰარმონიკების ანალიზი ფურიეს მწკრივის მიხედვით; მათემატიკური მოდელირების მეთოდი; თანამედროვე საზომი საშუალებების გამოყენებით მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ექსპერიმენტული გაზომვები.

**სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს** წარმოადგენს:

- თანამედროვე არაწრფივი ელექტრომომხმარებლების, კერძოდ კომპიუტერული ტექნიკის დატვირთვის გავლენის გამოკვლევა ელექტროენერჯის ხარისხზე;
- სისტემა „SCADA“-ს გამოყენებით სტუ-ს მკვებავ შემომავალ ფიდერზე ძაბვისა და დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების პროცენტული შემცველობისა და დამახინჯების კოეფიციენტის განსაზღვრა;
- ძაბვისა და დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული დამახინჯების ხარისხის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების განსაზღვრა;
- დამახინჯების სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრა;

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა.** სადისერტაციო სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს სისტემა „SCADA“-ს გამოყენებაში, რომელიც საშუალებას იძლევა ელექტრული ქსელების არასინუსოიდურ რეჟიმებში მუშაობისას დიდი სიზუსტით განისაზღვროს

არა მარტო მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, არამედ დამახინჯების სიმძლავრეც და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგებიც.

**სამუშაოს აპრობაცია.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა საერთაშორისო კონფერენციაზე „ გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება” 2010 წ.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისა და ლიტერატურის სიისაგან. დისერტაცია წარმოდგენილია 133 გვერდზე, შეიცავს 14 ცხრილს, 31 ნახაზს და 33 დასახელების ლიტერატურულ წყაროს.

### **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 პირველი თავი** ეძღვნება ლიტერატურულ მიმოხილვას.

ელექტროენერჯია ამჟამად წარმოადგენს ერთერთ მნიშვნელოვან რესურსს, რომელიც გამოიყენება ადამიანის მიერ მისი მოქმედების სხვადასხვა სფეროში. ამავე დროს აბსოლუტურად უმრავლეს შემთხვევაში მისი შეცვლა რაიმე სხვა წყაროს გამოყენებით შეუძლებელია. ელექტროენერჯეტიკაში საბაზრო ურთიერთობების განვითარებასთან დაკავშირებით ელექტროენერჯია შეიძლება განვიხილოთ არამარტო როგორც ფიზიკური მოვლენა, არამედ როგორც საქონელი, რომელიც იწარმოება, შეისყიდება და იყიდება. წარმოების ავტომატიზაციის ხარისხის მუდმივ ზრდასა და ახალი მანქანებისა და მექანიზმების დანერგვასთან ერთად მწვავედ დგება მოწყობილობის კვებისა და ძაბვის ხარისხის მიმართ მგრძობიარობის პრობლემა. ელექტროენერჯის დაბალი ძაბვის პრობლემამ შეიძლება გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი ზარალი,

რომელიც დაკავშირებულია ტექნოლოგიური მოწყობილობის მუშაობაში მტყუნებებთან და შეფერხებებთან, რის გამოც მცირდება გამოშვებული პროდუქციის რაოდენობა და ამასთანავე ხდება მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლა. ამიტომ ისევე როგორც როგორც ნებისმიერ საქონელს ელექტროენერგიის ხარისხსაც წაყენება განსაკუთრებული მოთხოვნები და აქედან გამომდინარე არსებობს ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები.

ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროენერგია კი წარმოადგენს საქონელს, მაგრამ ეს არის სრულიად სხვა სახის საქონელი, რომლის თვისებები შეიძლება შეიცვალოს დროის მიხედვით. ელექტროენერგიის ხარისხის მიმართ მომხმარებლის პრეტენზიის შემთხვევაში ეს ელექტროენერგია არ შეგვიძლია მომხმარებელს შევუცვალოთ სხვა ანალოგიურ უკეთესი ხარისხის ელექტროენერგიით.

ელექტროენერგიის შემდეგი თავისებურებაა ის, რომ მისი ხარისხი შეიძლება დამოკიდებული იყოს არა მარტო ელექტროენერგიის მიმწოდებელზე, არამედ თვით მომხმარებელზე. მაგალითად, ელექტროენერგიის მიმწოდებელს შეუძლია მომხმარებლის მიერთების ადგილზე დაიჭიროს ელექტროენერგიის ხარისხის ისეთი მაჩვენებლები, როგორცაა ელექტრული დენის სისწორე და ძაბვა, მაგრამ ფაზა და დენის ძალა განისაზღვრება მომხმარებლით.

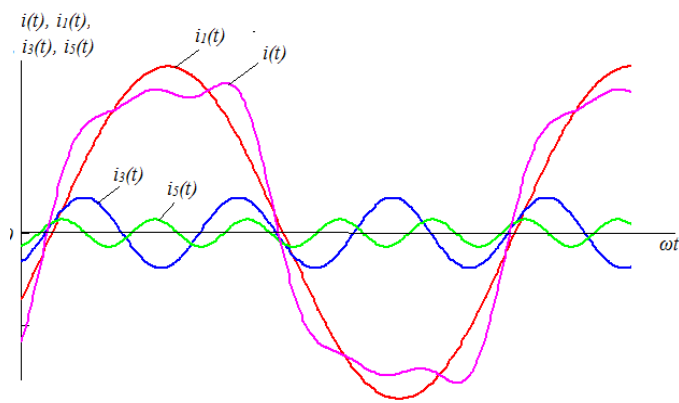
მე-20-ე საუკუნის 80-იან წლებამდე ელექტროენერგიის ძირითად მომხმარებლებს წარმოადგენდნენ წრფივი დატვირთვის მქონე მომხმარებლები, როგორცაა: ელექტრული ძრავები, ვარვარების ნათურები, ელექტროგამათ-ბობლები და სხვა. უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში უკანასკნელ ხანებში ძლიერ გაიზარდა არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე მომხმარებლების (კომპიუტერები, კლიმატ-კონტროლები, UPS-ები, გამმართველები და სხვა) რიცხვი და სიმძლავრე, რომლებიც მოითხოვენ დენს, რომლის ფორმა განსხვავდება სინუსოიდურისაგან. ასეთი ფორმის დენის გავლა ელექტრული წრედის ელემენტებში ქმნის მათზე ძაბვის ვარდნას. ძაბვის ფორმაც ასევე



განსხვავდება სინუსოიდურისაგან არასინუსოიდური დენი არის ძაბვის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების მიზეზი.

არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმდებები აბინძურებენ ელექტრულ ქსელებს უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით, რომლებიც შემდეგ უარყოფითად მოქმედებენ ელექტროენერგიის ხარისხზე, აღრიცხვის წრედებში ჩართული დენის ტრანსფორმატორების მუშაობის სიზუსტეზე და იწვევენ ელექტროენერგიის დამატებით დანაკარგებს.

დენის ან ძაბვის დამახინჯებული მრუდი შეიძლება დაშლილი იქნეს ფურიეს მკრივად. დამახინჯებული მრუდის წარმოდგენა ფურიეს მწკრივად გულისხმობს ამ მრუდის დაშლას მუდმივ მდგენელად, ძირითად სინუსოიდად (50 ჰც), რომელსაც პირველი რიგის ჰარმონიკა ეწოდება და ამ სიხშირის ჯერადი განსაზღვრული რაოდენობის სინუსოიდებად, რომელთა სიხშირე ძირითადი ჰარმონიკის სიხშირისაგან მთელ რიცხვჯერ განსხვავდება. მათ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები ეწოდებათ (ნახ.1). დენისა და ძაბვის არსებული ფორმის მისაღებად, საჭიროა ამ სინუსოიდების შეკრება. შესაბამისად ამ სინუსოიდების ამპლიტუდის, ფაზისა და სიხშირის ცვლილებით იცვლება დენისა და ძაბვის მრუდის ფორმა, როგორც ამ ჰარმონიკების სინთეზის შედეგი.



ნახ.1

დენის უმაღლესი ჰარმონიკების ყველაზე უფრო გავრცელებულ წყაროებს წარმოადგენენ: სტატიკური გარდამქმნელები; ინდუქციური და რკალური ღუმელები; ლუმინესცენციური ნათურები; კომპიუტერული ტექნიკის ქსელები; ტრანსფორმატორები და რეაქტორები და სხვა.

უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული ეფექტები იყოფა მყისიერი და ხანგრძლივი აღძვრის ეფექტებად. მყისიერი აღძვრის პრობლემებს მიეკუთვნებიან: მკვებავი ძაბვის ფორმის დამახინჯება; ძაბვის ვარდნა გამანაწილებელ ქსელებში; სამფაზა წრედებში სამის ჯერადი ჰარმონიკების ეფექტი; რეზონანსული მოვლენები უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების სისშირეებში; დაბრკოლებები ტელეკომუნიკაციისა და მართვის ქსელებში; ელექტრომაგნიტურ მოწყობილობებში მომატებული აკუსტიკური ხმაური;

ელექტროდანადგარების მფლობელები, რომლებსაც გააჩნიათ ნახევარგამტარული მოწყობილობები და კომპიუტერული ქსელები, უკანასკნელ ხანებში უფრო და უფრო ხშირად ეჯახებიან ახალ უსერიოზულეს პრობლემას. საქმე იმაშია, რომ იმ წარმოება-დაწესებულებებისა და შენობების ელექტრომომარაგების 0,4 კვ ძაბვის ელექტრომომარაგების ქსელები „დაბინძურებულია“ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები.

როგორც ყველა სხვა დამახინჯების ფორმა, ჰარმონიკები ზემოქმედებენ ყველა სახის ელექტრომოწყობილობებზე, რომლებიც იმყოფებიან ჰარმონიკების გენერაციის ადგილიდან საკმაოდ დიდი დაშორებითაც კი.

თავმოყრილ და განაწილებულპარამეტრებიან ელექტრულ წრედებში უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობის დროს აღიძვრება რეზონანსული მოვლენების გამოვლენის საშიშროება. არასინუსოიდური დენის წრედებში რეზონანსული მოვლენები შესაძლებელია სხვადასხვა ჰარმონიული მდგენელებისათვის.

სამფაზა წრედებში დენის სამის ჯერად ჰარმონიკებს, რომლებიც გენერირებულია ერთფაზა დატვირთვებით და განსაზღვრავენ ამპლიტუდის კოეფიციენტის მაღალ მნიშვნელობას, აქვთ სპეციფიკური მაჯამებელი ზემოქმედების უნარი და იმის გათვალისწინებით, რომ სამის ჯერადი ჰარმონიკების წილი დიდია ფაზური დენების მოქმედ მნიშვნელობაში, შეიძლება ნეიტრალში გამავალი დენის სიდიდემ რამდენიმეჯერ გადააჭარბოს ფაზური დენის მნიშვნელობას.

სამფაზა ქსელის ფაზებს შორის ძაბვებში არ არსებობენ სამის ჯერადი ჰარმონიკები, რის გამოც დამოკიდებულება ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის 1,73 –ზე ნაკლებია.

**ნაშრომის მეორე თავში** განხილულია ელექტროენერჯის ხარისხი და მისი მაჩვენებლების გაგენა ელექტრომომხმარებლებზე.

ელექტროენერჯის ხარისხი ეს არის ელექტროენერჯის პარამეტრების შესაბამისობის ხარისხი მათ დადგენილ მნიშვნელობასთან. თავის მხრივ ელექტრული ენერჯის პარამეტრიც არის სიდიდე, რომელიც ახასიათებს ელექტრული ენერჯის რაიმე თვისებას. ელექტრული ენერჯის პარამეტრების ქვეშ გაგებულია ძაბვა, სისშირე, დენი, ელექტრული დენის ფორმა და სხვა. ელექტროენერჯის ხარისხი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგენელს, რომელიც ახასიათებს ელექტრომაგნიტურ გარემოს. ელექტროენერჯის ხარისხი შეიძლება იცვლებოდეს დღეღამის, ამინდის, კლიმატური პირობების, ენერჯოსისტემის დატვირთვის, ქსელში ავარიული რეჟიმების აღძვრისა და სხვათა მიხედვით.

ელექტროენერჯის ხარისხის შემცირებამ შეიძლება მიგვიყვანოს ელექტრომიმღებების მუშაობის რეჟიმების შესამჩნევ ცვლილებამდე და შედეგად სამუშაო მექანიზმების მწარმოებლობის შემცირებამდე, პროდუქციის ხარისხის გაუარესებამდე, ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირებამდე და ავარიების ალბათობის გაზრდამდე.

იმ წერტილებისათვის, რომელთანაც მიერთებულია ელექტრული ქსელები ან მომხმარებლის ელექტროდანადგარები 50 კვ სისშირის ერთფაზა და სამფაზა საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტრული ქსელები, ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები და ნორმები დადგენილია სტანდარტით. არსებობს ელექტროენერჯის ხარისხის 11 მაჩვენებელი:

- ძაბვის დამყარებული გადახრა ( $\delta U_{\text{დამყ}}$ );
- ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U$ );
- ფლიკერის დოზა ( $P_f$ )

- ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი ( $K_U$ );
- ძაბვის  $n$ -ური ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი [ $K_{U(n)}$ ]
- უკუთანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{2U}$ )
- ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{0U}$ );
- სიხშირის გადახრა ( $\Delta f$ );
- ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობა ( $\Delta t_f$ );
- იმპულსური ძაბვა ( $U_{imp}$ )
- დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი ( $K_{დრ. U}$ ).

სიხშირის მაჩვენებელი ერთიანია ყველა ელექტრულად დაკავშირებული ქსელისათვის. დანარჩენი მაჩვენებლები ლოკალურია და დამოკიდებულია გაზომვის ადგილზე.

დადგენილია ელექტროენერგიის ხარისხის ორი სახე: ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები. ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების შესაბამისობის შეფასება მოცემული ნორმების მიხედვით წარმოებს 24 საათის ტოლ საანგარიშო პერიოდში.

ძაბვის გადახრა ხასიათდება ძაბვის დამყარებული გადახრით ( $\delta U_{დამყ.}$ ) რომლისთვისაც დადგენილია შემდეგი ნორმები:

- ელექტროენერგიის მიმღებების მომჭერებზე ძაბვის დამყარებული გადახრის ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები. ეს ნორმები შესაბამისად ტოლია  $\pm 5\%$  და  $\pm 10\%$ ;
- 0,38 კვ და ზევით ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტრული ენერგიის მომხმარებლების საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის დამყარებული გადახრის ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები დადგენილი უნდა იქნეს ელექტრომომმარაგებელ ორგანიზაციისა და მომხმარებელს შორის ელექტროენერგიის გამოყენებაზე დადებული ხელშეკრულებებით, რომლებშიც გათვალისწინებული უნდა იყოს

ელექტრული ენერჯის მიმღებების გამოყენებზე სტანდარტით დადგენილი ნორმების შესრულების საჭიროება.

ძაბვის გადახრა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ასინრონული ძრავას მუშაობაზე, რომელიც წარმოებაში ყველაზე უფრო გავრცელებული ელექტროენერჯის მიმღებია

დასაშვებია ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობიდან შემდეგი გადახრები: საწარმოო და საზოგადოებრივ შენობებში მუშა განათების ხელსაწყოების მომჭერებზე - - 2,5 –დან + 5 %-მდე; ელექტრული ძრავებისა და აპარატების მომჭერებზე მათი გაშვებისა და მართვისათვის - -5 –დან +10 %-მდე; ყველა დანარჩენი ელექტრომიმღებებისათვის - ± 5 %; სასოფლო რაიონების ელექტრული ქსელებისათვის, ასევე მეცხოველეობის ფერმებისა და მეფრინველეობის ფაბრიკებისათვის და ელექტროფიცირებული ტრანსპორტის წვეის ქვესადგურების სალტებიდან მკვებავი ქსელებისათვის ± 5 %.

ძაბვის რხევა წარმოადგენს ძაბვის უდიდესი და უმცირესი მოქმედი მნიშვნელობების ( ძაბვის ცვლილების პროცესში არანაკლებ 1 % წამში სიჩქარით) სხვაობის ფარდობას ნომინალურ მნიშვნელობასთან გამოსახულს პროცენტებში:

$$\Delta U = (U_{\max} - U_{\min}) \times 100\% / U_{\text{ნომ}}$$

ძაბვის რხევა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U_t$ );
- ფლიკერის დოზა ( $P_t$ ).

ძაბვის რხევა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U_t$ );
- ფლიკერის დოზა ( $P_t$ ).

ძაბვის რხევები გავლენას ახდენენ ელექტროძრავების გაშვების, ტექნოლოგიური დანადგარების შედუღების აგრეგატების, რკალური ღუმელების, გამმართველი დანადგარების მუშაობის რეჟიმებზე. ძაბვების რხევის შემცირების მიზნით დიდი კვეთის გამტარების გამოყენებით ამცირებენ მკვებავი ქსელის წინაღობას, ასევე გამოიყენებენ კონდენსატორებს, ელექტროენერჯის მიმღებებს უახლოებენ კვების წყაროებს და სხვა.

**ფლიკერის დოზა.** ფლიკერი არის ადამიანის მიერ ხელოვნური სინათლის წყაროების მკვებავ ელექტრულ ქსელში ძაბვის რხევით გამოწვეული სინათლის ნაკადის ცვლილების სუბიექტური აღქმა.

ადამიანის თვალზე ყველაზე ძლიერ ზემოქმედებას ახდენს 3-10 ჰც სიხშირის ციმციმი, ამიტომ ძაბვის დასაშვები რხევები ამ დიაპაზონში მინიმალურია – 0,5 %-ზე ნაკლები.

ძაბვის მრუდის ფორმის არასინუსოიდურობა ხასიათდება უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელებით (13-ის ჩათვლით) და დაიშვება შემდეგ საზღვრებში: ნებისმიერი ელექტრომიმღების მომჭერებზე ყველა უმაღლესი ჰარმონიკის მოქმედი მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს ძაბვის ძირითადი ჰარმონიკის 5 %-ს.

უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელები არასასურველ გავლენას ახდენენ ელექტრული ქსელებისა და ელექტროენერჯის მიმღებების, კავშირგაბმულობისა და ავტომატიკის საშუალებების, საზომი ხელსაწყოების, გამომთვლელი მანქანებისა და სხვა ელექტრონული მოწყობილობების მუშაობაზე. უმაღლესი ჰარმონიკების წყაროებს წარმოადგენენ მომხმარებლებთან დაყენებული გამმართველი დანადგარები, მუდმივი დენის ელექტროგადამცემები, ძალური ტრანსფორმატორები, რკალური ელექტროღუმელები, შედუღების აგრეგატები. უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების შემცირება მიიღწევა ელექტრომომარაგების სქემის რაციონალური გამოყენებითა (ნაჩვენებ დატვირთვებს გამოყოფენ და მიუახლოებენ კვების მძლავრ წყაროებს) და

სპეციალური ფილტრების გამოყენებით (ფილტრებს ააწვობენ განსაზღვრულ ჰარმონიკებზე და მათგან შეზღუდავენ ქსელს).

ძაბვის არასინუსოიდურობა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტით;
- ძაბვის  $n$  – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტით.

დადგენილია მოყვანილი მაჩვენებლების ნორმები.

სხვადასხვა ნომინალური  $U_{\text{ნომ}}$  ძაბვის ელექტრული ქსელების საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში მოყვანილია ცხრილში 1.

**ცხრილი 1. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები.**

	ნორმალური				ზღვრული			
	0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
ნომინალური ძაბვა, $U_{\text{ნომ}}$ კვ	0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
დასაშვები მნიშვნელობები, %	8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

სხვადასხვა ნომინალური  $U_{\text{ნომ}}$  ძაბვის ელექტრული ქსელების საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის  $n$  – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში მოყვანილია ცხრილში 2.

**ცხრილი 2. ძაბვის  $n$  – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის**

**ნორმალურად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში.**

ჰარმონიკის რიგის ნომერი, $n$	5	7	11	13	17	19	23	25	>25	
3-ის არაჯერადი კენტი ჰარმონი- კები	ნომინალური ძაბვა, კვ									
	0,38	6,0	5,0	3,5	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	0,2+1,3 X25/n
	6-20	4,0	3,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,2+0,8 X25/n
	35	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2+0,6 X25/n

	110-300	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2+0,2 X25/n	
ჰარმონიკის რიგის ნომერი, n		3	9	15	21	>21	3 და 9 ჰარმონიკების მონაცემები ეკუთვნის ერთფაზა ელექტრულ ქსელებს. სამფაზა ქსელებისათვის მათი მონაცემები ორჯერ უნდა იქნეს შემცირებული.				
3-ის ჯერადი	ნომინალური დაბვა, კვ										
კენტი	0,38	5,0	1,5	0,3	0,2	0,2					
ჰარმონიკები	6-20	3,0	1,0	0,3	0,2	0,2					
	35	3,0	1,0	0,3	0,2	0,2					
	110-330	1,4	0,4	0,2	0,2	0,2					
ჰარმონიკის რიგის ნომერი, n		2	4	6	8	10	12	>12			
ლუწი ჰარმონიკები	ნომინალური დაბვა, კვ										
	0,38	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2			
	6-20	1,5	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2			
	35	1,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2			
	110-330	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			

დაბვის არასიმეტრიულობის გავლენა. სამფაზა სისტემის არასიმეტრი-ულობა შეიძლება აღიძრას არა მხოლოდ ავარიულ სიტუაციებში (ხაზის გაწყვეტისას, ერთი ფაზის გამორთვისას), არამედ ნორმალურ რეჟიმებშიც (ერთეულოვანი ერთფაზა მძლავრი დატვირთვების დროს – ელექტრული ღუმელები, ელექტრული ტრანსპორტი, მასიური ერთფაზა ელექტრომიმღებების ფაზების მიხედვით არათანაბარი განაწილების დროს).

არასიმეტრიული დატვირთვის დროს უარესდება ელექტრომიმღებებისა და ქსელის ყველა ელემენტის მუშაობის პირობები, მცირდება მოწყობილობის ეკონომიურობა და მუშაობის ხანგრძლივობა, ქსელის გამტარუნარიანობა. იზრდება ელექტროენერჯის დანაკარგები.



არასიმეტრიული რეჟიმი ხასიათდება უკუთანმიმდევრობის დაბით. ნებისმიერი სიმეტრიული ელექტრომიმდების მომჭერებზე უკუთანმიმდევრობის დაბვამ არ უნდა გადააჭარბოს ნომინალური დაბვის 2 %-ს.

დაბვების არასიმეტრიულობა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- უკუთანმიმდევრობის დაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი;
- ნულოვანი თანმიმდევრობის დაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი.

სტანდარტით დადგენილია ამ მაჩვენებლების ნორმები.

ელექტრულ ქსელებთან საერთო მიერთების წერტილებში უკუთანმიმდევრობის დაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია 2,0 და 4,0 %-ს.

0,38 კვ დაბვის ოთხგამტარიან ელექტრულ ქსელებთან საერთო მიერთების წერტილებში ნულოვანი თანმიმდევრობის დაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია 2,0 და 4,0 %-ს.

არასიმეტრიული დენები იწვევენ არასიმეტრიულ დაბვის ვარდნებს. რის შედეგადაც ელექტრომიმდების მომჭერებზე ჩნდება დაბვების არასიმეტრიული სისტემა, რის გამოც არსებითად უარესდება როგორც ამ ელექტრომომ-ხმარებლის, ასევე ამ ქსელში ჩართული ყველა ელემენტის მუშაობის პირობები, მცირდება ელექტრომოწყობილობისა და მთლიანად ელექტრომომარაგების სისტემის მუშაობის საიმედობა.

სიხშირის გადახრა არის მის ფაქტიურ და ნომინალურ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა, გასაშუალებული 10 წთ განმავლობაში. ნორმალურ რეჟიმში სიხშირის გადახრა უნდა იყოს  $\pm 0,1$  კვ. დასაშვებია დროებითი მუშაობა  $\pm 0,2$  კვ გადახრით.

ელექტრულ ქსელებში სიხშირის გადახრის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები არის შესაბამისად  $\pm 0,2$  და  $\pm 0,4$  კვ.

სისშირის გადახრა უარყოფით გავლენას ახდენს ელექტრონული ტექნიკის მუშაობაზე:

სტანდარტის მოთხოვნის შესაბამისად ნორმალური სისშირის შენარჩუნება არის ტექნიკური და არა მეცნიერული ამოცანა. ამ ამოცანის გადაწყვეტის ძირითადი გზაა ახალი სიმძლავრეების ამოქმედება და ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის ქსელებში სარეზერვო სიმძლავრის შექმნა.

**ძაბვის ჩავარდნა.** ძაბვის ჩავარდნა არის ელექტრული ქსელის წერტილში ძაბვის უეცარი შემცირება  $0,9U_{\text{ნომ}}$  ქვემოთ, რომლის შემდეგაც ხდება ძაბვის აღდგენა პირველსაწყის ან მასთან მიახლოებულ დონეზე 10 მწმ-დან რამდენიმე ათეულ წამამდე დროის შუალედში.

ძაბვის ჩავარდნა ხასიათდება ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობის მაჩვენებლით, რომლისთვისაც დადგენილია შემდეგი ნორმა:

- 20 კვ-მდე ჩათვლით ელექტრული ქსელებისათვის ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობაა 30 წმ. ნებისმიერ ელექტრულ ქსელთან მიერთების წერტილში ძაბვის ჩავარდნის ავტომატურად გამოსწორების ხანგრძლივობა განისაზღვრება რელეური დაცვისა და ავტომატიკის დროის დაყოვნებით.

**ძაბვის იმპულსი.** ძაბვის იმპულსი არის ელექტრული ქსელის წერტილში ძაბვის მკვეთრი ცვლილება, რომლის შემდეგაც ხდება ძაბვის აღდგენა პირველსაწყის ან მასთან ახლოს დონემდე რამდენიმე მწმ დროის შუალედში.

**დროებითი გადაძაბვები.** დროებითი გადაძაბვები არის ელექტრული ქსელის წერტილში ძაბვის აწევა  $1,1 U_{\text{ნომ}}$  –ზე მეტად 10 მწმ –ზე მეტი ხანგრძლივობით, რომელიც აღიძვრება ელექტრომომარაგების სისტემებში კომუტაციისა და მოკლედ შერთვის დროს.

**ნაშრომის მესამე თავი ეხება ელექტროენერჯის ფაქტიურ და ტექნიკურ დანაკარგებს. პირველ რიგში ჩატარებულია ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის ანალიზი.**

მოქმედ ნორმატიულ დოკუმენტებში ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრისათვის გამოიყენება ფაქტიური (საანგარიშო) დანაკარგების ცნება.

ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგები ( $\Delta W_{ფ}$ ) განისაზღვრება ტრანსფორმატორის საღტეებიდან გაცემული ელექტროენერჯისა ( $W_0$ ) და მომხმარებლის მიერ გადახდილი და ენერგოსისტემის საწარმოო საჭიროებისათვის დახარჯული ელექტროენერჯის ჯამის ( $W_{აომხ.} + W_{ს.მ}$ ), სხვაობით:

$$\Delta W_{ფ} = W_0 - (W_{აომხ.} + W_{ს.მ}),$$

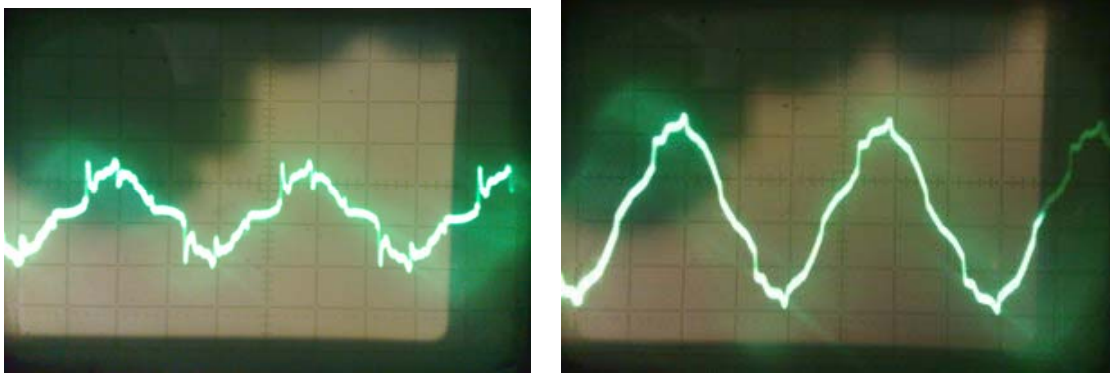
ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ  $\Delta W_{ფ}$  სიდიდე თავის თავში შეიცავს არა მარტო ტექნიკურ დანაკარგებს ( $\Delta W_{ტ}$ ), არამედ ელექტროენერჯის დანაკარგებსაც, რომლებიც განპირობებულია აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებითა ( $\Delta W_{ხელს.}$ ) და კომერციული დანაკარგებით ( $\Delta W_{კ}$ ).

ეს დანაკარგები თავის თავში შეიცავენ სხვადასხვა ბუნების მდგენელებს: 1. დანაკარგები ქსელის ელემენტებში, რომლებსაც გააჩნიათ სუფთა ფიზიკური ხასიათი; 2. ელექტროენერჯის ხარჯი ქვესადგურებში დადგმული იმ მოწყობილობების მუშაობაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ელექტროენერჯის გადაცემას; 3. ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებით გამოწვეული დანაკარგები; 4. ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების მიერ აღრიცხული დახარჯული ელექტროენერჯის საფასურის გადაუხდელობით ან ნაწილობრივი გადახდით გამოწვეული დანაკარგები. დანაკარგების პირველი სამი მდგენელი წარმოადგენს ტექნიკურ დანაკარგს, ხოლო მეოთხე - კომერციულ დანაკარგს.

ამავე თავში წარმოდგენილია ელექტროენერჯის გადაცემის პროცესის ძირითადი მახასიათებლები. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის საკითხები და კომპიუტერული დატვირთვის დენისა და ძაბვის მრუდის ფორმაზე გავლენის გამოკვლევის შედეგები.

არაწრფივი დატვირთვის ელექტროენერგიის ხარისხზე გაგენის დასადგენად საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კომპიუტერულ ცენტრში გადაღებული იქნა ფაზურ და ნულოვან გამტარებში გამავალი დენებისა და ქსელის ძაბვის ოსცილოგრამები ფაზების სიმეტრიული დატვირთვის დროს, რომლებიც წარმოდგენილია შესაბამისად ნახ.2.ა და ნახ.2.ბ-ზე.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ოთხსადენიან სამფაზა წრედებში სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში ნულოვან გამტარში გამავალი დენი ნულის ტოლია, ჩვენს შემთხვევაში კი როგორც ნახ.2.ბ- დან ჩანს ბევრად განსხვავებულია ნულისაგან და აღემატება კიდევ ფაზურ სადწენში გამავალ დენს (ნახ.2.ა).



ა)

ბ)

ნახ.2.

სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში შესწავლილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მომხმარებელთა სტრუქტურა. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს ჰყავს სამი ტიპის მომხმარებელი: საკუთარი მომხმარებელი, სტუ-ს კომერციული ქვებონენტები და სს „თელასი“-ს აბონენტები.

განსაზღვრული იქნა წლიურად საერთო მოხმარებულ ელექტროენერგიაში თითოეული კატეგორიის მომხმარებლის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის პროცენტული წილი, საიდანაც დადგინდა, რომ საკუთარი მომხმარებლების მიერ საერთო მოხმარებულ ენერგიაში არაწრფივი დატვირთვა 50 % - ზე მეტია.

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დანერგილი სისტემა SCADA-ს გამოყენებით ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგები.

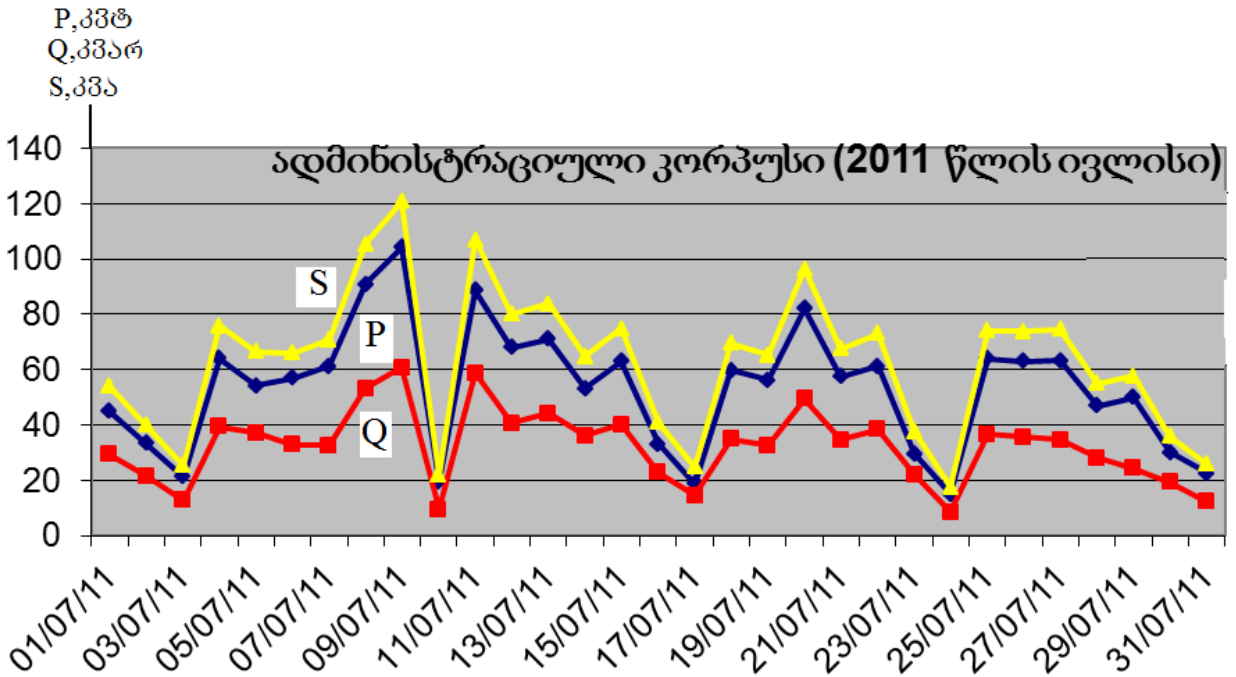
SCADA -ს სისტემა, ავტომატურ და უწყვეტ რეჟიმში აკონტროლებს არა მხოლოდ დახარჯული ელექტროენერჯის რაოდენობას, არამედ აკონტროლებს, კომპიუტერის ეკრანზე გამოაქვს და მონაცემთა ბაზაში აგროვებს ელექტროენერჯის კიდევ თერთმეტი პარამეტრის: ხაზური და ფაზური ძაბვების, დენების, აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების, სიხშირის, სიმძლავრის კოეფიციენტის, ძაბვისა და დენის ჰარმონიკებისა და არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობებს. როგორც დაბალი ისე მაღალი ძაბვის მხარეს, რის საფუძველზეც შესაძლებელია განისაზღვროს დანაკარგების სიდიდეები. აღნიშნული მონიტორინგის სისტემის გამოყენება შესაძლებელია არა მარტო სტუ-ს ელექტრომომარაგების მონიტორინგისათვის, არამედ ინფორმატიკის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტების სტუდენტების, მაგისტრანტების, დოქტორანტებისა და პროფესორ - მასწავლებლების მიერ სასწავლო და სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოების შესრულებისას.

კვლევების ჩასატარებლად არჩეული იქნა სამი ტიპის მომხმარებელი: ერთი სასწავლო კორპუსი – VIII სასწავლო კორპუსის ძალური ტრანსფორმატორის გამოსასვლელი; მეორე – საკუთარი დაბალი ძაბვის მომხმარებელი – ადმინისტრაციული კორპუსი; დიდი სიმძლავრის კომერციული მომხმარებელი – თელასის აბონენტი, კვების ობიექტი „თაღლაურა“.

თითოეული ტიპის მომხმარებლისათვის ანალიზის ჩატარების მიზნით საარქივო მონაცემების მიხედვით აგებული იქნა სიხშირის, სიმძლავრის კოეფიციენტის, აქტიური რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების ცვლილების გრაფიკები, როგორც სამუშაო ისე არასამუშაო დღეებისათვის.

მაგალითის სახით ნახ.3-ზე წარმოდგენილია ადმინისტრაციული კორპუსის მიერ მოხმარებული აქტიური, რეაქტიული და სრული

სიმძლავრის თეორი ცვლილების გრაფიკები, საიდანაც ჩანს, რომ ადმინისტრაციულ კორპუსში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან სიდიდით დიდად არ განსხვავდებიან. ეს კი განპირობებს სიმძლავრის დაბალ კოეფიციენტს, რომლის საშუალო მნიშვნელობა 0,75 ტოლია.



ნახ.3

კომპიუტერული ტექნიკით დატვირთვის დროს დადგენილი იქნა, რომ გარდა აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეებისა გამტარებში გაედინება დამატებითი სიმძლავრეები, რომელიც გამოწვეულია დამახინჯების სიმძლავრით. დამატებითი სიმძლავრე წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის ნაწილს, რომელიც ახასიათებს სხვადასხვა სიხშირის ძაბვისა და დენის ურთიერთმოქმედებით განპირობებულ პროცესებს.

ჩვენს წინაშე დაისვა საკითხი. როგორ დამოკიდებულებაშია ერთმანეთთან ქსელში გამავალი დენი და დამახინჯების სიმძლავრე?

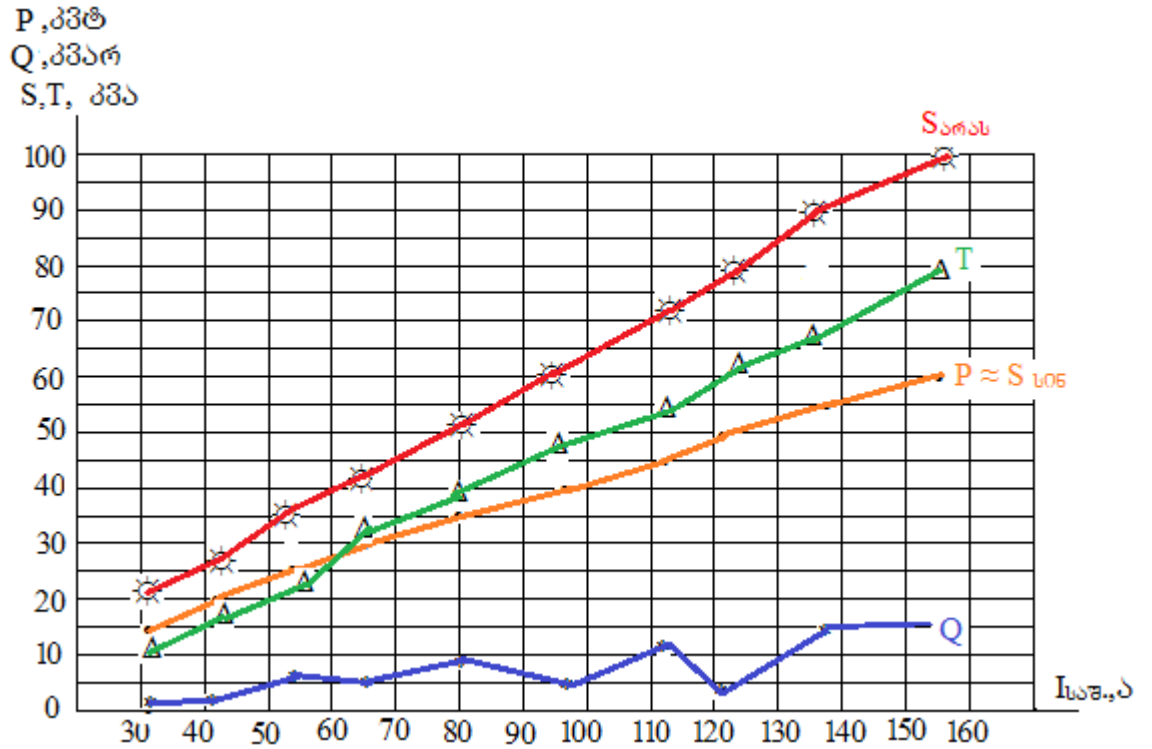
ქსელში გამავალი დენისა და დამახინჯების სიმძლავრეს შორის დამოკიდებულების დადგენის მიზნით მონიტორინგის სისტემის საარქივო მასალებიდან მოვახდინეთ დამახინჯების სიმძლავრის გაანგარიშება

როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში. გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილი 1 -ში.

**ცხრილი 1**

N <sup>o</sup>	U <sub>საშ.ვ</sub>	I <sub>საშ.ა</sub>	P,კტ	Q,ვარ	S <sub>არასინ.ვა</sub>	S <sub>სინ.ვა</sub>	T,ვა	Cosφ <sub>არასინ Scada</sub>	Cosφ <sub>სინ. გაანგარ.</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>დადებითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში</b>									
1	371	155	60000	16600	99870	62254	78090	0,60	0,963
2	371	136,6	55000	14380	87830	56849	66950	0,63	0,967
3	373	121	50000	3000	79100	50090	61200	0,63	0,99
4	369	111,8	45000	12300	71480	46651	54160	0,64	0,964
5	370	96,6	40000	4220	62070	40222	47300	0,65	0,994
6	377	79,8	35000	8730	52100	36072	37600	0,65	0,97
7	370	66	30000	4960	43200	30407	30700	0,64	0,987
8	372	54,3	25000	6000	34920	25710	23600	0,65	0,97
9	375	41,7	20000	1500	26950	20056	18000	0,72	0,997
10	370	30,6	15000	1110	19590	15041	12500	0,67	0,997
საშ	372	89,3	37500	72800	57740	38335,2	43010	0,65	0,977
<b>უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში</b>									
1	372	111,3	45000	-460	71980	45002	56000	0,62	0,99
2	371	96,0	40400	-300	62110	40401	47000	0,64	0,99
3	368	80,7	35400	-466	51670	35403	37600	0,67	0,99
4	370	67,2	32200	-2464	43000	32294	30500	0,69	0,99
5	373	56,1	25200	-6076	35460	25922	25600	0,688	0,97
6	373	45,1	20380	-5820	29600	21195	20600	0,71	0,96
7	379	31,4	15100	-1760	20690	15202	14000	0,74	0,99
სულ	372	69,7	30526	-2478	44930	30774	33043	0,68	0,983

ამ ცხრილის მონაცემებით აგებულია აქტიური, რეაქტიული, სრული და დამახინჯების სიმძლავრის დენის საშუალო მნიშვნელობაზე დამოკიდებულების გრაფიკები დადებითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში, შესაბამისად:  $P = f(I_{საშ})$ ;  $Q = f(I_{საშ})$ ;  $S_{არას.} = f(I_{საშ})$ ;  $T = f(I_{საშ})$  (ნახ.4).



ნახ.4.

როგორც ნახ.4-დან ჩანს, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში დენის საშუალო მნიშვნელობის გაზრდით ყველა სახის სიმძლავრე, გარდა რეაქტიულისა, იზრდება. რეაქტიული სიმძლავრე ხან ზრდადია და ხან კლებადი, მაგრამ მისი მნიშვნელობა სხვა სიმძლავრეებთან შედარებით იმდენად მცირეა, რომ არსებითად ვერ ცვლის სრულ სიმძლავრეს. დამახინჯების სიმძლავრის გაზრდით შესაბამისად იზრდება ელექტროენერგიის დანაკარგები და უარესდება ელექტროენერგიის ხარისხი. რაც განაპირობებს დაბალი სიმძლავრის კოეფიციენტს.

გამოკვლეული იქნა VI სასწავლო კორპუსის მკვებავი ორი ფიდერიდან ერთერთის არაწრფივი დატვირთვის გავლენით გამოწვეული



დანაკარგები კაბელებსა და ტრანსფორმატორში. აღნიშნული ფიდერის საშუალო აქტიური დატვირთვა 37,5 კვტ-ია. საბოლოოდ დამახინჯებისა და რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის წლიური დანაკარგები ტოლია 1117,36.კვტ.სთ.

საარქივო მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ასევე შეიძლება დადგენილია, რომ სტუ-ში მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე არსებით გავლენას ვერ ახდენს სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. სიმძლავრის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობა ძირითადად გამოწვეულია არაწრფივი დატვირთვის შედეგად გამოწვეული ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებითა და დამახინჯების სიმძლავრის შემოტანით.

ამავე თავში კონკრეტულ ორგანიზაციაში ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების მიზნით მოყვანილია რეკომენდაცია აღრიცხვის კვანძის მოწყობის შესახებ. სადაც დადგენილია, რომ აღრიცხვის კვანძების დამონტაჟების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დენის ტრანსფორმატორის სწორად შერჩევას. დენის ტრანსფორმატორი შერჩეული უნდა იქნეს მომხმარებლის მინიმალური და მაქსიმალური დატვირთვის მიხედვით ისეთნაირად, რომ მას მუშაობა შეეძლოს ნორმირებულ სიზუსტის კლასის ფარგლებში. ამასთანავე შერჩეული დენის ტრანსფორმატორის გამოყენება ეკონომიურად უნდა იყოს დასაბუთებული

ამავე თავში მოყვანილია ელექტროენერჯის საერთო დანაკარგების შედეგები. ამისათვის საჭირო სანაპიროს ქვესადგურში დაყენებული სტუ-ს საანგარიშო მრიცხველის მიერ აღრიცხულ, ქვესადგურიდან გაცემულ და სტუ-ს № 1003 და № 1182 სატრანსფორმატორო ჯიხურებში დაყენებული ტრანსფორმატორებიდან გამოძაველ ელექტროენერჯებს შორის თანაფარდობის დადგენა. რითაც განისაზღვრებოდა მაღალი, 6 კვ ძაბვის კაბელებსა და ტრანსფორმატორში ელექტროენერჯის ფაქტიური და ტექნიკური დანაკარგები.

ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დადგინდა, რომ სანაპიროს ქვესადგურში დაყენებული საანგარიშსწორებო მრიცხველის მიერ აღრიცხულ ელექტროენერჯისა და ტრანსფორმატორების გამოსასვლელებზე

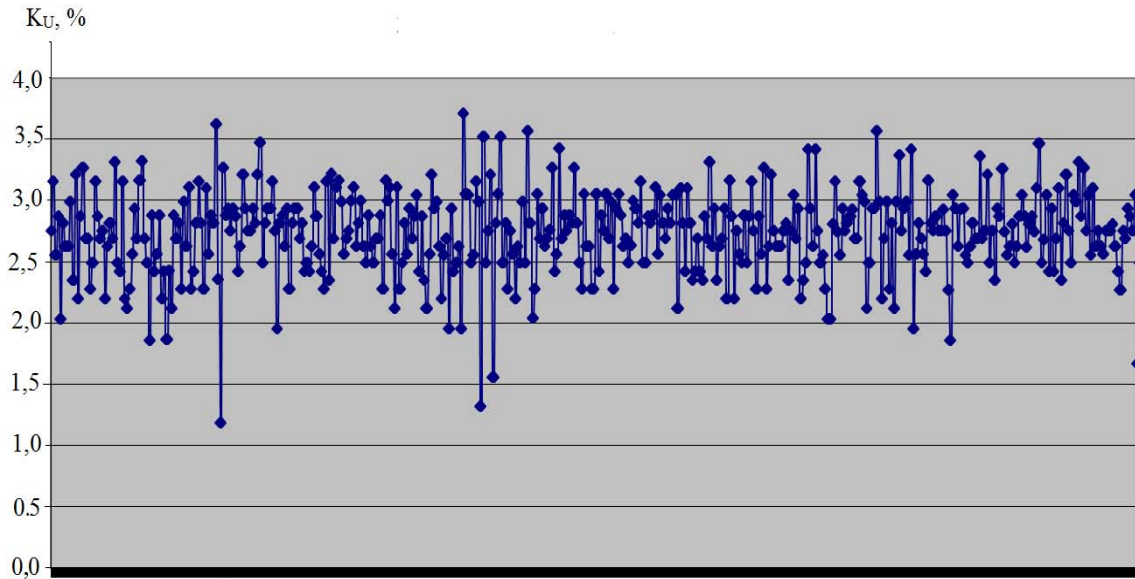
ჯამურ ელექტროენერგიებს შორის სხვაობა, ანუ რაც იგივეა, დანაკარგები საკაბელო ხაზებსა და ძალურ ტრანსფორმატორებში შეადგენს 12094 კვტ.სთ, რაც პროცენტებში გამოსახული შეადგენს 1,7 %-ს.

ასევე შესწავლილი იქნა ძაბვისა და დენის მეორე და მესამე რიგის ჰარმონიკების შემცველობა და დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები 6 კვ ძაბვის შემომავალ ფიდერზე

სტანდარტის მიხედვით 0,38 კვ ძაბვის ქსელებში ძაბვის მეორე და მესამე რიგის ჰარმონიკების შემცველობის პროცენტის დასაშვები ნორმაა 2 %, ხოლო 6 კვ ძაბვის ქსელებში- 1,5 %. იგივე სტანდარტის თანახმად მესამე რიგის ჰარმონიკის დასაშვები ნორმაა: 0,38 კვ ქსელებში -5 %, ხოლო 6 კვ ქსელებში- 3 %. როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენა ძაბვის მეორე რიგის ჰარმონიკის მაქსიმალური შემცველობა 1,84 %, რაც დასაშვებია 0,38 კვ ქსელებისათვის, ხოლო დაუშვებელია 6 კვ ქსელებისათვის. აღნიშნული ჰარმონიკის შემცველობა აღებულია სწორედ 6 კვ მხარეს. ე.ი. შემომავალი ელექტროენერგიის ხარისხი არადამაკმაყოფილებელია. მესამე ჰარმონიკის შემცველობა დასაშვებ ნორმებშია, რადგან მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 2,22 %-ია.

დენის მეორე რიგის ჰარმონიკების შემცველობის მაქსიმალური სიდიდეა 2,0 %, ხოლო მესამე რიგის ჰარმონიკისა – 0,95 %. სტანდარტში დენის ჰარმონიკების შემცველობის ნორმები დადგენილი არ არის.

იმავე სტანდარტის მიხედვით ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმირებული მნიშვნელობაა 0,38 კვ ქსელებისათვის 8 %, ხოლო მაქსიმალური მნიშვნელობა -12 %. 6 კვ ქსელებისათვის ნორმირებული მნიშვნელობაა 5 %, ხოლო მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა – 8 %.



ნახ.5.

ჩვენს შემთხვევაში ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა 3,51 %-ია (ნახ.5) რაც დასაშვებ ფარგლებშია. რაც შეეხება დენის დამახინჯების კოეფიციენტს, მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 14,16 % -ია რაც არც თუ კარგი მაჩვენებელია.

## დასკვნები

1. დადგენილია, რომ თანამედროვე არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოები მოქმედ ელექტრულ ქსელებში წარმოადგენენ ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს.

2. 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ძაბვისა და დენის დამახინჯებები იწვევენ მრავალ უარყოფით შედეგს, მათ შორის ელექტრული წრედის ელემენტებში სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

3. ელექტროენერჯის ტექნოლოგიურ, ინსტრუმენტალურ და კომერციულ დანაკარგებში განსაზღვრულ წილს შეადგენენ ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებით გამოწვეული დანაკარგები.

4. 10/0,4 კვ ტრანსფორმატორების საღტეებზე ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების ხარისხი გადაცემული სიმძლავრის პროპორციულია.

5. დადგენილია, რომ კომპიუტერულ დატვირთვას თავისი მრავალრიცხოვანი ელექტრონული ელემენტებით შეაქვს არასინუსოიდური დენებისათვის დამახასიათებელი დამახინჯებანი ელექტრულ ქსელებში, რაც თავის მხრივ ზრდის ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

6. დადგენილია, რომ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სანაპიროს ქვესადგურიდან შემომავალ მკვებავ 6 კვ ხაზზე ძაბვის მეორე რიგის ჰარმონიკის მაქსიმალური შემცველობა 1,84 %, რაც დასაშვებია 0,38 კვ ქსელებისათვის, ხოლო დაუშვებელია 6 კვ ქსელებისათვის. ე.ი. შემომავალი ელექტროენერჯის ხარისხი არადამაკმაყოფილებელია. მესამე ჰარმონიკის შემცველობა დასაშვებ ნორმებშია, რადგან მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 2,22 %-ია, როცა დასაშვები ნორმაა 3 %.

7. იმავე მკვებავ ხაზზე ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 3,51 %, მაშინ როცა ნორმირებული მნიშვნელობაა 5 %, ხოლო მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა – 8 %-ია. ე.ი. ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტი დასაშვებ ფარგლებშია, ხოლო

დენის დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა 14,16 % - ია რაც არც თუ კარგი მაჩვენებელია.

8. დადგენილია, რომ კომპიუტერული ტექნიკით დატვირთვის დროს გარდა აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრისა გამტარებში გაედინება დამატებითი სიმძლავრე, რომელიც გამოწვეულია დამახინჯების სიმძლავრით. დამახინჯების სიმძლავრე შეადგენს დატვირთვის სრული სიმძლავრის უდიდეს ნაწილს, რითაც დამატებით ტვირთავს ელექტრულ ქსელს ისე, რომ არ ასრულებს სასარგებლო მუშაობას.

9. საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ელექტროენერჯის საერთო დანაკარგები შეადგენს 2% -ს, ამიტომ არასინუსოიდურობის დონის შემამცირებელი ტექნიკური საშუალებების გამოყენებას ჯერჯერობით არ საჭიროებს.

10. აღრიცხვის კვანძების დამონტაჟების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დენის ტრანსფორმატორის სწორად შერჩევას. დენის ტრანსფორმატორი შერჩეული უნდა იქნეს მომხმარებლის მინიმალური და მაქსიმალური დატვირთვის მიხედვით ისეთნაირად, რომ მას მუშაობა შეეძლოს ნორმირებულ სიზუსტის კლასის ფარგლებში. ამასთანავე შერჩეული დენის ტრანსფორმატორის გამოყენება ეკონომიურად უნდა იყოს დასაბუთებული

## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. გ.მუსელიანი, დ.იარალაშვილი. თანამედროვე ტექნიკის გავლენა ენერგოუსაფრთხოებასა და ენერგოეფექტურობაზე. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“, № 15, 2011წ. გვ. 131-135.
2. თ.მუსელიანი, გ. მუსელიანი, დ. იარალაშვილი. თანამედროვე ტექნიკა და ენერგოეფექტურობა. საერთაშორისო კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“-ს შრომები. თბილისი, 2010 წ. გვ.392 - 394.
3. მუსელიანი თ, მუსელიანი გ, იარალაშვილი დ. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძის მოწყობის შესახებ. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“, № 15, 2011წ. გვ. 131-135.
4. მუსელიანი თ, იმნაიშვილი ლ, ნაჭყებია შ, მუსელიანი გ, ჩხიკვაძე კ, იარალაშვილი დ. კომპიუტერული ტექნიკის დატვირთვის გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხზე. Georgian Engineering news, № 4,2011 წ.

## Abstract

Currently electricity represents one of the most important resources used by human in different fields of man activity. In the same time it is impossible to replace it by using another resources. In electric power industry relative to the development of market relations electricity can be reviewed not only as a physical phenomenon but as a subject of sale, as well, which is produced, purchased and sold.

It has to be mentioned that indeed electricity represents a subject of sale but it is quite different one, properties of which can be changed according to time. In case of customer pretension to the quality of electricity, it can be replaced by analogous one of better quality. The peculiarity of electricity is that its quality may depend not only on electricity supplier but on customer as well.

Before 80-s of the 20<sup>th</sup> century main consumers of electricity were customers of linear loading, such as: electric engines, heat lamps, electric heaters, etc.

It has to be denoted that in Georgia the power and number of consumers of nonlinear current voltage characteristics (computer, climate-control, UPS, adjusters, etc.) has significantly increased in recent years. This needs current different from sinusoidal. Such current passing through electric circuit parts causes voltage drop in them. Voltage form differs from sinusoidal as well. Non-sinusoidal current is the reason of distortion of voltage sinusoidal form.

Through electric nets a problem of high level harmonics represents a part of electromagnetic compatibility of electric facility. Its importance has greatly increased through last 20-25 years together with strong development of new technologies caused, on the one hand, increased consumption of electricity by such electric receivers as ones making distortions in electric circuits (transformer facilities, steel producing furnaces, etc.), and on the other hand, wide spreading electronic automated systems of technological process management. During last decades issues of energy efficiency and saving have been paid significant attention. Decreasing in economical expenses of energy supply is related to rising the reliability of electric facilities and quality of electricity. Modern production-establishments, administrative and residential buildings are equipped with newest technological and household facilities brought from abroad.

In the first chapter of the work, results of literature review are given where nonlinear consumers of electricity and their influence on the quality of electricity, main sources of harmonics; problems caused by major parts of harmonics and their urgency; influence of non-sinusoidal property of current and voltage on functioning quality of electric circuit; influence of harmonics on measuring power and energy, are discussed.

In the second chapter of the work quality of electricity and its data influence on electricity consumers are discussed. All eleven data of electricity quality specified by standard and their influence on electricity consumers are discussed in details. Data of electricity quality: voltage steady-state deviation ( $\delta U_{st}$ ); voltage variation distance ( $\delta U_t$ ); flicker dose ( $P_f$ ); coefficient ( $K_u$ ) of sinusoidal distortion of voltage curve; coefficient [ $K_{U(n)}$ ] of n-th harmonic constituent of stress; non-symmetry coefficient ( $K_{0U}$ ) of voltage inverse order; frequency deviation ( $\Delta f$ ); duration of voltage falling ( $\Delta t_f$ ); impulse voltage ( $U_{imp}$ ); coefficient of temporary overvoltage ( $K_{temp.U}$ ).

The third chapter of the work is devoted to the establishing real and technical losses of electricity. At transferring electricity energy loss takes place in each part of electric circuit. For estimation of necessity of various arrangements of loss reduction and learning loss constituents in different parts of the net, first of all, analysis of electricity loss structure is carried out. Technical and commercial losses and constituents of these losses; compensation issues of idle power are discussed. Influence of computer loading on the shape of current and voltage curve are discussed in details. Consumers' structure of technical university of Georgia, learnt in the limits of the work, is represented basing on which a part of consumed electricity and nameplate rating of each category consumer in total nameplate rating was determined.

In the fourth chapter modern computer SCADA system of energy supply monitoring, installed in technical university of Georgia, is represented. This system controls not only spent electricity amount, in automatic and continuous mode, but it controls, displays and collects other eleven data values of electricity in database. These data are: linear and phase voltage, current, active, idle and gross powers, frequency, power coefficient, current and voltage harmonics and coefficients of non-linear distortions, either on the part of high or low voltage.

In the same chapter results of scientific-research works carried out on the base of this system are represented. In the result of received data amount of losses caused by deterioration of electricity quality is determined as exemplified by one academic block. Reduction ways of highest level current harmonics are established.