

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით შარიქაძე

საქართველოს ენერჯოსისტემაში ელექტრო ენერჯის ხარისხის
მაჩვენებლების შესაბამისობის გამოკვლევა საერთაშორისო
ელექტროტექნიკური კომისიის (სეკ-ის) სტანდარტების
მოთხოვნებთან

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: ენერჯეტიკა და ელექტროინჟინერია
შიფრი 0405

თბილისი

2016 წელი

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

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ.მუსელიანი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII , აუდიტორია 304
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

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

შესავალი

სამუშაოს აქტუალობა. ამჟამად, მუდმივი დენის მაღალი ძაბვის სისტემები მთელ მსოფლიოში გამოიყენებიან ელენერჯის გადაცემისათვის. მაგრამ ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივი დენის ელექტრულ ქსელებში გამმართველი და ინვერტორული მოწყობილობების არსებობის გამო ადგილი აქვს მაღალი რიგის ჰარმონიკების წარმოშობის მოვლენას.

ელექტრულ ქსელებში მაღალი რიგის ჰარმონიკების პრობლემა წარმოადგენს ელექტრომოწყობილობის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნაწილს. მისი მნიშვნელობა ძლიერ გაიზარდა უკანასკნელი 20 - 30 წლის განმავლობაში ახალი ტექნოლოგიების სწრაფ განვითარებასთან ერთად, რომელმაც ერთის მხრივ მიგვიყვანა ისეთი ელექტრო მიმღებების მიერ ელექტროენერჯის გაზრდილ მოხმარებასთან, რომელთაც შეაქვთ დამახინჯებები ელექტრულ წრედში (გარდამქმნელი დანადგარები, რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები და სხვა), ხოლო მეორეს მხრივ - ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ელექტრონული ავტომატიზირებული სისტემების ფართო გავრცელებასთან, რომლებიც მგრძნობიარენი არიან ძაბვისა და დენის ფორმის დამახინჯებების მიმართ.

ასეთ დანადგარებს, მიწოდებული ელენერჯის მიმართ გააჩნიათ გარკვეული სახის მოთხოვნები. ერთ-ერთი მათგანია - სტანდარტის შესაბამისი ელენერჯის ხარისხი. სტუ-ს ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა „SCADA“-ს საფუძველზე ჩატარებული ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც თვალნათლივ გვიჩვენებენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების სტანდარტთან შეუსაბამობას.

სტანდარტის მიხედვით, საერთო მიერთების ელექტრო ქსელებისათვის არსებობს ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებისათვის ნორმირებული ნორმალური და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები (ნორმები დადგენილია მე-40 ჰარმონიკამდე). ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებაში

შეიძლება დამნაშავე იყოს არა მარტო მომხმარებელი, არამედ ელექტროენერჯის მიმწოდებელიც. უკანასკნელ ხანებში, ელექტროენერჯის შორს მანძილზე გადაცემისათვის ფართო გამოყენებას პოულობს მუდმივი დენის ჩანართები (მდჩ), რომლებიც მეზობელი ენერგოსისტემების გაერთიანებისათვის ქმნიან მნიშვნელოვან ხელსაყრელ თვისებებს.

მუდმივი დენის ჩანართები წარმოადგენენ ძაბვისა და დენის ჰარმონიკების წყაროებს და მუდმივი დენის მაღალი ძაბვის ხაზების ტრასის გავლა დასახლებული პუნქტების სიახლოვეს მოითხოვს ხაზში დენის ჰარმონიკების დონის მკაცრი შეზღუდვების შემოტანას, რაც ძირითადად დაკავშირებულია კავშირის ხაზებში ჰარმონიკების ხელშემშლელ მიზეზებთან.

მუდმივი დენის გადაცემისა და მუდმივი დენის ჩანართის გამოყენება განპირობებულია მათი სპეციფიკური მახასიათებლებით.

მძლავრი მუდმივი დენის ელექტროგადაცემები მომავალში გახდებიან ტრანსკონტინენტალური ენერგოსისტემების გაერთიანების საშუალებებად.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მდჩ-ს როლი ორი სხვადასხვა ქვეყნის ან ორი სხვადასხვა ეკონომიური რეგიონის ენერგოსისტემის დაკავშირების დროს, სადაც მოითხოვება სახელმწიფოთაშორის ან რეგიონთაშორის ელექტროენერჯის კომერციული გადაცემის შესახებ ხელშეკრულებების მკაცრი შესრულება. ამასთანავე, მდჩ-ის, როგორც ენერგეტიკული ობიექტის, დახასიათების დროს უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალ ღირსებებთან ერთად მათ გააჩნიათ მთელი რიგი ხარვეზები. ერთ-ერთი ხარვეზი მდგომარეობს იმაში, რომ მდჩ-ს თავის შემადგენლობაში გააჩნია მძლავრი ვენტილური გარდამქმნელები, რომლებიც უარყოფით გავლენას ახდენენ მათთან შეერთებული ელექტრული ქსელების ძაბვებისა და დენების ფორმაზე და ამ ქსელებში წარმოქმნიან მაღალი რივის ჰარმონიკებს.

ეს ხარვეზი დამახასიათებელია ყველა ტრადიციული დენის გარდამქმნელისათვის და მდრ-სთვის შეიძლება აღმოჩნდეს განსაკუთრებით სერიოზული ჯერ ერთი, მდრ-ის ძალიან დიდი სიმძლავრის გამო და შესაბამისად, მათ მიერ დიდი სიდიდის ჰარმონიკების გენერირების გამო და მეორეც, იმის გამო, რომ მდრ ჩვეულებრივ მიერთებულია მაღალი ძაბვის, ცვლადი დენის, დიდი სიგრძის ელექტრულ ქსელებთან, რომლებშიც ეს ჰარმონიკები მიდრეკილია მნიშვნელოვან რეზონანსულ გაძლიერებასთან. ძაბვისა და დენის ჰარმონიკები აუარესებენ სხვადასხვა სახის მაღალი ძაბვის მოწყობილობების მუშაობის პირობებს.

გარდა ამისა, მათ შეუძლიათ დაარღვიონ რელეური დაცვის სწორი მოქმედება, გამოიწვიონ დაუშვებელი დაბრკოლებები კავშირგაბმულობის ხაზებში. ამიტომ ჰარმონიკების სიდიდეები, რომლებიც აღიძვრებიან მდრ-თან მიერთებულ ქსელებში საკმაოდ მკაცრად ნორმირდებიან. მართებულად უნდა აღვნიშნოთ, რომ სხვადასხვა ქვეყნების ენერგოსისტემების შემაერთებულ მდრ-ზე დენებისა და ძაბვების ჰარმონიკებზე დადებული ნორმები შედიან ელენერგის ხარისხის პირობების რიცხვში, რომლებიც რეგლამენტირებულია შესაბამისი ხელშეკრულებებით, ასე რომ მათმა შეუსრულებლობამ შეიძლება გამოიწვიოს ესა თუ ის ეკონომიური სანქცია.

აქედან გამომდინარე, წინამდებარე სადისერტაციო სამუშაოს კვლევის ძირითად ობიექტს წარმოადგენს მაღალი რიგის ჰარმონიკების უდიდესი წყარო –ახალციხის 500/400/220 კვ ძაბვის და 700 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მქონე ქვესადგურის და მასთან მიერთებული ქსელების მაღალი რიგის ჰარმონიკები.

სადისერტაციო სამუშაო აქტუალურია, რადგან ახალციხის მდრ-ს დანიშნულებაა ელექტროენერგის კომერციული გადაცემა საქართველოდან თურქეთში და პირიქით.

სამუშაოს მიზანი. დადგენილ ნორმებთან შესაბამისობის შეფასების მიზნით, ახალციხის 500/400/220 კვ ქვესადგურსა და მასთან მიერთებულ ქსელებში მაღალი რიგის ჰარმონიკების გამოკვლევა და მიღებული შედეგების ანალიზის შედეგად, საჭიროების შემთხვევაში, მაჩვენებლების გაუმჯობესების გზების ძიება.

სამეცნიერო სიახლე. მაღალი რიგის ჰარმონიკების გამოკვლევების მიზნით, ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტული გამოკვლევების კომპლექსი სხვადასხვა რეჟიმებში, როგორც ახალციხის 500/400/220 კვ ძაბვის და 700 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მქონე ქვესადგურსა და მასთან მიერთებულ 220 კვ და 0,4 კვ ელექტრულ ქსელებში, ასევე მასთან ახლოს განთავსებული ფარავანჭესის ჰიდროგენერატორზე.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო სამუშაოში გამოყენებულ იქნა კვლევის ანალიზური მეთოდები; ელექტრული გაზომვები, პერიოდული ფუნქციის ფურიეს მწკრივად დაშლის მეთოდი; წრფივ ელექტრულ წრედებში დამყარებული პროცესების გაანგარიშების მეთოდები და მათემატიკური სტატისტიკის ელემენტები.

პრაქტიკული ღირებულება. ჩატარებული სამუშაოების შედეგად დადგენილია, რომ ახალციხის 500/400/220 კვ ქვესადგურის 500 კვ ძაბვის სალტეზე მუდმივი დენის ჩანართის გამორთვის შემთხვევაში ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები მერყეობს $0,42 \div 1,15$ %-ის ფარგლებში, ხოლო ჩართული მდგომარეობის დროს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში აღწევს 18 %-მდე. დასაშვებ ნორმაზე ზევით ძაბვის დამახინჯება მიმდინარეობს $1,5 \div 2,5$ პერიოდის განმავლობაში, რაც სრულიად საკმარისია მართვისა და ავტომატიკის სისტემების ცრუ ამოქმედებისათვის. ამდენად, პრაქტიკულად მნიშვნელოვანია მისი გათვალისწინება დანაყენების ანგარიშების დროს.

ასევე, გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ უახლოეს პერიოდში დაგეგმილია ასინქრონული კავშირის განხორციელება მეზობელი სომხეთის ელექტროსისტემასთან 700 მგვტ ჯამური სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მონტაჟით, რომელიც დამონტაჟდება სომხეთის ტერიტორიაზე. ასევე გათვალისწინებულია აჭარაში იგივე რეჟიმში მომუშავე აჭარა-თურქეთის დამაკავშირებელი 350 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მონტაჟი, ხოლო მომავალში ახალციხის ქვესადგურში დამატებით 350 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის დამატება.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მხედველობაშია მისაღები მაღალი რიგის ჰარმონიკების ზედდების - რეზონანსული მოვლენების თავიდან აცილების ღონისძიებების განხორციელება.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი დებულებები მოხსენებულ იქნა:

1. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი 2015, ივნისი, გვ. 3-6;

2. საერთაშორისო კონფერენცია: „საზღვაო ინდუსტრიის ინოვაციური გამოწვევები“. ბათუმი, 23-24 ოქტომბერი 2015 წ. გვ 139-145;

3. მე-3 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი 24-25 ოქტომბერი, 2015 წ. გვ.50-56

პუბლიკაციები. სადისერტაციო სამუშაოს შესახებ გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო ნაშრომი.

სამუშაოს სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 4 თავისაგან, დასკვნისაგან და 46 დასახელების ლიტერატურული წყაროსაგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა წარმოდგენილია 145 გვერდზე, შეიცავს 50 ნახაზსა და 13 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 ანალიზის შედეგები. მუდმივი დენით გადაცემის სისტემას ჩვეულებრივ სამფაზა სისტემასთან შედარებით გააჩნია მაღალი იმედიანობა და მართვადობა, რის გამოც მას უწევნ რეკომენდაციას შორ მანძილზე ენერგიის გადაცემის დროს.

მუდმივი დენით გადაცემისა და მუდმივი დენის ჩანართის გამოყენება განპირობებულია მათი სპეციფიკური მახასიათებლებით. მათმა ტექნიკურმა მაჩვენებლებმა და ეკონომიკურობამ განაპირობა მათი გამოყენების სფეროები:

- საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზებით დიდ მანძილზე ელექტრო ენერგიის გადაცემის საშუალება;
- საკაბელო ხაზები;
- სისტემათშორის კავშირები;
- დიდ ქალაქებში სიმძლავრეების შეყვანა;
- მოქმედი ელგადამცემი ხაზების გამტარუნარიანობის გაზრდა;
- მაგნერირებელი სიმძლავრეების ასინქრონული მიერთება;

მუდმივი დენით გადაცემაში გამოყენებულია 6,12,24 - ფაზური გამმართველების სქემები, რომლებიც წარმოადგენენ გარდამქნელი ქვესადგურის დამოუკიდებელ ელემენტებს. თითოეული პოლუსი შედგება პარალელურად ჩართული 1 ან 2 გარდამქნელი ბლოკისაგან. აღნიშნულის ძირითადი ღირსებაა, უნიპოლარულ რეჟიმში მუშაობის გამო მისი იმედიანობა და მართვადობა, ხოლო მის ნაკლს წარმოადგენს - სირთულე და მაღალი კაპიტალური ხარჯები, ასევე პრობლემური საკითხია სიმძლავრის ართმევა,

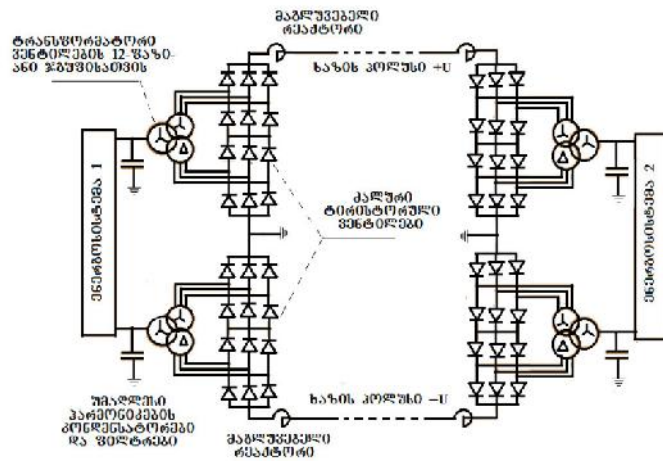
რადგან ყველა დაპროექტებული ასეთი სისტემა გათვლილია მხოლოდ ქვესადგურებს შორის სიმძლავრის გადასაცემად.

იმდენად, რამდენადაც მუდმივი დენით გადაცემა შესაძლებელია ასევე უნიპოლარული რეჟიმითაც, ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების დროს ერთჯაჭვა მუდმივი დენით გადაცემას ადარებენ ორჯაჭვა სამფაზა ცვლადი დენით გადაცემას. მუდმივი და ცვლადი დენით გადაცემების ყველაზე უფრო საერთო თანაბარეკონომიურობის კრიტერიუმს წარმოადგენს სასარგებლო გადაცემაზე გაწეული ხვედრით ხარჯების თანაბრობა. იმ შემთხვევაში, როდესაც შესადარებელი ვარიანტები ხასიათდებიან ელექტრო ენერჯის წლიური დანაკარგების თანაბრობით, მაშინ შესადარებელ კრიტერიუმად გამოიყენება კაპიტალური დანახარჯების თანაბრობა.

მუდმივი და ცვლადი დენებით გადაცემების შედარების დროს გამოიყენება ხაზის კრიტიკული სიგრძის ცნება, რომლის დროსაც დანახარჯების ეკონომია მუდმივი დენით გადაცემის დროს ხაზებში, ცვლადი დენით გადაცემის პირობებში ხაზთან შედარებით კომპენსირდება მუდმივი დენის გარდამქმნელი ქვესადგურების მაღალი დანახარჯებით. მუდმივი დენით გადაცემის სისტემა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა 300 კმ-მდე დაშორებისა და 400 კვ მუდმივი ძაბვის წყალქვეშა კაბელებისათვის.

მუდმივი დენის გადაცემის სქემა წარმოდგენილია ნახ.1 –ზე. იგი შიცავს მაღალი ძაბვის სამფაზა ცვლადი დენის მუდმივ დენად გამმართველ მოწყობილობასა და ინვერტორს. მუდმივი დენით დიდ მანძილზე გადაცემის ეფექტურობა განპირობებულია არა მარტო სისტემათაშორისი მდგრადობის ამაღლებით, ასევე განპირობებულია აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებისა და იგივე სიმძლავრის შემთხვევაში სამფაზა საჰაერო ელგადამცემ ხაზთან შედარებით ბიპოლარული ხაზის კონსტრუქციის ზომების შემცირებით, გამმართველისა და ინვერტორის ურთიერთშექცევადობის გამო, სიმძლავრის სიდიდისა და მიმართულების სწრაფ რეგულირებაში.

ამავე თავში მოყვანილია გადაცემის გარდამქმნელი ქვესადგურისა და მდჩ-ს ძირითადი ელემენტის - მაღალი ძაბვის გარდამქმნელის მუშაობის პრინციპები, რომელიც მუშაობს როგორც გამმართველის, ასევე ინვერტორის რეჟიმში. წარმოდგენილია გარდამქმნელის, როგორც ერთმაგი ბოგური სქემა, რომელსაც ლარიონოვის სქემას უწოდებენ, ასევე ორმაგი ბოგას სქემა და გამმართველისა და ინვერტორის გარე მახასიათებლების ოჯახები.



ნახ.1. მუდმივი დენით გადაცემის პრინციპული სქემა.

ამავე თავში წარმოდგენილია ასევე, ვენტორების შემდეგ გარდამქმნელი ქვესადგურის ყველაზე მნიშვნელოვანი მოწყობილობები ტრანსფორმატორები და ხაზური რეაქტორები. ასევე, დიდი ადგილი აქვს დათმობილი ფილტრებსა და რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელ მოწყობილობებს, ქვესადგურის ნეიტრალის მოწყობილობებსა და სქემებს.

ფილტრების დანიშნულებაა შეზღუდოს გარდამქმნელიდან მაღალი რიგის ჰარმონიკების შეღწევა ცვლადი დენის ქსელში და მუდმივი დენის ხაზში. ასევე მონაწილეობას იღებს გარდამქმნელის რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციაში და ხელს უწყობს გარდამქმნელი რეჟიმების ხარისხის გაუმჯობესებას. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრები არის თითქმის ყველა მუდმივი დენის ქვესადგურებში.

გარდამქმნელის პარამეტრების გარდა, რეაქტიული ენერჯის მაკომპენსირებელი მოწყობილობების პარამეტრებსა და სქემებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მიმდებარე ენერგოსისტემის მიერ გარდამქმნელი მოწყობილობის რეაქტიული ენერჯის მოხმარების დაფარვის შესაძლებლობა (ნომინალური სიმძლავრის 50-60 %). რეაქტიული ენერჯის წყაროს უნდა შეეძლოს უზრუნველყოს სისტემის ბალანსი და გარდამქმნელების სტატიკური მდგრადობა, გარდამქმნელის დატვირთვის ფორსირების და სიმძლავრის რევერსის რეჟიმები.

ასეთი მკაცრი მოთხოვნების დაკმაყოფილება შესაძლებელია რეაქტიული ენერჯის რეგულირებადი წყაროების მეშვეობით (სინქრონული კომპენსატორები, ან სტატიკური ტირისტორული კომპენსატორები).

ნეიტრალის სქემის შერჩევა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მიწის გავლით ხანგრძლივად დაშვებული დენის სიდიდეზე. ამ ნორმაზე არის დამოკიდებული მუშა დამიწების კონსტრუქცია, დამატებითი სადენის აუცილებლობა ასიმეტრიის დენის გასატარებლად და სხვ.

ამავე თავში წარმოდგენილია ასევე, მუდმივი დენის გადაცემის ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი მიმართულებები, მუდმივი დენის გადამცემის სტრუქტურული და მუდმივი დენის ჩანართების, გარდამქმნელი ქვესადგურის პრინციპული სქემები.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება ელექტროენერჯის ხარისხს, სერტიფიკაციასა და ტექნიკურ რეგლამენტებს, სადაც განხილულია ნორმატიულ-სამართლებრივი დოკუმენტები, ელენერჯის სერტიფიკაციისა და ტექნიკური რეგლამენტების საკითხები, აუცილებელი სერტიფიკაციის საკანონმდებლო საფუძვლები და ტექნიკური რეგლამენტის მოთხოვნების დაცვისათვის სახელმწიფო კონტროლის როლი.

ელექტრული ენერჯის მთავარი სამომხმარებლო კრიტერიუმია საერთო მიერთების წერტილში მისი პარამეტრების შესაბამისობა ელექტროენერჯის

ხარისხის სტანდარტით დადგენილ მაჩვენებლებთან. ამ დროს ელენერგია გამოდის როგორც საქონელი, რომელიც უნდა იყოს სერტიფიცირებული და ამის შესაბამისად უნდა მიეწოდოს მომხმარებელს.

საქართველოს კანონის “პროდუქციის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსის“ თანახმად, ერთ-ერთი მიზანია სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიის, აკრედიტაციისა და შესაბამისობის შეფასების სფეროებში საუკეთესო პრაქტიკის დანერგვა და ევროკავშირის კანონმდებლობასთან დაახლოება, ელენერგია ჩართული უნდა იყოს პროდუქციისა და მომსახურების (სამუშაოს) ნომენკლატურაში, რომელთა მიმართაც გათვალისწინებულია სერტიფიკაცია.

საქართველოს კანონი “პროდუქციის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსი“ ეფუძნება სახელმწიფოს მიერ დაწესებული უსაფრთხოების სავალდებულო მოთხოვნების მხოლოდ რეგულირების სფეროზე გავრცელებას. საქართველოს მთავრობის 2013 წლის 31 დეკემბრის №434 დადგენილების „ტექნიკური რეგლამენტი „ელექტროსადგურებისა და ქსელების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების დამტკიცების შესახებ“ თანახმად ენერგეტიკული ობიექტების ექსპლუატაციის ძირითადი ორგანიზაციული და ტექნიკური მოთხოვნები, რომელთა უპირობო შესრულება უზრუნველყოფს ენერგეტიკული სისტემის ყველა რგოლის ეკონომიურ, საიმედო და გამართულ მუშაობას, განეკუთვნება რეგულირების სფეროს. აქედან გამომდინარე, ელექტრული ენერგია, როგორც საქონელი და მისი ხარისხი, როგორც ელექტრო მოწყობილობის უსაფრთხო ექსპლუატაციის საჭირო პირობა განეკუთვნებიან რეგულირების სფეროს.

სამწუხაროდ, ამჟამად მიწოდებული ელექტრო ენერგიის ხარისხის ოპტიმიზაცია წარმოადგენს სერიოზულ პრობლემას. ელექტროენერგიის დაბალი ხარისხი შეიძლება იყოს ელექტრო ენერგიის მომხმარებელთა მხრიდან სასამართლო ორგანოებისადმი მიმართვის საფუძველი.

2014 წლის 17 აპრილს საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის № 10 დადგენილებით მიღებულ იქნა „ქსელის წესები“, რომელიც განსაზღვრავს საქართველოს ელექტრო ენერგეტიკული სისტემის მონაწილეთა და მაძიებლების მიერ გადამცემი ქსელის განვითარების, მართვის, ხელმისაწვდომობისა და უსაფრთხო სარგებლობის პროცედურებს, პირობებს, პრინციპებსა და სტანდარტებს.

ელექტროენერჯის ხარისხის სერტიფიკაციის განმსაზღვრელ ნორმატიულ დოკუმენტს წარმოადგენს სტანდარტი ГОСТ 13109-97 „ელექტრული ენერჯია. ტექნიკური საშუალებების ელექტრომაგნიტური თავსებადობა. საერთო დანიშნულების ენერგომომარაგების სისტემებში ელექტრულ ენერჯის ხარისხის ნორმები“, რომელზეც მისი მოთხოვნების აუცილებელი შესრულების ნაწილში, მითითებულია ენერგომომარაგების, ელენერჯის მომხმარებელსა და ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციას შორის დადებულ პრაქტიკულად ყველა ხელშეკრულებაში.

გარდა აღნიშნული სტანდარტებისა, ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში მოქმედებენ სხვა ნორმატიული მეთოდური მითითებები საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტრო ენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზის შესახებ.

საბაზრო ურთიერთდამოკიდებულების პირობებში, საქონლის განსაკუთრებული სახის – ელენერჯის მიწოდებისა და ყიდვის დროს, ამ საქონლის ხარისხის ამაღლების პრობლემამ, ტექნიკური ასპექტების გვერდით შეიძინა სამართლებრივი და ეკონომიური ხასიათი, რომლებიც საქართველოში უნდა დარეგულირდეს შესაბამისი ნორმატიული აქტებით.

ტექნიკური რეგლამენტი წარმოადგენს დოკუმენტს, რომელიც ადგენს ტექნიკური რეგულირების ობიექტების მიმართ გამოყენებისა და სარგებლობისათვის აუცილებელ მოთხოვნებს. ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნები უნდა იყოს ამომწურავი.

სტანდარტის ნორმები საუწყებო ნორმებთან და წესებთან შედარებით არის პრიორიტეტული, ამიტომ აუცილებელია ისინი გამოყენებულ იქნენ დოკუმენტაციის ყველა სახეობაში, სასწავლო სახელმძღვანელოებში, სამეცნიერო - ტექნიკურ და საცნობარო ლიტერატურაში.

საქართველოში მოქმედებაში უნდა იყოს ტექნიკური რეგლამენტების შემდეგი სახეები: საერთო ტექნიკური რეგლამენტები; სპეციალური ტექნიკური რეგლამენტები; მათი ერთობლიობა.

ტექნიკური რეგლამენტების პროექტების დამუშავებისათვის საფუძვლად შეიძლება მთლიანად ან ნაწილობრივ გამოყენებულ იქნეს საერთაშორისო ან ეროვნული სტანდარტები.

ელექტრო დანაგარების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესებში ჩართულია მოთხოვნა მასზედ, რომ ელექტრო მოწყობილობის ექსპლუატაცია დაიშვება ამ ელექტრო მოწყობილობაზე შესაბამისობის სერტიფიკაციის არსებობის დროს.

ენერგეტიკული რესურსების ენერგომომხმარებელი და ენერგოდამზოვი მოწყობილობების სერტიფიკაცია, ასევე ენერგეტიკული რესურსების მომხმარებელთა, მომწოდებელთა და მწარმოებელთა ინტერესების შერწყმა წარმოადგენს სახელმწიფოს ენერგოდამზოვი პოლიტიკის ერთ-ერთ ძირითად პრინციპს. აუცილებელი სერტიფიკაციის დროს, პროდუქციის გამოცდა და გაზომვა წარმოებს აკრედიტებული საცდელი ლაბორატორიების (ცენტრების) მიერ. ასეთი ლაბორატორია (ცენტრი) აფორმებს გამოცდისა და გაზომვის შედეგებს შესაბამისი ოქმების სახით, რომელთა საფუძველზე სერტიფიკაციის ორგანო იღებს გადაწყვეტილებას შესაბამისობის სერტიფიკატის გაცემის ან გაცემაზე უარის შესახებ. მომხმარებელთა უავარიო და ხარისხიანი ელექტრომომარაგება ბევრად არის დამოკიდებული სახელმწიფო კონტროლის ეფექტურობაზე. პროდუქციის აუცილებელი სერტიფიკაციის წესების, სტანდარტის ან ამ დარგში სხვა ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნების დარღვევისათვის გათვალისწინებული უნდა იყოს დისციპლინარული,

ადმინისტრაციული სამოქალაქო - სამართლებრივი და სისხლის სამართლის პასუხისმგებლობა. როგორც ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციისათვის, ასევე ელენერჯის მომხმარებლებისა და სახელმწიფო მაკონტროლებელი ორგანოებისათვის პასუხისმგებლობის საკანონმდებლო ბაზას წარმოადგენენ:

- ადმინისტრაციული პასუხისმგებლობა;
- სამოქალაქო - სამართლებრივი პასუხისმგებლობა;
- სისხლის სამართლის პასუხისმგებლობა;

ასევე შესაბამისი სახელმწიფოს კანონები და მთავრობის დადგენილებები, ტექნიკური რეგლამენტების დაცვისათვის სახელმწიფო კონტროლი უნდა განხორციელდეს სახელმწიფო კონტროლის ორგანოების თანამდებობის პირების მიერ კანონმდებლობით დადგენილი წესით. პასუხისმგებლობა უნდა დაეკისროთ სერტიფიკაციის ორგანოსა და მის თანამდებობრივ პირებს, რომლებიც დაარღვევენ სერტიფიკაციის სამუშაოს შესრულების წესებს, თუ ასეთმა დარღვევამ გამოიწვია ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნების შეუსაბამო პროდუქციის გამოშვება.

კანონმდებლობის თანახმად, პასუხისმგებლობა უნდა დაეკისროთ ასევე აკრედიტებულ საცდელ ლაბორატორიებს და ექსპერტებს გამოცდისა და გაზომვის შედეგების არასარწმუნოებისა და არაობიექტურობისათვის.

ნაშრომის მესამე თავი ეძღვნება მაღალი რიგის ჰარმონიკებსა და დამახინჯების სიმძლავრეებს ელექტრულ სისტემებში, მათ გამოწვევ 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 ელექტრო ენერჯის დანაკარგების გაზრდისა და ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდიკა. ასევე, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოსა და საზღვარგარეთ.

უკანასკნელ წლებში, ენერგეტიკაში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრომომხმარებლის ობიექტების ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრას. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ელექტრულ წრედებში არასიმეტრიულ და არასინუსოიდურ რეჟიმებში მიმდინარე პროცესები უფრო რთულია, ვიდრე სინუსოიდურ რეჟიმებში. ამიტომ მათი აღწერისათვის საჭიროა დამატებითი სიმძლავრის მახასიათებლების შემოტანა.

თუ ელექტრულ სისტემებში სინუსოიდური დენის შემთხვევაში ნებისმიერი ენერგეტიკული პროცესი სრულიად და ცალსახად აღიწერება აქტიური P, რეაქტიული Q და სრული S სიმძლავრეებით, რომელთა გეომეტრიული ინტერპრეტაცია გამოისახება მართკუთხა სამკუთხედის საშუალებით, არასინუსოიდური დენის წრედებში ზემოთხსენებულ სამ სიმძლავრეს ემატება მეოთხე - დამახინჯების T სიმძლავრე და მათი გეომეტრიული ინტერპრეტაცია ჩვენს მიერ წარმოდგენილ იქნა პარალელებიპედიტ (ნახ.2), რომელიც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ პარალელებიპედიტის თითოეული გვერდისა და დიაგონალის ფიზიკური არსი.

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

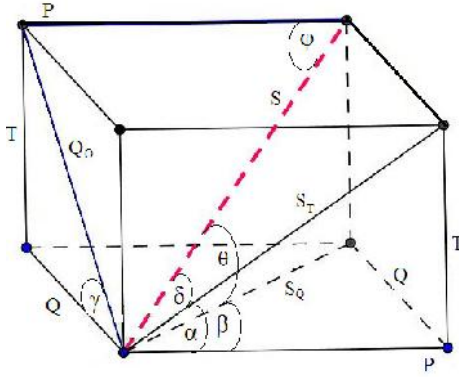
$$P = \sum_{i=1}^n U_i I_i \cos \varphi_i \quad (1)$$

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

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i I_i \sin \varphi_i \quad (2)$$

დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$T^2 = \sum_{i=1}^n (U_i^2 I_{2\gamma-i}^2 + U_{2\gamma-i}^2 I_i^2 - 2U_i U_{2\gamma-i} I_i I_{2\gamma-i} \cos(\varphi_i - \varphi_{2\gamma-i})) \quad (3)$$



ნახ.2. სიმძლავრეთა პარალელეპიპედი

Q_0 - წრედის სრული რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_0 = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (4)$$

S_0 - არის P და Q სიმძლავრეებით განსაზღვრული სრული სიმძლავრე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_0 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

გარდა (3) გამოსახულებისა დამახინჯების სიმძლავრე ასევე განისაზღვრება რეაქტიული სიმძლავრეების საშუალებით

$$T = \sqrt{Q_0^2 - Q^2} \quad (6)$$

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

$$S_T = \sqrt{P^2 + T^2} \quad (7)$$

სიმძლავრეთა პარალელეპიპედიდან განვსაზღვრეთ ძვრის კუთხეები ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის.

ანალოგიურად, აგებულ იქნა პარალელეპიპედედი დენებისა და ძაბვების, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ არასინუსოიდური დენის წრედში საზომი საშუალებების გამოყენებით განსაზღვრული დენის ან ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობით განისაზღვროს წრედში გამავალი დენის ან მოდებული ძაბვის

აქტიური, რეაქტიული და დამახინჯების მდგენელები. აღნიშნული მიდგომის მართებულობა შემოწმებულ იქნა კონკრეტული მაალითით სისტემა SCADA-ს საარქივო მონაცემების მიხედვით.

ამავე თავში მოყვანილია არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის მეთოდიკა. როგორც ცნობილია, არასიმეტრიულ და არაწრფივ დატვირთვას 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 გაზომვისა და მათ მიერ გამოწვეული დანაკარგების საკითხი. ამიტომ ძალიან აქტუალური ხდება არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელების პარამეტრების გაზომვის შედეგების უტყუარი შეფასების ამოცანა.

სადისერტაციო სამუშაოების შესრულების პროცესში მივედით იმ დასკვნამდე, რომ სამფაზა ქსელის არასიმეტრიული და არასინუსოიდური დატვირთვის დროს სრული სიმძლავრისა და მისი მდგენელების გაზომვა და გაანგარიშება ყველაზე მარტივი და მოსახერხებელია ელექტრო ენერჯის მონიტორინგის თანამედროვე სისტემა SCADA-ს გამოყენებით, რომელიც ზომავს და არქივში ინახავს ელექტრო ენერჯის თერთმეტ პარამეტრს. სწორედ დამახინჯების სიმძლავრისა და მის მიერ გამოწვეული დანაკარგების განსაზღვრის ეს მარტივი ხერხია შემოთავაზებული წინამდებარე სამუშაოში.

ამავე თავში მოყვანილია მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოსა და საზღვარგარეთ, რადგან უკანასკნელ ხანებში მძლავრი გარდამქმნელების მქონე ობიექტების ზრდასთან დაკავშირებით იზრდება ინტერესი დენისა და ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების მიმართ. დენისა და ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკები წარმოადგენენ სერიოზულ პრობლემას ელექტროენერგეტიკული სისტემების ელექტროტექნიკური

მოწყობილობებისათვის. ამიტომ ელექსელებში აღძრული ჰარმონიკების სიდიდეები მკაცრად ნორმირებულია და შესაბამისად, წარმოადგენენ ელენერგიის ხარისხის ერთ-ერთ პირობას, რომელიც რეგლამენტირებულია შესაბამისი ხელშეკრულებებით.

მეზობელ ენერგოსისტემებს შორის დაკავშირების დროს, სადაც მოითხოვება ელექტროენერგიის კომერციული გადაცემის შესახებ სახელმწიფოთაშორისი ხელშეკრულებების მკაცრი შესრულება, უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება მუდმივი დენის ჩანართებს. ისინი ენერგოსისტემების გაერთიანებისათვის ქმნიან ხელსაყრელ პირობებს. კერძოდ, იძლევიან ენერგოსისტემებს შორის ასინქრონული მუშაობის განხორციელების შესაძლებლობას, რომლითაც პრაქტიკულად უზრუნველყოფენ მაღალ საიმედოობას, სისტემებს შორის სიმძლავრეთა გადადინების უინერციო რეგულირებას, ქმნიან დამატებით შესაძლებლობებს რეჟიმების ოპტიმიზაციისათვის და ურთიერთდახმარებისათვის ენერგოსისტემებს შორის. მაგრამ ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ მუდმივი დენის ჩანართს მრავალ ღირსებებთან ერთად გააჩნია ნაკლოვანებებიც. ერთ-ერთი ასეთი ნაკლოვანება მდგომარეობს იმაში, რომ მათ თავის შემადგენლობაში გააჩნიათ მძლავრი ვენტილური გარდამქმნელები, რომლებიც წარმოადგენენ მაღალი რიგის ჰარმონიკების წყაროებს.

რადგან საქართველოში არსებობს ერთი ასეთი ობიექტი, ახალციხის 500/400 კვ მუდმივი დენის ჩანართი, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს საქართველოსა და თურქეთის ენერგოსისტემებს. სწორედ ამიტომ, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხებს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს. საქართველოსათვის უნდა დადგინდეს ელექტროენერგიის დაბინძურების წყაროები და პარამეტრები; განისაზღვროს მათი შეზღუდვის ღონისძიებები, რაც მოგვცემს საშუალებას შესაბამისი ანალიზისა და სისტემის კონფიგურაციიდან გამომდინარე, მიღებულ იქნეს ელექტროენერგიის

ხარისხის ისეთი ნორმები, რაც უზრუნველყოფს დანაკარგების მინიმიზაციას, ელენერგიის ხარისხის გაუმჯობესებასა და ენერგოეფექტურობის ამაღლებას.

ამავე თავში მოყვანილია, რომ ჰარმონიკების ნორმირება სხვადასხვა ქვეყანაში ერთმანეთისაგან ძლიერ განსხვავდებიან. განსხვავებულია არა მხოლოდ ნორმირებული მაჩვენებლების სიდიდეები, არამედ მათი შემადგენლობაც. როგორც წესი შეზღუდვები ძირითადად შემოღებულია ძაბვის ჰარმონიკებისათვის. ჰარმონიკების ნორმები შეზღუდულია ან თითოეული ჰარმონიკისათვის, ან ყველა ჰარმონიკისათვის ერთად.

ჩატარებული ანალიზის შედეგად დადგენილია, რომ ელექტრო ენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ არსებულ სტანდარტებში არ არის გათვალისწინებული ელენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები 330 კვ ძაბვის ზევით. საქართველოში 500/400 კვ ძაბვის მუდმივი დენის ჩანართის არსებობის გამო, რომელსაც გააჩნია მძლავრი ვენტილური გარდამქმნელი, საჭიროა მიღებულ იქნეს შესაბამისი ნორმები ელენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ.

ნაშრომის მეოთხე თავი ეძღვნება ექსპერიმენტულ გამოკვლევებს, რომლებიც ჩატარებულ იქნა სადისერტაციო სამუშაოს კვლევის ძირითად ობიექტზე, მაღალი რიგის ჰარმონიკების უდიდეს წყაროზე – ახალციხის 500/400/220 კვ ძაბვის და 700 მვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მქონე ქვესადგურსა და მასთან მიერთებულ ძაბვის ქსელზე.

ექსპერიმენტული გაზომვები ჩატარდა სემეკ-ის კუთვნილი G4500 ტიპის პორტატული ანალიზატორის საშუალებით. პირველი ჩატარებულ იქნა ახალციხის ქვესადგურის 500, 220 და 0,4 კვ სალტებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევის მიზნით, იმ შემთხვევისათვის, როცა მუდმივი დენის ჩანართი გამორთულია.

ასეთი გაზომვების ჩატარების მიზანს წარმოადგენს 500/400/220 კვ ქვესადგურ ახალციხეში ძაბვების დამახინჯების იმ დონეების დადგენა, რომლებიც გამოწვეულია ქსელში არაწრფივი მომხმარებლებისა და თვითონ გენერაციის წყაროების მიერ, იმ რეჟიმში როდესაც მუდმივი დენის ჩანართი, როგორც ქსელის ერთ-ერთი დამაბინძურებელი, გამორთულია.

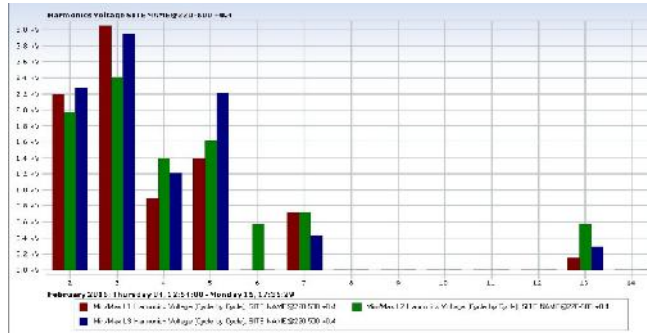
გაზომვის პროცესში ენერგოსისტემა მუშაობდა რუსეთის ერთიან ენერგოსისტემასთან პარალელურ რეჟიმში 500კვ ეგზ „კავკასიონით“; რეჟიმულად გამორთული იყო 500კვ ეგზ-ბი „ვარძია“, „ქართლი-1“, მუდმივი დენის ჩანართი და 400 კვ ეგზ „მესხეთი“. დანარჩენ სასისტემო მნიშვნელობის 500 და 220 კვ ეგზ-ები დატვირთული იყო. ნახ.3-ზე გრაფიკულად წარმოდგენილია ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე, საიდანაც ჩანს, რომ 500 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები, როცა მუდმივი დენის ჩანართი გამორთულია მერყეობს $0,42 \pm 1,15\%$ -ის ფარგლებში.



ნახ.3. 500კვ სალტეებზე ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე

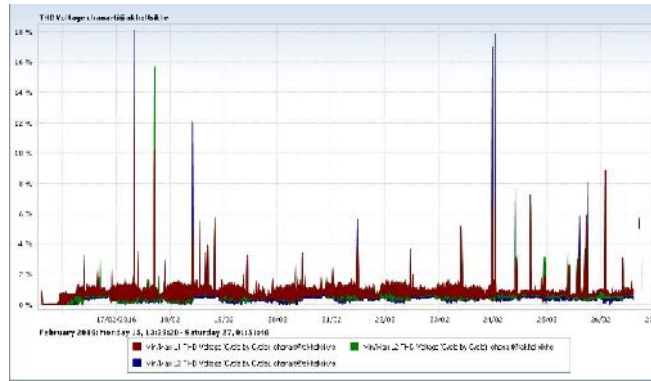
ნახ.4-ზე წარმოდგენილია არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა ცალკეული ფაზების მიხედვით. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, არასინუსოიდური ძაბვის შემადგენლობაში დომინირებენ მე-2, მე-3, მე-4, მე-5 რიგის ჰარმონიკები. ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ ლუწი რიცხვის ჰარმონიკები თავისი მცირე მნიშვნელობიდან გამომდინარე მხედველობაში არ

მიიღებინ. ასევე, სამკუთხა შეერთებების გამო, მესამე და სამის ჯერადი ჰარმონიკები ელექტრულ ქსელებში არ უნდა ფიგურირებდნენ. ამიტომ ეს საკითხი ითხოვს დამატებით კვლევებს.



ნახ.4. 500 კვ სალტებზე არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა
 ამავე რეჟიმში, 220 და 04 კვ ძაბვის სალტებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები მერყეობს 0,45÷1,2 %-ის ფარგლებში. ორივე შემთხვევაში არასინუსოიდური ძაბვის შემადგენლობაში დომინირებენ მე-3, მე-5, მე-7, რიგის ჰარმონიკები. ამის შემდეგ, ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა ჩატარებულ იქნა ახალციხის ქვესადგურის 500 სალტებზე მუდმივი დენის ჩანართის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში.

ამ პერიოდში საქართველო-თურქეთის მიმართულებით 400 კვ ეგხ „მესხეთის“ საშუალებით წარმოებდა ელექტრო ენერჯის ექსპორტი, წყვეტილი რეჟიმით: დღის განმავლობაში 10 საათიდან 22 საათამდე ხორციელდებოდა ექსპორტი 85 მგვტ სიმძლავრით, ხოლო 22-საათიდან 10 საათამდე ეგხ „მესხეთი“ იყო გამორთული, ანუ მუდმივი დენის ჩანართი არ იყო ჩართული, ხოლო გაზომვის პროცესი მიმდინარეობდა უწყვეტ რეჟიმში. საქართველოს ენერგოსისტემა რუსეთის ენერგოსისტემასთან შემოღინებით მუშაობდა პარალელურ რეჟიმში 89,2 მგვტ და ასინქრონულ რეჟიმში თურქეთის ენერგოსისტემასთან 85,89 მგვტ გადაღინებით. ამ პერიოდში, ძაბვის ჯამური დამახინჯების რეალური სახე წარმოდგენილია ნახ.5–ზე.



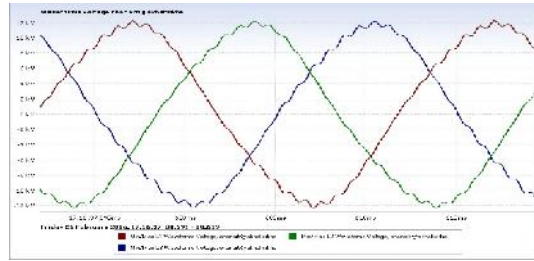
ნახ.5. კვლევის პერიოდის განმავლობაში ძაბვის ჯამური დამახინჯების რეალური სახე

როგორც ნახ.5–დან ჩანს, გარკვეული პერიოდების განმავლობაში ადგილი ჰქონდა ძაბვის სინუსოიდურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობათა ცვლილებას 18 %-მდეც კი, რაც ძალიან დამაფიქრებელია. ჩვენს წინაშე დაისვა საკითხი, რით იყო გამოწვეული აღნიშნული მოვლენები. პირველ რიგში მოვახდინეთ პიკური მნიშვნელობების განშლა.

2016 წლის 17 თებერვალს 17 საათსა და 21 წუთიდან - 23 წუთამდე ენერგოსისტემაში ადგილი ჰქონდა ორი 500 კვ ეგხ-ის გამორთვას, მართალია რეჟიმულად დიდი ცვლილებები არ მომხდარა, ვინაიდან ტვირთები ხაზებზე არ აღემატებოდა 20 მგვტ-ს. ჩვენი გაზომვებით დაფიქსირებულ იქნა ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის მკვეთრი ზრდა 1-დან 16 %-მდე, რაც წარმოდგენილია ნახ.6–ზე, ხოლო მისი განაშალი მოცემულია ნახ.7.

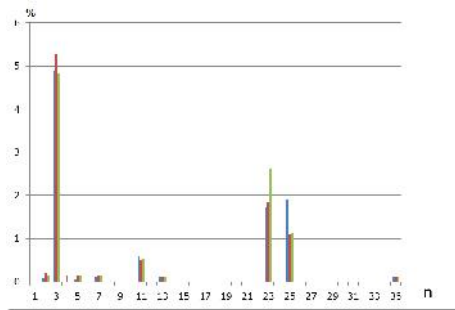


ნახ.6. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის ზოგადი სახე 17 საათი და 10 წუთიდან 40 წუთამდე მონაკვეთში



ნახ.11. ფარავანძეს–ის საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდები

ყველა ფაზის სინუსოიდას გააჩნია ერთნაირი დამახინჯება და აქვს განმეორებადი ხასიათი, რაც მიგვანიშნებს გენერატორის კონსტრუქციის არასრულყოფილობაზე. ჩვენთვის ასევე საინტერესო იყო აღნიშნული ძაბვების ჰარმონიული შედგენილობა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.12.–ზე.



ნახ.12. ფარავანძეს–ის საგენერატორო ძაბვის ჰარმონიული შედგენილობა

ნახ.12. –დან აშკარად ჩანს, მესამე რიგის ჰარმონიკის არსებობა და ამასთანავე, მისი დიდი მნიშვნელობა. ლიტერატურიდან ცნობილია გენერატორებზე, რომელთა გრაგნილები შეერთებულია სამკუთხედად, მესამე და მისი ჯერადი ჰარმონიკები არ უნდა ფიგურირებდნენ. ეს საკითხიც ცალკე კვლევის საგანია. აღსანიშნავია ასევე, რომ თავი იჩინა 23–ე და 25–ე ჰარმონიკებმა, რაც დამახასიათებელია გამმართველი მოწყობილობებისათვის, ხოლო გენერატორში გამმართველი მოწყობილობა არა გვაქვს.

შედარების მიზნით, 2016 წლის 5 აპრილს, ანალოგიური გაზომვები ჩავატარეთ ორთაქალაქის გენერატორზე, რომლის ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მისი მნიშვნელობა არ აღემატება 1,1 %-ს და ძაბვის სინუსოიდები „სუფთაა“.

ფარავანჭვის და ორთაჭალჭვის აგრეგატზე ჩატარებული კვლევების შედეგების მიხედვით, შეიძლება დავასკვნად, რომ საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. შესაბამისად, მიზანშეწონილია ჩატარდეს ანალოგიური კვლევები ქვეყნის მასშტაბით, როგორც ძველ, ასევე ახალი გენერაციის წყაროებზე, გამოიკვეთოს ქვეყნის მასშტაბით ელენერგიის დაბინძურების რუკაზე გენერაციის წყაროების წილობრივი მდგენელი და დაისახოს შესაბამისი, როგორც საკანონმდებლო - ნორმატიული, ასევე ტექნიკური ღონისძიებები.

დასკვნა

1. დადგენილია, რომ ცვლადი დენით გადაცემისას ეკონომიურობის ეფექტურობის ზრდას თან სდევს იმედიანობის შემცირება, და იმედიანობის ზრდას თან ახლავს ეკონომიურობის ეფექტურობის შემცირება. ხოლო მუდმივი დენით გადაცემისას - იმედიანობის ზრდას თან ახლავს ეკონომიურობის შემცირება.

2. მუდმივი დენით გადაცემის ხაზის კრიტიკული სიგრძე, რომლის დროსაც ხარჯების ეკონომია კომპენსირდება შესაბამისი გარდამქმნელი ქვესადგურების მაღალი ღირებულებით, სამფაზა ცვლადი დენით გადაცემასთან შედარებით შეადგენს დაახლოებით 800-900 კმ, ხოლო სამფაზა სარეზერვო ფაზის შემთხვევაში - 1200-1500 კმ.

3. დადგენილია, რომ სტანდარტის ნორმები საუწყებო ნორმებთან და წესებთან შედარებით არის პრიორიტეტული და ამიტომ აუცილებელია ისინი გამოყენებულ იქნენ დოკუმენტაციის ყველა სახეობაში.

4. ჩატარებული ანალიზის შედეგად დადგენილია, რომ ელექტრო ენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ არსებულ ყველა სტანდარტში

გათვალისწინებული არ არის ელექტრო ენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები 330 კვ ძაბვის ზევით.

5. დადგენილია, რომ საქართველოში 500/400 კვ ძაბვის მუდმივი დენის ჩანართის არსებობის გამო, რომელსაც გააჩნია მძლავრი ვენტილური გარდამქმნელი, საჭიროა მიღებულ იქნეს საქართველოს სტანდარტი ელექტრო ენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ.

6. ელწრედების თეორიის საფუძველზე, ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის დამუშავებულ იქნა მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ მარტივად გავანალიზოთ ელექტრო ენერჯის წარმოებისა და მოხმარების ესა თუ ის მხარე. ასევე, ერთმანეთთან დავაკავშიროთ სხვადასხვა საზომი სისტემებით გაზომილი ელექტრომოხმარების ენერგეტიკული მახასიათებლები.

7. ჩატარებული კვლევითი სამუშაოს საფუძველზე, შემოთავაზებულ იქნა სისტემა SCADA-ს საარქივო მონაცემების მიხედვით, სამფაზა ქსელის არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის შემთხვევისათვის დამახინჯების სიმძლავრის მნიშვნელობისა და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების გაზრდის მიზეზის განსაზღვრის მეთოდიკა.

8. ჩატარებული კვლევებით დადგენილია, რომ ახალციხის 500/400/220 კვ ქვესადგურის 500 კვ ძაბვის სალტეზე, როცა მუდმივი დენის ჩანართის გამორთვის შემთხვევაში, ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები მერყეობს $0,42 \pm 1,15$ %-ის ფარგლებში, ხოლო ჩართული მდგომარეობის დროს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში აღწევს 18 %-მდე.

9. დადგენილია, რომ დასაშვებ ნორმაზე ზევით ძაბვის დამახინჯება მიმდინარეობს $1,5 \pm 2,5$ პერიოდის განმავლობაში, რაც სრულიად საკმარისია მართვისა და ავტომატიკის სისტემების ცრუ ამოქმედებისათვის. ამდენად, მნიშვნელოვანია მისი გათვალისწინება დანაყენების ანგარიშების დროს.

10. დადგენილია, რომ ახალციხის ქვესადგურში 500, 220 და 0,4 კვ სალტეებზე ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის განაშალში ყოველთვის მნიშვნელოვანი სიდიდით მონაწილეობენ ლუწი რიგისა და მესამე რიგის ჰარმონიკები, რაც შემდგომში მოითხოვს დამატებითი კვლევის ჩატარებას.

11. დადგენილია, რომ ფარავანჰესის ჰიდროაგრეგატი თავიდანვე გამოიმუშავებს დამახინჯებული ფორმის ძაბვათა სამფაზა სისტემას, რაც მიგვანიშნებს ამ აგრეგატის კონსტრუქციის არასრულყოფილობაზე.

12. დადგენილია, რომ ძაბვათა „სუფთა“ სისტემას ორთაჭალჰესის ჰიდროგენერატორი გამოიმუშავებს, რაც სრულყოფილობაზე მიუთითებს.

13. ფარავანჰესის და ორთაჭალჰესის აგრეგატზე ჩატარებული კვლევების შედეგების მიხედვით დადგენილია, რომ საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

14. მიზანშეწონილია, რეკომანდაცია მიეცეს შესაბამის სტრუქტურებს ჩატარდეს ანალოგიური კვლევები ქვეყნის მასშტაბით, გამოიკვეთოს ქვეყნის მასშტაბით ელენერჯის დაბინძურების რუკაზე გენერაციის წყაროების წილობრივი მდგენელი და დაისახოს შესაბამისი, როგორც საკანონმდებლო - ნორმატიული, ასევე ტექნიკური ღონისძიებები.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. თ.მუსელიანი, დ.შარიქაძე, მ.არაბიძე, გ.მთვარელიშვილი. მსოფლიო ენერგეტიკის განვითარების ეკოლოგიური და რესურსული შეზღუდვები. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომათა კრებული. ქუთაისი. 18 ივნისი, 2015 წ. გვ. 261–265.

2. დ.შარიქაძე, მ.გურგენიძე. გ.ტორონჯაძე, დ.ჯაში. დამახინჯების სიმძლავრეები ელექტრულ ქსელებში და მათ მიერ გამოწვეული პრობლემები. საერთაშორისო კონფერენცია: „საზღვაო ინდუსტრიის ინოვაციური გამოწვევები“. შრომათა კრებული. ბათუმი, 23–24 ოქტომბერი 2015 წ. გვ.139–145.

3. თ.მუსელიანი, 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“. შრომათა კრებული. ქუთაისი. 24–25 ოქტომბერი, 2015 წ. გვ.50–56.

4. თ.მუსელიანი, დ.შარიქაძე, მ.გურგენიძე, გ.მთვარელიშვილი. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის მეთოდიკა არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში. ჟურ. „ენერჯია“ №3 (75) 2015 წ. გვ. 46-50;

5. დ.შარიქაძე. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოსა და საზღვარგარეთ. ჟურ. „ენერჯია“.N2. 2016. გვ. 11-16.

Abstract

Problem is higher order harmonics in part of electromagnetic compatibility in electric networks. On the one hand according to a strong increase of the development new technologies in recent years, which has growing up consumption and makes distortions in the electric circuit (converting machinery, electric arc steel melting furnaces, etc.). On the other hand - the technological processes of the electronic automated systems wide distribution, which are sensitive to voltage and current distortions of form. In recent years, transmission of electricity for the long distance widely used HVDC, HVDC has important role of connecting two countries power

system, which is required for interstate transmission of electricity to commercial agreements strict performance.

The HVDC has got as merits as number of deficiencies. One of the flaw is having powerful valve converters, which is sources of the voltage and current higher order harmonics. Existence Higher order harmonics in the load nodes brings substantial material damage and further reduces the work of the electric equipment's technical and economic indicators. Therefore HVDC's connected to networks in the 40th row of harmonics including interstate standards (ГОСТ 13109-97) is strictly regulated by the higher order harmonics of normal and maximum permissible values. We should note that the HVDC network connector of different states, current and voltage rates are component of quality standards for electricity conditions, which are regulated under the relevant agreements, so that their failure to comply may lead to certain economic sanctions.

The dissertation research work is one of the main object of the powerful electricity supplier and the largest source of harmonics - Akhaltsikhe 500/400/220 kV voltage and 700 MW HVDC substation and a 220 - 0,4 kV voltage networks connected thereto, and the higher order harmonics of the existence and compliance of norms. Urgent work is conditioned Akhaltsikhe HVDC's purpose, namely, the transfer of commercial electricity from Georgia to Turkey and vice versa, where the higher order harmonics should be strictly rationed.

The first chapter contains a literature review results, there is discussion of the AC and DC current away from the distance of transmission of the general characterization and comparative analysis of the DC power, usage areas of DC current transmission, critical lengths of power lines, which determine economy of transmission of the DC and AC currents, transforming substation elements and their working principles, external characteristics of the inverter and rectifier, DC current transmission technology development trends, DC electricity transmission structural

and principal schemes. The second chapter is dedicated to the quality of electricity, certification and technical regulations, which are considered legal documents, technical regulations and certification of electricity issues, the necessary legal framework for certification and the requirements of technical regulations for the protection of state supervision role.

The third chapter is devoted to the higher order harmonics and distortion of powers in electrical systems, including the causes, analysis methods and tools to cut. In particular, system according to the three phase network nonsinusoidality SCADA-s archival and non-linear distortions of the power and importance of this case, the load capacity of the power losses caused by the increase of the power and features of the method of determination. Also, higher order harmonics of the Standardization of foreign developed countries.

The fourth chapter is devoted to the work of the dissertation is the main object of the study, one of the major electricity supplier and the largest source of harmonics - Akhaltsikhe 500/400/220 kV voltage and 700 MW HVDC substation and a 0.4 kV voltage networks connected thereto, and 220 and the high order harmonics in the establishment and compliance.

The purpose of this chapter is given rectifier - inverter substation in Akhaltsikhe or a HVDC short description, HVDC transmission systems HVDC classification issues; Akhaltsikhe substation 500, 220, and 0.4 kV voltage busbars of the total distortion ratio and the higher order component Harmonics study, when the HVDC is disabled, as well as the bus voltage of 500 kV substation in Akhaltsikhe total distortion ratio and the higher order component Harmonics when the HVDC works in a different mode.

Discussed electrical crown, as higher order harmonics source. The same chapter also presents Processing facilities: Pharavani HPP and comparison Ortachala HPP on the experimental measurements.