

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დავით შარიქაძე

საქართველოს ენერჯოსისტემაში ელექტროენერჯის
ხარისხის მაჩვენებლების შესაბამისობის გამოკვლევა
საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის (სეკ–ის)
სტანდარტების
მოთხოვნებთან

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: ენერჯეტიკა და ელექტროინჟინერია
შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო ივნისი, 2016

საავტორო უფლება © 2016 დავით შარიქაძე
თბილისი
2016 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავცანით დავით შარიქაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საქართველოს ენერგოსისტემაში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესაბამისობის გამოკვლევა საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის (სეკ-ის) სტანდარტების მოთხოვნებთან“ და ვამღებთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი :

ხელმძღვანელი:

პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016 წელი

ავტორი: შარიქაძე დავითი

დასახელება: საქართველოს ენერჯისტიკაში ელექტროენერჯის ხარისხის
მაჩვენებლების შესაბამისობის გამოკვლევა საერთაშორისო
ელექტროტექნიკური კომისიის (სეკ-ის) სტანდარტების მოთხოვნებთან

ფაკულტეტი: ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პროცენტების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ
მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ
მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო
ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ელექტრულ ქსელებში მაღალი რიგის ჰარმონიკების პრობლემა წარმოადგენს ელექტრომოწყობილობის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნაწილს. მისი მნიშვნელობა ძლიერ გაიზარდა უკანასკნელი წლების განმავლობაში ახალი ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად, რომელმაც ერთის მხრივ მიგვიყვანა ისეთი ელექტრომიმღებების მიერ ელენერჯის 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 მგრძობიარენი არიან ძაბვისა და დენის ფორმის დამახინჯებების მიმართ.

უკანასკნელ ხანებში, ელენერჯის შორს მანძილზე გადაცემისათვის ფართო გამოყენებას პოულობს მუდმივი დენის ჩანართები (მდჩ), განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მდჩ-ს როლი ორი სხვადასხვა ქვეყნის ენერგოსისტემის შეერთების დროს, სადაც მოითხოვება სახელმწიფოთაშორის ელექტროენერჯის კომერციული გადაცემის შესახებ ხელშეკრულებების მკაცრი შესრულება. ამასთანავე, მდჩ-ებს მრავალ ღირებებთან ერთად გააჩნიათ მთელი რიგი ხარვეზები. ერთ-ერთი ხარვეზია თავის შემადგენლობაში მძლავრი ვენტილური გარდამქმნელების არსებობა, რომლებიც წარმოადგენენ ძაბვისა და დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკების წყაროებს. მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობას დატვირთვის კვანძებში მოაქვს მნიშვნელოვანი მატერიალური ზარალი და ამასთანავე, ამცირებს ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ტექნიკო-ეკონომიურ მაჩვენებლებს.

ამიტომ მდჩ-სთან მიერთებულ ქსელებში მე-40 რიგის ჰარმონიკის ჩათვლით სახელმწიფოთაშორისი სტანდარტით (ГОСТ 13109-97) საკმაოდ მკაცრად ნორმირდებიან მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმალური და

ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები. მართებულად უნდა აღვნიშნოთ, რომ სხვადასხვა ქვეყნების ენერგოსისტემების შემაერთებელ მდგ-ზე დენებისა და ძაბვების ჰარმონიკებზე დადებული ნორმები შედიან ელექტროენერჯის ხარისხის პირობების რიცხვში, რომლებიც რეგლამენტირებულია შესაბამისი ხელშეკრულებებით, ასე რომ მათმა შეუსრულებლობამ შეიძლება გამოიწვიოს ესა თუ ის ეკონომიური სანქცია.

წარმოდგენილი სადისერტაციო სამუშაოს კვლევის ძირითად ობიექტს წარმოადგენს მაღალი რიგის ჰარმონიკების უდიდესი წყარო – ახალციხის 500/400/220 კვა ძაბვისა და 700 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მქონე ქვესადგური და მასთან მიერთებული 220 კვ და 0,4 კვ ძაბვის ქსელები და მათში მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობის დადგენა და ნორმებთან შესაბამისობა. სამუშაოს აქტუალობას ძირითადად განაპირობებს ახალციხის მდგ-ს დანიშნულება, კერძოდ, ელექტროენერჯის კომერციული გადაცემა საქართველოდან თურქეთში და პირიქით, სადაც მაღალი რიგის ჰარმონიკები ნორმირებული უნდა იქნეს ძალიან მკაცრად.

ნაშრომის პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები, სადაც მუდმივი დენის ელექტროგადაცემის მოკლე ისტორიასთან ერთად განხილულია ცვლადი და მუდმივი დენით შორს მანძილზე გადაცემის ზოგადი დახასიათება და შედარებითი ანალიზი, მუდმივი დენით გადაცემის გამოყენების სფერო, ელექტროგადამცემი ხაზების კრიტიკული სიგრძეები, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება მუდმივი და ცვლადი დენით გადაცემების ეკონომიურობა, გარდამქმნელი ქვესადგურის ელემენტები და მათი მუშაობის პრინციპები, გამმართველისა და ინვერტორის გარე მახასიათებლები, მუდმივი დენის გადაცემის ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი მიმართულებები, მუდმივი დენით გადაცემის სტრუქტურული და პრინციპული სქემები.

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

ნაშრომის მესამე თავი ეძღვნება მაღალი რიგის ჰარმონიკებსა და დამახინჯების სიმძლავრეებს ელექტრულ სისტემებში, მათ გამოიწვევ მიზეზებს, ანალიზის მეთოდებსა და შემცირების საშუალებებს. კერძოდ, წარმოდგენილია სისტემა SCADA-ს საარქივო მონაცემების მიხედვით სამფაზა ქსელის არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის შემთხვევისათვის დამახინჯების სიმძლავრის მნიშვნელობისა და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების გაზრდისა და ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდიკა. ასევე, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოსა და საზღვარგარეთის განვითარებულ ქვეყნებში.

ნაშრომის მეოთხე თავი ეძღვნება სადისერტაციო სამუშაოს კვლევის ძირითად ობიექტს, ერთ-ერთ თანამედროვე მძლავრ და ჰარმონიკების უდიდეს წყაროს – ახალციხის 500/400/220 კვ ძაბვისა და 700 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მქონე ქვესადგურსა და მასთან მიერთებული 220 და 0,4 კვ ძაბვის ქსელებს და მათში მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობის დადგენასა და ნორმებთან შესაბამისობას. ამ მიზნით, ამ თავში მოყვანილია ახალციხის გამმართველ - ინვერტორული ქვესადგური ანუ მუდმივი დენის ჩანართის მოკლე აღწერა, მაღალი ძაბვის მუდმივი დენის HVDC გადაცემის სისტემების კლასიფიკაციის საკითხები; გამოყენებული საზომი ხელსაწყო მახასიათებლები; ახალციხის ქვესადგურის 500, 220 და 0,4 კვ ძაბვის სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი

მაღალი რიგის ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევის შედეგები, როცა მუდმივი დენის ჩანართი გამორთულია, ასევე ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ სალტზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი მაღალი რიგის ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევის შედეგები მუდმივი დენის ჩანართის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში. განხილილია გვირგვინის მოვლენა, როგორც მაღალი რიგის ჰარმონიკების წყარო. ამავე თავში წარმოდგენილია ასევე გენერაციის ობიექტებზე: ფარავანჰესსა და მასთან შედარებისათვის ორთაჭალჰესზე ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგები.

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.

შინაარსი

ცხრილების ნუსხა	xiii
ნახაზების ნუსხა	xiv
შესავალი	17
თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა	
1.1. მუდმივი დენის ელექტროგადაცემის ისტორია	25
1.2. ცვლადი და მუდმივი დენით შორს მანძილზე გადაცემის (შმგ) ზოგადი დახასიათება და შედარებითი ანალიზი	28
1.3. ინოვაციები სამფაზა ელექტროგადაცემის სისტემის სფეროში	29
1.4. მუდმივი დენით გადაცემა და მისი გამოყენების სფერო	29
1.5. ექვსფაზა ელექტროგადაცემა	30
1.6. მართვადი თვითმაკომპენსირებელი საჰაერო ხაზები	31
1.7. ოთხფაზიანი ელექტროგადაცემები	31
1.8. ელგადამცემი ხაზების კრიტიკული სიგრძეები, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება მუდმივი და ცვლადი დენით გადაცემების ეკონომიურობა	32
1.9. ელექტროენერჯის გადაცემა მაღალი ძაბვის მუდმივი დენით	33
1.10. გარდამქმნელი ქვესადგურის ელემენტები და მათი მუშაობის პრინციპები	37
1.11. გამმართველისა და ინვერტორის გარე მახასიათებლები	42
1.12. ორმაგი ბოგას სქემით მომუშავე გარდამქმნელის მუშაობის პრინციპები	46
1.13. ტრანსფორმატორები	47
1.14. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრები	48
1.15. რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი მოწყობილობები	50
1.16. ქვესადგურების ნეიტრალის მოწყობილობები და სქემები	51
1.17. ამომრთველები	52
1.18. მუდმივი დენის გადაცემის ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი მიმართულებები	52

1.19. მუდმივი დენით გადაცემის სტრუქტურული სქემები _____	53
1.20. მუდმივი დენის ჩანართების პრინციპული სქემები _____	55
1.21. გარდამქმნელი ქვესადგურის სქემები _____	57
თავი II. ელექტროენერჯის ხარისხი, სერტიფიკაცია და ტექნიკური რეგლამენტები	
2.1. ნორმატიულ-სამართლებრივი დოკუმენტები _____	59
2.2. ელექტროენერჯის სერტიფიკაცია და ტექნიკური რეგლამენტები _____	72
2.3. აუცილებელი სერტიფიკაციის საკანონმდებლო საფუძვლები _____	76
2.4. ტექნიკური რეგლამენტის მოთხოვნების დაცვისათვის სახელმწიფო კონტროლი _____	78
თავი III. მაღალი რიგის ჰარმონიკები და დამახინჯების სიმძლავრეები ელექტრულ სისტემაში	
3.1. ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა არასინუსოიდური დენის წრედებში სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით _____	80
3.2. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის მეთოდიკა არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში _____	90
3.3. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოსა და საზღვარგარეთ _____	95
თავი IV. ექსპერიმენტული ნაწილი	
4.1. ახალციხის გამმართველ - ინვერტორული ქვესადგური ანუ მუდმივი დენის ჩანართი _____	103
4.1.1 ზოგადი ცნობები _____	103
4.1.2. მაღალი ძაბვის მუდმივი დენის HVDC გადაცემის სისტემების კლასიფიკაცია _____	105
4.1.3. ტრანსფორმატორები _____	107
4.1.4. გამართვა და ინვერტირება _____	108
4.1.5. ფილტრები _____	109
4.1.6. აქტიური ფილტრები _____	110

4.2. საზომი ხელსაწყო და მისი მახასიათებლები _____	116
4.3. ახალციხის ქვესადგურის 500, 220 და 0,4 კვ სალტებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი მაღალი რიგის ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა, მუდმივი დენის ჩანართის გამორთულ მდგომარეობაში _____	118
4.3.1. ზოგადი ცნობები _____	118
4.3.2. ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა _____	119
4.3.3. ახალციხის ქვესადგურის 220 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა _____	120
4.3.4. ახალციხის ქვესადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა _____	122
4.4. ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა მუდმივი დენის ჩანართის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში _____	123
4.5. გვირგვინის მოვლენა, როგორც მაღალი რიგის ჰარმონიკების წყარო ____	132
4.6. ექსპერიმენტული გაზომვები გენერაციის ობიექტებზე _____	134
დასკვნა _____	138
ლიტერატურა _____	140

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.1. მუდმივი დენის გარდამქმნელი ქვესადგურების ფასები;

ცხრილი.2.1. ელექტროენერგიის სერტიფიკაციაზე გაცხადებული გამანაწილებელი ელექტრული ქსელის კვების ცენტრების მფლობელი ენერჯომომმარაგებელი ორგანიზაციისათვის განკუთვნილი ფორმა;

ცხრილი.2.2. ელექტროენერგიის სერტიფიკაციაზე გაცხადებული გამანაწილებელი ელექტრული ქსელის კვების ცენტრების არამფლობელი ენერჯომომმარაგებელი ორგანიზაციისათვის განკუთვნილი ფორმა;

ცხრილი 3.1. ამონაწერი სისტემა SCADA-ს არქივიდან;

ცხრილი 3.2. ძაბვის სინუსოიდურობის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობები, მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში;

ცხრილი 3.3. ძაბვის ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები;

ცხრილი 4.1. ტრანსფორმატორების მონაცემები;

ცხრილი 4.2. TT 3/12/24, DT 12/36 და C შუნტის ტექნიკური მონაცემები;

ცხრილი 4.3. სასისტემო მნიშვნელობის 500 და 220 კვ ეგხ-ზე არსებული აქტიური დატვირთვები მგვტ-ში;

ცხრილი 4.4. სასისტემო მნიშვნელობის 500 კვ ეგხ-ზე არსებული აქტიური დატვირთვები მგვტ-ში;

ცხრილი 4.5. სასისტემო მნიშვნელობის 500 კვ ეგხ-ზე არსებული აქტიური დატვირთვები 18 თებერვალს 10:18 სთ-ზე, მგვტ-ში;

ცხრილი 4.6. რუსეთის მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემ ხაზებზე გვირგვინის მოვლენით გამოწვეული ელექტროენერგიისა და სიმძლავრის საშუალო ხვედრითი დანაკარგები;

ნახაზების ნუსხა

- ნახ.1.1. მუდმივი დენით გადაცემის პრინციპული სქემა;
- ნახ. 1.2. ერთნაირი სიმძლავრის გადაცემის 800 კვ -ისა და 500 კვ-ის ეგხ -ის ანძების შედარება (ზომები მითითებულია მეტრებში);
- ნახ.1.3. გამმართველის რეჟიმში მომუშავე ერთბოგა გარდამქმნელის ექვივალენტური სქემა;
- ნახ.1.4. გარდამქმნელის ემპ-ის მრუდი გამმართველისა და ინვერტორულ რეჟიმებში;
- ნახ.1.5. ერთბოგა გამმართველის გარე მახასიათებლების ოჯახი;
- ნახ.1.6. ერთბოგა ინვერტორის გარე მახასიათებელთა ოჯახი;
- ნახ.1.7. ერთბოგა გარდამქმნელის გარე მახასიათებლების ოჯახი;
- ნახ.1.8. ორბოგა გარდამქმნელის სქემა;
- ნახ.1.9. მუდმივი დენის გადამცემის სტრუქტურული სქემები;
- ნახ.1.10. მუდმივი დენის ჩანართის პრინციპული სქემები;
- ნახ.1.11. ქვესადგურის გარდამქმნელის ტიპური სქემა;
- ნახ.2.1. ელექტროენერჯის სერტიფიკაციის სისტემის მონაწილეთა ურთიერთქმედების სქემა;
- ნახ.3.1. სიმძლავრეთა სამკუთხედი;
- ნახ.3.2. დენების სამკუთხედი;
- ნახ.3.3. ძაბვების სამკუთხედი;
- ნახ.3.4. სიმძლავრეთა პარალელეპიპედი;
- ნახ.3.5. დენების პარალელეპიპედი;
- ნახ.3.6. ძაბვების პარალელეპიპედი;
- ნახ.4.1. ახალციხის ქვესადგურის თურქეთის მხარის ხედი;
- ნახ.4.2 ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურის 2X350 მგვტ სიმძლავრის

მუდმივი დენის ჩანართი;

ნახ.4.3. სიმენსის ფირმის ცალფაზა ტრანსფორმატორის საერთო ხედი;

ნახ.4.4 ახალციხის 500/400 კვ ქვესადგურის გამმართველის საერთო ხედი;

ნახ.4.5. საქართველოს მხარე, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მფილტრავი ელემენტების განთავსების სქემა;

ნახ.4.6. თურქეთის მხარე, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მფილტრავი ელემენტების განთავსების სქემა;

ნახ.4.7. ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურში განთავსებული ფილტრების საერთო ხედი;

ნახ.4.8. ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურში განთავსებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ხედი;

ნახ.4.9. G4500 ტიპის პორტატული ანალიზატორი;

ნახ.4.10. 500კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე;

ნახ.4.11. 500 კვ სალტეებზე არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა;

ნახ.4.12. 500კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე;

ნახ.4.13. 220 კვ სალტეებზე არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა;

ნახ.4.14. 0,4 კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე;

ნახ.4.15. 0,4 კვ სალტეებზე არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა;

ნახ.4.16. კვლევის პერიოდის განმავლობაში ძაბვის ჯამური დამახინჯების რეალური სახე;

ნახ.4.17. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის ზოგადი სახე 17 საათი და 10 წუთიდან 40 წუთამდე მონაკვეთში;

ნახ.4.18. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის განაშალი 17 თებერვალს 17 :21 სთ–ზე;

ნახ.4.19. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის სპექტრალური შემადგენლობა;

ნახ.4.20. ძაბვის სინუსოიდები 17 თებერვალს 17 :21 სთ–ზე;

ნახ. 4.21. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის ზოგადი სახე 10 საათი და 14 წუთიდან 22 წუთამდე მონაკვეთში;

ნახ. 4.22. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის განაშალი 18 თებერვალს 10 :18 სთ–ზე;

ნახ.4.23. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის სპექტრალური შემადგენლობა.

4.24. ძაბვის სინუსოიდები 18 თებერვალს 10 :18 სთ–ზე;

ნახ.4.25. ძაბვის სინუსოიდები 18 თებერვალს მუდმივი დენის ჩანართის ჩართვამდე არსებული რეჟიმის, მისი ჩართვის, დატვირთვის რეჟიმისა და დამყარებულ მუშა რეჟიმში;

ნახ.4.26. გვირგვინის მოვლენები;

ნახ.4.27. ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტი;

ნახ.4.28. ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდები;

ნახ.4.29. ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის ჰარმონიკული შედგენილობა;

ნახ.4.30. ორთაჭალჭესის საგენერატორო ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის დიაგრამა;

ნახ.4.31. ორთაჭალჭესის საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდები;

ნახ.4.32. ორთაჭალჭესის საგენერატორო ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი.

შესავალი

სამუშაოს აქტუალობა. მთელ მსოფლიოში მოთხოვნა ელექტროენერგიაზე იზრდება არნახული მასშტაბებითა და უპრეცედენტო ტემპებით. სხვადასხვა მიზეზებით შეინიშნება ასევე განახლებადი წყაროების გამოყენების გაზრდის ძლიერი ტენდენცია. ელექტროენერგიის წარმოება ხდება უფრო და უფრო განწერტებული. გენერატორული დანადგარების დიდი რაოდენობა განლაგებულია დატვირთვის ცენტრებიდან მნიშვნელოვან მანძილებზე. ამავე დროს საჭიროა, უზრუნველყოფილ იქნეს რთული ეკონომიური ამოცანებისა და სასათბურე გაზების გამონაბოლქვის შემცირების ვალდებულების შესრულება [1].

ყველა ამ მოთხოვნების განუხრელად შესრულებისათვის კომპანია სიმენსის წყალობით პირველად გახდა ტექნიკურად შესაძლებელი და ეკონომიურად მიზანშეწონილი მაღალი ძაბვის მუდმივი დენით ელექტროენერგიის გადაცემა დიდ მანძილზე 800 კვ ძაბვის დონეზე 7 გიგავატი და მეტი სიმძლავრის უზრუნველყოფით.

ამჟამად, სულ უფრო ხშირად სიმძლავრის გადაცემისათვის მთელ მსოფლიოში მიმართავენ მუდმივი დენის სისტემებს. მუდმივი დენით გადამცემები (მდგ) წარმოადგენენ სასარგებლო დამატებას, ხოლო ზოგჯერ მაღალი ძაბვის ცვლადი დენით ტრადიციული სისტემების ერთადერთ ალტერნატივას.

მუდმივი დენით გადაცემის სისტემების გამოყენება განპირობებულია მათი სპეციფიკური მახასიათებლებით, რომელთაგანაც ძირითადია:

- საჭაერო ან საკაბელო ელექტროგადაცემის ხაზების საშუალებით დიდ მანძილებზე ელექტროენერგიის ეკონომიური გადაცემა;
- ენერგოსისტემებს შორის არასინქრონული კავშირის განხორციელება, რომელიც გვაძლევს საშუალებას, დამოუკიდებლად მოხდეს სიხშირის

რეგულირება თითოეულ სისტემაში. ასევე, რომელიმე ერთ-ერთ სისტემაში რეჟიმების დარღვევა (მაგ: მოკლე შერთვა, სიმძლავრის მკვეთრი ცვლილება, სიმძლავრის მოზღვაება) არ იწვევს მეორე სისტემის მუშაობაზე გავლენას. მათი საშუალებით შესაძლებელია, სხვადასხვა სიხშირეზე მომუშავე რამდენიმე სისტემის გაერთიანება;

- გარდაქმნელების სწრაფი რეგულირება, რომელიც იძლევა საშუალებას პრაქტიკულად ინერციულობის გარეშე შეიცვალოს ნაკადის სიდიდე და მიმართულება. ასეთი კავშირი თავისუფალია არარეგულირებადი სიმძლავრის ნაკადებისაგან და შეუძლია განახორციელოს ელექტროენერჯის გადაცემა მიცემული პროგრამის - დავალების შესაბამისად;

- მათი საშუალებით დაკავშირებული ცვლადი ელექტროსისტემების გაერთიანება ან დამატებითი სიმძლავრეების შეყვანა, რომელიც არ იწვევს მოკლე შერთვის დენების გაზრდას;

- დიდი სიგრძის გადამცემი ხაზებისათვის, არ არსებობს გადასაცემი სიმძლავრის შეზღუდვა მდგრადობის დარღვევის პირობებიდან გამომდინარე. დატვირთვის ტექნიკური ზღვარი საჰაერო და საკაბელო ხაზებისათვის განისაზღვრება მხოლოდ თბური რეჟიმების მიხედვით;

- ცვლადი დენის ელექტროგადამცემ ხაზებთან შედარებით მცირე საჭირო მიწის ფართი, მუდმივი დენის გადამცემ ხაზს 1,5-ჯერ ნაკლების მიწის ზოლი ჭირდება ტრასისათვის, ასევე ნაკლებია ეკოლოგიური უარყოფითი გავლენა;

- მნიშვნელოვანი უპირატესობა ცვლადდთან შედარებით, რადგან ორივე პოლუსის ერთდროულად ამორთვის ალბათობა ერთი რიგით უფრო მცირეა ვიდრე ცვლადი სამფაზა ელექტროგადამცემი ხაზის;

- ფართე წყლის არეალის შემთხვევაში მუდმივი დენის კაბელს ალტერნატივა არ გააჩნია;

ასეთმა ტექნიკურმა მაჩვენებლებმა და ეკონომიკურობამ განაპირობა მათი გამოყენების სფეროები:

- საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზებით დიდ მანძილზე გადაცემის საშუალება;

- საკაბელო ხაზები;
- სისტემათშორის კავშირები;
- დიდ ქალაქებში სიმძლავრეების შეყვანა;
- მოქმედი ელექტროგადამცემი ხაზების გამტარუნარიანობის გაზრდა;
- მაგენერირებელი სიმძლავრეების ასინქრონული მიერთება.

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 ელექტრომიმღებების 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.

უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში, ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის საკითხებს. ელექტრომომარაგების ეკონომიური დანახარჯების შემცირება დაკავშირებულია ელექტროენერჯის ხარისხისა და ელექტრომოწყობილობების საიმედობის ამაღლებასთან. თანამედროვე წარმოება – დაწესებულებები, ადმინისტრაციული და საცხოვრებელი

შენობები აღჭურვილია საზღვარგარეთიდან შემოტანილი უახლესი ტექნოლოგიური და საყოფაცხოვრებო დანადგარებით.

ასეთ დანადგარებს მიწოდებული ელექტროენერჯის მიმართ გააჩნიათ გარკვეული სახის მოთხოვნები. ერთ-ერთი მათგანია სტანდარტის შესაბამისი ელექტროენერჯის ხარისხი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა „SCADA“-ს საშუალებით მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები თვალნათლივ გვიჩვენებენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების სტანდარტებთან შეუსაბამობას. სტანდარტის [2] მიხედვით, საერთო მიერთების ელექტრული ქსელებისათვის არსებობს ელენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებისათვის ნორმირებული ნორმალური და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები (ნორმები დადგენილია მე-40 რიგის ჰარმონიკამდე).

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

აღნიშნული პრობლების შესწავლისადმი მიძღვნილია უამრავი ნაშრომი ისეთი მეცნიერებისა, როგორებიც არიან: ი.ვ. ჟეჟელენკო [3], ი.ს. ჟელეზკო [4] და სხვა. ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესება შეიძლება გამოწვეული იყოს არა მარტო მომხმარებელის, არამედ ელექტროენერჯის მიმწოდებლის მიერადაც. უკანასკნელ ხანებში, ელექტროენერჯის შორს მანძილზე გადაცემისათვის ფართო გამოყენებას პოულობს მუდმივი დენის ჩანართები (მდჩ), რომლებიც მეზობელი ენერგოსისტემების გაერთიანებისათვის ქმნიან მნიშვნელოვან ხელსაყრელ პირობებს. ენერგეტიკაში ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ავტორიტეტული და მნიშვნელოვანი

საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური ასოციაციის, მაღალი ძაბვის დიდი ელექტრული სისტემების საერთაშორისო საბჭოს (CIGRE)–ს მონაცემებით [5] ამჟამად, მსოფლიოში ექსპლუატაციაშია ასზე მეტი მუდმივი დენის ჩანართი. 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 მოვლენასთან.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მდჩ-ს როლი ორი სხვადასხვა ქვეყნის ან ორი სხვადასხვა ეკონომიური რეგიონის ენერგოსისტემის შეერთების დროს, სადაც მოითხოვება სახელმწიფოთაშორის ან რეგიონთაშორის ელექტროენერჯის კომერციული გადაცემის შესახებ ხელშეკრულებების მკაცრი შესრულება. ამასთანავე, მდჩ-ს, 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 რიგის ჰარმონიკებს. ეს ხარვეზი დამახასიათებელია ყველა ტრადიციული დენის გარდამქმნელისათვის და მდჩ-სათვის შეიძლება აღმოჩნდეს განსაკუთრებით სერიოზული ჯერ ერთი, მდჩ-ს ძალიან დიდი სიმძლავრის გამო და შესაბამისად, მათ მიერ დიდი სიდიდის ჰარმონიკების გენერირების გამო და მეორეც, იმის გამო, რომ მდჩ ჩვეულებრივ მიერთებულია მაღალი ძაბვის, ცვლადი დენის, დიდი სიგრძის ელქსელებთან, რომლებშიც ეს ჰარმონიკები მიდრეკილნი არიან 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 შემაერთებელ მდრ-ზე დენებისა და ძაბვების ჰარმონიკებზე დადებული ნორმები შედიან ელექტროენერჯის ხარისხის პირობების რიცხვში, რომლებიც რეგლამენტირებულია ხელშეკრულებებით, ასე რომ მათმა შეუსრულებლობამ შეიძლება გამოიწვიოს შესაბამისი ეკონომიური სანქცია.

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

სადისერტაციო სამუშაო აქტუალურია, რადგან ახალციხის მდრ-ს დანიშნულებაა ელექტროენერჯის კომერციული გადაცემა საქართველოდან თურქეთში და პირიქით, სადაც მაღალი რიგის ჰარმონიკები ნორმირებული უნდა იყოს ძალიან მკაცრად.

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 მდებარე ფარავანჭვის ჰიდროგენერატორზე.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო ნაშრომში გამოყენებულ იქნა კვლევის ანალიზური მეთოდები; 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 გამორთულ მდგომარეობაში ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები მერყეობს $0,42 \div 1,15$ % -ის ფარგლებში, ხოლო მდრ-ის 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 მომავალში დაგეგმილია ასინქრონული კავშირის განხორციელება 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 მოხსენებული 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 20215 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:

1. თ.მუსელიანი, დ.შარიქაძე, გ.მთვარელიშვილი, მ.გურგენიძე, გ.ტორონჯაძე. ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა არასინუსოიდური დენის წრედებში სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით. ჟურ. „ენერჯია“

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

3. დ.შარიქაძე. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოსა და საზღვარგარეთ. ჟურ. „ენერჯია“.

სამუშაოს სტრუქტურა დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 4 თავისაგან, დასკვნისაგან 46 დასახელების ლიტერატურული წყაროსაგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა წარმოდგენილია 145 გვერდზე, შეიცავს 50 ნახაზსა და 13 ცხრილს.

თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. მუდმივი დენის ელექტროგადაცემის ისტორია

ელექტროენერჯის ტრანსპორტირების პირველი მცდელობა დაკავშირებულია მუდმივ დენტან. პირველად ელექტროენერჯის გადაცემა განხორციელდა 1876 წელს სანკტპეტერბურგში 3,5 კმ - მანძილზე რკინიგზის რელსების გამოყენებით. გადაცემული სიმძლავრე შეადგენდა რამდენიმე კვტ-ს, ხოლო ძაბვა - რამდენიმე ასეულ ვოლტს. თუმცა, შემდეგ ტექნიკა განვითარდა მაღალი ძაბვის და სადენების გამოყენების გზით.

1882 წელს საერთაშორისო გამოფენაზე მიუნხენში დემონსტრირებულ იქნა ფრანგი ფიზიკოსის მარსელ დეპრეს მიერ ელექტროენერჯის გადაცემა მუდმივი დენის საშუალებით, დინამო მანქანის მეშვეობით, 57 კმ მანძილზე 2 კვ ძაბვით, ჩვეულებრივი ტელეგრაფის სადენების მეშვეობით. შემდეგ ფრანგების მიერ დაიხვეწა გადაცემის სქემები, მუდმივი დენის გენერატორების მიმდევრობით ჩართვით. 1891 წლიდან მუდმივი დენით ელექტროენერჯის გადაცემას სერიოზული კონკურენტი გაუჩნდა სამფაზა ცვლადი დენის სისტემის სახით [5].

შვეიცარელმა ინჟინერმა ტიურიმ შეძლო შეექმნა ექსპლუატაციაში მოხერხებული მუდმივი დენის გადაცემის სისტემა, რომელიც მუშაობდა ბევრად მაღალი ძაბვის პირობებში, ვიდრე წინა პერიოდში არსებული მუდმივი დენის გადაცემის სისტემა. 20 წლის განმავლობაში ევროპის სხვადასხვა ქვეყნებში ხსენებული სისტემით განხორციელებული იყო დაახლოებით 15 ელექტროგადამცემი ხაზის პროექტი, მათ შორის საქართველოში აშენებული იყო 10 კმ სიგრძის მუდმივი დენის გადამცემი ხაზი ქ. ბათუმში.

ტიურის სისტემით, ყველაზე მსხვილი გადამცემი ხაზი რეალიზებული იყო საფრანგეთში 1906 წელს, რომლის სიგრძე რეკონსტრუქციის შემდეგ 1927 წელს შეადგინა 260 კმ, 125 კვ ძაბვით და 19 მგვტ სიმძლავრით. მაგრამ ამ

პერიოდში დაიწყო მაგენერირებელი ელექტროსადგურების სიმძლავრეების პროგრესული ზრდა, რომლებიც აღჭურვილი იყვნენ ცვლადი დენის გენერატორებით, რომლებიც გაერთიანებული იყვნენ სამფაზა გადამცემი ხაზებით ენერგეტიკულ სისტემაში. მუდმივი დენის გადამცემი ხაზები კი დემონტირებულ იქნენ. მიუხედავად იმისა, რომ მუდმივი დენით გადაცემის საკითხი მოექცა ჩრდილში, მასზე მუშაობა არ შეწყვეტილა.

1930 - იან წლებში მუდმივი დენით გადაცემის ტექნიკის განვითარება დაკავშირებულია დინამო-მანქანების ნაცვლად რკალური და ვერცხლისწყლის სტატიკური გარდამქმნელების (გამმართველი და ინვერტორები) ვენტილების გამოყენებასთან. 1943 - 1945 წლებში ამერიკის შეერთებულ შტატებში, გერმანიაში, შვეიცარიაში და შვედეთში აშენდა რამდენიმე საცდელი, გამართული მუდმივი დენის გადამცემი ხაზები.

ასევე, 1950 წელს რუსეთში, ისევე როგორც სხვა ქვეყნებში, ქ. კაშირში გაშვებულ იქნა სამრეწველო მნიშვნელობის მუდმივი დენის გადამცემი ხაზი, ვერცხლისწყლის ვენტილების გამმართველების საშუალებით, რომლის მონაცემები იყო: ძაბვა - 200 კვ, სიმძლავრე - 30 მგვტ, სიგრძე - 112 კმ. გასული საუკუნის 60 -იან წლებში ექსპლუატაციაში იქნა შეყვანილი 800 კვ ძაბვის, 473 კმ სიგრძის და 720 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის გადამცემი ხაზი - ქვესადგური „მიხაილოვკიდან“ უკრაინის დონბასამდე, ვერცხლისწყლის ვენტილების გამოყენებით, რომელიც იყო იმ დროისათვის უმსხვილესი ობიექტი მსოფლიოში.

1970 წლიდან მაღალი ძაბვის ვერცხლისწყლის ვენტილების გამოყენება აკრძალულ იქნა და შემდგომში მუდმივი დენით გადაცემა ხორციელდებოდა მაღალი ძაბვის ტირისტორული ვენტილების გამოყენებით.

ჯერ გამოყენებულ იქნა უმართავი დიოდის ბლოკები, ხოლო შემდეგ დაიწყო მართვადი დიოდების გამოყენება. რაც იყო გარღვევა მეცნიერებაში, რამაც კარდინალურად გააუმჯობესა გამმართველი მოწყობილობების მუშაობა,

გაიაფდა და მნიშვნელოვად შემცირდა გაბარიტები. აღნიშნულ ბაზაზე შეიქმნა ეკიბასტუზი - ცენტრის უნიკალური პროექტი (6000 მგვტ, 1500 კვ, 2430 კმ).

1970 წელს ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ელექტროენერჯის გადასაცემად ორეგონის შტატში, არსებული ჰესიდან ლოსანჯელესის ელექტროსისტემამდე აშენებული და ექსპლუატაციაში გაშვებულ იქნა წყნარი ოკეანის მუდმივი დენის ელექტროგადამცემი ხაზი 400 კვ ძაბვაზე და 1400 მგვტ სიმძლავრის გამტარიანობით, რომლის სიგრძე იყო 1362 კმ.

1973 - 1990 წლებში კანადაში აშენებული და ექსპლუატაციაში იქნა მიღებული 900 კმ სიგრძის მუდმივი დენის ეგ მდ. ჰელსონის ჰესიდან, რომელიც განთავსებულია ჩრდილოეთში, ქვეყნის სამხრეთში არსებულ ქალაქ ვინიპეგამდე, რომლის სიმძლავრე შეადგენდა 2000 მგვტ-ს და ძაბვა - 500 კვ - ს.

ამავდროულად, მიმდინარეობდა რუსეთი - ფინეთის 330/400 კვ - ის მუდმივი დენის ჩანართის - გამმართველ-ინვერტორიან ქვესადგურზე - საპროექტო სამუშაოები, რომელიც განხორციელდა 1981-1984 წლებში და რომელიც დღემდე ექსპლუატაციაშია.

20 - ე საუკუნის ბოლოსათვის უკვე ექსპლუატაციაში იყო 90 - ზე მეტი მუდმივი დენის გადაცემის ხაზი და მუდმივი დენის ჩანართი და 28 - ზე მეტი კი იმყოფებოდა პროექტირებისა და მშენებლობის სტადიაზე.

ძალიან ინტენსიურად მიმდინარეობს დღესაც ეს სამუშაოები ჩინეთში, ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ინდოეთში. მაგალითად, ჩინეთში აშენებულია ჰესი „სამი ხეობა“, 22,4 ათასი მგვტ დადგმული სიმძლავრით, რომლიდანაც ელექტროენერჯია გადაეცემა არა მარტო 500 კვ ცვლადი ელექტროგადამცემი ხაზებით, არამედ სამი მუდმივი დენის ხაზით - 7200 მგვტ სიმძლავრით [6].

1.2. ცვლადი და მუდმივი დენით შორს მანძილზე გადაცემის (შმგ) ზოგადი დახასიათება და შედარებითი ანალიზი

მსოფლიოში ერთიანი ეროვნული ენერგოსისტემების ფორმირება მიმდინარეობს მძლავრი ზემადალი შორ მანძილზე ელექტროგადაცემის ბაზაზე, რომლებიც ქმნიან ძირითადი ელექტრული ქსელის ერთიანობას, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს მთელი ენერგოგაერთიანების ეკონომიური და საიმედო ფუნქციონირება. დღეის მდგომარეობით, მსოფლიოში შორ მანძილზე ელექტროგადაცემა იყოფა:

- სამფაზა ელექტროგადაცემად;
- არატრადიციულ ცვლადი დენის ელექტროგადაცემად;
- მუდმივი დენის ელექტროგადაცემად.

შორ მანძილზე ელექტროგადაცემა თავის შემადგენლობაში შეიცავს სამ სტრუქტურულ ელემენტს:

- ქვესადგურებს;
- საჰაერო ხაზებს;
- რეაქტიული სიმძლავრის მოწყობილობებს.

შმგ-ს დახვეწა დაკავშირებულია ისეთი მაჩვენებლების გაუმჯობესებასთან, როგორცაა გამტარუნარიანობა, იმედიანობა, მართვადობა, სარემონტოდ ვარგისიანობა და ეკოლოგიური გავლენის მინიმიზაცია. გამტარუნარიანობის გაზრდის რადიკალური გადაწყვეტაა ზემადალი (1000 კვ -მდე) და ულტრამაღალი (1000 კვ - ზე ზევით) ძაბვის გამოყენება.

ულტრამაღალი ძაბვის ეგხ - ის გამოყენების თვალსაზრით, ლიდერი ქვეყნის სტატუსი უკავია ჩინეთს, სადაც 2009 წელს ექსპლუატაციაში შევიდა 1000 კვ ძაბვის სამფაზა ელექტროგადამცემი ხაზი „ჩრდილოეთი-ცენტრალური“. ასევე, ყოფილ სამჭოთა კავშირში აშენებული იყო 1150 კვ ძაბვის სამფაზა ეგხ „ციმბირი - ყაზახეთი -ურალი“, თუმცა ის გამოყენებულია მხოლოდ 500 კვ ძაბვაზე [8]. შმგ - ს მაჩვენებლების გაუმჯობესება

შესაძლებელია ცალკეული თანამდროვე ელემენტების შეყვანითა და ელექტროგადაცემის ახალი ტიპების შემუშავების გზით.

1.3. ინოვაციები სამფაზა ელექტროგადაცემის

სისტემის სფეროში

ბოლო ათწლეულში შესამჩნევია სამეცნიერო პროგრესი კომპაქტური საჰაერო გადაცემის სფეროში [8]. რაციონალური კონსტრუქციები საშუალებას იძლევა ჩვეულებრივ საჰაერო გადაცემასთან შედარებით კომპაქტური საჰაერო ხაზის გადაცემის გამტარუნარიანობა გაიზარდოს 40 – 50 % - ით, მაგრამ ერთჯაჭვა კომპაქტური საჰაერო გადამცემი ხაზის გამოყენება პრობლემატურია, სამფაზა ელექტროგადაცემის პირობების იმედიანობის დაბალი დონის გამო. ამ შემთხვევაში, ცალფაზა დაზიანებების შემთხვევებში სრულად ითიშება გადამცემი ხაზი.

პრობლემების გადაწყვეტის რადიკალური გზაა ერთჯაჭვა კომპაქტურ საჰაერო გადამცემ ხაზებში გამოყენებულ იქნეს დამატებითი სარეზერვო ფაზა [9], რაც მნიშვნელოვნად ზრდის სქემის იმედიანობას, აუმჯობესებს რემონტის უნარიანობას. საჭიროა აღინიშნოს, დიდი პროგრესი მუდმივი დენის მართვადი ელექტროგადაცემის საკითხში [10], რომელიც ცნობილია როგორც FACTS. ასეთი სისტემის სტრუქტურულ ელემენტს, რაც ზრდის მის თვისებებსა და მაჩვენებლებს წარმოადგენს რეგულირებადი VPM.

1.4. მუდმივი დენით გადაცემა და მისი გამოყენების სფერო.

მუდმივი დენით გადაცემის სისტემას ჩვეულებრივ სამფაზა სისტემასთან შედარებით გააჩნია მაღალი იმედიანობა და მართვადობა, რის გამოც მას უწევს რეკომენდაციას შორ მანძილზე ენერჯის გადაცემის დროს.

მუდმივი დენის გადაცემაში გამოყენებულია 6, 12, 24 - ფაზური გამმართველების სქემები, რომლებიც წარმოადგენენ გარდამქნელი ქვესადგურის დამოუკიდებელ ელემენტებს. თითოეული პოლუსი შედგება

პარალელურად ჩართული ერთი ან ორი გარდამქმნელი 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 [11].

СИГРЭ -ს სამუშაო ჯგუფის მიერ 2001 წელს გამოშვებულ იქნა მოხსენება [12] რომლის მიხედვითაც ცხრილი 1.1 -ში მოცემულია მუდმივი დენის გარდამქმნელი ქვესადგურის ფასები (ორივე ბოლოს ჩათვლით).

ცხრილი 1.1. მუდმივი დენის გარდამქმნელი ქვესადგურების ფასები

ძაბვა კვ	სიმძლავრე მგვტ	ხვედრითი ფასი დოლარი/კვტ,	
		ერთი გარდამქმნელი ბლოკი	ორი გარდამქმნელი ბლოკი
±500	1000	170	200
	2000	145	175
	3000	135	160
±600	3000	150	180

1.5. ექვსფაზა ელექტროგადაცემა

ექვსფაზა ელექტროგადაცემა მიეკუთვნება არატრადიციულ გადაცემას. ორჯაჭვა საჰაერო ხაზების განხილვისას ამერიკელ სპეციალისტებს გაუჩნდათ ექვსფაზა ელექტროგადაცემის შექმნის იდეა [13]. იდეის შინაარსი მდგომარეობს შემდეგში: ორი სამფაზა 120° - იანი სისტემის ნაცვლად გამოყენებულია ექვსფაზა 60° - იანი სისტემა. რისთვისაც საჭიროა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორი, რომელიც ცვლადი დენის სამფაზა სისტემას გარდაქმნის ექვსფაზა სისტემად და პირიქით, აღნიშნული სისტემის კომპაქტურობა ზრდის თითოეული ჯაჭვის გამტარუნარიანობას 40 - 50 % - ით, ჩვეულებრივ სამფაზა სისტემასთან შედარებით. აღნიშნული სისტემის სუსტი მხარეა შემცირებული იმედიანობა სამფაზა ორჯაჭვა - სხვადასხვა ანძებზე

დამონტაჟებულ სისტემასთან შედარებით. ამდენად, აღნიშნული სისტემა არის პრობლემური.

1.6. მართვადი თვითმაკომპენსირებელი საჰაერო ხაზები

აღნიშნული სისტემა მიეკუთვნება არატრადიციულ გადაცემას და წარმოადგენს სამფაზა ორჯაჭვა სისტემის მოდიფიკაციას [14]. ასეთი გადამცემი ხაზების ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მათ აქვთ მინიმალურ დასაშვებ სიდიდემდე - მანძილზე დაახლოებული სხვადასხვა ჯაჭვის ფაზები, რომლებიც ფიქსირდება საიზოლაციო მოსაჭიმების საშუალებით. ფაზამარეგულირებელი ტრანსფორმატორების საშუალებით სხვადასხვა ჯაჭვის ფაზებს შორის წარმოიქმნება ფაზათა ძვრა.

ერთი ჯაჭვის ფაზათშორის 180°-ით ძვრის შემთხვევაში გამტარუნარიანობა ჩვეულებრივთან შედარებით იზრდება 50 - 70 % - ით, თუმცა აღნიშნული სისტემის სუსტი მხარეა შემცირებული იმედიანობა სამფაზა ორჯაჭვა - სხვადასხვა ანძებზე დამონტაჟებულ სისტემასთან შედარებით.

1.7. ოთხფაზიანი ელექტროგადაცემები

ზემოთ განხილული სხვადასხვა ტიპის გადაცემების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ ორი ძირითადი მაჩვენებელი - იმედიანობა და ეკონომიურობა ურთიერთსაწინააღმდეგო დამოკიდებულებაში არიან ანუ ეკონომიურობის ზრდა იწვევს იმედიანობის შემცირებას და პირიქით.

ოთხფაზიანი ელექტროგადაცემა [15] წარმოადგენს სასურველ გადაწყვეტილებას, რომელიც იმედიანობასა და ეკონომიურობას თანხვედრილ რეჟიმში აქცევს ანუ ეკონომიურობის ზრდა იწვევს იმედიანობის ზრდასაც.

აღნიშნულ სისტემას საფუძვლად უდევს 4 ფაზა სიმეტრიული გაწონასწორებული ცვლადი დენის სისტემა 90° - იანი ფაზური ძვრის კუთხით.

აღნიშნული სისტემის განსაკუთრებულობა მდგომარეობს შემდეგში:

- სამფაზა სისტემის ოთხფაზა სისტემად გარდაქმნისათვის და პირიქით, გამოყენებულია ფაზაგარდამქნელი ტრანსფორმატორი;

- ოთხფაზა ხაზის ფაზები წარმოქმნიან ორ დამოუკიდებელ სიმეტრიულ ორ ფაზა სისტემას, სადაც თითოეულში ძაბვა და დენი ერთმანეთის მიმართ იმყოფებიან ურთიერთსაწინააღმდეგო ფაზაში (დაძრული არიან 180°), რაც უზრუნველყოფს ხაზის გამტარობას და ამცირებს ეკოლოგიურ გავლენას გარემოზე;

- ერთფაზა დაზიანების შემთხვევაში ან ფაზების ცალცალკე სარემონტო რეჟიმში გადაყვანის დროს, გათვალისწინებულია ხაზის სამფაზა რეჟიმში გადაყვანა.

- ფაზაგარდამქნელი ტრანსფორმატორი ასევე ახორციელებს ხაზზე ძაბვის ამალლებას ეკონომიურად მისაღებ დონემდე და წარმოადგენს ამ სისტემისათვის ახალ მოწყობილობას. სხვა ძირითადი მოწყობილობები ცალფაზა დამზადების პირობებით წარმოადგენენ სამფაზა სისტემების მოწყობილობების იდენტურს. ამჟამად დამუშავებულია ფაზაგარდამქნელი ტრანსფორმატორების სქემები, რომლებიც ითვალისწინებენ 4 ფაზიანიდან 3 ფაზიან რეჟიმში გადასვლას და შეთავაზებულია 4 ფაზიანი საჰაერო გადამცემი ხაზის კონსტრუქციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გამტარუნარიანობის ზრდას 50 - 100 % - ით, სამფაზათან შედარებით.

1.8. ელექტროგადამცემი ხაზების კრიტიკული სიგრძეები, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება მუდმივი და ცვლადი დენით გადაცემის ეკონომიურობა

იმდენად, რამდენადაც მუდმივი დენით გადაცემა შესაძლებელია ასევე უნიპოლარული რეჟიმითაც, ტექნიკურ - ეკონომიკური შედარების დროს ერთჯაჭვა მუდმივი დენით გადაცემას ადარებენ ორჯაჭვა სამფაზა ცვლადი დენით გადაცემას. მაგრამ სამფაზა სარეზერვო ფაზიან და ოთხფაზა საჰაერო გადაცემაზე ორიენტაციის შემთხვევაში, როდესაც იმედიანობის პრობლემა

პრინციპში არის გადაწყვეტილი, მათი შედარების დროს ისინი განხილული უნდა იყოს როგორც ერთჯაჭვა შესრულებით.

მუდმივი და ცვლადი დენით გადაცემების ყველაზე უფრო საერთო თანაბარეკონომიურობის კრიტერიუმს წარმოადგენს სასარგებლო გადაცემაზე გაწეული ხვედრით ხარჯების თანაბრობა. იმ შემთხვევაში, როდესაც შესაძარებელი ვარიანტები ხასიათდებიან ელექტროენერგის წლიური დანაკარგების თანაბრობით, მაშინ შესაძარებელ კრიტერიუმად გამოიყენება კაპიტალური დანახარჯების თანაბრობა.

მუდმივი და ცვლადი დენით 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 [16].

1.9. ელექტროენერგის გადაცემა მაღალი ძაბვის

მუდმივი დენით

დიდი ოდენობის გენერაციის ობიექტების მქონე ცვლადი დენის სისტემებში არსებობს ყველა სინქრონული გენერატორის სინქრონული მუშაობის პრობლემა. ასეთი სისტემების ნორმალური მუშაობის მდგრადი მდგომარეობა განისაზღვრება სისტემის ტექნიკური პარამეტრებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემის უნარს წინ აღუდგეს რეჟიმების შეშფოთებებს. განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს რამდენიმე სისტემის მდგრადი სინქრონული პარალელური მუშაობის პრობლემა.

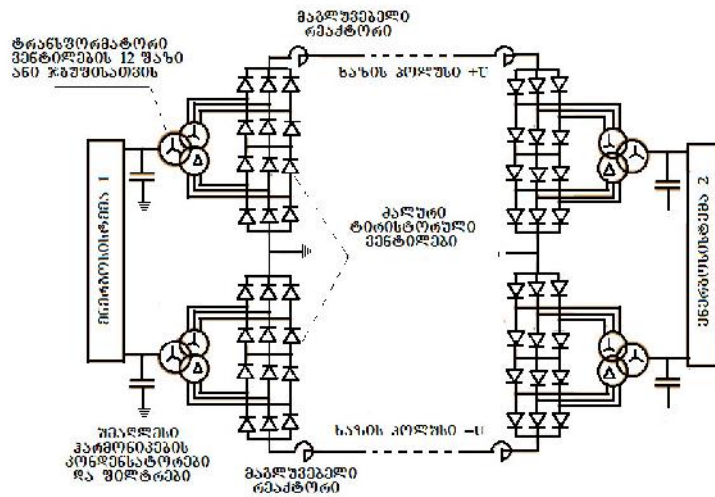
სისტემათაშორისი კავშირების არასაკმარისმა გამტარუნარიანობამ (მდგრადობის მცირე რეზერვებით) დატვირთვების მკვეთრი ზრდის, მოკლე შერთვის, სისტემის მაგენერირებელი და გადამცემი ელემენტების უეცარი გამორთვის სიტუაციების დროს შეიძლება, გამოიწვიოს სტატიკური

მდგრადობის (მცირე შემფოთებების დროს) და დინამიური მდგრადობის (ნორმალური რეჟიმების ღრმა და მკვეთრი დარღვევებისას) დარღვევა.

მდგრადობის დარღვევის შედეგად ხდება გენერატორების სინქრონიზმიდან ამოვარდნა, რასაც შეიძლება მოყვეს ენერგოგაერთიანებაში შემავალი არასინქრონული ნაწილის ენერგოსისტემის დაშლა, ელექტროენერგიის მომხმარებლებისთვის მძიმე ეკონომიური შედეგებით.

სისტემების მდგრადობა წარმოადგენს ძირითად ფაქტორს, რაც ზღუდავს დიდ მანძილზე (რომელიც ახლოსაა ხაზის გასწვრივ ელექტრომაგნიტური ველის გავრცელების ტალღის მეოთხედ სიგრძესთან) ცვლადი დენით ელგადაცემის გამტარუნარიანობას.

აღნიშნული მიზეზების გამო, 20-ე საუკუნის მეორე ნახევარში, კვლავ გაჩნდა მუდმივი დენით ელექტროგადაცემის ინტერესი. თუმცა ადრინდელი - მე - 19 -ე საუკუნის პერიოდისაგან განსხვავებით, ამ საკითხის განვითარება ხასიათდება მაღალი გამტარუნარიანობით, ზემალაი ძაბვის პირობებში ენერგიის დიდ მანძილზე გადაცემით.



ნახ.1.1. მუდმივი დენით გადაცემის პრინციპული სქემა.

მუდმივი დენით გადაცემის პრინციპული სქემა წარმოადგენილია ნახ.1.1 – ზე. იგი ითვალისწინებს სამფაზა ცვლადი დენის მაღალი ძაბვის მუდმივ

დენად გამმართველს და ინვერტორს (მუდმივი დენის ცვლადად გარდამქნელს).

გამმართველს შეუძლია შექმნას ერთი ნიშნის (+) მაღალი მუდმივი ძაბვა ხაზის ერთ პოლუსზე, მეორე დამიწებული პოლუსის მიმართ (უნიპოლარული გადაცემის შემთხვევაში), ან მაღალი მუდმივი ძაბვა თითოეულ პოლუსზე სხვადასხვა ნიშნის (+ და -) გამმართველის დამიწების წერტილის მიმართ (ბიპოლარული გადაცემის შემთხვევაში).

2003 წლის 14 აგვისტოს აშშ - ის აღმოსავლეთ სისტემასა და კანადის სამხრეთ სისტემების ენერგოგაერთიანებაში მოხდა მსოფლიოს ისტორიაში უმსხვილესი ავარია სისტემების დაშლით. ავარიის განვითარების პროცესში, კვება შეუწყდა 61 800 მგვტ სიმძლავრის მომხმარებლებს. დაზარალდა აშშ-ის რვა შტატი და კანადის ორი პროვინცია. ავარია შეეხო ოპერატიული მართვის ექვს ზონას, გამოირთო ელექტროსადგურებში 100 აგრეგატი, მათ შორის 9 ატომური ელექტროსადგურის 22 რეაქტორი, დაიხურა 10 აეროპორტი და ა.შ. ნიუ-იორკის მეტროში ჩარჩა 350 000 ადამიანზე მეტი, 50 მლნ - ზე მეტი აბონენტი მრავალი საათის მანძილზე დარჩა ელექტროენერჯის გარეშე. სისტემის სრულ აღდგენას დასჭირდა 44 საათზე მეტი.

ამავე წლის სექტემბრის ბოლოს, იტალია სრულად იყო დარჩენილი ელექტროენერჯის გარეშე რამდენიმე საათის განმავლობაში, როდესაც ჭექა - ქუხილის გამო, საფრანგეთისა და იტალიის დამაკავშირებელი ოთხი ხაზიდან დაზიანდა ორი ხაზი.

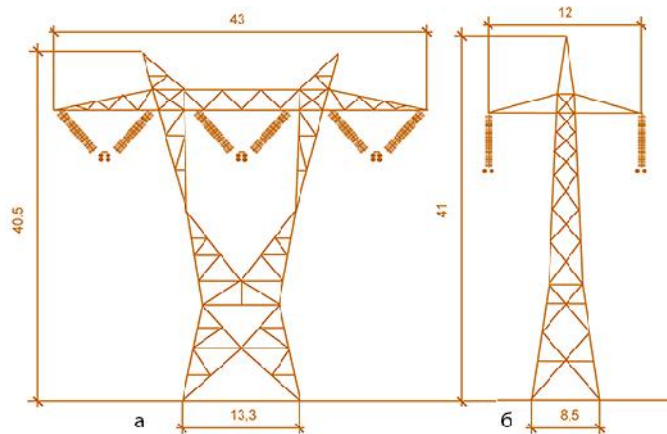
უნიპოლარული გადაცემის დროს, რომელსაც ხშირად იყენებენ კაბელების წყალქვეშა გაყვანისას, გამმართველი ინვერტორთან ერთდება ერთი გამტარით (მუდმივი დენის კაბელით). ბიპოლარული გადაცემის დროს, გამმართველი ინვერტორს უერთდება ორპოლუსა მუდმივი დენის გადამცემი ხაზით.

დენების გარდაქმნის პროცესში მოიხმარება მნიშვნელოვანი რაოდენობის რეაქტიული ენერჯია (0,5 - 0,6 კვა 1 კვტ აქტიურ სიმძლავრეზე).

კონდენსატორული მოწყობილობები, რომლებიც საჭიროა რეაქტიული ენერჯის გენერაციისათვის, ართულებს და აძვირებს გარდამქმნელი სადგურის ღირებულებას და შესაბამისად, მუდმივი დენით გადაცემის სისტემას.

მაგ., მოზამბიკის ტერიტორიაზე არსებული 1920 მგვტ სიმძლავრის ბიპოლარული 500 კვ - ძაბვის მუდმივი დენის ელექტროგადამცემი ხაზის „კაბორა ბასსა“, სადაც მიმდინარეობდა საომარი მოქმედებები, თითოეული პოლუსი აღჭურვილი იყო ცალკეული ანძებით და გადიოდა სხვადასხვა ერთმანეთისაგან დაშორებული ტრასით. ამის შედეგად, შენარჩუნებულ იქნა გასატარებელი სიმძლავრის ნახევარი დაუზიანებელი პოლუსის საშუალებით.

მუდმივი დენით დიდ მანძილზე გადაცემის ეფექტურობა განპირობებულია არა მარტო სისტემათაშორისი მდგრადობის ამაღლებით, არამედ ასევე განპირობებულია აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებისა და იგივე სიმძლავრის შემთხვევაში, სამფაზა საჰაერო ელექტროგადამცემ ხაზთან შედარებით ბიპოლარული ხაზის კონსტრუქციის ზომების შემცირებით (ნახ.1.2), გამმართველისა და ინვერტორის ურთიერთშექცევადობის გამო სიმძლავრის სიდიდისა და მიმართულების სწრაფი რეგულირებით.



ნახ. 1.2. ერთნაირი სიმძლავრის გადაცემის 800 კვ -ისა და ± 500 კვ-ის ეგზ -ის ანძების შედარება (ზომები მითითებულია მეტრებში).

მუდმივი დენით გადაცემის სისტემა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა 300 კმ - მდე დაშორებისა და 400 კვ მუდმივი ძაბვის წყალქვეშა კაბელებისათვის. ზღვის წყალქვეშა მუდმივი დენის კაბელებმა ფართო გამოიყენება პოვა განსაკუთრების იაპონიაში და ევროპაში (ჯერ კიდევ 1967 წელს იტალიასა და კუნძულ სარდინიას შორის ჩადებული იქნა 292 კმ წყალქვეშა კაბელი). 2005 წელს აშენებულ იქნა მუდმივი დენის ელექტროგადამცემი წყალქვეშა საკაბელო ხაზი ავსტრალიასა და კუნძულ ტასმანიას შორის, სიგრძით 295 კმ.

მძლავრი მუდმივი დენით ელექტროგადაცემა მომავალში გახდება ტრანსკონტინენტალური ენერგოსისტემების გაერთიანების საშუალებად. განიხილება მძლავრი მრავალ ქვესადგურიანი მუდმივი დენით გადაცემის საშუალებები რუსეთის, ბელორუსიის, პოლონეთისა და გერმანიის ელექტრო სისტემების დაკავშირების მიზნით, ასევე შესაძლებელია შეიქმნას ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და რუსეთს შორის დამაკავშირებელი წყალქვეშა სისტემა ბერინგის სრუტის გავლით.

1.10. გარდამქმნელი ქვესადგურის ელემენტები და მათი მუშაობის პრინციპები

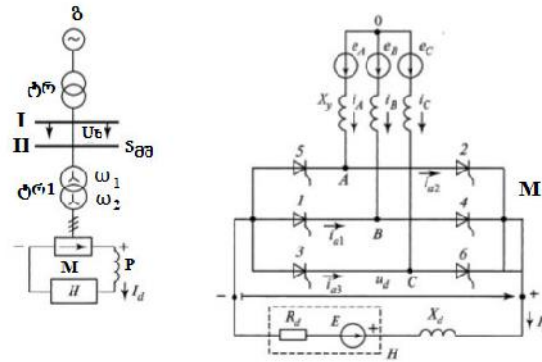
გადაცემის გარდამქმნელი ქვესადგურისა და მდჩ - ს ძირითადი ელემენტი არის მაღალი ძაბვის გარდამქმნელი, რომელიც მუშაობს ან ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდაქმნის (გამმართველი) ან მუდმივი დენის ცვლადად გარდაქმნის (ინვერტორი) რეჟიმში.

როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, უფრო გამოყენებადია გარდამქმნელის ბოგური სქემა (ნახ.1.3), რომელსაც ყოფილ საბჭოთა რესპუბლიკებში ლარიონოვის სქემას უწოდებენ, ხოლო მის ფარგლებს გარეთ - გრეტცის სქემას.

როგორც ცნობილია, გარდამქმნელის ვენტელები დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით - პირდაპირი მიმართულებით ატარებენ. მისი ჩართვა ხდება მასზე პირდაპირი დადებითი ძაბვის მოდების და მართვად ელექტროდზე

გამლები იმპულსის მიწოდების შემთხვევაში. ამ იმპულსების მიწოდების ცვალებადობით ხდება გარდამქმნელის რეჟიმების მართვა.

როგორც ნახ.1.3-დან ჩანს, ერთბოგა გარდამქმნელი შედგება ტრ1 ტრანსფორმატორისა და M ვენტილური ბოგასაგან, რომელიც ცვლადი დენის მხრიდან მიერთებულია სალტეებთან, ხოლო მუდმივი დენის მხრიდან P რეაქტორის გავლით შეერთებულია H დატვირთვასთან.



ნახ.1.3. გამმართველის რეჟიმში მომუშავე ერთბოგა გარდამქმნელის ეკვივალენტური სქემა

სალტეები II კვებას იღებენ ენერგეტიკული სისტემიდან, რომელიც პირობითად ნაჩვენებია გ გენერატორის, ტრ ამწევი ტრანსფორმატორისა და ელექტროსადგურის I სალტეების სახით. ამ სქემიდან გამომდინარე, მთელი რიგი დაშვებებით ვადგენთ ერთბოგა გარდამქმნელის საანგარიშო სქემას, სადაც გათვალისწინებულია ის პარამეტრები, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ მოკლედ შერთვის დენებზე.

სალტეები II - მდე მთელი ენერგოსისტემა შეცვლილია ემმ - ების სამფაზა სისტემითა და თითოეულ ფაზაში შემავალი ეკვივალენტური ინდუქციური წინააღობით, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$X_c = U_b^2 / S_{აა} \quad (1.1)$$

სადაც U_b - ხაზური ძაბვაა; $S_{აა}$ - სალტეებზე სამფაზა მოკლედ შერთვის სიმძლავრე. ტრ1 ტრანსფორმატორის პარამეტრებიდან გათვალისწინებულია

მხოლოდ გრაგნილების ინდუქციურობა, განპირობებული ფანტვის ნაკადის არსებობით. გათვალისწინებული არ არის ენერგოსისტემის ელემენტებისა და ტრანსფორმატორების გრაგნილების აქტიური წინაღობები, რადგან დიდი სიმძლავრის ტრანსფორმატორებში აქტიური წინაღობები ინდუქციურთან შედარებით უმნიშვნელოა. ასევე, მიღებულია რომ ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დენი ნულის ტოლია [5].

ნაჩვენები დაშვებების გათვალისწინებით მკვებავი ენერგოსისტემა და გარდამქმნელის ტრანსფორმატორი შეცვლილია ემმ - ების სამფაზა სისტემით e_A, e_B, e_C და თითოეულ ფაზაში შემავალი X_y წინაღობით, რომელიც დაყვანილია ტრ1 ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილზე ანუ

$$e_A = E_{2m} \cos \quad ; \quad e_B = E_{2m} \cos (-120^0); \quad e_C = E_{2m} \cos (+120^0) \quad (1.2)$$

სადაც E_{2m} - ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილზე ფაზური ძაბვის ამპლიტუდაა უქმი სვლის დროს, ხოლო X_y განისაზღვრება ფორმულით:

$$X_y = X_m + (\quad / \quad - 1)^2 X_c \quad (1.3)$$

სადაც X_m - მოკლედ შერთვის ცდით განსაზღვრული ტრანსფორმატორის ფაზის ინდუქციური წინაღობაა, რომლის დროსაც კვება მიეწოდება მეორეულ გრაგნილს; X_c - იანგარიშება (1.1) ფორმულით.

გადავდივართ რა ეკვივალენტური სქემის შემდეგ ნაწილზე, ვხედავთ, რომ მასში შედის რეალური M ბოგას 6 ვენტილი. ვთვლით, რომ ვენტილები იდეალური და მართვადია.

გარდამქმნელის მუდმივი დენის მხარეს „+“ და „-“, პოლუსებს შორის ჩართულია რეალური სქემის ყველა პარამეტრი, რომელთაც აქვთ დამყარებული რეჟიმის მნიშვნელობები. გათვალისწინებული არ არის მხოლოდ შესაძლო შემავალი ტევადობა, რომელიც X_d წინაღობის დიდი მნიშვნელობის დროს გავლენას ვერ ახდენს გარდამქმნელის მუშაობაზე დამყარებულ რეჟიმში.

გარდამქმნელის მუშაობის ანალიზის დროს ვთვლით, რომ გამართული დენი აბსოლუტურად მოგლუვებულია X_d - წინაღობის დიდი მნიშვნელობის

($X_d =$) გამო. ამ დროს მნიშვნელობა არა აქვს რით არის შეზღუდული I_d დენის სიდიდე, R_d წინააღობით, თუ შემხვედრი E ემმ - ით. შეიძლება მივიღოთ, რომ გარდამქმნელის დატვირთვა ხასიათდება I_d დენის სიდიდით. R_d და E - ს მნიშვნელობების მაგიერ შეიძლება მივცეთ I_d დენის მნიშვნელობა და ვიპოვოთ სხვა დენები და საძებნი უცნობი სიდიდეები, როგორც I_d დენის ფუნქციები.

ერთბოგირა გარდამქმნელი შესაძლებელია მუშაობდეს, როგორც გაამართველის, ისე ინვერტორის რეჟიმში.

ბოგურ სქემაში ძაბვის გამართვა უქმი სვლის დროს მთლიანად განისაზღვრება გამმართველის ცვლადი დენის მხრიდან მოდებული ემმ - ებით. გამართული ძაბვა დამოკიდებული არ არის X_y შინაგან წინააღობაზე და ამიტომ შეიძლება გამოწვეულ იქნეს გამმართველის ემმ e_a .

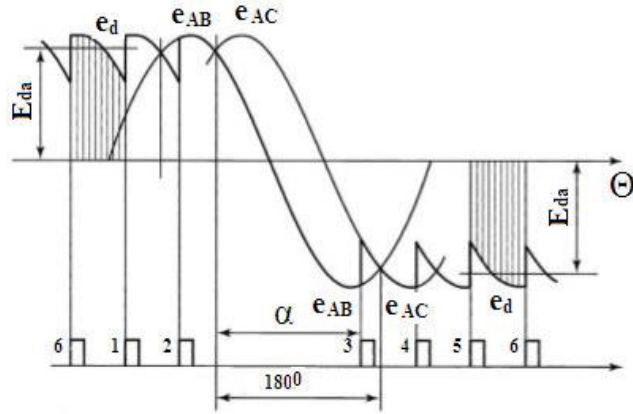
ბოგურ სქემაში ხდება გამართვა ხაზური ემმ - ების როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი ნახევარტალღებისა და ამიტომ გამმართველის ემმ - ს მრუდს ცვლადი დენის პერიოდის განმავლობაში აქვს ექვსი ერთნაირი პულსაცია. ემმ - ების ასეთი ფორმა დამახასიათებელია ყველა ექვსპულსიანი გამმართველებისათვის.

გარდა მუდმივი მდგენელისა, გამმართველის ემმ შეიცავს 6-ის ჯერდი მაღალი რიგის ჰარმონიკებს, შესაბამისად იმისა, რომ ცვლადი დენის ძირითადი სიხშირის პერიოდის განმავლობაში, e_a - ს აქვს 6 პულსაცია [6].

გარდამქმნელის ინვერტორის რეჟიმში მუშაობის განხილვისას კეთდება იგივე დაშვებები, რაც გამმართველის რეჟიმში მუშაობისას. ამიტომ ერთბოგა ინვერტორის ეკვივალენტური სქემა იგივეა, რაც გამმართველისათვის.

სამფაზა სისტემის ემმ-ების წყაროებს e_A, e_B და e_C ინვერტორისათვის ცვლის არა მხოლოდ გენერატორი, არამედ ენერჯის მომხმარებლებიც. ეს წყარო ინვერტორს მიაწოდებს საჭირო რეაქტიულ სიმძლავრეს და ერთდროულად მოიხმარს ინვერტორის მიერ გაცემულ აქტიურ სიმძლავრეს. გამმართველისათვის ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებანი, რომლებიც განსაზღვრავენ e_A, e_B და e_C ემმ - ებს, ასევე ინდუქციური წინააღობის სიდიდე X_y

მართებულია ინვერტორისათვისაც. აქ E -ზოგად შემთხვევაში არის რაღაც მუდმივი დენის გენერატორის (მუდმივი დენის გადამცემის გამმართველის) ემმ, რომლის მოქმედებითაც მიდის მუდმივი დენი I_a .



ნახ.1.4. გარდამქმნელის ემმ-ის მრუდი გამმართველისა და ინვერტორულ რეჟიმებში

გარდამქმნელის გამმართველად და ინვერტორად მუშაობის დროს I_a დენის მიმართულება რჩება მუდმივი, რადგანაც იგი განისაზღვრება ვენტლის თვისებით გაატაროს დენი მხოლოდ ერთი მიმართულებით. ვითვალისწინებთ რა ყოველივე ამას, შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ გამართვის რეჟიმიდან ინვერტორის რეჟიმში გადასვლის დროს აუცილებლად უნდა შეიცვალოს გარდამქმნელის პოლუსების პოლარობა. საჭიროა, რომ შეიცვალოს გამართული ძაბვის მიმართულება, რადგან მხოლოდ ამ შემთხვევაში მოხდება ენერჯის ნაკადის მიმართულების შეცვლა გამმართველის გავლით. ინვერტორმა პოლუსებს შორის უნდა შექმნას გამართული ძაბვა, რომელიც მიმართული იქნება E ემმ - სა და I_a დენის საწინააღმდეგოდ.

გარდამქმნელის გამართვის რეჟიმიდან ინვერტორის რეჟიმში გადასასვლელად საკმარისია მმართველი იმპულსების ფაზური მდგომარეობის შეცვლა ისეთნაირად, რომ ჩართვის კუთხე 90° - ზე მეტი და 180° - ზე ნაკლები იყოს. ჩართვის კუთხის ასეთი გაზრდის ეფექტი მოცემულია ნახ.1.4 - ზე, სადაც მარცხნივ აგებულია გამმართველის ემმ-ს მრუდი, ხოლო მარჯვნივ -

ინვერტორის ემმ - ს მრუდი, როცა კუთხე 180° - სთან ახლოს არის. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, ვენტილის ჩართვის კუთხის გაზრდა იწვევს გარდამქმნელის ემმ - ის, როგორც მყისა e_d ასევე მუდმივი მდგენელის E_{da} ნიშნის შეცვლას.

1.11. გამმართველისა და ინვერტორის გარე მახასიათებლები

გამმართველისა და ინვერტორის გარე მახასიათებლებში იგულისხმება გამართული ძაბვის მუდმივი მდგენელის დამოკიდებულება გამართულ დენზე:

$$U_d = f(I_d). \quad (1.4)$$

საერთოდ, გარე მახასიათებლები ეს გარდამქმნელის ძირითადი მახასიათებლებია მუდმივი დენის ქსელის მხრიდან.

იმისათვის, რომ ვიპოვოთ დამოკიდებულება U_d - სა და I_d - ს შორის უნდა გამოვიყენოთ განტოლებები, რომლებიც განსაზღვრავენ დამოკიდებულებებს: $U_d = f(\alpha)$ და $I_d = f(I_a)$.

შესაბამისი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ: $U_d = E_d \cos \alpha - 3X_d I_d$

როგორც აქედან ჩანს, კუთხის თითოეული მნიშვნელობისათვის გარე მახასიათებელი წარმოადგენს სწორ ხაზს, რომლის დახრილობა დამოკიდებულია კომუტაციის კონტურის ინდუქციური X_d წინააღობის სიდიდეზე [5].

საერთო შედეგების მისაღებად შემოტანილია ძაბვისა და დენის ფარდობითი სიდიდეები, სადაც ბაზისურ სიდიდეებად მიღებულია:

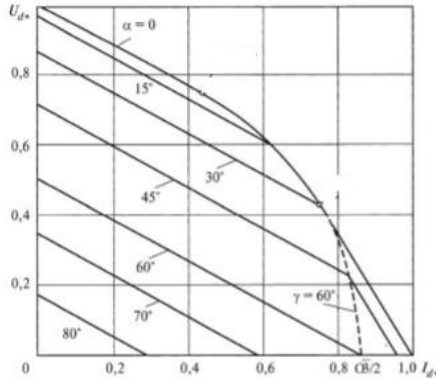
$$U_{d*} = E_d = \frac{3}{\pi} \sqrt{3} E_{2m}$$

$$I_{d*} = \frac{E_{2m}}{X_d}$$

ამ სიდიდეების გათვალისწინებით, გამმართველის გარე მახასიათებლის განტოლებას აქვს სახე:

$$U_{d*} = \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{3} I_{d*}}$$

ნახ.1.5 - ზე მოცემულია ერთბოგა გამმართველის გარე მახასიათებლების ოჯახი კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის 0 - 90° - ის ფარგლებში გამმართველის შესაძლო დატვირთვის მთელ დიაპაზონში.



ნახ.1.5. ერთბოგა გამმართველის გარე მახასიათებლების ოჯახი ინვერტორისათვის არსებობს ძირითადად ორი სახის გარე მახასიათებლები:

1. $U_d = f(I_d)$, როდესაც გასწრების კუთხე $\beta = \text{const}$ და
2. $U_d = f(I_d)$, როდესაც ჩართვის კუთხე $\delta = \text{const}$.

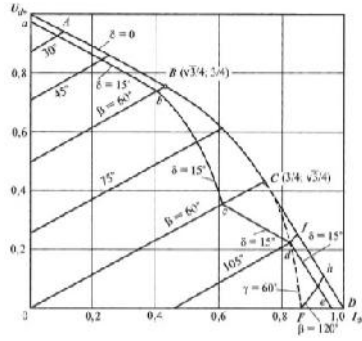
პირველი მახასიათებელი ეკუთვნის ავტომატური რეგულირების არ მქონე ინვერტორის მუშაობას, ხოლო მეორე იმ ინვერტორების მუშაობას, რომლებსაც გააჩნიათ რეგულატორი გამორთვის კუთხით, რომელიც დენის ცვლილებით იცვლის β კუთხეს, რათა δ კუთხე შენარჩუნებულ იქნეს უცვლელად. ინვერტორის გარე მახასიათებლის განტოლებას, რომელიც მუშაობს 2 - 3 რეჟიმში, როცა $\delta = \text{const}$, აქვს სახე:

$$U_d = E_d \cos \beta + \frac{3}{\pi} X_V I_d$$

გამოვიყენებთ რა ძაბვისა და დენის იგივე ბაზისურ სიდიდეებს, როგორც გვექონდა გამმართველის დროს, შეიძლება ეს განტოლება ფარდობით ერთეულებში შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$U_{d^*} = \cos \beta + \frac{1}{\sqrt{3} I_{d^*}}$$

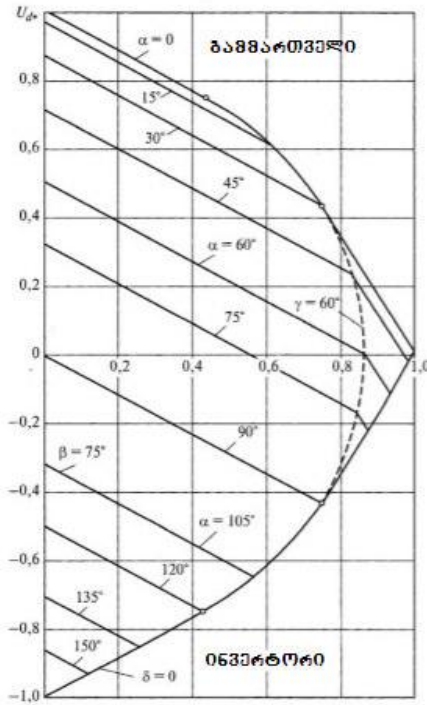
ამ განტოლების მიხედვით ნახ.1.6-ზე წარმოდგენილია მახასიათებელთა ოჯახი



ნახ.1.6. ერთბოგა ინვერტორის გარე მახასიათებელთა ოჯახი.

ინვერტორს შეუძლია იმუშაოს მხოლოდ, როცა ჩართვის კუთხე > 0 . ამიტომ მახასიათებელი, როცა $= 0$, შეიძლება განვიხილოთ როგორც იმ არეს ზედა ზღვარი I_a, U_a კოორდინატებში, რომელშიც შესაძლებელია ინვერტორის მუშაობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ინვერტორის გარე მახასიათებელი განსახილველ არეში როცა $= 0$ ემთხვევა გამმართველის გარე მახასიათებელს $=$ პირობის დროს.



ნახ.1.7. ერთბოგა გარდამქმნელის გარე მახასიათებლების ოჯახი

ერთბოგა გარდამქმნელის გამართვის არედან ინვერტორის არეში და უკუ გადასვლის უფრო სრული წარმოდგენისათვის ნახ.1.7 - ზე ერთ გრაფიკზე წარმოდგენილია გამმართველისა და ინვერტორის გარე მახასიათებლები. ამგვარად წარმოდგენილი ერთბოგა გარდამქმნელის გარე მახასიათებლები მოიცავენ მისი მუშაობის მთელ არეს: დენის გამართვისა და ინვერტირების არეს. ფიზიკური არსიდან გამომდინარე, ეს არეები უპირველესად განსხვავდებიან გამართული ძაბვის მუდმივი მდგენელის სხვადასხვა ნიშნით.

ჩვეულებრივ გადასვლა გამართვის რეჟიმიდან ინვერტირების რეჟიმში ან პირიქით, ხორციელდება ჩართვის კუთხის დიდ ფარგლებში ცვლილებით. ამასთანავე როგორც ნახ.1.7 - დან ჩანს, ასეთი გადასვლა შეიძლება მოხდეს დატვირთვის დენის ცვლილების დროს, როცა $=cost$.

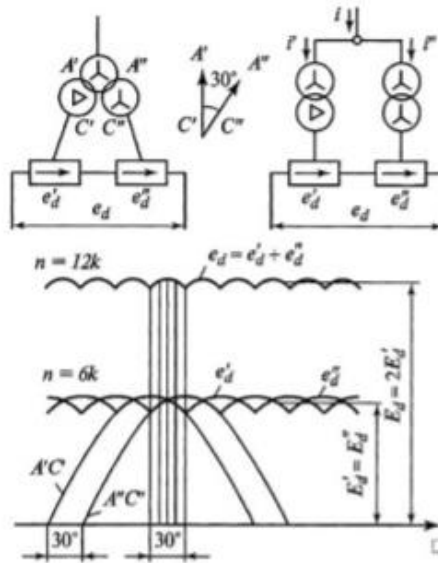
მაგალითად, მახასიათებლები $= 60^\circ$ და $= 75^\circ$ - ის დროს. გამართვის არედან ინვერტირების არეში გადასვლის წერტილში, როცა $U_a = 0$, კუთხეების ჯამი $+ /2 = 90^\circ$.

ვენტილის ანოდსა და კათოდს შორის მოდებული ძაბვა (ანოდური ძაბვა) წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს სახასიათო მახასიათებელს, რომელიც გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ გარდამქმნელის მუშაობის რეჟიმი ჩართვის (გამორთვის) კუთხის და კომუტაციის პარამეტრების მიხედვით.

1.12. ორმაგი ბოგას სქემით მომუშავე გარდამქმნელის

მუშაობის შესახებ

მაღალი ძაბვის მისაღებად ხორციელდება რამდენიმე ერთბოგა გარდამქმნელის მიმდევრობით ჩართვა, რომელიც ამავდროულად გამოიყენება უფრო მეტად სრულყოფილი 12 კულსიანი გარდამქმნელიის მისაღებად. ამ მიზნით თითოეულ ორ ბოგას სისტემიდან მიეწოდება სამფაზა ძაბვა, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაძრულები არიან 30 გარადუსით. ეს კი მიიღწევა ვარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთებული ტრანსფორმატორების გამოყენებით.



ნახ.1.8.ორბოგა გარდამქმნელის სქემა

ორბოგა 12 პულსიანი გარდამქმნელის გამოყენების ერთ-ერთი დადებითი ეფექტი არის გამართული ძაბვის ხარისხი. როგორც ნახ.1.8-დან ჩანს ორი ბოგა სქემის შემთხვევაში, ჯამური გამართული ძაბვა უფრო მოგლუვებულია (უფრო ნაკლები ჰარმონიკების შემადგენლობის გამო), ვიდრე ერთბოგა სქემის მქონე გარდამქმნელის მიერ გამართული ძაბვა.

ორმაგი ბოგას მქონე გარდამქმნელით გამართულ ძაბვას ცვლადი დენის პერიოდის განმავლობაში აქვს 12 პულსაცია და შესაბამისად გააჩნია 12 - ის ჯერადი ჰარმონიკები ($n=12k$). $n=6, 18, \dots, (2k+1)6$ რიგის ჰარმონიკები, რომლებიც გააჩნია თითოეული ბოგას გამართულ ძაბვას, ისინი იმყოფებიან საწინააღმდეგო ფაზებში და ერთმანეთს აკომპენსირებენ და ამიტომ ფაქტიურად არ არსებობენ ორივე ბოგას ჯამურ ძაბვაში. ამ სქემის გამოყენების სხვა დადებითი ეფექტია ცვლადი დენის ხარისხი, რომელსაც მოიხმარს ქსელიდან (გამართვის შემთხვევაში) ან გასცემს (ინვენტორის შემთხვევაში) ქსელში.

ორბოგა 12 პულსაციის მქონე გარდამქმნელის ცვლადი დენი შეიცავს შედარების ნაკლებ ჰარმონიკებს, რომელთა ფორმა ახლოს არის სინუსოიდასთან, ერთბოგა 6 პულსაციის მქონე გარდამქმნელთან შედარებით.

12 პულსაციის მქონე გარდამქმნელისათვის დამახასიათებელი მაღალი რიგის ჰარმონიკების რიგია $12k \pm 1$ ცვლადი დენის მხარისათვის და $12k$ - მუდმივი დენის მხარისათვის. ასეთ გარდამქმნელში დენისა და ძაბვის შემადგენლობაში ქრებიან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მე-5 და მე-7 რიგის ჰარმონიკები, რომლების წარმოიქმნებიან ბოგური გარდამქმნელების შემთხვევაში.

1.13. ტრანსფორმატორები

ვენტილების შემდეგ, გარდამქმნელი ქვესადგურის ყველაზე მნიშვნელოვანი და ძვირადღირებული მოწყობილობებია ტრანსფორმატორები და ხაზური რეაქტორები, რომელთა ღირებულება ქვესადგურის საერთო ღირებულების 15 - 20 % - ს შეადგენენ. ამასთან, სწორედ მათზე მოდის გარდამქმნელი ქვესადგურის სიმძლავრის დანაკარგის მნიშვნელოვანი ნაწილი. ჩვეულებრივი ტრანსფორმატორებისაგან განსხვავებით, გარდამქმნელის ტრანსფორმატორის გრაგნილებში მომატებულია ჰარმონიკული მდგენელები და ვენტილური გრაგნილის იზოლაციაზე მოდებულია ძაბვის მუდმივი მდეგენელი.

ჩვეულებრივ გარდამქმნელ ქვესადგურებში გამოყენებულია:

- სამფაზა სამგრაგნილა ტრანსფორმატორები;
- სამფაზა ორგრაგნილა ტრანსფორმატორები;
- ცალფაზა სამგრაგნილა ტრანსფორმატორები;
- ცალფაზა ორგრაგნილა ტრანსფორმატორები.

თუ რომელი ტიპის ტრანსფორმატორი უნდა იქნეს გამოყენებული, ამას განსაზღვრავენ სიმძლავრისა და ძაბვის კლასის, სატრანსპორტო წონის შეზღუდვის, სავენტილო დარბაზში ტრანსფორმატორების კომპანოვკის რეზერვირების პირობების გამოყენებით.

800 მგვტ სიმძლავრეზე მეტი გარდამქმნელების პირობებში გამოიყენება ცალფაზა ტრანსფორმატორების ჯგუფი.

გარდამქმნელი ბლოკებისათვის ტრანსფორმატორების გამოყენების გავრცელებული სქემური გადაწყვეტილებაა ცალფაზა სამგრანგნილა ტრანსფორმატორების ჯგუფის გამოყენება. ვენტილური გახლეჩილი გრაგნილების შეერთების სქემაა ვარსკვლავი და სამკუთხედი. ასეთი გადაწყვეტილება საშუალებას იძლევა რეზერვის სახით გამოყენებულ იქნეს ტრანსფორმატორის მხოლოდ ერთი ფაზა.

ასევე, გამოიყენება ცალფაზა ოთხგრანგნილა ტრანსფორმატორი - ქსელური (ქგ) ძაბვის გრაგნილით (330 ან 400 კვ), დაბალი ძაბვის გრაგნილით და ორი ვენტილური გრაგნილებით (ვგ), რომელთაგან ერთ შეერთებულია სამფაზა ჯგუფში ვარსკვლავად ხოლო მეორე - სამკუთხედად.

ტრანსფორმატორებში გამოყენებულია ტვირთის ქვეშ რეგულირება, რომლის დიაპაზონია $\pm 15\%$. ექსპლუატაციის პროცესში ვენტილურ გრაგნილში მუდმივი დენის გავლით ხდება ტრანსფორმატორის მაგნიტური სისტემის შემაგნიტება. ამას გარდა, ვენტილურ და დაბალი ძაბვის გრაგნილებში, დატვირთულ წერტილებში გვაქვს დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკების შემცველობა. ვენტილურ გრაგნილებს გააჩნიათ გაგრილების მიზნით ზეთის იძულებითი - მიმართული ცირკულირების სისტემა.

ტრანსფორმატორების ექსპლუატაციის პროცესში ვენტილური გრაგნილის იზოლაცია ცვლადი დენის გავლენის გარდა განიცდის ასევე, მუდმივი ძაბვის ზემოქმედებას. იზოლაციის შერჩევა ხდება იმის გათვალისწინებით, რომ უზრუნველყოფილი იყოს ზემოთ ხსენებულ პირობებში ტრანსფორმატორის საიმედო მუშაობა.

1.14. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრები

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 გარდამქმნელის რეჟიმების ხარისხის

გაუმჯობესებას. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრები არის თითქმის ყველა მუდმივი დენის ქვესადგურში.

მუდმივი დენის ქვესადგურის გარდამქმნელების და მაღალი ძაბვის ქსელთან მიერთებული სხვა დამახინჯების წყაროების მიერ წარმოქმნილი მაღალი რიგის ჰარმონიკების საკითხები ასახულია სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერულ ნამუშევრებსა და რეკომენდაციებში.

ცვლადი დენის ფილტრების ჩართვის ადგილი შეირჩევა ორი სხვადასხვა პრინციპული ვარიანტის მიხედვით. ერთ-ერთ ვარიანტში, ფილტრები ჩართულია გარდამქმნელი ქვესადგურის საერთო სალტეებზე და წარმოადგენენ საერთო სასადგურო მოწყობილობებს, ხოლო მეორე ვარიანტში ისინი ჩართული არიან გარდამქმნელი ტრანსფორმატორის მესამეული გრაგნილის სალტეზე და ისინი ითვლებიან მოწყობილობებად, რომლებიც შედიან გარდამქმნელი ბლოკების შემადგენლობაში.

ეს ვარიანტები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ეფექტურობის მიხედვით, ხაზებში მაღალი რიგის ჰარმონიკების შეზღუდვის თვალსაზრისით. ფილტრების მესამეული გრაგნილის სალტეებზე ჩართვის შემთხვევაში, დენის ჰარმონიკები ამ ხაზებში შესაძლებელია შემცირებულ იქნეს რამდენიმე ათეულჯერმე გარდამქმნელებიდან წარმოქმნილ დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკებთან შეადარებით, მაშინ როდესაც ფილტრების ქვესადგურის საერთო სალტეზე ჩართვის შემთხვევაში ხაზებში მაღალი რიგის ჰარმონიკების შემცირება ხდება მხოლოდ ორჯერ ან სამჯერ. ასევე, ფილტრების ჩართვის ადგილი მნიშვნელოვნად განაპირობებს ტრანსფორმატორებისა და მოწყობილობების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს.

საერთო სალტეზე მიერთების შემთხვევაში, გარდამქმნელი ტრანსფორმატორები არიან უფრო მარტივი - ორგრაგნილა, მაშინ როდესაც გარდამქმნელი ტრანსფორმატორის მესამეული გრაგნილის სალტეებზე მიერთების შემთხვევაში საჭიროა, სამგრაგნილა გარდამქმნელი ტრანსფორმატორები, რომელთა მესამეული გრაგნილი განთავსებულია

ქსელსა და ვენტილებს შორის. იმისდამიხედვით თუ რომელ ვარიანტს მიენიჭება უპირატესობა, დამოკიდებულია მუდმივი დენის ქვესადგურის მიერთების ქსელის ჰარმონიკების ნორმირების მახასიათებელზე.

გარდამქნელი ქვესადგურიდან გამავალ ელექტროგადამცემ ხაზებზე მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების შემთხვევაში გამოყენებულია კომბინირებული ვარიანტი - ფილტრების ჩართვა გარდამქნელი ტრანსფორმატორის მესამეული გრაგნილის სალტებზე და ნაწილობრივ გარდამქნელი ტრანსფორმატორის ქსელური გრაგნილის სალტზე. თუ ქვესადგურის სალტის მხარეს ნორმირდება ჰარმონიკები (ელენერგის ხარისხი ГОСТ-13109-97-ით), მაშინ უპირატესობა ეძლევა ფილტრების ჩართვას უშუალოდ შემკრებ სალტზე.

1.15. რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი მოწყობილობები

რეაქტიული ენერჯის მაკომპენსირებელი მოწყობილობების პარამეტრებსა და სქემებზე გარდა თვით გარდამქმნელის პარამეტრებისა, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მიმდებარე ენერჯოსისტემის მიერ გარდამქმნელი მოწყობილობის რეაქტიული ენერჯის მოხმარების დაფარვის შესაძლებლობა (50-60% ნომინალური სიმძლავრისა). რეაქტიული ენერჯის წყარომ უნდა უზრუნველყოს სისტემის ბალანსი და გარდამქმნელების სტატიკური მდგრადობა, გარდამქმნელის დატვირთვის ფორსირების და სიმძლავრის რევერსის რეჟიმებში.

ასეთი მკაცრი მოთხოვნების დაკმაყოფილება შესაძლებელია რეაქტიული ენერჯის რეგულირებადი წყაროების მეშვეობით (სინქრონული კომპენსატორები, ან სტატიკური ტირისტორული კომპენსატორები). საექსპლუატაციო მახასიათებლების გამო (ნაკლები დანაკარგები, სწრაფმოქმედება, ექსპლუატაციის ხარჯების სიმცირე) გარდამქმნელ სადგურებში პერსპექტიულია სტატიკური ტირისტორული კომპენსატორების გამოყენება. გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ნაწილობრივ

რეაქტიული ენერჯის მოხმარების დაფარვა ხდება მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრების მეშვეობითაც.

გარდამქნელ ქვესადგურებში სინქრონული კომპენსატორების ან სტატიკური ტირისტორული კომპენსატორების მოთხოვნა შესაძლებელია უგულვებელყოფილ იქნეს გარდამქნელის სქემებში სრულად მართვადი ვენტისების გამოყენების საშუალებით.

1.16. ქვესადგურების ნეიტრალის მოწყობილობები და სქემები

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

ეკოლოგიური ზემოქმედების ნორმების გამკაცრების ტენდენციებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია ვივარაუდოთ, რომ ქვესადგურის არასახარბიელო ადგილმდებარეობის შემთხვევაში (მიწისქვეშა მილგაყვანილობები და სხვ კომუნიკაციები) ასიმეტრიის დენის სიდიდე იქნება ტექნიკურ მინიმუმამდე შემცირებული, ანუ რეგულირების სისტემებისა და გამზომი გადამწოდების გაზომვის სიზუსტემდე. დამიწების მოწყობილობების ერთ-ერთი პერსპექტიული გადაწყვეტილებაა (ფირმა ABB-ის წინადადება) - სიღრმული დამიწება. ასეთი დამიწების საშუალება განთავსდება მიწის სიღრმეში რამდენიმე ასეულ მეტრზე, დაბალი კუთრი წინაღობით. ასეთი სისტემის უპირატესობაა:

- იგი განთავსებულია ქვესადგურის სიახლოეს (და არა რამდენიმე ათეული კილომეტრი დაშორებით);
- მისი სიღრმის მნიშვნელოვნად შემცირების გამო მცირდება დანაკარგების სიდიდე;
- მცირდება მავნე ელმაგნიტური ველები, რომლებიც იწვევენ მეტალის კოროზიას და ა. შ.

1.17. ამომრთველები

მრავალი კვლევების საუბველზე დადასტურებულია, რომ მუდმივი დენის ამომრთველების საჭიროება ხაზის პოლუსებში წარმოიშობა რთული წრიული სქემების შემთხვევაში. მუდმივი დენის მრავალქვესადგურიანი გადაცემისას რადიალური ან მაგისტრალური კონფიგურაციის შემთხვევაში, გასათვალისწინებელია, რომ მუდმივი დენის ეგზ-ზე მ.შ-ის გამორთვა, დამაკმაყოფილებელი მახასიათებლებით, შესაძლებელია განხორციელდეს გარდამქმნელების ვენტილების ჩართვა-გამორთვის კუთხის გაზრდის მეშვეობით, შემდგომი ხაზის განმეორებითი ჩართვის ავტომატის მოქმედებით.

1.18. მუდმივი დენის გადაცემის ტექნოლოგიების განვითარების

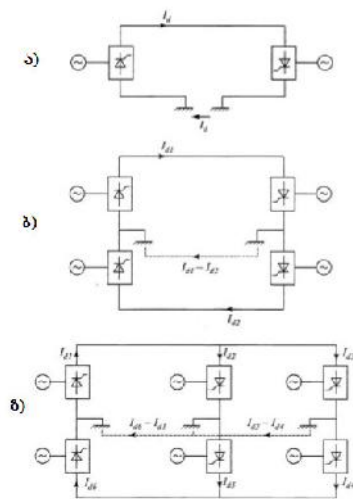
ძირითადი მიმართულებები

არსებული ტექნოლოგიების ექსპლუატაციაში დაკვირვებების შედეგად დადგენილია, რომ მსოფლიოს უმსხვილესი მუდმივი დენის გადაცემის ობიექტების ენერგეტიკული მზადყოფნის კოეფიციენტი 98-99 % -ს შეადგენს, ე.ი. აღნიშნული სისტემები წარმოადგენენ ენერგოსისტემის ძალზე მაღალი საიმედოობის ელემენტებს. ასევე შეიძლება ჩაითვალოს ქვესადგურების მხრიდან გარემოზე ზემოქმედება (ხმაური, რადიოდაბრკოლებები და სხვა) დაყვანილია მინიმუმამდე. ასე, რომ მუდმივი დენის გადაცემის სისტემა წარმოადგენს ენერგოსისტემის კარგად დამუშავებულ ელემენტს, მისი ძირითადი მოწყობილობების ტექნოლოგიური სირთულეების მიუხედავად გარდამქმნელი ქვესადგურების ღირებულება მნიშვნელოვნად აღემატება ცვლადი დენის ქვესადგურების ღირებულებას. რაც წარმოადგენს მისი გამოყენების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან შემზღვეველ ფაქტორს. ამიტომ მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნების ფირმები აწარმოებენ სერიოზულ კვლევებს ტექნოლოგიების შემდგომი დახვეწვის მიზნით. დღეის მდგომარეობით, ამ სფეროში განვითარების მიმართულებაა ტექნოლოგიების დახვეწა და საშუალო და დიდი სიმძლავრეების მუდმივი დენით გადაცემისა და მუდმივი

დენის ჩანართისათვის სრულად მართვადი ვენტილების ტექნოლოგიები („სმვ“ HVDC) გამოყენება [17].

1.19. მუდმივი დენით გადაცემის სტრუქტურული სქემები

მუდმივი დენით გადაცემის განხორციელებისას, ყველაზე მეტი გამოყენება ჰპოვა სამი ტიპის პრინციპულმა სქემებმა; უნიპოლარული (ერთპოლუსა), ნახ.1.9.ა-ზე გამოსახული პრინციპული სქემით გადაცემის დროს თითოეულ ქვესადგურში იდგმება მაღალი ძაბვის გარდამქმნელი რომელიც ჩართულია მუდმივი დენის გადამცემ ხაზსა და მუშა დამიწებას შორის. დატვირთვის დენი I_d ერთი მიმართულებით გაივლის გადამცემი ხაზის სადენში, ხოლო უკუ მიმართულებით კი მიწაში ან წყალში. როგორც წესი, მუდმივი დენით გადაცემა ხორციელდება ბიპოლარული (ორპოლუსა) ნახ.1.9.ბ-ზე გამოსახული პრინციპული სქემით. ამ შემთხვევაში, გარდამქმნელი ნაწილი შედგება 2 სხვადასხვა პოლუსიანი ნახევარწრედისაგან, თითოეული ნახევარწრედის შემადგენლობაში შედის ქვესადგურებში განთავსებული ხაზის პოლუსი და მაღალი ძაბვის გარდამქმნელი; მაღალი ძაბვის გარდამქმნელი ჩართულია ხაზსა და მიწას შორის.



ნახ.1.9. მუდმივი დენით გადამცემის სტრუქტურული სქემები

ნორმალურ რეჟიმში დატვირთვის დენი გადის მხოლოდ გადამცემი ხაზის სადენებში, ხოლო დამიწებაში - გამავალი პრაქტიკულად ნულის ტოლია თუ არ ჩავთვლით უბალანსობის დენს, რომელიც არ აღემატება დატვირთვის დენის 1%. იმ შემთხვევებში, როდესაც რეჟიმულად მოთხოვნილია სხვადასხვა დატვირთვის დენები ნახევარწრედებში, მაშინ დენების სხვაობა გადაედინება დამიწებებისა და მიწის საშუალებით. ერთი ნახევარწრედის გეგმიური ან ავარიული გამორთვის შემთხვევაში, მეორე ნახევარწრედი მუშაობას განაგრძობს ერთპოლუსა სქემით და დატვირთვის დენი I_d ერთი მიმართულებით გაივლის გადამცემი ხაზის სადენში, ხოლო უკუ მიმართულებით მიწაში ან წყალში.

იმ შემთხვევაში, როდესაც არსებობს შეზღუდვა მიწის საშუალებით ხანგრძლივი დროით დენის გატარებისა, მაშინ დატვირთვის დენის დაბრუნება ხდება დაზიანებული ნახევარწრედის სადენის ან სპეციალური სადენით (მეტალური დაბრუნება). რეგულირების, დაცვისა და ავტომატიკის სისტემები განსაზღვრავენ თითოეული ნახევარწრედის დამოუკიდებელი მუშაობის მაღალ ხარისხს. ზემოაღწერილი სქემებით არის განხორციელებული მსოფლიოში მუდმივი დენით გადაცემის უმეტესობა. მუდმივი დენით გადაცემა შუალედური ქვესადგურების არსებობისას ან მრავალქვესადგურიანი მუდმივი დენით გადაცემის შემთხვევაში, ხორციელდება ნახ.1.9.გ-ზე გამოსახული პრინციპული სქემით. ამ სქემის ფართო გამოყენება ვერ ხერხდება, რეჟიმული მართვის სირთულის გამო - საჭიროა სწრაფმოქმედი კავშირის არხები და ყველა ჩართული ხაზის, გარდამქმნელის, ქვესადგურის რეჟიმის გათვალისწინება. ასევე, სქემებში აუცილებელია ამომრთველები, რომლებიც შესძლებენ ამორთონ ავარიული რეჟიმის მუდმივი დენი.

მიუხედავად ამისა, მოქმედ მრავალქვესადგურიან მუდმივი დენით გადაცემებს, რომლებშიც ნახევარწრედში პოლუსზე პარალელურად მუშაობს რამოდენიმე გარდამქმნელი, მიეკუთვნება მუდმივი დენით გადაცემები: სარდინია-კორსიკა, ჰიდრო ქვებეკი-ახალი ინგლისი (კანადა-აშშ) და ამერიკაში

წყნარი ოკეანის მუდმივი დენით გადაცემა. მათი ექსპლუატაციით დამტკიცდა ტექნიკური უპირატესობა, რაც გამოხატულია გარდამქმნელ ქვესადგურებზე რეჟიმების რევერსირების, სხვადასხვა მიმართულებით სიმძლავრის გადაცემის მოქნილი გრაფიკის უზრუნველყოფის საშუალებაში და საექსპლუატაციო საიმედოებაში. პრინციპული სქემა (ნახ.9.გ) მოქმედ მრავალქვესადგურიან მუდმივი დენით გადაცემაში გათვლილია ნახევარწრედში პოლუსზე პარალელურად მომუშავე რამოდენიმე გარდამქმნელზე სიმძლავრის რევერსირებისათვის, გარდამქმნელ ქვესადგურებში საჭიროა პოლუსირების ცვლილება ან გამოყენებულ უნდა იყოს ორმხრივი გამტარობის ვენტილები რაც გადაწყვეტადია, მაგრამ მაინც წარმოადგენს სქემის ნაკლოვანებას.

1.20. მუდმივი დენის ჩანართების პრინციპული სქემები

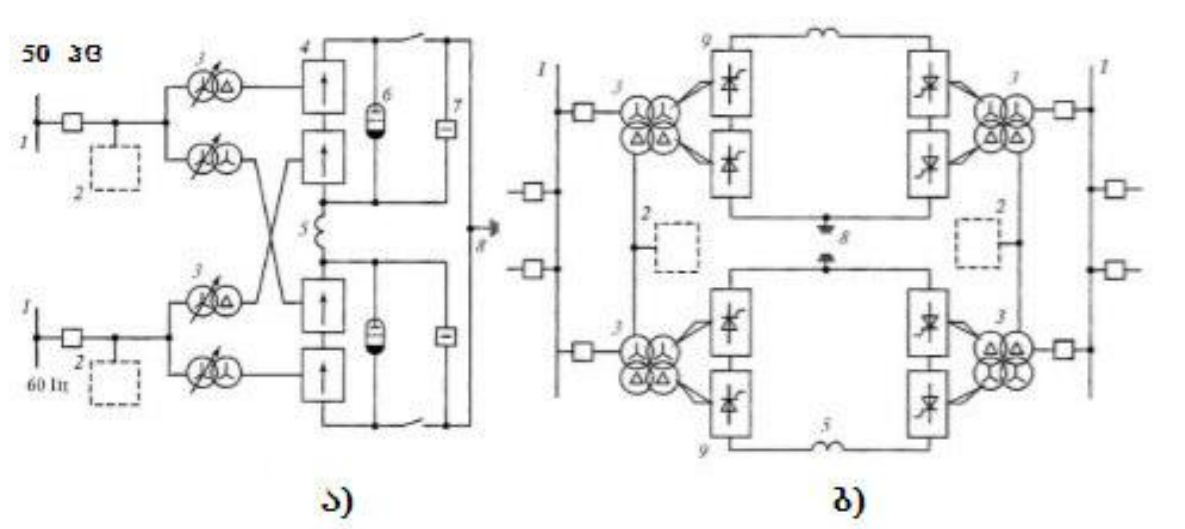
მუდმივი დენის ჩანართების პრინციპული სქემები ანალოგიურია მუდმივი დენით გადაცემის პრინციპული სქემებისა, რომლებშიც არ არის მუდმივი დენის გადამცემ ხაზი. მუდმივი დენის ჩანართები შენდება იგივე პრინციპებით და იგივე მოწყობილობების გამოყენებით, რაც გამოყენებულია მუდმივი დენით გადაცემის გარდამქმნელ ქვესადგურებში.

ამასთანავე, მუდმივი დენის გადამცემი ხაზის არ არსებობა გვაძლევს საშუალებას შევინარჩუნოთ მუდმივი დენის ჩანართის ნომინალური ძაბვა, ხოლო გამმართველისა და ინვენტორის ერთ მოედანზე განლაგება - აიოლებს მათ ავტომატურ მართვას და ექსპლუატაციას. პრაქტიკაში განხორციელებულ მუდმივი დენის ჩანართების პრინციპულ სქემებს აქვთ ზოგიერთი განსხვავებული თავისებურება. ასე მაგალითად, საკუმაში (იაპონია) 300მგვტიანი მუდმივი დენის ჩანართის (ნახ.1.10,ა) დანიშნულებაა კავშირის განხორციელება 50 და 60 ჰერცის სიხშირის ორ სისტემას შორის, ჩანართი იქმნება ვენტილური ბოგირებით, რომლებიც მიმდევრობითაა შეერთებული: გამმართველი -ინვენტორი - გამმართველი - ინვენტორი და ასე შემდეგ. ასეთი სქემით ნებისმიერი რაოდენობის მიმდევრობით შეერთებული ბოგირის

შემთხვევაში მოწყობილობის ძაბვა არ აღემატება ერთი ბოგირის ძაბვას და იქმნება საშუალება ბოგირის თითოეული წყვილი (გამმართველი - ინვენტორი) აღიჭურვოს ერთი დამშენებელი ვენტილით და ერთი დამშენებელი აპარატით.

ილ რივერის 320 მგვტ -იანი მუდმივი დენის ჩანართის სქემა (ნახ.1. 10,ბ) შეიცავს ორ დამოუკიდებელ თორმეტპულსიან გარდამქმნელ ბლოკს. თითოეული ბლოკი აწყობილია ორი წყვილი მიმდევრობით შეერთებული ბოგირით, რომლებიც მუშაობენ გამმართველ და ინვენტორულ რეჟიმში. გარდამქმნელი ტრანსფორმატორი ოთხგრაფილიანია რომელთაგან ერთი ქსელურია, ორი ვენტილურია და ერთზე მიერთებულია სინქრონული კომპენსატორი და ფილტრები.

მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი მუდმივი დენის ჩანართი ქვესადგურ „ვიბორსკაიაშია“ რუსეთსა და ფინეთს შორის 300/400 კვ ელექტრო გადაცემისათვის. სქემა შეიცავს 300/400კვ შემკრები სალტების შემაერთებელ ოთხ თორმეტპულსიან გარდამქმნელ ბლოკს (КВПУ1-4). რთული ორსაფეხურიანი ჰარმონიკების ფილტრაციის სისტემა გამოყენებულია ფინეთის ენერგოსისტემის მიერ მოთხოვნილი ელექტროენერჯის მაღალი ხარისხის უზრუნველსაყოფად [18].

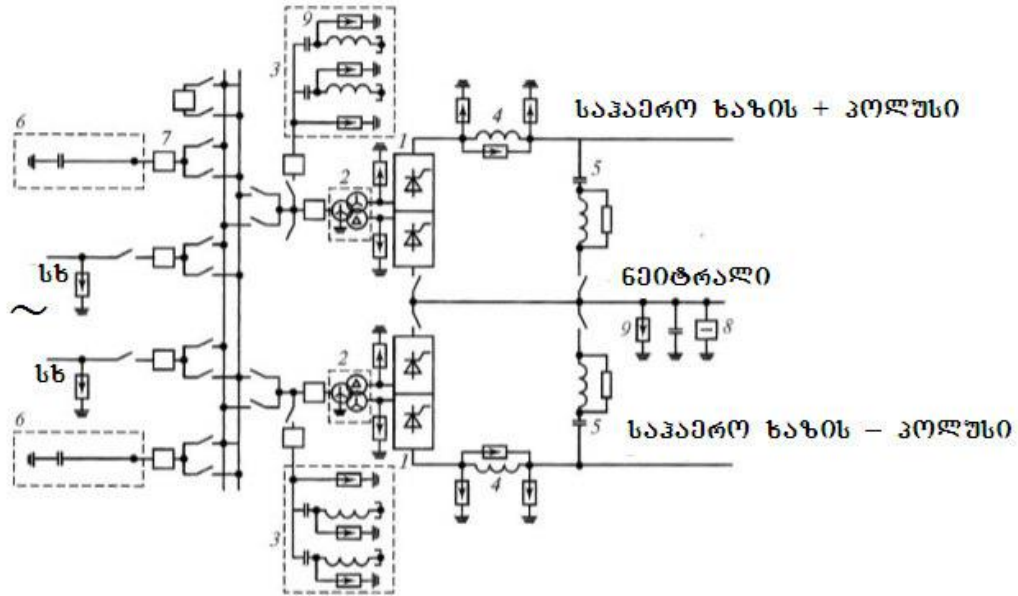


ნახ.1.10. მუდმივი დენის ჩანართის პრინციპული სქემები: ა - საკუმას სქემა ვერცხლისწყლის ვენტილებით; ბ- ილ რივერის სქემა ტირისტორული ვენტილებით: 1 - ცვლადი დენის შემკრები სალტე; 2 - რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის მოწყობილობა და მაღალი ჰარმონიკების ფილტრები; 3 - გარდამქმნელი ტრანსფორმატორი; 4 - ვენტილური ბოგა; 5 - მაგლუვებელი რეაქტორი; 6 - მაშუნტირებელი ვენტილი; 7 - მაშუნტირებელი აპარატი; 8 - დამცავი ჩამიწება; 9 - ბოგური გარდამქმნელი.

1.21. გარდამქმნელი ქვესადგურის სქემები

გარდამქმნელი ქვესადგურების თანამედროვე ბიპოლარული და უნიპოლარული (ძირითადად საკაბელო) მუდმივი დენით გადაცემის პრინციპული სქემები ძირითადად ერთმანეთის მსგავსია და აქვთ თითქმის ერთნაირი მახასიათებლები. თანამედროვე ბიპოლარული გარდამქმნელი ქვესადგურის სქემა, რომელიც წარმოიქმნა მუდმივი დენით გადაცემის ტექნიკის განვითარების პროცესში, მოცემულია ნახ.1.11-ზე [5].

ის შეიცავს ბიპოლარული ხაზის თითოეულ პოლუსში თორმეტპულსიან გარდამქმნელს, ორ ან სამ გრაგნილა გარდამქმნელ ტრანსფორმატორს, მაღალი ჰარმონიკების ფილტრებს ცვლადი და მუდმივი დენის მხარეს, ხაზურ რეაქტორებს მუდმივი დენის გადამცემი ხაზის პოლუსებში, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის მოწყობილობებს, განთავსებულებს ე.წ. „შუა წერტილებში“ ან ქვესადგურების ნეიტრალეებში.



ნახ.1.11. ქვესადგურის გარდამქმნელის ტიპიური სქემა: 1- გარდამქმნელი; 2-ტრანსფორმატორი; 3- ცვლადი დენის ჰარმონიკების ფილტრი; 4- სახაზო რეაქტორი; 5- ჰარმონიკების ფილტრი მუდმივი დენის ხაზში; 6- კონდენსატორული ბატარეა; 7- ცვლადი დენის ამომრთველი; 8- მუდმივი დენის ამომრთველი; 9- გადაძაბვების შემზღვეველი.

თანამედროვე მუდმივი დენით გადაცემის სქემების მოდიფიკაციები ძირითადად დაკავშირებულია გადამცემი ხაზის კონკრეტულ პარამეტრებთან, გადასაცემ სიმძლავრესა და ცვლადი დენის ენერგოსისტემასთან მიერთების თავისებურებებთან.

კერძოდ, ამ თავისებურებებს წარმოადგენს მოთხოვნები რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრაციის საშუალებების მიმართ. ასევე ტექნიკური გადაწყვეტილებები უკუ მიმართულების დენის გატარების უზრუნველსაყოფად მონოპოლარული მუდმივი დენით გადაცემის ან არასიმეტრიულ სქემებში ბიპოლარული მუდმივი დენით გადაცემის დროს.

თავი II . ელექტროენერჯის ხარისხი, სერტიფიკაცია და ტექნიკური რეგლამენტები.

2.1. ნორმატიულ - სამართლებრივი დოკუმენტები

ელექტროენერჯის მთავარი სამომხმარებლო კრიტერიუმია საერთო მიერთების წერტილში მისი პარამეტრების შესაბამისობა ელექტროენერჯის ხარისხის სტანდარტით დადგენილ მაჩვენებლებთან. ამ დროს, ელექტროენერჯია გამოდის როგორც საქონელი, რომელიც უნდა იყოს სერტიფიცირებული და ამის შესაბამისად, უნდა მიეწოდოს მომხმარებელს.

საქართველოს კანონის „პროდუქციის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსის“ [19] თანახმად, რომლის მიზანია: ა) ადამიანის სიცოცხლის, ჯანმრთელობის, საკუთრებისა და გარემოს დაცვა; ბ) უსაფრთხო პროდუქტის ბაზარზე განთავსება და თავისუფალი მიმოქცევა; გ) მომეტებული ტექნიკური საფრთხის შემცველი ობიექტების ექსპლუატაციის წესებთან შესაბამისობის უზრუნველყოფა სახელმწიფო ზედამხედველობისა და კონტროლის გზით; დ) სამშენებლო საქმიანობის განხორციელების უზრუნველყოფა სამშენებლო სფეროს ტექნიკური რეგლამენტებითა და საქართველოს კანონმდებლობით დადგენილი მოთხოვნების სრული დაცვით; ე) სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიის, აკრედიტაციის და შესაბამისობის შეფასების სფეროებში საუკეთესო პრაქტიკის დანერგვა და ევროკავშირის კანონმდებლობასთან დაახლოება, ელექტროენერჯია ჩართული უნდა იყოს პროდუქციისა და მომსახურების (სამუშაოს) ნომენკლატურაში, რომელთა მიმართაც გათვალისწინებულია სერტიფიკაცია.

გარდა ამისა, „მომხმარებელთა უფლებების დაცვის შესახებ“ საქართველოს კანონის თანახმად [20], რომელიც განსაზღვრავს საქართველოს ტერიტორიაზე მომხმარებელთა უფლებების დაცვის სამართლებრივ, ეკონომიკურ და სოციალურ საფუძვლებს, მომხმარებელს უფლება აქვს

მოითხოვოს, რომ პროდუქცია მისი შენახვის, ტრანსპორტირებისა და გამოყენების ჩვეულებრივ პირობებში იყოს უსაფრთხო მისი სიცოცხლის, ჯანმრთელობისა და გარემოსათვის, აგრეთვე არ აყენებდეს ზიანს მის ქონებას, ხოლო სავალდებულო მოთხოვნები, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ მომხმარებელთა სიცოცხლისა და ჯანმრთელობის, გარემოს უსაფრთხოება, აგრეთვე მომხმარებლის ქონებისათვის ზიანის მიყენების თავიდან აცილების აუცილებელი პირობები, განისაზღვრება სტანდარტით.

პროდუქციის უსაფრთხოებისადმი სავალდებულო მოთხოვნების შემცველი სტანდარტის არარსებობის შემთხვევაში, პროდუქციის იმ სახეობათა მიმართ, რომელთა გამოყენებამაც შესაძლებელია ზიანი მიაყენოს გარემოს, მომხმარებლის სიცოცხლეს, ჯანმრთელობას, აგრეთვე მის ქონებას, სახელმწიფო მმართველობის შეაბამისი ორგანოები ვალდებული არიან უზრუნველყონ ასეთი სტანდარტების დაუყოვნებლივ შემუშავება, მიღება და ამოქმედება, აუცილებლობის შემთხვევაში კი შეაჩერონ პროდუქციის რეალიზაცია.

პროდუქცია, რომელზედაც საქართველოს საკანონმდებლო აქტებითა და სტანდარტებით განსაზღვრულია მოთხოვნები, რომლებმაც უნდა უზრუნველყოს მომხმარებლის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობის, გარემოს უსაფრთხოება, აგრეთვე მომხმარებლის ქონებისათვის ზიანის მიყენების თავიდან აცილების აუცილებელი პირობები, ექვემდებარება სავალდებულო სერტიფიკაციას.

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 დადგენილება „ტექნიკური რეგლამენტი - ელექტროსადგურებისა და ქსელების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების დამტკიცების შესახებ“ [21] მიღებულია ამ კოდექსის 58-ე მუხლის მე-2 ნაწილის საფუძველზე.

№434 დადგენილების 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, ელექტროენერგია, როგორც საქონელი და მისი ხარისხი, როგორც ელექტრო-მოწყობილობის უსაფრთხო ექსპლუატაციის საჭირო პირობა განეკუთვნებიან რეგულირების სფეროს.

სამწუხაროდ, ამჟამად მიწოდებული ელექტროენერგიის ხარისხის ოპტიმიზაცია წარმოადგენს სერიოზულ პრობლემას. ელექტროენერგიის დაბალი ხარისხი შეიძლება იყოს ელექტროენერგიის მომხმარებელთა მხრიდან სასამართლო ორგანოებისადმი მიმართვის საფუძველი. მომხმარებელთა საჩივრები დროთა განმავლობაში შეიძლება გახდეს მათზე მიწოდებული ელექტროენერგიის ხარისხის ამაღლების ერთერთი ხერხი.

ზემოთ აღნიშნული მოქმედი ნორმატიულ – სამართლებრივი დოკუმენტების მოთხოვნების შესაბამისად, ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციებზე დაკისრებულია მომხმარებლებზე მიწოდებული ელექტროენერგიის ხარისხის მართვის სერიოზული ამოცანა.

2014 წლის 17 აპრილს საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის № 10 დადგენილებით [22] მიღებულ იქნა „ქსელის წესები“, რომელიც განსაზღვრავს საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მონაწილეთა და მადიებლების მიერ გადამცემი ქსელის განვითარების, მართვის, ხელმისაწვდომობისა და უსაფრთხო სარგებლობის პროცედურებს, პირობებს, პრინციპებსა და სტანდარტებს.

ეს წესები მოიცავს ისეთ საკითხებს, როგორცაა გადამცემი ქსელის ხელმისაწვდომობისა და გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური და ოპერირების კრიტერიუმები, მისი გაფართოებისა და გაუმჯობესების დაგეგმვა,

ელექტროენერგეტიკული სისტემის მუშაობის რეჟიმები და სტანდარტები, ელექტროენერჯის მიწოდებისა და მოთხოვნების გრაფიკების შედგენა და განხორციელება, მონაცემთა და ინფორმაციის გაცვლა, ელექტროენერჯის აღრიცხვის პოლიტიკა.

ამ წესებში არასაკმარისად არის მოცემული ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები. მოწოდებული ელექტროენერჯის ხარისხი უნდა შეესაბამებოდეს სახელმწიფოთაშორისი სტანდარტის 13109-97-ის [19] მოთხოვნებს და სხვა აუცილებელ წესებსა და პირობებს, რომლებიც გათვალისწინებულია ენერგომომარაგების ხელშეკრულებით.

13109-97-ისა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის დროინდელი სხვა ნორმატიული - სამართლებრივი დოკუმენტების გამოყენების უფლებას გვაძლევს საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 18 ივნისის №409 დადგენილება [23], რომლის თანახმად სამშენებლო სფეროს ტექნიკური რეგულირების მიზნით, შესაბამისი ტექნიკური რეგლამენტების მიღებამდე, აღიარებული და საქართველოს ტერიტორიაზე დროებით სამოქმედოდ დაშვებულ იქნეს ყოფილი საბჭოთა კავშირის 1992 წლამდე მოქმედი და შემდგომ პერიოდში მოდიფიცირებული სამშენებლო ნორმები და წესები, ტექნიკური რეგულირების სხვა დოკუმენტები და მათი ის ნაწილები, რომელთა ალტერნატივა არ არსებობს საქართველოში მიღებული ტექნიკური რეგლამენტების ან სხვა ნორმატიული აქტების სახით და რომლებიც არ ეწინააღმდეგება საქართველოს მოქმედ კანონმდებლობას ან/და იმ საერთაშორისო ხელშეკრულებებს, რომელთა მონაწილეც არის საქართველო.

სერტიფიკაცია შეიძლება იყოს ნებაყოფლობითი და აუცილებელი.

ნებაყოფლობითი სერტიფიკაცია ხორციელდება განმცხადებლის ინიციატივით განმცხადებელსა და სერტიფიკაციის ორგანოს შორის დადებული ხელშეკრულების საფუძველზე. იგი შეიძლება განხორციელდეს ეროვნულ და ორგანიზაციის სტანდარტებთან, ნებაყოფლობითი

სერტიფიკაციის სისტემებთან და ხელშეკრულების პირობებთან შესაბამისობის დასადგენად.

აუცილებელი სერტიფიკაცია წარმოადგენს საქონლის (სამუშაოს, მომსახურების) სტანდარტის აუცილებელ მოთხოვნებთან შესაბამისობის დადგენას, უფლებამოსილი ორგანოს მიერ.

შესაბამისობის შეფასება – ეს არის ობიექტის მიმართ წარდგენილი მოთხოვნების დაცვის პირდაპირი ან ირიბი შეფასება.

ელექტროენერჯის ხარისხის სერტიფიკაციის განსაზღვრულ ნორმატიულ დოკუმენტს წარმოადგენს სტანდარტი [19] „ელექტროენერჯია“. ტექნიკური საშუალებების ელექტრომაგნიტური თავსებადობა. საერთო დანიშნულების ენერგომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმები”, რომელზეც მისი მოთხოვნების აუცილებელი შესრულების ნაწილში, მითითებულია ენერგომომარაგების, ელექტროენერჯის მომხმარებელსა და ენერგომომარაგებელ ორგანიზაციას შორის დადებულ პრაქტიკულად ყველა ხელშეკრულებაში.

დიდი მნიშვნელობა აქვს ასევე, 23875-88 „ელექტროენერჯის ხარისხი. ტერმინები და განსაზღვრებები” –ს [24].

გარდა აღნიშნული სტანდარტებისა, ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზის შესახებ მოქმედებენ ნორმატიული მეთოდური მითითებები, რომლებიც იყოფიან ორ ნაწილად:

ნაწილი 1. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი, რომელშიც განსაზღვრულია ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის უზრუნველყოფის პრინციპები, რომლების რეგლამენტირებულია ელექტრო დანადგარებთან მუშაობის მოქმედი ნორმებითა და წესებით და წარმოადგენენ ხარისხის კონტროლის ერთიან სისტემას;

ნაწილი 2. ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზი, რომელშიც განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სისტემების ფუნქციონირების შედეგიანობასა და ეფექტურობას.

ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციების მიერ მომხმარებელზე მოწოდებული ელექტროენერჯის ხარისხის დონე განსაზღვრავს ელექტრო დანადგარების მუშაობის საიმედოობას, ეკონომიურობასა და უსაფრთხოებას, წარმოების ტექნოლოგიური და დამხმარე პროცესების მიმდინარეობის მდგრადობას. საბაზრო ურთიერთდამოკიდებულების პირობებში, საქონლის განსაკუთრებული სახის – ელექტროენერჯის მიწოდებისა და ყიდვის დროს. ამ საქონლის ხარისხის ამაღლების პრობლემამ, ტექნიკურ ასპექტებთან ერთად შეიძინა სამართლებრივი და ეკონომიური ხასიათი, რომლებიც საქართველოში უნდა დარეგულირდეს კოდექსებით.

საქართველოს კანონის „ელექტროენერჯეტიკისა და ბუნებრივი გაზის შესახებ“ [25] თანახმად, განსაზღვრულია საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის სტატუსი და ფუნქციები, რომლის თანახმადაც სხვა ძირითად ფუნქციებთან ერთად მისი ფუნქციაა - ლიცენზიატებს, მცირე სიმძლავრის ელექტროსადგურებს, იმპორტიორებს, ექსპორტიორებს, მიმწოდებლებს, მომხმარებლებსა და ბაზრის ოპერატორს შორის წარმოქმნილი სადავო საკითხების გადაწყვეტა თავისი კომპეტენციის ფარგლებში; ელექტროენერჯეტიკისა და ბუნებრივი გაზის სექტორში ლიცენზიების პირობების დაცვის კონტროლი და დარღვევისათვის კანონით გათვალისწინებული ღონისძიებების გატარება;

ელექტროენერჯის ხარისხის შესახებ დაწერილია მრავალი პუბლიკაცია, დაწყებული სტატიებიდან დამთავრებული ტექნიკურ წიგნებამდე და მონოგრაფიებამდე. გამოშვებულია მრავალი ნორმატიულ – სამართლებრივი დოკუმენტი, ამ პრობლემის შესახებ ბევრს ლაპარაკობენ სხვადასხვა თათბირებსა და კონფერენციებზე.

ელექტროენერჯის ხარისხის მნიშვნელობაზე არავინ არ დავობს, მაგრამ დღემდე ამ პრობლემის გადაწყვეტის საქმეში საგრძნობი შედეგები არ ჩანს. ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლიდან ნებისმიერი ერთის, მაგალითად, ძაბვის დონის გადახრას სტანდარტული მნიშვნელობიდან მიყვავართ აუნაზღაურებელ ზარალამდე, რომელიც დაკავშირებულია ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის დანაკარგების ზრდასთან, გამტარუნარიანობის გაუარესებასთან, ელექტრული ქსელების ექსპლუატაციის გაძვირებასთან, ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირებასთან, ტექნოლოგიური მოწყობილობების მწარმოებლობის შემცირებასთან, პროდუქციის წუნთან, ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების დაუშვებელ ცდომილებებთან და სხვა.

ძაბვის გადახრა ფასდება დროის მოცემულ მომენტში ძაბვის ფაქტიურ და ნომინალურ მნიშვნელობათა შორის სხვაობით. ძაბვის გადახრის დასაშვები მნიშვნელობები განათების ხელსაწყოებისათვის, ელექტროძრავებისათვის და მათი გამშვი აპარატებისათვის, ასევე სხვა სახის ელექტრომოწყობილობებისათვის მოყვანილია სტანდარტში [19].

საზედამხედველობის ორგანოები უნდა ახორციელებდნენ ელექტრო ენერჯის ხარისხის პერიოდულ და ეპიზოდურ კონტროლს. მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოს პრეზიდენტის 2005 წლის 22 მარტის № 1123 -ის ბრძანებით [26] გაუქმდა ენერგო ზედამხედველობისა და სათბობის ხარისხის დეპარტამენტი, სათანადო კონტროლის განხორციელება ევალება საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელ ეროვნულ კომისიას. ელექტროენერჯის ხარისხის პერიოდული კონტროლი წარმოებს ელექტრული ქსელის არჩეულ მახასიათებელ წერტილებში წინდაწინ დადგენილ ვადებში ან დროის დადგენილი ინტერვალების შემდეგ.

ელექტროენერჯის ხარისხის ეპიზოდური კონტროლი წარმოებს საჭიროების მიხედვით ელექტროენერჯის ხარისხის მიმართ მომხმარებლის ან ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის პრეტენზიების,

ქსელთან მომხმარებლის მიერთებაზე ტექნიკური პირობის გაცემისა და მომხმარებლის ისეთი ელექტროდანადგარის, რომელიც აუარესებს ელექტროენერგიის ხარისხს, ექსპლუატაციაში გაშვების დროს. ასევე, ელექტროენერგიის ხარისხზე სახელშეკრულებო პირობების დადების დროს და სხვა.

ელექტროდანადგარების მოწყობის წესების [27] (პუნქტი 1.2.23) მოთხოვნების შესაბამისად, ძაბვის რეგულირების მოწყობილობებმა ელექტროსადგურისა და ქვესადგურის 3 - 20 კვ ძაბვის სალტებზე, რომელთანაც მიერთებულია გამანაწილებელი ქსელი, უნდა უზრუნველყოს ძაბვის შენარჩუნება ნომინალურის არანაკლებ 105 % - ისა, ამ ქსელების დიდი დატვირთვების პერიოდში და ნომინალურის არაუმეტეს 100 % - ისა, მცირე დატვირთვების პერიოდში. აღნიშნული დონეებიდან, ძაბვის გადახრები უნდა იყოს დასაბუთებული.

ელექტრომიმღებების მომჭერებზე ძაბვის შემცირებას, რასაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს, მაგ., ქსელში ძაბვის დანაკარგების გაზრდის გამო, მივყავართ არა მარტო ამძრავის ელექტროძრავების ბრუნვის სიხშირის არსებით (ძაბვის კვადრატის პროპორციულ) შემცირებასთან, არამედ განათების დონის შემცირებასთანაც, რაც იწვევს მოწყობილობის მწარმოებლობის შემცირებასა და პროდუქციის ხარისხის გაუარესებას.

სტანდარტით [19] განსაზღვრულ დასაშვებ ზღვარს ზემოთ ძაბვის გაზრდას მივყავართ გამტარებისა და კაბელების იზოლაციის, ვარვარების ნათურებისა და ვარვარების ძაფის მქონე თბოელექტროგამახურებელი ხელსაწყოების მუშაობის ხანგრძლივობის ვადის შემცირებასთან.

გარდა ამისა, ძაბვის ზრდა უარყოფით გავლენას ახდენს კონდენსატორული დანადგარების მუშაობის ხანგრძლივობაზე, რამდენადაც ძაბვის მეტისმეტად მომატებამ შეიძლება მიგვიყვანოს კონდენსატორების ელექტრული სიმტკიცის შემცირებასთან, შინაგან გარღვევასთან, ამობურცვასთან და კორპუსების გაგლეჯასთან, ამიტომ

ელექტროდანადგარების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების მოთხოვნების შესაბამისად, გარეგანი დათვალიერებითა და მათი იზოლაციის წინაღობის გაზომვით კონდენსატორების მდგომარეობის შემოწმების დროს, მის გამომყვანებსა და კორპუსს შორის წარმოებს კიდეც ერთი შემოწმება სამრეწველო სიხშირის აწეული ძაბვით. იზოლაცია გამოიცდება კორპუსის მიმართ ჩამოკლებული კონდენსატორის მომჭერების დროს.

ელენერგის ხარისხის მოთხოვნილი მაჩვენებლები, პირველ რიგში ძაბვის დონე, დაფიქსირებულ უნდა იქნეს ენერგომომარაგების ხელშეკრულებაში. ამასთანავე, ენერგომომარაგების ხელშეკრულებაში მარტივი არ არის მიაღწიო ძაბვის გადახრის დასაშვები დიაპაზონის მითითებას, რომ არაფერი ვთქვათ ელექტროენერგის ხარისხის სხვა მაჩვენებლებზე (მაგ., ძაბვის არასიმეტრიულობა და არასინუსოიდურობა), იმიტომ რომ ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციისათვის გამანაწილებელ ქსელებში ძაბვის ოპტიმიზაცია წარმოადგენს რთულ ამოცანას, რომლის გადაწყვეტა დაკავშირებულია მნიშვნელოვანი ინვესტიციების განხორციელებასთან. ამჟამად, მრეწველობაში ფართოდ გამოიყენება ისეთი ელექტრო მიმღებები, რომლებიც უარყოფით გავლენას ახდენენ ელექტროენერგის ხარისხის მაჩვენებლებზე.

ასეთებია: გარდამქმნელი და გამმართველი დანადგარები, ფაზების მიხედვით არათანაბრად განაწილებული მნიშვნელოვანი სიმძლავრის ერთფაზა ელექტრომიმღებები და სხვა. დაბალი ხარისხის ელენერგის შედეგად, მცირდება ელენერგის ხარისხის მაჩვენებლების გადახრის მიმართ მგრძობიარე ელექტრონული მიკროპროესორული ტექნიკის მუშაობის ხანგრძლივობის ვადა, იზრდება აქტიური ელენერგის სტატიკური (ელექტრონული) მრიცხველის ცდომილება. მაგალითად, სტანდარტი [28] -ის მიხედვით $0,8 U_{\text{ფ}}$ –ზე ქვემოთ მრიცხველის ცდომილება შეიძლება იცვლებოდეს $+ 10 - 100\%$ -ის ფარგლებში, ანუ 10 -ჯერ და მეტად.

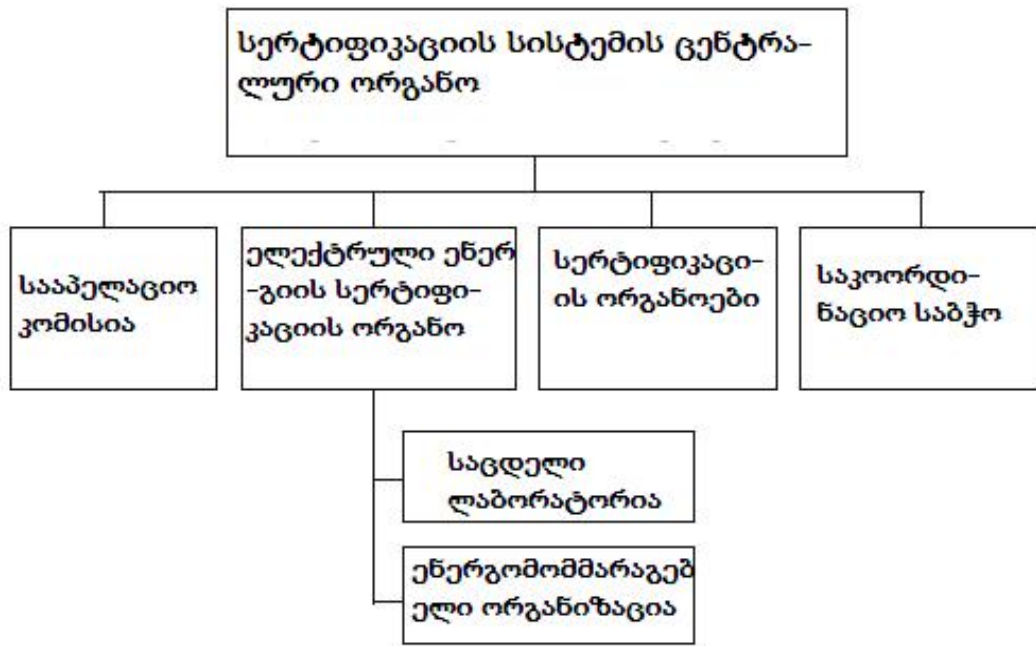
გარდა ამისა, ასეთი ელექტრონული მრიცხველები ძალიან მგრძნობიარეები არიან დენის მესამე რიგის ჰარმონიკის მრუდის ფორმის ცვლილების, უკუთანმიმდევრობის ფაზების, ძაბვის არასიმეტრიისა და გარეშე მაგნიტური ველების გავლენის მიმართ. ტექნიკური რეგულირების შესახებ კანონი [29] ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციებისათვის ითვალისწინებს თავის ქსელებთან მომხმარებელთა ისეთი ელექტრო დანადგარების მიერთებაზე უარის თქმის შესაძლებლობას, რომლებიც ვერ აკმაყოფილებენ ელექტროენერგიის ხარისხზე გავლენის დადგენილ მოთხოვნებს.

მეორე მხრივ, ელექტროენერგიის მომხმარებლებს იმავე მიზეზით ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციიდან შეუძლიათ მოითხოვონ მათ მიერ მიღებული ელენერგიის ხარისხის დადგენილ მოთხოვნებთან შესაბამისობა. უკანასკნელ წლებში, წარმოებს ელენერგიის ხარისხის სერტიფიკაციის ორგანოებისა და საცდელი ლაბორატორიების აკრედიტაციის სამუშაოები.

ენერგეტიკის სფეროში, ელექტროენერგეტიკისა და ბუნებრივი გაზის შესახებ საქართველოს კანონის [25] თანახმად, საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის ერთ-ერთი ფუნქციაა ენერგეტიკის სფეროში სერტიფიკაციის სამუშაოების ორგანიზება და კოორდინაცია. აკრედიტაცია წარმოადგენს აკრედიტაციის ორგანოს მიერ ფიზიკური ან იურიდიული პირის ოფიციალურ აღიარებას, შეასრულოს შესაბამისობის შეფასების დარგში განსაზღვრული სამუშაოები.

გარდა ამისა, საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის 2008 წლის 18 სექტემბრის N20 დადგენილებით „ელექტროენერგიის (სიმძლავრის) მიწოდებისა და მოხმარების წესების“ დამტკიცების შესახებ [30] დამტკიცებულია ელექტროენერგიის განაწილების ლიცენზიასა და მომხმარებელს შორის „ელექტროენერგიის ნასყიდობის ხელშეკრულება“.

ამასთან, ასევე განსაზღვრულია ელექტროენერჯის განაწილების ლიცენზიატის ვალდებულებები, კერძოდ ის ვალდებულია: გამანაწილებელ ქსელში ელენერჯის სიხშირე, ძაბვა და სხვა პარამეტრი უნდა შეესაბამებოდეს ელენერჯის სექტორში მოქმედ ნორმებს და სახელმწიფო სტანდარტებს. ელენერჯით მომარაგებისას განაწილების ლიცენზიატი პასუხისმგებელია ელენერჯის იმ პარამეტრებზე რომლის გამოსწორება ან შეცვლა შესაძლებელია მის მიერ. სერტიფიკაციის შესახებ წესებში მოყვანილია ელენერჯის სერტიფიკაციის სისტემის მონაწილეთა ურთიერთქმედების სქემა, რომელსაც აქვს ნახ.2.1 –ზე წარმოდგენილი სახე:



ნახ.2.1. ელენერჯის სერტიფიკაციის სისტემის მონაწილეთა ურთიერთქმედების სქემა

ელენერჯის სერტიფიკაციის ორგანოში ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის ექსპერტიზაზე წარსადგენ ორგანიზაციულ - მეთოდურ და ტექნიკურ დოკუმენტებს მიეკუთვნებიან:

- ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის ელექტროენერჯის ხარისხის უზრუნველყოფის სისტემის მართვის ორგანიზაციულ - მეთოდური დოკუმენტები;

- იმ გამანაწილებელი ელექტრული ქსელების სქემები, რომელზეც გაკეთებულია განაცხადი ელექტროენერჯის სერტიფიკაციაზე, მათზე ნაჩვენები უნდა იყოს სქემის პარამეტრები და არჩეული საკონტროლო პუნქტები;

- განმცხადებლის მიერ მოყვანილი ელექტროენერჯის ხარისხის ოქმები.

ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის ელექტროენერჯის სერტიფიკაციის განაცხადს თან უნდა დაერთოს გამანაწილებელი ელექტრული ქსელების (კვების ცენტრების) ჩამონათვალი ცხრილი 2.1 და ცხრილი 2.2 –ში მოყვანილი ფორმის მიხედვით.

ცხრილი.2.1. ელექტრული ენერჯის სერტიფიკაციაზე გაცხადებული გამანაწილებელი ელექტრული ქსელის კვების ცენტრების მფლობელი ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციისათვის განკუთვნილი ფორმა.

№ რიგზე	ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის განცალკევებული ქვედანაყოფის დასახელება	კვების ცენტრის, გამანაწილებელი მოწყობილობის სექციის დასახელება და ნომინალური ძაბვა

ცხრილი.2.2. ელექტროენერჯის სერტიფიკაციაზე გაცხადებული
 გამანაწილებელი ელექტრული ქსელის კვების ცენტრების არამფლობელი
 ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციისათვის განკუთვნილი ფორმა

№ რიგზე	ზემდგომი ენერგომომ- მარაგებელი ორგანიზაციის , კვების ცენტრის, გამანაწილებელი მოწყობილობის სექციის ნომონალური ძაბვა	კვების ცენტრთან მიერთებული გამანაწილებელი ხაზების ნომერი	მთავარი გამანაწილებელი ქვესადგურისა და სატრანსფორმატორო ქვესადგურების დასახელება

კვების ცენტრს წარმოდგენს ელექტროსადგურის გენერატორული ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობა ან ენერგოსისტემის დამწვევი ქვესადგურის მეორეული ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობა, რომელზეც მიერთებულია მოცემული რაიონის გამანაწილებელი მოწყობილობა. თუ დამწვევი ქვესადგურის ტრანსფორმატორი აღჭურვილია დატვირთვის ქვეშ რეგულირების მოწყობილობით და ეს მოწყობილობა დამწვევი ქვესადგურის რამდენიმე გამანაწილებელი მოწყობილობისათვის უზრუნველყოფს მეორეული ძაბვის რეგულირების ერთსა და იმავე კანონს, მაშინ ისინი განიხილებიან, როგორც კვების ერთი ცენტრი.

სერტიფიკაციისათვის ელექტროენერჯის გამოცდას ატარებს აკრედიტებული საგამოცდო ლაბორატორია (ცენტრი) გამანაწილებელი ელექტრული ქსელების (კვების ცენტრების) საკონტროლო პუნქტებში, რომლებიც აირჩევიან ელექტროენერჯის სერტიფიკაციაზე განაცხადის მქონე ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის რიცხვიდან.

ენერგომომარაგებელი ორგანიზაცია აუწყებს მომხმარებელს ჩატარებული ელექტროენერჯის სერტიფიკაციის შესახებ (სერტიფიკატის სარეგისტრაციო ნომერი, მისი მოქმედების ვადა და სერტიფიკატის გამცემი ორგანოს რეკვიზიტებს).

2.2. ელექტროენერჯის სერტიფიკაცია და ტექნიკური რეგლამენტები

ელექტროენერჯეტიკის ყველა იმ სუბიექტის, რომლებიც მონაწილეობენ ელექტროენერჯის წარმოებაში, გადაცემასა და განაწილებაში, მოქმედების მიზანს წარმოადგენს ხელშეკრულების საფუძველზე მომხმარებელზე მომსახურების მიწოდება, მისი ხარისხისა და მიწოდების ხელშეკრულებით გათვალისწინებული მოცულობის დაცვით.

ვითვალისწინებთ, რა მოცემული პროდუქციის საფრთხეს ადამიანებისათვის, ცხოველებისათვის, შენობებისათვის, გარემოსათვის და სხვა სახელმწიფოს მხრიდან მიღებულ უნდა იქნეს მისი უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ზომები მოქმედი საკანონმდებლო, სამართლებრივი და ქვეკანონიერი აქტების ფორმით.

ერთ-ერთ ასეთ ფორმას წარმოადგენს ტექნიკური რეგლამენტების შემოტანა, რომლებიც ადგენენ პროდუქციის მიმართ ნებაყოფლობით და აუცილებელ მოთხოვნებს და განსაზღვრავენ მისი ხარისხის დაცვის ნაწილში მომწოდებელსა და მყიდველს შორის ურთიერთობას.

ტექნიკური რეგლამენტი წარმოადგენს დოკუმენტს, რომელიც ადგენს ტექნიკური რეგულირების (მათ რიცხვში ელექტრო უსაფრთხოებისათვის, გაზომვებისათვის, ფეთქებადუსაფრთხოებისათვის და სხვა) ობიექტების მიმართ გამოყენებისა და სარგებლობისათვის აუცილებელ მოთხოვნებს.

მაგ., ტექნიკური რეგულირების შესახებ კანონი ელექტროტექნიკაში [29] ადგენს ურთიერთობების რეგულირების სამართლებრივ ნორმებს, რომლებიც დაკავშირებულია ზემოთ აღნიშნულ მოქმედებებთან, ანუ ადგენს საჭირო მოთხოვნებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ პროდუქციის

ელექტროუსაფრთხოებასა და ელექტრომაგნიტურ თავსებადობას, ასევე ექსპლუატაციის პროცესების უსაფრთხოებას ზიანის მიყენების რისკის ხარისხის გათვალისწინებით. ამ დროს, ელექტრო ენერგეტიკაში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის მიმართ მოთხოვნები ელექტრო უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ტრადიციული მოთხოვნებისაგან განსხვავებით პრინციპულად ახალია.

საყოფაცხოვრებო საჭიროებისათვის გაშვებული ელექტროენერჯის შესაბამისობის დადასტურებისათვის გამოიყენება აუცილებელი სერტიფიკაცია, ხოლო იურიდიული პირების მიმართ გამოიყენება ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის მხრიდან საკუთარი დამამტკიცებელი საბუთის საფუძველზე გაცემული შესაბამისობის დეკლარაცია.

შესაბამისობის შეფასება სწარმოებს სახელმწიფო კონტროლის (ზედამხედველობის) აკრედიტაციის, გამოცდის, რეგისტრაციის, შესაბამისობის დადასტურების, მიღების, ექსპლუატაციაში შეყვანისა და სხვა ფორმებით. რამდენადაც ელექტროენერჯია წარმოადგენს საშიშ პროდუქციას, რომლის გამოყენება დაკავშირებულია ზიანის მიყენების რისკთან, ზარალთან და ადამიანის ცხოვრებისა და ჯანმრთელობის საშიშროებასთან, ამიტომ ტექნიკური რეგულირების შესახებ სახელმწიფო კანონის შემოღება საჭიროა მისი ხარისხის რეგულირების სამართლებრივი და ტექნიკური საფუძვლების ხარჯზე პროდუქციის (ელექტრო ენერჯის) უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის.

მოცემული კანონის მიზანს უნდა წარმოადგენდეს ყველა იმ არსებული სტანდარტისა და სხვა ნორმატიული დოკუმენტების ინვენტარიზაცია, რომლებიც შეიცავენ კომერციული მოქმედების მიმართ აუცილებელ მოთხოვნებს. ტექნიკური რეგულირება წარმოადგენს ურთიერთობების უტარიფო რეგულირების არსებით ნაწილს, რომლებიც წარმოიშობა პროდუქციის დამუშავებისა და მისი ხარისხის, რეალიზაციის, გადაცემისა და სხვა აუცილებელი მოთხოვნების დროს.

ტექნიკური რეგულირების შესახებ კანონის ერთ-ერთი ძირითადი იდეა მდგომარეობს ელექტროენერჯის (საქონლის) მიმართ მოთხოვნების ორ ნაწილად გაყოფაში: ადამიანებისა და ცხოველების უსაფრთხოებაზე, რომლისთვისაც სახელმწიფო პასუხისმგებელია თავისი საკანონმდებლო აქტებით. ელექტროენერჯის (საქონლის) სამომხმარებლო ხარისხზე, რომელზედაც პასუხისმგებელია კომერციული (ენერგომომმარაგებელი) ორგანიზაციები და რომლის მიმართ მოთხოვნებს კარნახობს სამომხმარებლო ბაზარი. ბაზრის პასუხისმგებლობის საკანონმდებლო დონემდე ასაყვანად შემოტანილ უნდა იქნეს ტექნიკური რეგლამენტები, რომელთაც მინიჭებული ექნებათ სახელმწიფო კანონების სტატუსი. ტექნიკური რეგლამენტები საკანონმდებლო წესით ითვალისწინებენ სერტიფიკაციის ჩატარებას და აწესრიგებენ წარმოებისა და ორგანიზაციის მოქმედების ზედამხედველობის სისტემას.

მაგალითად, თუ ამჟამად ენერგოსამსახურის შემმოწმებელი სახელმწიფო ზედამხედველობის წარმომადგენელი შეიძლება მოვიდეს მრავალრიცხოვანი მოთხოვნების ნებისმიერი კრებულის, მაშინ ტექნიკურ რეგლამენტზე სამუშაოს დამთავრების შემდეგ იგი შეიძლება გამოჩნდეს მხოლოდ ერთი დოკუმენტით (ტექნიკური რეგლამენტით), რომელშიც ამომწურავად იქნება ჩამოყალიბებული მოცემული სფეროს მოქმედების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები.

ტექნიკური რეგლამენტები ადგენენ მინიმალურ საჭირო მოთხოვნებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ უსაფრთხოებას პრაქტიკულად მოქმედების ყველა სფეროში, მათ რიცხვში: გამოსხივების, ელექტრულ, ფეთქებად, სახანძრო, მექანიკურ, სამრეწველო უსაფრთხოებებს; ხელსაწყოებისა და მოწყობილობების მუშაობის უსაფრთხოებისა და გაზომვათა ერთიანობის უზრუნველყოფისათვის ელექტრომაგნიტურ თავსებადობასა და სხვა.

სტანდარტის ნორმები საუწყებო ნორმებთან და წესებთან შედარებით არის პრიორიტეტული, ამიტომ აუცილებელია ისინი გამოყენებულ იქნენ

დოკუმენტაციის ყველა სახეობაში, სასწავლო სახელმძღვანელოებში, სამეცნიერო - ტექნიკურ და საცნობარო ლიტერატურაში. სტანდარტებსა და ნორმატიულ - ტექნიკურ დოკუმენტებში ტერმინოლოგიის დაშორება პრინციპში დაუშვებელია. საქართველოში მოქმედებაში უნდა იყოს ტექნიკური რეგლამენტების შემდეგი სახეები: საერთო ტექნიკური რეგლამენტები; სპეციალური ტექნიკური რეგლამენტები; მათი ერთობლიობა.

საერთო ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნები აუცილებელია ნებისმიერი სახის პროდუქციის, წარმოების პროცესების, ექსპლუატაციის, შენახვის, გადატანის, რეალიზაციისა და უტილიზაციის ურთიერთობებში გამოყენებისა და დაცვისათვის. სპეციალური ტექნიკური რეგლამენტის მოთხოვნებით გათვალისწინებულია პროდუქციის ცალკეული სახეობების, წარმოების პროცესების, ექსპლუატაციის, შენახვის, გადატანის, რეალიზაციისა და უტილიზაციის ტექნოლოგიური და სხვა სახის თავისებურებანი.

პროდუქციის ცალკეული სახეობების, წარმოების პროცესების, ექსპლუატაციის, შენახვის, გადატანის, რეალიზაციისა და უტილიზაციის აუცილებელი მოთხოვნები განისაზღვრებიან საერთო ტექნიკური რეგლამენტებისა და სპეციალური ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნების ერთობლიობით.

საერთო ტექნიკური რეგლამენტები გამოიყენება შემდეგ საკითხებში: მანქანებისა და მოწყობილობების ბაზისური ექსპლუატაციისა და უტილიზაციის; შენობების, ნაგებობების, და მათი მიმდებარე ტერიტორიების ბაზისური ექსპლუატაციის; სახანძრო უსაფრთხოების; ელექტრომაგნიტური თავსებადობის; ეკოლოგიური უსაფრთხოების; ეკოლოგიური უსაფრთხოების; ბირთვული და რადიაციული უსაფრთხოების საკითხებში.

სპეციალური ტექნიკური რეგლამენტები ადგენენ მოთხოვნებს მხოლოდ იმ პროდუქციის ცალკეული სახეობების, წარმოების პროცესების, ექსპლუატაციის, შენახვის, გადატანის, რეალიზაციისა და უტილიზაციის მიმართ, რომელთა მიმართაც ტექნიკური რეგულირების შესახებ ტექნიკური

რეგლამენტების მისაღებად კანონებით განსაზღვრული მიზნები ვერ არის უზრუნველყოფილი საერთო ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნებით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, სპეციალური ტექნიკური რეგლამენტები ადგენენ მოთხოვნებს ზემოთ აღნიშნული პროცესებისა და მოწყობილობების მიმართ, რომელთა ზიანის მიყენების რისკის ხარისხი უფრო მაღალია, ვიდრე საერთო ტექნიკური რეგლამენტით გათვალისწინებული ზიანის მიყენების რისკი. ტექნიკური რეგლამენტების პროექტების დამუშავებისათვის საფუძვლად შეიძლება მთლიანად ან ნაწილობრივ გამოყენებულ იქნეს საერთაშორისო ან ეროვნული სტანდარტები.

2.3. აუცილებელი სერტიფიკაციის საკანონმდებლო საფუძვლები

საქართველოს კანონის „პროდუქციის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსის“ შესაბამისად, აუცილებელი სერტიფიკაცია წარმოადგენს პროდუქციის წარმოების პროცესის, ექსპლუატაციის, შენახვის, გადატანის, რეალიზაციისა და უტილიზაციის სამუშაოების, მომსახურების ტექნიკურ რეგლამენტებთან, სტანდარტებთან, ხელშეკრულების პირობებთან შესაბამისობის დადასტურების (ან არ დადასტურების) ერთ-ერთ ფორმას.

ელექტროენერჯია, როგორც საწარმოო - ტექნიკური დანიშნულების (და როგორც მოქალაქეთა პირადი საჭიროების საქონელი) პროდუქცია ჩართულია იმ პროდუქციისა და მომსახურების (სამუშაოს) ნომენკლატურაში, რომელთა მიმართაც საკანონმდებლო აქტით გათვალისწინებულია მისი აუცილებელი სერტიფიკაცია შემდეგი დასახელებით: ელენერჯია საერთო დანიშნულების სამფაზა და ერთფაზა ცვლადი დენის 50 ჰვ სიხშირის ელექტრულ ქსელებში“. ტექნიკური რეგულირების შესახებ კანონის [29] შესაბამისად, აუცილებელი სერტიფიკაცია ხორციელდება სერტიფიკაციის ორგანოს მიერ განმცხადებელთან დადებული ხელშეკრულების საფუძველზე.

სერტიფიკაციის სქემები დგინდება ტექნიკური რეგლამენტით. ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნებთან პროდუქციის შესაბამისობა

დასტურდება სერტიფიკატით. შესაბამისობის სერტიფიკატის მოქმედების ვადა განისაზღვრება შესაბამისი ტექნიკური რეგლამენტით, ხოლო მისი ფორმა მტკიცდება ტექნიკური რეგულირების შესახებ აღმასრულებელი ხელისუფლების ორგანოს მიერ.

ელექტროდანადგარების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესებში ჩართულია მოთხოვნა მასზე, რომ ელექტრომოწყობილობის ექსპლუატაცია დაიშვება ამ ელექტრომოწყობილობაზე შესაბამისობის სერტიფიკაციის არსებობის დროს.

ევროპის ქვეყნებში დირექტივების თანახმად, ენერგეტიკული რესურსები ექვემდებარებიან ენერგოეფექტურობის შესაბამის მაჩვენებლებზე აუცილებელ სერტიფიკაციას. ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლებს წარმოადგენენ მოხმარების აბსოლუტური ან კუთრი სიდიდეები ან სტანდარტით დადგენილი ნებისმიერი დანიშნულების პროდუქციისათვის ენერგორესურსების დანაკარგები.

ენერგეტიკული რესურსების ენერგომომხმარებელი და ენერგოდამზოგი მოწყობილობების სერტიფიკაცია, ასევე ენერგეტიკული რესურსების მომხმარებელთა, მომწოდებელთა და მწარმოებელთა ინტერესების შერწყმა წარმოადგენს სახელმწიფოს ენერგოდამზოგი პოლიტიკის ერთ-ერთ ძირითად პრინციპს.

აუცილებელი სერტიფიკაციის დროს, პროდუქციის გამოცდა და გაზომვა სწარმოებს აკრედიტებული საცდელი ლაბორატორიების (ცენტრების) მიერ. ასეთი ლაბორატორია (ცენტრი) აფორმებს გამოცდისა და გაზომვის შედეგებს შესაბამისი ოქმების სახით, რომელთა საფუძველზე სერტიფიკაციის ორგანო იღებს გადაწყვეტილებას შესაბამისობის სერტიფიკატს გაცემის ან გაცემაზე უარის შესახებ.

2.4. ტექნიკური რეგლამენტის მოთხოვნების დაცვისათვის

სახელმწიფო ზედამხედველობა

მომხმარებელთა უავარიო და ხარისხიანი ელექტრომომარაგება ბევრად არის დამოკიდებული სახელმწიფო კონტროლის (ზედამხედველობის) 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 ელექტროენერჯის მომხმარებლებისა და სახელმწიფო ზედამხედველობის 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 (ზედამხედველობა) უნდა განხორციელდეს სახელმწიფო კონტროლის (ზედამხედველობის) ორგანოების თანამდებობის პირების მიერ კანონმდებლობით დადგენილი წესით.

სახელმწიფო კონტროლის (ზედამხედველობის) ქვეშ, როგორც პროდუქციის ერთ-ერთი სახე მოხვედრილი უნდა იყოს ელექტროენერჯია, რომლის მიმართაც ზემოთ ხსენებული სახელმწიფო ორგანოების მიერ უნდა განხორციელდეს კონტროლი განსაკუთრებით შესაბამისი ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნების დაცვის ნაწილში.

მოცემული კანონების მოთხოვნების დარღვევისათვის პროდუქციის შეფასების საკითხში, მაგალითად ტექნიკურ რეგლამენტების მოთხოვნებთან პროდუქციის შეუსაბამობის შესახებ მითითების შეუსრულებლობის

შემთხვევაში, კანონმდებლობის შესაბამისად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სისხლის სამართლისა და ადმინისტრაციული ზემოქმედების ზომები.

ასეთივე 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 (ცენტრებს) და ექსპერტებს, გამოცდისა და გაზომვის შედეგების არასარწმუნოებისა და არაობიექტურობისათვის.

თავი III. მაღალი რიგის ჰარმონიკები და დამახინჯების სიმძლავრეები ელექტრულ სისტემებში.

3.1. ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა არასინუსოიდური დენის წრედებში სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით

უკანასკნელ წლებში, ენერგეტიკაში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრომოხმარების ობიექტების ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრას.

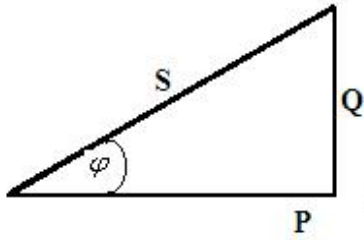
ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ელწრედებში არასიმეტრიულ და არასინუსოიდურ რეჟიმებში მიმდინარე პროცესები უფრო რთულია, ვიდრე სინუსოიდურ რეჟიმებში. ამიტომ მათი აღწერისათვის საჭიროა დამატებითი სიმძლავრის მახასიათებლების შემოტანა.

ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრისათვის ენერგოსისტემისა და აუდიტორული კომპანიები, ასევე ენერგო ზედამხედველობის ორგანოები ფართოდ გამოიყენებენ მიკროპროცესორულ მოწყობილობებს. ერთ-ერთ ასეთ მოწყობილობას წარმოადგენს სისტემა SCADA, რომელიც აღრიცხავს და მონაცემთა ბაზაში ინახავს ელექტროენერჯის თერთმეტ პარამეტრს.

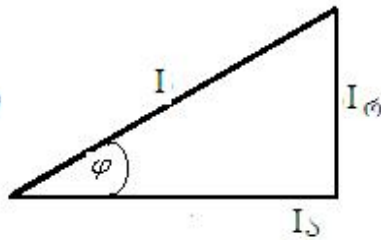
სამუშაოს მიზანია, სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით არასიმეტრიული და არასინუსოიდური რეჟიმების პირობებში, ძნელად განსაზღვრადი პარამეტრების: დამახინჯების სიმძლავრის, ასევე ძაბვისა და დენის დამახინჯების მდგენელების სიდიდეების ზუსტი განსაზღვრის მეთოდის დამუშავება.

ელექტრული წრედების თეორიიდან ცნობილია, რომ ელექტრულ სისტემებში სინუსოიდური დენის შემთხვევაში ნებისმიერი ენერგეტიკული პროცესი სრულიად და ცალსახად აღიწერება აქტიური P, რეაქტიული Q და

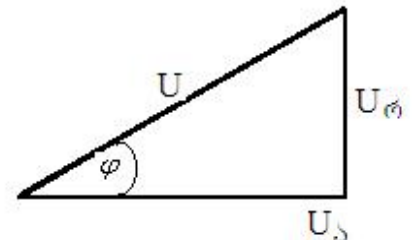
სრული S სიმძლავრეებით, რომელთა გეომეტრიული ინტერპრეტაცია, მაგალითად, წრედის ინდუქციური ხასიათის შემთხვევაში გამოისახება ნახ.3.1-ზე წარმოდგენილი სიმძლავრეთა სამკუთხედით [31].



ნახ.3.1



ნახ.3.2



ნახ.3.3

სიმძლავრეთა სამკუთხედიდან გამომდინარეობს, რომ ამ სიმძლავრეებს შორის არსებობს შემდეგი მათემატიკური დამოკიდებულება:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = U^2 I^2 \quad (3.4)$$

$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi \quad (3.5)$$

$$Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi \quad (3.6)$$

ელექტრული წრედების თეორიიდან ასევე ცნობილია, რომ მიმდევრობით შეერთებულ წრედებში, სადაც ერთი და იგივე დენი გადის, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახებინან:

$$P = UI \cos \varphi = U_{\Delta} I \quad (3.7)$$

$$Q = S \sin \varphi = U_{\phi} I \quad (3.8)$$

ხოლო პარალელურად შეერთებულ წრედებში, სადაც ერთი და იგივე ძაბვაა მოდებული, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახებინან:

$$P = UI \cos \varphi = UI_{\Delta} \quad (3.9)$$

$$Q = S \sin \varphi = UI_{\phi} \quad (3.10)$$

სრული სიმძლავრე ყველა შემთხვევაში განისაზღვრება (3.4) გამოსახულებით.

(3.4), (3.7) - (3.11) გამოსახულებებიდან გამომდინარეობს, რომ თუ ნახ. 3.1-ზე მოცემული სამკუთხედის ყველა გვერდს გავყოფთ ძაბვა U -ზე, მივიღებთ დენების სამკუთხედს (ნახ.3.2), ხოლო თუ ნახ. 3.1 -ზე მოცემული სამკუთხედის ყველა გვერდს გავყოფთ დენ I - ზე მივიღებთ ძაბვების სამკუთხედს (ნახ.3.3).

ნახ.3.1, ნახ.3.2 და ნახ.3.3-ზე წარმოდგენილი სამკუთხედებიდან ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის (3.5) – (3.10) გამოსახულებებიდან გამომდინარე განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\varphi = \arctg \frac{Q}{P} = \arctg \frac{I_R}{I_S} = \arctg \frac{U_R}{U_S} \quad (3.11)$$

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

სინუსოიდური წრედებისაგან განსხვავებით არასინუსოიდური დენის წრედებში, რომელიც შეიცავს რეაქტიულ ელემენტებს L და C -ს, მაშინ (3.4) დამოკიდებულება არ სრულდება და

$$S^2 \geq P^2 + Q^2 \quad (3.12)$$

ამ განტოლების ბალანსისათვის, მარჯვენა ნაწილში შემოტანილია დამატება - T - დამახინჯების სიმძლავრე. ეს არის მათემატიკური ცნება, რომელიც ახასიათებს $u(t)$ ძაბვისა და $i(t)$ დენის მრუდების ფორმებს შორის განსხვავების ხარისხს და სრული სიმძლავრე გამოისახება ფორმულით:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + T^2 \quad (3.13)$$

$$\text{საიდანაც } T^2 = S^2 - P^2 - Q^2 \quad (3.14)$$

ჩვენს წინაშე დაისვა საკითხი: თუ სინუსოიდური დენის წრედებში არსებულ სამ სიმძლავრეს (S , P და Q) შორის კავშირის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია წარმოდგენილია მართკუთხა სამკუთხედით (ნახ.3.1) და წრედის ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლები განისაზღვრებიან ამ სამკუთხედის გვერდებით, მაშინ შესაძლებელია თუ არა, რომ არასინუსოიდური დენის წრედებში არსებულ ოთხ სიმძლავრეს (S , P , Q და T)

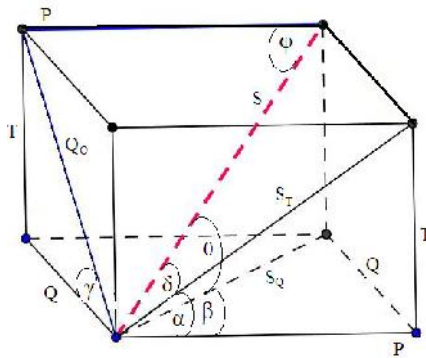
შორის კავშირის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია წარმოდგინდეს ნახ.3.4-ზე მოცემული პარალელებიპედით და პარალელებიპედის გეომეტრიული პარამეტრებით, რომლებიც აგებულია აქტიური, რეაქტიული და დამახინჯების სიმძლავრეების მონაკვეთებით, და იძლევიან თუ არა საშუალებას ერთმანეთთან დავაკავშიროთ ელექტრომოხმარების ენერგეტიკული პარამეტრები, ასევე გამოვავლინოთ მათ შორის ახალი კავშირი. განვსაზღვროთ პარალელებიპედის თითოეული გვერდისა და დიაგონალის ფიზიკური არსი.

სიმძლავრეთა პარალელებიპედში: P - არის წრედის აქტიური სიმძლავრე, რომელიც განპირობებულია არასინუსიოდური დენის წრედებში დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით და განისაზღვრება ფორმულით [32]:

$$P = \sum_{i=1}^n U_i I_i \cos \varphi_i \quad (3.15)$$

Q - წრედის რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც ასევე განპირობებულია დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით და განისაზღვრება ფორმულით [32]:

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i I_i \sin \varphi_i \quad (3.16)$$



ნახ.3.4. სიმძლავრეთა პარალელებიპედი

ლიტერატურა [33]-ის მიხედვით, დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$T^2 = \sum_{i=1}^n (U_i^2 I_{2\gamma-i}^2 + U_{2\gamma-i}^2 I_i^2 - 2U_i U_{2\gamma-i} I_i I_{2\gamma-i} \cos(\varphi_i - \varphi_{2\gamma-i})) \quad (3.17)$$

Q_0 - წრედის სრული რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_0 = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3.18)$$

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

$$S_0 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.19)$$

გარდა (3.14) გამოსახულებისა, დამახინჯების სიმძლავრე ასევე განისაზღვრება რეაქტიული სიმძლავრეების საშუალებით

$$T = \sqrt{Q_0^2 - Q^2} \quad (3.20)$$

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

$$S_T = \sqrt{P^2 + T^2} \quad (3.21)$$

ჩვენს წინაშე ასევე დაისვა საკითხი, რამდენად იძლევა საშუალებას სიმძლავრეთა პარალელეპიპედში ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის მოყვანილი (3.13) - (3.20) დამოკიდებულები, რომ საკმაოდ მარტივად გაანალიზდეს ელექტროენერგიის მოხმარების ესა თუ ის მხარე (პროცესის რეაქტიულობა, დამამახინჯებელი ფაქტორები და სხვა).

ასევე, დავაკავშიროთ ერთმანეთთან სხვადასხვა საინფორმაციო - საზომი კომპლექსებით გაზომილი ელექტროენერგიის მოხმარების ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლები.

ამ მიზნით, პირველ რიგში სიმძლავრეთა პარალელეპიპედიდან განვსაზღვრეთ ძვრის კუთხეები ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის. ძვრის კუთხე ქსელის სრულ S და აქტიურ P სიმძლავრეებს შორის:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_0}{P} = \arctg \frac{\sqrt{S^2 - P^2}}{P} \quad (3.22)$$

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

$$\alpha = \arctg \frac{T}{P} = \arctg \frac{\sqrt{S_T^2 - P^2}}{P} \quad (3.23)$$

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

$$\beta = \arctg \frac{Q}{P} = \arctg \frac{\sqrt{S_Q^2 - P^2}}{P} \quad (3.24)$$

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

$$\gamma = \arctg \frac{T}{Q} = \arctg \frac{\sqrt{Q_0^2 - Q^2}}{Q} \quad (3.25)$$

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

$$\delta = \arctg \frac{Q}{S_T} = \arctg \frac{\sqrt{S^2 - S_T^2}}{S_T} \quad (3.26)$$

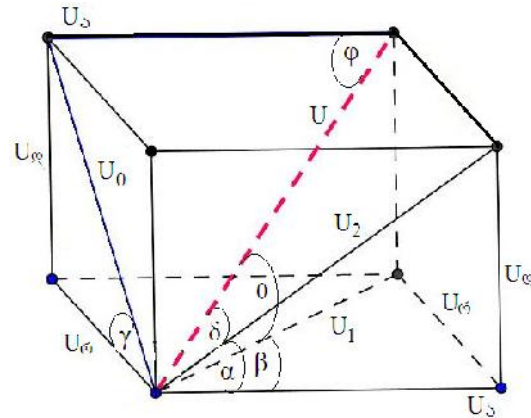
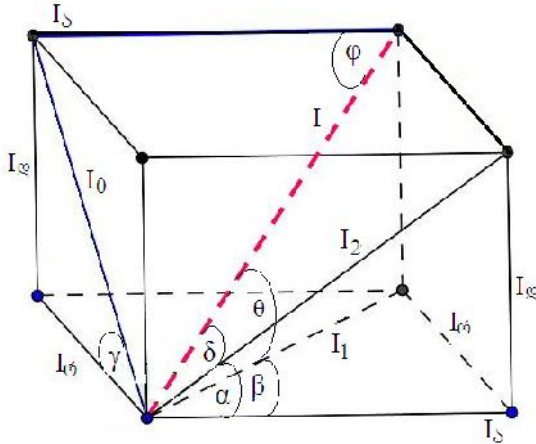
ძვრის კუთხე ქსელის სრულ S და ერთი და იგივე რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეულ სრულ S_Q სიმძლავრეს შორის:

$$\theta = \arctg \frac{T}{S_Q} = \arctg \frac{\sqrt{S^2 - S_Q^2}}{S_T} \quad (3.27)$$

სინუსოიდური დენის წრედებში სიმძლავრეთა სამკუთხედის ყველა გვერდის დენზე გაყოფით მივიღეთ ძაბვების სამკუთხედი, ხოლო ძაბვაზე გაყოფით - დენების სამკუთხედი. ასევე, მოვიქცით არასინუსოიდური დენის წრედების შემთხვევაშიც. პარალელეპიპედის ყველა გვერდისა და დიაგონალების ძაბვაზე გაყოფით წარმოვადგინეთ დენების პარალელეპიპედი (ნახ.3.5), ხოლო დენზე გაყოფით-ძაბვების პარალელეპიპედი (ნახ.3.6).

ნახ.3.5-დან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დენის წრედში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$I = \sqrt{I_s^2 + I_{\phi}^2 + I_{\theta}^2} \quad (3.28)$$



ნახ.3.5. დენების პარალელეპიპედი

ნახ.3.6. ძაბვების პარალელეპიპედი

ხოლო ნახ.3.6-დან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დენის წრედზე მოდებული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_{\phi}^2 + U_{\theta}^2} \quad (3.29)$$

თუ მივიღებთ, რომ საზომი საშუალებების დახმარებით ცნობილია არასინუსოიდური დენის წრედში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობა I , მაშინ (3.22) - (3.27) გამოსახულებების მიხედვით, განსაზღვრული ძვრის კუთხეების დახმარებით ნახ.3.5 -დან ვსაზღვრავთ დენის მდგენელებს (ზუსტად ანალოგიურად განისაზღვრება ძაბვის მდგენელები ნახ.3.6-დან, თუ ცნობილია არასინუსოიდური დენის წრედზე მოდებული U ძაბვა):

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

$$I_s = I \cos \phi; I_{\phi} = I \sin \delta; I_{\theta} = I \sin \theta. \quad (3.30)$$

არასინუსოიდური დენის წრედების ანალიზისათვის სიმძლავრეთა პარალელეპიპედის შემოღებისა და მის საფუძველზე, სხვადასხვა საინფორმაციო - საზომი კომპლექსებით გაზომილი ელენერგიის მოხმარების ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მართებულობის დასამტკიცებლად ჩვენს მიერ აღებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელენერგიის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს ერთი დღე-ღამის მონაცემები:

$$U_{AB} = 372,3 \text{ ვ}; U_{BC} = 376,3 \text{ ვ}; U_{CA} = 377,8 \text{ ვ}; I_A = 53,06 \text{ ა}; I_B = 64,83 \text{ ა}; I_C = 73,70 \text{ ა};$$

$$P = 28,95 \text{ კვტ}; Q = 2,0 \text{ კვარ}; S = 41,5 \text{ კვა}; W = 714,9 \text{ კვტ.სთ};$$

$$V = 105,4 \text{ კვარ.სთ}; \cos\varphi = 0,705.$$

წარმოდგენილი მონაცემებით პირველ რიგში განვსაზღვრეთ ძაბვისა და დენის საშუალო მნიშვნელობები:

$$U_{სშ} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})/3 = 375,5 \text{ ვ} = 0,3755 \text{ კვ}$$

$$I_{სშ} = (I_A + I_B + I_C)/3 = 68,86 \text{ ა};$$

ამის შემდეგ, ჩვენს მიერ (3.18)-(3.21) გამოსახულებების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა სიმძლავრეთა შემდეგი მდგენელები:

$$1. Q_0 = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{41,5^2 - 28,95^2} = 29,73 \text{ კვარ};$$

$$2. S_0 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{28,95^2 + 2,0^2} = 29,0 \text{ კვა}$$

$$3. T = \sqrt{Q_0^2 - Q^2} = \sqrt{29,73^2 - 2,0^2} = 29,66 \text{ კვარ}$$

$$4. S_T = \sqrt{P^2 + T^2} = \sqrt{28,95^2 + 29,66^2} = 41,44 \text{ კვა}$$

სიმძლავრეთა მდგენელების განსაზღვრის შემდეგ (3.22) - (3.27) გამოსახულებებით განვსაზღვრეთ ძვრის კუთხეები:

$$1. \varphi = \arctg \frac{Q_0}{P} = \arctg \frac{29,73}{28,95} = \arctg 1,027 = 45,8^\circ$$

$$2. \alpha = \arctg \frac{T}{P} = \arctg \frac{29,66}{28,95} = \arctg 1,746 = 45,7^\circ$$

$$3. \beta = \arctg \frac{Q}{P} = \arctg \frac{2,0}{28,95} = \arctg 0,07 = 4^\circ$$

$$4. \gamma = \arctg \frac{T}{Q} = \arctg \frac{29,66}{2,1} = \arctg 14,83 = 86,1^\circ$$

$$5. \delta = \arctg \frac{Q}{S_T} = \arctg \frac{2,0}{41,44} = \arctg 0,0483 = 2,76^\circ$$

$$6. \theta = \arctg \frac{T}{S_Q} = \arctg \frac{29,66}{29,11} = \arctg 1,023 = 45,6^\circ$$

ძვრის კუთხეების განსაზღვრის შემდეგ ვსაზღვრავთ საშუალო დენის აქტიურ, რეაქტიულ და დამახინჯების მდგენელებს (3.30) გამოსახულების საფუძველზე:

$$I_s = I_{საშ} \cos \varphi = 68,86 \cos 45,8^\circ = 48,0 \text{ ა};$$

$$I_r = I_{საშ} \sin \delta = 68,86 \sin 2,76^\circ = 3,32 \text{ ა};$$

$$I_\theta = I_{საშ} \sin \Theta = 68,86 \sin 45,6^\circ = 49,2 \text{ ა}.$$

განგარიშების სისწორე შევამოწმოთ (3.25) გამოსახულების საფუძველზე:

$$I_{საშ} = \sqrt{I_s^2 + I_r^2 + I_\theta^2} = \sqrt{48,0^2 + 3,32^2 + 49,2^2} = 68,82 \text{ ა}.$$

სისტემა SCADA-ს მონაცემებიდან გვაქვს, რომ ერთი დღე-ღამის, ანუ $t=24$ საათის განმავლობაში მოხმარებულმა აქტიურმა ელექტროენერგიამ შეადგინა - $W=714,9$ კვტ.სთ; ხოლო რეაქტიულმა ელექტროენერგიამ - $V=105,4$ კვარ.სთ.

$W=714,9$ კვტ.სთ რაოდენობის აქტიური ელექტროენერგიის მოსახმარებლად 24 საათის განმავლობაში საჭირო აქტიური სიმძლავრე ტოლია:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{714,9}{24} = 29,8 \text{ კვტ}$$

აქტიური სიმძლავრის ეს მონაცემი ახლოა სისტემა SCADA-ს მიერ დაფიქსირებულ მონაცემთან ($29,8$ კვტ $\approx 28,95$ კვტ) და განსხვავება $2,9$ % შეიძლება ჩაითვალოს ხელსაწყოს ცდომილებად;

ხოლო $V=105,4$ კვარ.სთ. რაოდენობის რეაქტიული ელექტროენერგიის მოსახმარებლად 24 საათის განმავლობაში საჭირო რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{105,4}{24} = 4,4 \text{ კვარ}$$

როგორც ამ შედეგიდან ჩანს, რეაქტიული ელენერჯის მოხმარებაში მონაწილეობს არა მარტო რეაქტიული, არამედ დამახინჯების სიმძლავრის ნაწილიც, რადგან დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით განპირობებული წრედის რეაქტიული Q სიმძლავრე 2,2-ჯერ ნაკლებია.

რომ არა რეაქტიული და განსაკუთრებით დამახინჯების სიმძლავრის მიერ წრედიდან მოთხოვნილი დენის საშუალო მნიშვნელობა, ($I_{საშ} = 68,86$ ა), $P = 28,95$ კვტ სიმძლავრის უზრუნველსაყოფად კვების წყაროდან მოთხოვნილი იქნებოდა გაცილებით ნაკლები სიდიდის დენი.

კერძოდ, დამახინჯების სიმძლავრის არ არსებობის დროს სისტემა SCADA-ს მონაცემების მიხედვით სიმძლავრის კოეფიციენტი გაიზრდებოდა $\cos\varphi_1 = 0,705$ -დან $\cos\varphi_2 = P/S_Q = 28,95/29,0 = 0,998$.

ამ სიმძლავრის კოეფიციენტის შემთხვევაში ქსელიდან $P = 28,95$ კვტ სიმძლავრის მისაღებად ქსელში გამავალი დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება გამოსახულებიდან:

$$P = 1,73 \cdot U_{საშ} \cdot I_{საშ} \cdot \cos\varphi_2 = 28,95 \text{ კვტ}$$

აქედან

$$I_{საშ} = \frac{P}{1,73 U_{საშ} \cos\varphi_2} = \frac{28,95}{1,73 \cdot 0,3755 \cdot 0,998} = 44,65 \text{ ა}$$

განსხვავებამ შეადგინა 24,21 ა, რაც ელექტრულ ქსელსა და ქსელის ელემენტებში იწვევს ელექტროენერჯის მნიშვნელოვან დანაკარგებს.

ამრიგად, ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე, ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის მიღებულ იქნა დამოკიდებულებანი, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ საკმაოდ მარტივად გავანალიზოთ ელექტრომოხმარების ესა თუ ის მხარეები (პროცესის რეაქტიულობა, დამახინჯებელი ფაქტორები და სხვა), ასევე ერთმანეთთან დავაკავშიროთ სხვადასხვა საზომი სისტემებით გაზომილი ელექტრომოხმარების ენერგეტიკული მახასიათებლები [34,35].

3.2. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის მეთოდოლოგია

არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე

სამფაზა ელექტრულ ქსელებში

როგორც ცნობილია, არასიმეტრიულ და არაწრფივ დატვირთვას მიყვავართ ელექტრულ ქსელებში დენებისა და ძაბვების სინუსოიდურობის დიდ დამახინჯებებთან. ამ დროს, მნიშვნელოვან საკითხად დგება სამფაზა ქსელში სრული სიმძლავრისა და მისი აქტიური და რეაქტიული მდგენელების სწორი გაზომვის საკითხი, ამიტომ ძალიან აქტუალური ხდება არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრული ქსელების პარამეტრების გაზომვის შედეგების უტყუარი შეფასების ამოცანა.

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

$$S_1 = \sum S_{\text{ფ}} = \sum U_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{ფ}} \quad (3.31)$$

სადაც $U_{\text{ფ}}$, $I_{\text{ფ}}$ - შესაბამისად, ფაზური დენებისა და ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობებია. ასეთი მიდგომით, განსაზღვრულ სრულ სიმძლავრეს ქსელის არითმეტიკულ სრულ სიმძლავრეს უწოდებენ.

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

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.32)$$

სადაც P და Q - შესაბამისად ქსელის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეებია და სამფაზა ქსელში, შესაბამისად განისაზღვრებიან ფორმულებით:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A + U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B + U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A \cdot I_A \cdot \sin \varphi_A + U_B \cdot I_B \cdot \sin \varphi_B + U_C \cdot I_C \cdot \sin \varphi_C$$

ხელსაწყოთა და გარდამქმნელთა უმრავლესობა, რომლებიც ზომავენ სამფაზა ელექტრული ქსელების პარამეტრებს, ოთხსადენიან ქსელში სრულ

სიმძლავრეს განსაზღვრავენ (3.31) ფორმულით, ხოლო სამსადენიან ქსელში, რადგან ფაზური ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობების გაზომვა შეუძლებელია, ზომავენ (3.32) ფორმულით.

ასეთი მიდგომა სამართლიანია წრფივი სიმეტრიული დატვირთვის მქონე ელექტრულ ქსელებში, მაშინ: $S_1 = S_2$.

ამასთანავე, ზოგად შემთხვევაში: $S_1 \neq S_2$

სახელდობრ, ძაბვებისა და დენების სინუსოიდურობის დამახინჯების პირობებში, არითმეტიკული და გეომეტრიული სრული სიმძლავრეების ტოლობა დარღვეულია ქსელის სრული სიმძლავრის მესამე მდგენელის - დამახინჯების T სიმძლავრის გამოვლენის გამო. დამახინჯების სიმძლავრე განპირობებულია მაღალი რიგის ჰარმონიკების ურთიერთგავლენით. ამ შემთხვევაში, (3.32) ფორმულა იღებს სახეს [36]:

$$S_3 = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (3.33)$$

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ელექტრომომარაგების სისტემებში არაწრფივი დატვირთვების ფართოდ გამოყენების გამო, ძაბვებისა და დენების სინუსოიდურობის დამახინჯებები უკვე გახდა გავრცელებული მოვლენა. ამიტომ არასინუსოიდურობისა და არაწრფივობის პირობებში ქსელის პარამეტრების კორექტული გაზომვის საკითხს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია.

განსაკუთრებით, ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრის დროს. არითმეტიკული და ვექტორული სრული სიმძლავრის განსაზღვრის ტრადიციული მეთოდების ძირითად ხარვეზს წარმოადგენს ის, რომ ქსელის არასინუსოიდური და არაწრფივი დარტყვივობის პირობებში ისინი არ ასახავენ სრული სიმძლავრის მთავარ თვისებას: ელექტრულ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები სრული სიმძლავრის პროპორციულია [37].

არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის პირობებში, სრული სიმძლავრის გაზომვისათვის IEEE 1459-2010 სტანდარტი [38] გვთავაზობს

სამფაზა ქსელის სრული სიმძლავრის გამოთვლას ე.წ. ეფექტური სრული სიმძლავრის S_{Σ} სახით, ფორმულით: $S_{\Sigma} = 3 U_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma}$, სადაც U_{Σ} - არის სამფაზა ქსელის ეფექტური ძაბვა და სამსადენიანი ქსელისათვის იანგარიშება ფორმულით:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{3}}$$

ოთხსადენიანი ქსელისათვის - ფორმულით:

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

I_{Σ} - არის სამფაზა ქსელის ეფექტური დენი და სამსადენიანი ქსელისათვის იანგარიშება ფორმულით:

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

ოთხსადენიანი ქსელისათვის ფორმულით:

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

ჩვენს სადისერტაციო სამუშაოების შესრულების პროცესში მივედით დასკვნამდე, რომ სამფაზა ქსელის არასიმეტრიული და არასინუსოიდური დატვირთვის დროს სრული სიმძლავრისა და მისი მდგენელების გაზომვა და გაანგარიშება ყველაზე უფრო მარტივი და მოსახერხებელია ელენერგიის მონიტორინგის თანამედროვე სისტემა SCADA-ს გამოყენებით, რომელიც ზომავს და არქივში ინახავს ელენერგიის თერთმეტ პარამეტრს. სწორედ, დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის ამ მარტივ და მოხერხებულ ხერხს გთავაზობთ წინამდებარე სამუშაოში.

ცხრილი 3.1. ამონაწერი სისტემა SCADA-ს არქივიდან.

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

ცხრილი 3.1-ში წარმოდგენილია სტუ-ს კომპიუტერული და სხვა საოფისე ტექნიკით დატვირთული, მე-6 სასწავლო კორპუსის ერთი ბლოკის, 2015 წლის 18 მარტის შედეგების მიხედვით, სიმძლავრეთა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ამონაწერი ელენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA -ს

არქივიდან. სისტემა SCADA-ს არქივიდან ამოღებულია მე-2, მე-3, მე-4 და მე-7 სვეტის მონაცემები. მე-2 და მე-3 სვეტის მონაცემების საფუძველზე (32) ფორმულით განსაზღვრული განსაზღვრულ იქნა $S_{სინ}$, ხოლო (3.33) -დან განისაზღვრა დამახინჯების სიმძლავრე:

$$T = \sqrt{S_{სინ}^2 - P^2 - Q^2}$$

ამ ფორმულის მიხედვით გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია მე-6 სვეტში. მე-8 სვეტში მოყვანილი სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობები განისაზღვრა ფორმულით: $\cos \alpha_{სინ} = P / S_{სინ}$

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

მე-7 სვეტის მონაცემებიდან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დატვირთვის დროს დამახინჯების სიმძლავრე ძალიან ამცირებს ქსელის სიმძლავრის კოეფიციენტს, მოცემულ შემთხვევაში იგი მერყეობს 0,68-0,79-ს ფარგლებში.

მიუხედავად იმისა, რომ ძირითადი ჰარმონიკის რეაქტიული სიმძლავრის (მე-2 სვეტი) შესაბამისი სიმძლავრის კოეფიციენტი (მე-8 სვეტი) ძალიან მაღალია და თითქმის 1-ს აღწევს. რადგანაც ელექტრულ ქსელებში დანაკარგები სრული სიმძლავრის პროპორციულია, ამიტომ საკვლევ ობიექტზე დამახინჯების სიმძლავრის არსებობის გამო ელექტროენერჯის დანაკარგები იზრდება:

$$\frac{S_{არას} - S_{სინ}}{S_{სინ}} \times 100 - \chi_{ერ}$$

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

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

ამრიგად, 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 განსაზღვრის მეთოდიკა [39,40].

3.3. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები

საქართველოსა და საზღვარგარეთ

უკანასკნელ ხანებში, მძლავრი გარდამქმნელების მქონე ობიექტების ზრდასთან დაკავშირებით იზრდება ინტერესი დენისა და ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების მიმართ, რადგან დენისა და ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკები წარმოადგენენ სერიოზულ პრობლემას ელექტრო ენერგეტიკული სისტემების ელტექნიკური მოწყობილობებისთვის [2].

გარდა ამისა, მათ შეუძლიათ დაარღვიონ რელეური დაცვის სწორი მოქმედება, გამოიწვიონ დაუშვებელი დაბრკოლებები კავშირის ხაზებში. ამიტომ ელქსელებში აღძრული ჰარმონიკების სიდიდეები მკაცრად ნორმირებულია და შესაბამისად, წარმოადგენენ ელენერჯის ხარისხის ერთ-ერთ პირობას, რომელიც რეგლამენტირებულია ხელშეკრულებებით.

მეზობელ ენერგოსისტემებს შორის დაკავშირების დროს, სადაც მოითხოვება ელექტროენერჯის 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 უზრუნველყოფენ მაღალ საიმედოობას, სისტემებს შორის სიმძლავრეთა გადადინების უინერციო რეგულირებას, ქმნიან დამატებით შესაძლებლობებს რეჟიმების ოპტიმიზაციისათვის და ურთიერთდახმარებისათვის ენერგოსისტემებს შორის.

ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივი დენის ჩანართს მრავალ ღირსებებთან ერთად გააჩნია ნაკლოვანებებიც. ერთ-ერთი ნაკლოვანება მდგომარეობს იმაში, რომ მათ თავის შემადგენლობაში გააჩნიათ მძლავრი ვენტილური გარდამქმნელები, რომლებსაც შეუძლიათ უარყოფითი გავლენა მოახდინონ მასთან მიერთებულ ელქსელებში. კერძოდ, შექმნან მათში მაღალი რიგის ჰარმონიკები.

ვენტილური გარდამქმნელები შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც ცვლადი დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკების იდეალური წყაროები. ამასთანავე, ამ ჰარმონიკების სიხშირეები მტკიცედ არის დაკავშირებული გარდაქმნის ფაზირებასთან, ხოლო მათი სიდიდეები - დატვირთვისასთან და გარდამქმნელის რეგულირებასთან.

სამუშაოს მიზანია, მაღალი რიგის ჰარმონიკებისა და ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტების სიდიდეების მკაცრი შეზღუდვის მიზნით საქართველოსთვის დადგინდეს ელენერგიის დაბინძურების წყაროები და პარამეტრები; განისაზღვროს მათი შეზღუდვის ღონისძიებები, რაც მოგვცემს საშუალებას, შესაბამისი ანალიზისა და სისტემის კონფიგურაციიდან გამომდინარე მიღებულ იქნეს ელენერგიის ხარისხის ისეთი ნორმები, რაც უზრუნველყოფს დანაკარგების მინიმიზაციას, ელენერგიის ხარისხის გაუმჯობესებასა და ენერგოეფექტურობის ამაღლებას.

საქართველოში არსებობს ახალციხის 500/400/220 კვ ქვესადგური, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს საქართველოსა და თურქეთის ენერგოსისტემებს. სწორედ, ამიტომ მაღალი რიგის ჰარმონიკების

ნორმირების საკითხებს საქართველოში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს.

2008 წელს საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის მიერ ელექტროენერჯის ხარისხის საკითხების მიმართ გამოქვეყნებულ იქნა საერთაშორისო სტანდარტი [41]. ამ დოკუმენტების პუბლიკაცია მოწმობს საზღვარგარეთ ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემების მიმართ მაღალ ყურადღებაზე. გარდა ამისა, უკანასკნელ პერიოდში, საერთაშორისო ელექტრო – ტექნიკურ კომისიასა (IEC) და მაღალი ძაბვის დიდი ელექტრული სისტემების საერთაშორისო საბჭოში (CIGRE) შეიქმნა სპეციალური კომიტეტები და მუშა ჯგუფები არსებული პრობლემების სიღრმისეულად შესასწავლისა და მათი გადაჭრის სათანადო გზების მოსაძიებლად.

ცხრილი 3.2-ში მოცემულია მაღალი ძაბვის ქსელებში მაღალი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობები, მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში.

ცხრილი 3.2. ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობები, მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში

ავსტრალია	THDu 3,0 %	Un 1,0 %
ახალი ზელანდია		Un 0,7 %
იაპონია	Ku 1 %	Un 0,5 % FF 2%
ინგლისი	THDu 2,5 %	Un 1,0 %
იტალია	THDu 4,0 %	
კანადა	THDu 6,0 %	Un 1,0 % IF 20 I 25000
რუსეთი	Ku 2 %	Un 0,5 % ლუწი, Un 1,5 კენტი

საფრანგეთი	Ku 1,6 %	Un 0,6 % ლუწი, Un 1,6 კენტი
სამხრეთ აფრიკა	Ku 3 %	Un 1,5 %
შვეცია	Ku 1 %	Un 0,7 %

როგორც ცხრილი 3.2–დან ჩანს, 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.

ყველა ჰარმონიკის მომცველ მაჩვენებლებად გამოყენებულია:

ა) ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი, რომელიც პროცენტებში განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \times 100 \quad (3.34)$$

სადაც $U_{(n)}$ - ძაბვის n - ური რიგის ჰარმონიკული მდგენელის მოქმედი მნიშვნელობაა, ვ; n - ძაბვის ჰარმონიკული მდგენელის რიგი; N - მხედველობაში მიღებული ძაბვის უკანასკნელი ჰარმონიკული მდგენელის რიგითი ნომერია, სტანდარტით დადგენილია, რომ $N= 40$; $U_{(1)}$ - ძირითადი სიხშირის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა, ვ.

ბ) დასაშვებია K_U პროცენტებში განისაზღვროს ფორმულით:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{\text{გ-გ}}} \times 100 \quad (3.35)$$

სადაც $U_{\text{გ-გ}}$ - ქსელის ნომინალური ძაბვაა, ვ.

გ) ძაბვის n - ური რიგის ჰარმონიკული მდგენელის კოეფიციენტი პროცენტებში განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \times 100 \quad (36)$$

სადაც U_1 – ქსელის ძაბვის ძირითადი ჰარმონიკის (50 ჰც) მოქმედი მნიშვნელობაა, ვ. გარდა ზემოთ აღნიშნული კოეფიციენტებისა, ჰარმონიკების დონის განსაზღვრისას ფართოდ გამოიყენება ტერმინი „ჰარმონიკული ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტი (THD - Total Harmonic Distorsions), რომელიც განსაზღვრავს სიგნალის ფორმის სინუსოიდურისაგან განსხვავების ხარისხს, ანუ იგი არის პერიოდული სიგნალის არაწრფივი დამახინჯების რაოდენობრივი შეფასების სიდიდე და ტოლია ყველა მაღალი რიგის ჰარმონიკის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის ფარდობისა პირველი ჰარმონიკის სიდიდესთან.

დ) ძაბვის ჰარმონიკებისათვის იგი გამოისახება ფორმულით:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \quad (3.37)$$

ე) ხოლო დენის ჰარმონიკებისათვის:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} \quad (3.38)$$

ვ) თუ ცნობილია დენის სრული მოქმედი მნიშვნელობა, I , მაშინ (38) ფორმულა უფრო თვალსაჩინო და გამოყენებაში უფრო მოხერხებული ხდება:

$$THD_I = \sqrt{\left(\frac{I_{\Sigma}}{I_1}\right)^2 - 1} \quad (3.39)$$

2014 წლის 23 იანვარს საქართველოს სტანდარტების და მეტროლოგიის ეროვნული სააგენტოს მიერ მიღებულია სტანდარტიზაციის ევროპული კომიტეტის სტანდარტი „EN 50160:2010 „ელექტროენერჯის მახასიათებლები, საზოგადოებრივი ელექტრული ქსელებით მიწოდებული ელექტროენერჯია“[42].

აღნიშნული სტანდარტის მიხედვით დაბალი ძაბვის (220 ვ-დან 1 კვ - მდე ჩათვლით), საშუალო ძაბვის (1 კვ-დან -36 კვ-ის ჩათვლით) და მაღალი ძაბვის (36-დან 150 კვ -მდე ჩათვლით) ცალკეული რიგის ჰარმონიკების დასაშვები მნიშვნელობები მერყეობს: კენტი რიგის ჰარმონიკებისათვის 6 - 0,5 %-სა და ხოლო ლუწი რიგის ჰარმონიკებისათვის - 2 – 0,5 %- ის ფარგლებში.

საინტერესოა ის გარემოება, რომ ხსენებული სტანდარტის მიხედვით, დაბალი (1 კვ- მდე ჩათვლით) და საშუალო ძაბვის (36 კვ-მდე ჩათვლით) ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობა $THD \leq 8 \%$. რაც შეეხება მაღალი ძაბვის (110-500კვ ჩათვლით) პირობებისათვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის ზღვარი არაა დადგენილი. როგორც აღნიშნულიდან ჩანს, სტანდარტი ასევე არ ითვალისწინებს 330 კვ-ზე მეტი ძაბვისათვის „ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის“ მნიშვნელობებს.

სახელმწიფოთაშორისი სტანდარტი [43], რომლის გამოყენების უფლებას გვაძლევს საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 18 ივნისის №409 დადგენილება, ელქსელში ითვალისწინებს იმ ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, რომლებიც წარმოდგენილია ცხრილი 3.3–ში.

ცხრილი 3.3. ძაბვის ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობები

ძაბვა, კვ	დამახინჯების დასაშვები მნიშვნელობები, %	
	ნორმალური	ზღვრული
0,380	8,0	12,0
6–20	5,0	8,0
35	4,0	4,0
110–330	2,0	3,0

რაც შეეხება 2013 წელს მიღებულ სახელმწიფოთაშორის სტანდარტს [43], რომელიც არის ფაქტიურად ევრაზიული კავშირის ნორმატიული დოკუმენტი, ის ითვალისწინებს შემდეგს: „ძაბვის ჰარმონიკული მდგენელების ჯამური და მაქსიმალური მნიშვნელობა“ შეადგენს:

0,380 კვ - 12 %; 6-25კვ - 8,0 %; 35 კვ -6,0 %; 110-220 კვ - 3,0 %.

აღნიშნული სტანდარტი ასევე არ ითვალისწინებს 330კვ და მასზე მეტი ძაბვისათვის „ძაბვის მრუდის სინუსოიდალურობის დამახინჯების კოეფიციენტის“ მნიშვნელობებს.

როგორც განხილული მასალებიდან ჩანს, წარმოდგენილ სტანდარტებში არსად არაა მითითებული 400-500 კვ ძაბვისათვის ჰარმონიკული მდგენელის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის დასაშვები ნორმები.

ასევე საინტერესოა ის გარემოებაც, რომ ამერიკის შეერთებული შტატების მიერ მიღებულია სტანდარტი IEEEStd -519, რომლის მიხედვითაც „ძაბვის მრუდის დამახინჯების ზღვრული დასაშვები კოეფიციენტი“ -ს მნიშვნელობებია:

- 69 კვ - მდე, ჩათვლით ძაბვაზე - 5%;
- 69 -161 კვ ძაბვაზე - 2,5 %;
- 161 კვ-ზე მეტ ძაბვაზე - 1,5 %.

ხოლო ცალკეული ჰარმონიკებისათვის:

- 69 კვ -მდე ჩათვლით ძაბვაზე - 3 %;
- 69 -161 კვ ძაბვაზე -1,5 %;
- 161 კვ-ზე მეტი ძაბვისათვის - 1%.

მიუხედავად იმისა, რომ განხილულ სტანდარტებში (აშშ-ს სტანდარტის გარდა) არსად არის „ძაბვის დამახინჯების ზღვრული დასაშვები კოეფიციენტი“ - ს დადგენილი ნორმები 300 კვ ძაბვის ზევით, ახალციხის 500/400 კვ - ის ქვესადგურში დამონტაჟებული მუდმივი დენის ჩანართის სხვადასხვა დატვირთვის პირობებში კომპანია „სიმენსის“ მიერ ჩატარებული ანალიზის მიხედვით დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალურ მნიშვნელობად, როგორც ქართული ისე თურქული მხარისათვის,

ცალკეული ჰარმონიკისათვის გათვალისწინებულია 1%. ხოლო ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა - 2%.

ჩატარებული ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ [44] ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ არსებულ სტანდარტებში გათვალისწინებული არ არის ელექტროენერჯის 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 ნორმატიული აქტით ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ.

ასევე, გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ უახლოეს პერიოდში დაგეგმილია ასინქრონული კავშირის განხორციელება მეზობელი სომხეთის ელექტროსისტემასთან 700 მგვტ ჯამური სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართის მონტაჟით, რომლის მშენებლობა დაგეგმილია 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.

თავი IV. ექსპერიმენტული ნაწილი

4.1. ახალციხის გამმართველ - ინვერტორული ქვესადგური

ანუ მუდმივი დენის ჩანართი

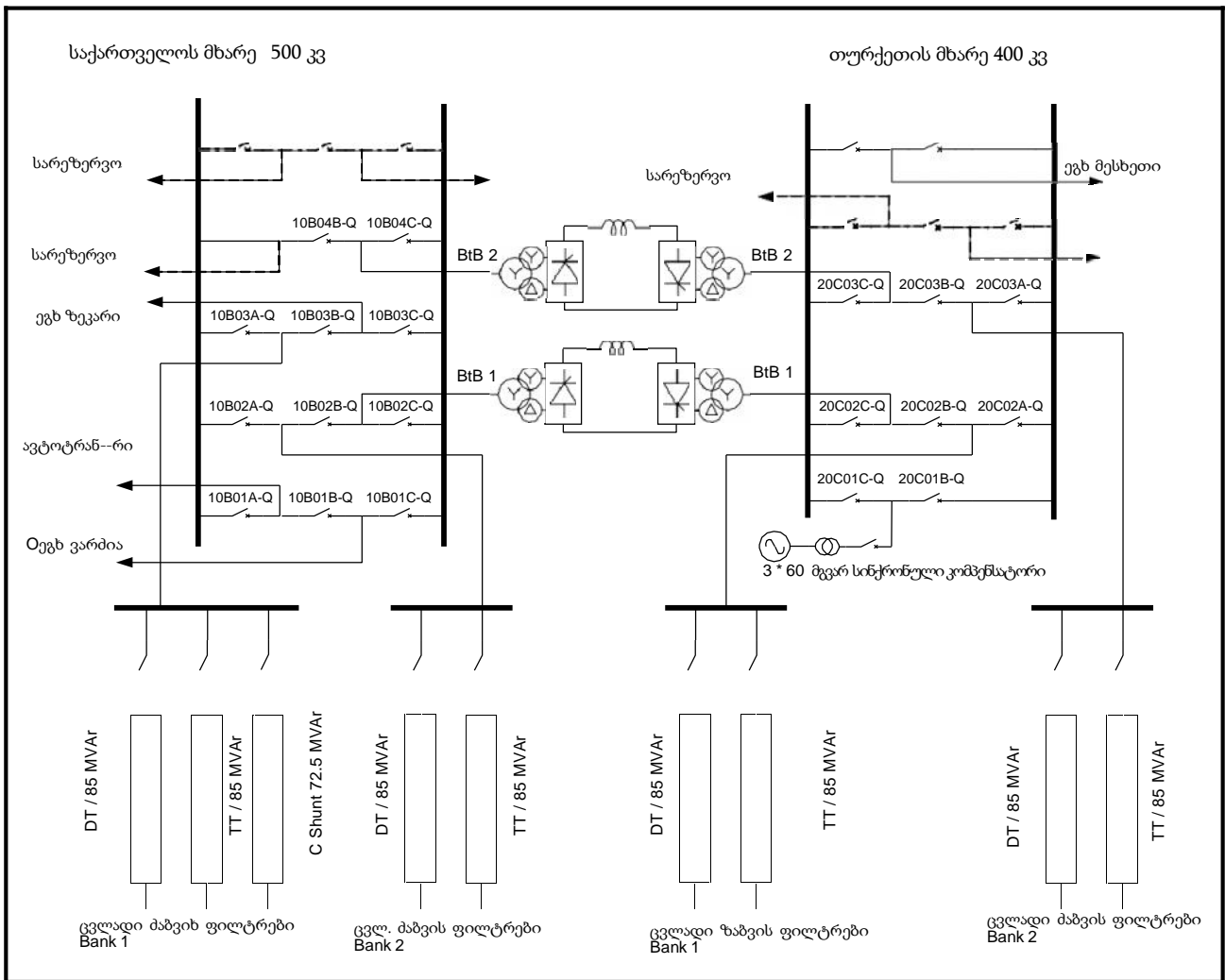
4.1.1 ზოგადი ცნობები

ახალციხის გამმართველ - ინვერტორული ქვესადგური ანუ მუდმივი დენის ჩანართი წარმოადგენს 500/400კვ საქართველო-თურქეთის ელგადამცემი ხაზის შემადგენელ ნაწილს. იგი უნიკალური ობიექტია და წარმოადგენს მსოფლიოში ერთ-ერთ მსხვილ მუდმივი დენის ჩანართს. მისი პროექტირების მომენტში მას უნდა უზრუნველყო 1000 მგვტ ბაზისური გადასაცემი სიმძლავრე. ამ დროს, გადასაცემი მაქსიმალური საანგარიშო სიმძლავრე შეადგენს 700 მგვტ-ს. ნაშრომში მოყვანილია მუდმივი დენის ჩანართის მოკლე აღწერა, ორი გარდამქმნელი ბლოკის ექსპლუატაციაში შეყვანის მომენტში. ახალციხის 500/400კვ-ის ქვესადგური საქართველოს ენერგოსისტემას უკავშირდება 190 კმ სიგრძის 500 კვ ძაბვის ეგბ-ით „ვარძია“ და 67 კმ სიგრძის ეგბ-ით - „ზეკარი“. 400 კვ ძაბვის მხარე უკავშირდება 400 კვ -იანი 32 კმ სიგრძის ეგბ „მესხეთით“- თურქეთის ელსისტემას. 500 კვ -იანი მხარე დაკავშირებულია ფარავანჭესთან დამაკავშირებელი 220 / 500 ავტოტრანსფორმატორით.

ნახ.4.1-ზე მოცემულია ახალციხის ქვესადგურის თურქეთის მხარის ხედი. ახალციხის ქვესადგურის 400 და 500 კვ-ის მხარეები კლასიკური 1,5 სქემისაა.



ნახ.4.1. ახალციხის ქვესადგურის თურქეთის მხარის ხედი



ნახ.4.2 ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურის 2X350 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართი.

ნახ.4.2 -ზე წარმოდგენილია ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურის 2X350 მგვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართი, რომლის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტებია: გარდამქმნელი; სპექტრანსფორმატორები;

მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრები; კომპენსატორები; კონდენსატორული ბატარეა; ამომრთველები; გადაძაბვის შემზღუდველები და სხვა.

„ახალციხის“ ქვესადგურში გამოყენებული მუდმივი დენის ჩანართის ტირისტორული გამმართველის მოდული წარმოადგენს მიმდევრობით ჩართულ ტირისტორებს, რომელთა გაგრილება, გაუმჯობესების მიზნით, ხდება წყლის საშუალებით. მუდმივი დენის ჩანართის მოდული შეიცავს მართვის წრედებსა და მაღალი ძაბვის იმპულსების ჩამხშობ სქემებს. მოდულების წყობა შერჩეულია მისი მომსახურების სიმარტივის გათვალისწინებით. მუდმივი დენის ჩანართის ტირისტორული გარდამქმნელი მოთავსებულია ვენტილების დარბაზში.

4.1.2. მაღალი ძაბვის მუდმივი დენის HVDC გადაცემის

სისტემების კლასიფიკაცია.

დღეისათვის, მსოფლიოში გამოიყენება ძირითადად მძლავრი გარდამქმნელი HVDC სისტემები სრულად მართვად ვენტილებზე, მძლავრი ჩამკეტი ტირისტორების (GTO, IGCT,) და მძლავრი ტრანზისტორების IGBT) გამოყენებით. ახალციხის ქვესადგურში დამონტაჟებული HVDC classic სისტემა წარმოადგენს ფართო გამოყენების, სრულად მართვად ტირისტორებზე მომუშავე 12 პულსიან სისტემას, რომელსაც იყენებენ დიდი დიაპაზონის სიმძლავრისა და ძაბვის პირობებში.

განსაკუთრებულ შემთხვევებში, ასევე გამოიყენება 24 პულსიანი გამართველების სქემა, რომლის დროსაც პულსაციის რაოდენობების გამო მნიშვნელოვნად არის შემცირებული მაღალი რიგის ჰარმონიკების მნიშვნელობები და გაზრდილია გადასაცემი სიმძლავრის სიდიდეც. თუმცა საკმაოდ დიდი ღირებულების გამო, ჯერჯერობით მისი გამოყენება შეზღუდულია.

ბოლო წლებში, ასევე ფართო გამოყენებას პოვებს გარდამქნელი სისტემების ახალი - HVDC Laight სისტემა, რომელიც მუშაობს სრულად მართვად მძლავრ ტრანზისტორებზე. იგი სწრაფად იკიდებს ფეხს მსოფლიოში. მას უფრო მეტად იყენებენ საკაბელო ქსელის მეშვეობით სიმძლავრის გადასაცემად. აღნიშნული კაბელები წარმოადგენენ ამ სისტემის შემადგენელ ნაწილს და არის დაწნეხილი პოლიმერული საიზოლაციო მასალის მქონე ერთპოლუსა კაბელი (triple extruded). ფირმა ABB -ს მონაცემების მიხედვით, რომელიც წარმოადგენს ამ სისტემის განვითარების ერთ-ერთ წარმატებულ ფირმას, ერთი წყვილი 95 მმ² კვეთის მქონე კაბელის საშუალებით შესაძლებელია 30 მგვტ სიმძლავრის გადაცემა 100 კვ მუდმივი ძაბვის პირობებში და კაბელი მეტად მსუბუქია.

ბიპოლარული კაბელის ქსელი არ წარმოადგენს ლანდშაფტისათვის პრობლემებს, არ იწვევს ელექტრომაგნიტურ დაბრკოლებებს და იკავებს მცირე ტერიტორიას. აღნიშნულ სისტემას უმეტესად იყენებენ არასტაბილური მახასიათებლის მქონე გენერატორების მისაერთებლად (მაგ.: ქარის ელექტროსადგურები, მზის მოწყობილობები, ტალღებზე მომუშავე სადგურები და სხვა), წყალში საკაბელო ქსელის მოსაწყობად (ზღვაში, ტბაში, მდინარეებზე) და სხვა.

ახალციხის ქვესადგურში დამონტაჟებული HVDC classic სისტემაში გამოყენებული 700 მგვტ საერთო დადგმული სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართი წარმოადგენს ორ -12 პულსიან და 350 მგვტ დადგმული სიმძლავრის ბლოკებს. თითოეული ბლოკის მაქსიმალური სიმძლავრე - $1,15 P_{\text{ნომ}} = 402,5$ მგვტ. მუდმივი დენის მხარეს ტექნიკური პარამეტრებია: ნომინალური სიმძლავრე - 350 მგვტ; მინიმალური სიმძლავრე - 35,2 მგვტ; მაქსიმალური სიმძლავრე - 402,5 მგვტ; ძაბვა: $U_{\text{ნომ}} - 96$ კვ; $U_{\text{მაქ}} - 98,8$ კვ; $U_{\text{მინ}} - 61$ კვ. დენი: $I_{\text{ნომ}} - 3,65$ კა; $I_{\text{მაქ}} - 4,28$ კა;

4.1.3. ტრანსფორმატორები

გამმართველი მოწყობილობისათვის გამოყენებულია სპეციალური ცალფაზა გახლეჩილ - გრაგნილიანი ტრანსფორმატორის პარამეტრებია:

- საქართველოს მხარეს: 500 კვ-ის ძაბვა; $U_{ნომ} = 500$ კვ; მეორადი ძაბვა – 40,6 კვ; სიმძლავრე - 140/70,2/70,2 მვა.
- თურქეთის მხარეს: 400 კვ-ის ძაბვა; $U_{ნომ} = 400$ კვ; მეორადი ძაბვა – 40,76 კვ; სიმძლავრე - 40,8/70,4/70,4 მვა.

ცხრილი 4.1-ში წარმოდგენილია ტრანსფორმატორების მონაცემები.

თითოეული ბლოკი შეიცავს კომპლექტურ, მაღალი ძაბვის გარდამქმნელ მოწყობილობას, რომელიც სიმენსის ფირმის ცალფაზა გახლეჩილგრაგნილიანი 140/70,2/70,2 და 140,8/70,4/70,4 პარამეტრების მქონე ტრანსფორმატორების (ნახ.4.3.) ჯგუფების გავლით დაკავშირებულია შესაბამისად 500 და 400 კვ ძაბვის სალტებთან. ორივე ჯგუფის ტრანსფორმატორებს გააჩნიათ ერთი სარეზერვო ცალფაზა ტრანსფორმატორი.

ცხრილი 4.1. ტრანსფორმატორების მონაცემები.

ქვესადგურის მხარე	ტრანსფორმატორი	სრული სიმძლავრე, მვა	მაღალი ძაბვა, კვ	მეორადი (გამმართველის გრაგნილი) ძაბვა, კვ	შენიშვნა
საქართველო	ცალფაზა, გახლეჩილ გრაგნილიანი	3 X 140 (140/70,2/70,2)	500	40,6	
თურქეთი	ცალფაზა, გახლეჩილ გრაგნილიანი	3 X 140,8 (140,8/70,4/70,4)	400	40,7	



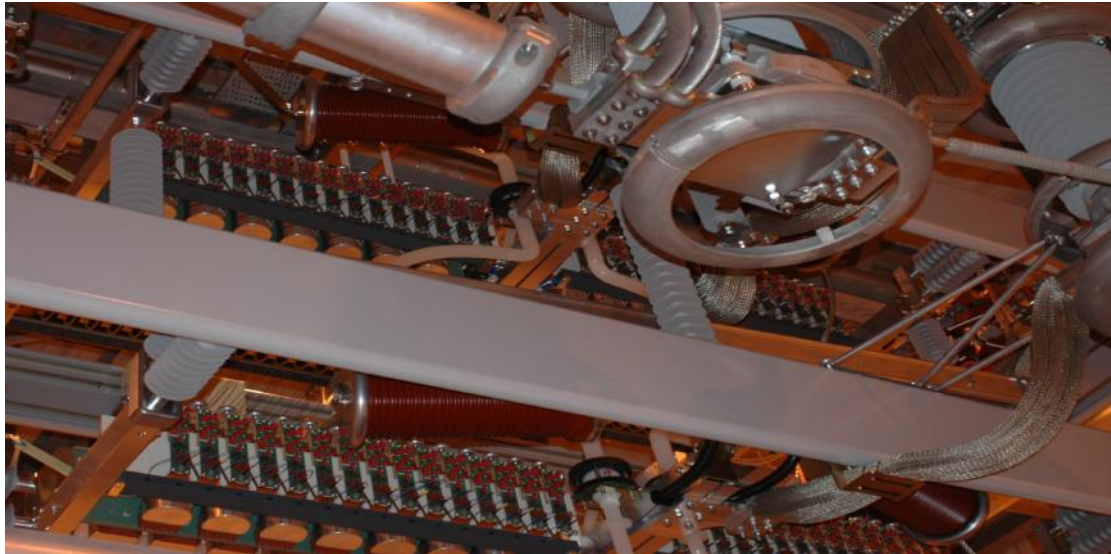
ნახ.4.3. სიმენსის ფირმის ცალფაზა ტრანსფორმატორის საერთო ხედი

ტრანსფორმატორებს 500 კვ ქსელური გრაგნილებით გააჩნიათ ჩაშენებული დატვირთვის ქვეშ ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა $\pm 15\%$ საზღვრებში და ყრუდ ჩამიწებული ნეიტრალი. ტრანსფორმატორებს 400 კვ ქსელური გრაგნილებით, ასევე გააჩნიათ დატვირთვის ქვეშ ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა და დამიწებული არიან შესაბამისი წინააღობის მქონე რეზისტორული მოწყობილობის გავლით.

4.1.4. გამართვა და ინვერტირება

ელექტროენერჯის გარდაქმნა ხორციელდება 12 პულსიანი სქემით. გარდამქმნელი შედგება წყვილი ბოგირისა და ინვერტორისაგან, რომელიც იკვებება ვარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთებული ვენტილური გრაგნილებიდან. გამმართველის საერთო ხედი წარმოდგენილია ნახ.4.4-ზე. მუდმივი დენის კონტურში ნომინალური ძაბვა არის 96 კვ, ხოლო ნომინალური დენი 3650 ა. ამ კონტურში ჩართულია ორი გამყოფი მაგლუვებელი რეაქტორი, კონტური მიწასთან დაკავშირებულია გამმართველისა და ინვერტორის შუა წერტილებში რეზისტორების გავლით.

ნახ.4.4 ახალციხის 500/400 კვ ქვესადგურის გამმართველის
საერთო ხედი.



4.1.5. ფილტრები

ზოგადად, ფილტრები გამოიყენება ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების დასაშვებ დონემდე შემცირების მიზნით.

არსებობს სამი კლასის ფილტრები, რომლებსაც შეუძლიათ შეამცირონ მაღალი რიგის ძაბვის ჰარმონიკები. ესენია:

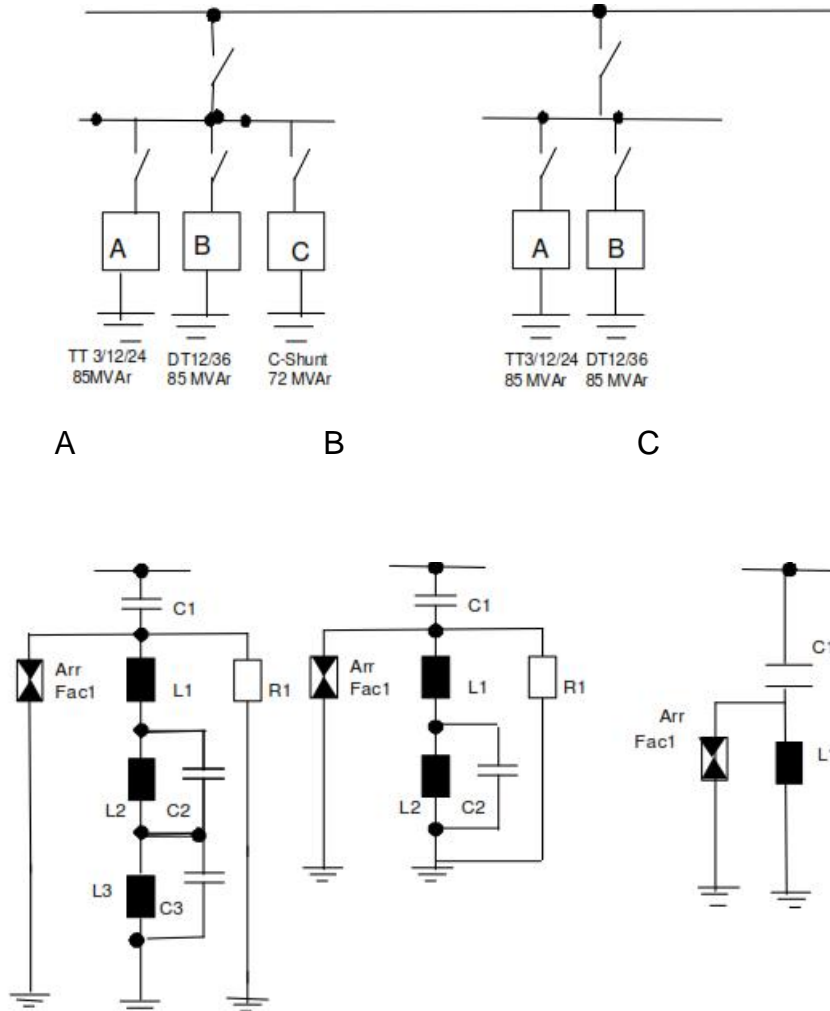
1. რეზონანსული შუნტი;
2. მადენფირებელი (მაგლუვებელი) ფილტრები;
3. აქტიური ფილტრები.

რეზონანსული შუნტის ტიპის ფილტრები შედგება მიმდევრობით შეერთებული „L“ და „C“-გან, რომელთა რეზონანსული სიხშირე $f_r = 1/2\pi \sqrt{LC}$ ემთხვევა ძაბვის იმ მაღალი რიგის ჰარმონიკას, რომლის ჩაქრობაც არის აუცილებელი.

4.1.6. აქტიური ფილტრები

აქტიური ფილტრები აგენერირებენ გასანიტრალელებელი შეფერხებების სიდიდის და საწინააღმდეგო ფაზის მქონე სიდიდეებს.

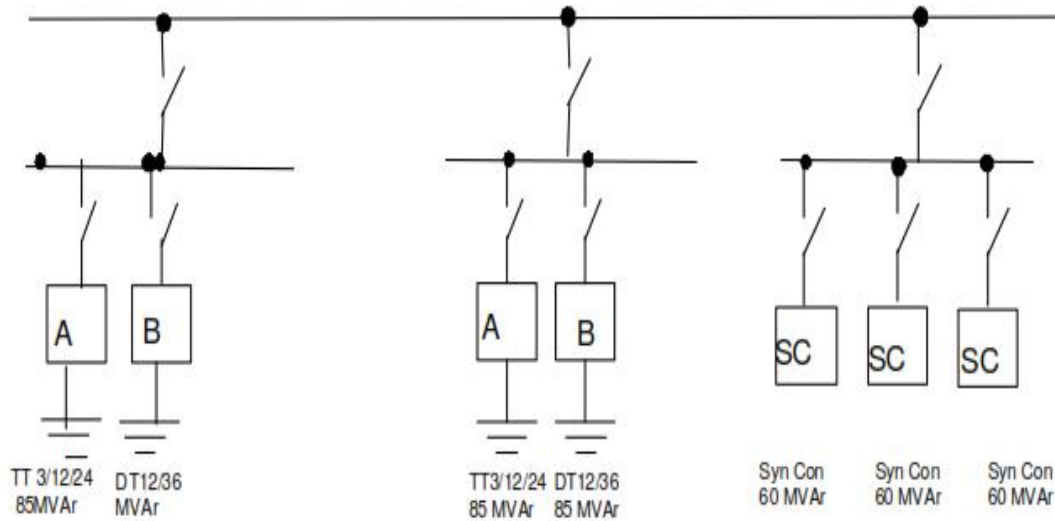
500 კვ ცვლადი ძაბვის სალტე, 50ჰც, საქართველოს მხარე.

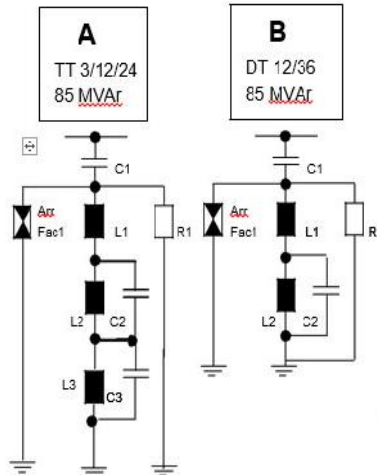


ნახ. 4.5. საქართველოს მხარე, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მფილტრავი ელემენტების განთავსების სქემა

ნახ.4.5-ზე წარმოდგენილია ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურში, საქართველოს მხარეზე რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მფილტრავი ელემენტების განთავსების სქემა, ხოლო ნახ.4.6-ზე ასეთივე რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მფილტრავი ელემენტების განთავსების სქემა თურქეთის მხარეზე.

400 კვ ცვლადი ძაბვის სალტე, 50 ჰც , თურქეთის მხარე





ნახ.4.6. თურქეთის მხარე, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მფილტრავი ელემენტების განთავსების სქემა

გამმართველი სისტემა, სადაც მიმდინარეობს ტირისტორების გაღება-დაკეტვის პროცესი ანუ კომუტაცია, 500კვ ან 400 კვ ძაბვის ქსელს აწვდის მაღალი რიგის ჰარმონიკების შემცველ დენს და რეაქტიულ სიმძლავრეს, რომლებიც თავის მხრივ 500 და 400 კვ - ძაბვის სალტებზე იწვევენ ძაბვის არასინუსოიდურობას და არასინუსოიდური ძაბვა მიეწოდება ქსელს.

ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრისა და გარდამქმნელების მიერ დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკების კომპენსაციისათვის ჩართულია 85 მვარ სიმძლავრის მფილტრავი მოწყობილობები, რომლებიც აწყობილია მაღალი რიგის (მე - 5, 7, 11, 13 და სხვა) ჰარმონიკებზე. მეორეული (ვენტილური) გრაგნილები შეერთებულია სამკუთხედად და ვარსკვლავად. ხოლო ქსელური გრაგნილები - ვარსკვლავად. ქვესადგურში განთავსებული ფილტრები და სინქრონული კომპენსატორები მაღალი ძაბვის ამომრთველების საშუალებით დაკავშირებულნი არიან მაღალი ძაბვის ქსელთან. სტაციონარულ რეჟიმებში ფილტრების შეერთების წერტილში ძაბვა პრაქტიკულად სინუსოიდურია. ამ ძაბვის ამპლიტუდა და ვენტილური გრაგნილის წინაღობა ვენტილურ გარდამქმნელებში განსაზღვრავენ საკომუტაციო პროცესებს.

500 კვ შემკრებ სალტეებთან ჩართულია ორ-ორი, თითოეული 85 მვარ სიმძლავრის TT-3/12/24 (Triple Tuned - სამრეზონანსიანი ტიპის ფილტრი, რომელიც ძირითადად გათვლილია 11 და 13 რიგის ჰარმონიკების ჩასაქრობად) და DT -12/36 ტიპის (Duble Tuned - ორრეზონანსული, რომელიც გათვლილია ორ სიხშირულ ზოლზე) ფართოზოლოვანი ფილტრის მოდული 12-36 რიგის ჰარმონიკების ჩასაქრობად) ფართოზოლოვანი ფილტრები და 72 მვა სიმძლავრის შუნტი (C - Sunt - შუნტის დანიშნულებაა მუდმივი დენის ჩანართის რეაქტიული ენერჯის კვებაში მონაწილეობის მიღება და მისი ჩართვა, როგორც სხვა ფილტრებისა განპირობებულია მუდმივი დენის ჩანართის რეჟიმების მიხედვით).

ანალოგიურად, 400 კვ შემკრებ სალტეებთან ჩართულია ორი, თითოეული 85 მვარ სიმძლავრის TT-3/12/24 და DT-12/36 ტიპის ფართოზოლოვანი ფილტრები.

ასევე, 400 კვ - ის სალტეზე დამატებით ჩართულია 60 მვარ სიმძლავრის სამი სინქრონული კომპენსატორი. რომლებიც გამავალი ენერჯოსისტემის ჩანართის შეერთების კვანძში უზრუნველყოფენ რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსს. ცხრილი 4.2-ში მოცემულია TT 3/12/24, DT 12/36 და C შუნტის ტექნიკური მონაცემები.

ასევე, მუდმივი დენის მხარეს ვენტილების შემდეგ მუდმივი დენი გაივლის მუდმივი დენის რეაქტორს, სადაც ხდება მასში არსებული მაღალი რიგის ჰარმონიკებისაგან გასუფთავება, რის შემდეგაც ის უფრო გლუვი ხდება.

ასევე, აღსანიშნავია, რომ კომპანია სიმენსის მიერ ქვესადგურის დამონტაჟების შემდეგ, ჩატარებულ იქნა ფილტრებში შემავალი ყველა ელემენტის ტესტირებები და დადგინდა მონაცემების ინდენტურობა. მაქსიმალური გადახრა არ აღემატება 0,5 % -ს, რაც დასაშვებ ფარგლებშია.

ცხრილი 4.2. TT 3/12/24, DT 12/36 და C შუნტის
ტექნიკური მონაცემები.

დასახელება		ფილტრი A	ფილტრი B	ფილტრი C
ფილტრის ტიპი		TT 3/12/24	DT 12/36	C-Shunt
შეფასება (3 ფაზა., 500 კვ)	მვარ	85	85	72
მძ - ტევადობა C1	μფ	1.056	1.077	0.916
მძ - რეაქტორი L1	მჰ	32.43	17.16	1.127
მძ - წინაღობა R1 მიწასთან	ომი	1200	800	--
დძ - ტევადობა C2	μფ	6.156	1.074	--
დძ - რეაქტორი L2	მჰ	154.79	28.31	--
დძ - ტევადობა C3	μფ	1.63	--	--
დძ - რეაქტორი L3	მჰ	23.39	--	--

ნახ.4.7–ზე წარმოდგენილია ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურში განთავსებული ფილტრების საერთო ხედი.



ნახ.4.7. ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურში განთავსებული ფილტრების საერთო ხედი

ნახ.4.8 –ზე წარმოდგენილია ახალციხის 500/400 კვ ქვესადგურის კონდენსატორული ბატარეების წყობილი, რომელიც ემსახურება რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციას. კონდენსატორები დაცულია ინდივიდუალური გარე მცველებით.



ნახ.4.8. ახალციხის 500/400 კვ ძაბვის ქვესადგურში განთავსებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ხედი

4.2. საზომი ხელსაწყო და მისი მახასიათებლები

ექსპერიმენტული გამოკვლევებისათვის პირველ რიგში საჭირო იყო ისეთი საზომი ხელსაწყო შერჩევა, რომელსაც ექნებოდა მაღალი მეტროლოგიური მახასიათებლები. ამ მიზნით, ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების ეროვნული კომისიის კუთვნილი G4500 ტიპის პორტატული ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ანალიზატორი, რომლის საერთო ხედი წარმოდგენილია ნახ.4.9 –ზე.



ნახ.4.9. G4500 ტიპის პორტატული ანალიზატორი

წარმოდგენილი მოწყობილობით ხდება ნებისმიერ ადგილზე ენერგეტიკული სიდიდეების გაზომვა და მათი ხარისხის დადგენა და ასევე, ნორმალური და ავარიული რეჟიმების კონტროლი. იგი განკუთვნილია:

- ენერგეტიკული პარამეტრების ხარისხის დასადგენად, რომელიც რეგულირდება საერთაშორისო სტანდარტების EN 50160, IEC61000-4-15, IEC 6100-4-7, IEC 61000-4-30 მიხედვით.

- ენერგომომარების მაჩვენებლის გასაზომად და ჩასაწერად ერთფაზა და სამფაზა ქსელებში. ძაბვისა და დენის მყისიერი და ეფექტური მნიშვნელობების გასაზომად, სინუსოიდალური და დამახინჯებული ფორმების შემთხვევაში. აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების გასაზომად.

ერთი ციკლის (20 მლწმ.) განმავლობაში ხდება ელექტროენერჯის ყველა პარამეტრის მინიმუმ 512 გაზომვა და უწყვეტი ჩაწერა.

მოწყობილობა საშუალებას იძლევა მუდმივად აკონტროლოს ჩანაწერები ყველა შემავალი არხის, დისკრეტიზაციის სიხშირისა (512 გაზომვა ციკლში) და დიდი სიზუსტის მიხედვით.

ხელსაწყოს შეუძლია გაზომოს:

- ხაზური და ფაზური ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობები, ფაზური დენების მნიშვნელობა;

- სიმძლავრის კოეფიციენტი;

- სიმძლავრე: აქტიური, რეაქტიული, სრული;

- სიხშირე;

- ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტი;

- გარდამავალი პროცესების რეგისტრაცია;

- ფლიკერების დოზის გაზომვა IEC 61000-4-15 სტანდარტის შესაბამისობაში;

- მოკლედროიანი ფლიკერების გაზომვა PSt;

- ინტერჰარმონიკების გაზომვა;

- ციკლში (20 მლწმ) გასაზომი სიდიდის დისკრეტიზაციის სიდიდე უნდა იყოს არანაკლებ 512-ისა;

- აწარმოებს შეტყობინებების ჟურნალს.

პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით ხდება ყველა პარამეტრის გრაფიკული წარმოდგენა. შესაძლებლობა აქვს შექმნას ანგარიშები და მოხსენებები.

ყველა გაზომილი მონაცემის მოგროვება და შენახვა ხდება Mikrosoft SQL მონაცემთა ბაზაში.

4.3. ახალციხის ქვესადგურის 500, 220 და 0,4 კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა მუდმივი დენის ჩანართის გამორთულ მდგომარეობაში

4.3.1. ზოგადი ცნობები

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 დამახინჯებელი, გამორთულია.

2016 წლის 4 თებერვალს ახალციხის ქვესადგურში ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული მდგენელების რეალური ფიზიკური სიდიდეების დადგენის მიზნით ჩატარებულ იქნა აქტიური სიმძლავრის გაზომვები 500, 220 და 0,4 კვ სალტეებზე.

გაზომვის პროცესში ენერგოსისტემა მუშაობდა რუსეთის ერთიან ენერგოსისტემასთან პარალელურ რეჟიმში 500კვ ეგხ „კავკასიონით“; რეჟიმულად გამორთული იყო 500კვ ეგხ -ბი „ვარძია“, „ქართლი-1“, მუდმივი დენის ჩანართი და 400 კვ ეგხ „მესხეთი“.

დანარჩენ სასისტემო მნიშვნელობის 500კვ ეგხ-ზე არსებული დატვირთვები წარმოდგენილია ცხრილი 4.3-ში.

ცხრილი 4.3. სასისტემო მნიშვნელობის 500კვ ეგხ-ზე არსებული აქტიური დატვირთვები მგვტ-ში.

	ენგური 500კვ ეგხ კავკასიონი P მგვტ	ენგური 500კვ ეგხ იმერეთი P მგვტ	ზესტაფონი 500კვ ეგხ ზეკარი P მგვტ	ზესტაფონი 500კვ ეგხ ქართლი 2 P მგვტ	გარდაბანი 500კვ ეგხ ვარძია P მგვტ	ახალციხე 400კვ ეგხ მესხეთი P მგვტ	გარდაბანი 500კვ ეგხ ქართლი 1 P მგვტ
04.02.201 6 12:53	149,01	-232,51	28,61	-122,29	0	0	-0,48
04.02.201 6 13:20	158,7	-215,69	28,61	-123,99	0	0	-0,48

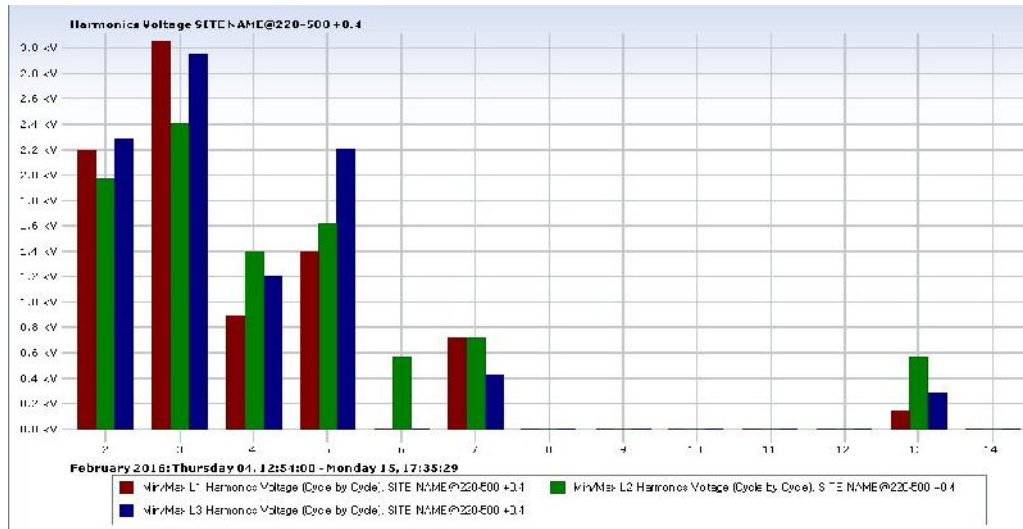
4.3.2.ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის
ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული
მდგენელების გამოკვლევა

ნახ.4.10 - ზე გრაფიკულად წარმოდგენილია 500 კვ სალტეებზე ძაბვის
ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე, საიდანაც ჩანს, რომ 500
კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის
მნიშვნელობები მერყეობს 0,42÷1,15 %-ის ფარგლებში, ანუ იმ შემთხვევაში,
როცა მუდმივი დენის ჩანართი გამორთულია, ჩვენთვის უცნობია ძაბვის
ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობა იმყოფება თუ არა
დასაშვებ ნორმებში, რადგან იგი არ არის ნორმირებული სტანდარტების
მიხედვით.



ნახ.4.10. 500კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური
დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე:

ნახ. 4.11-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.

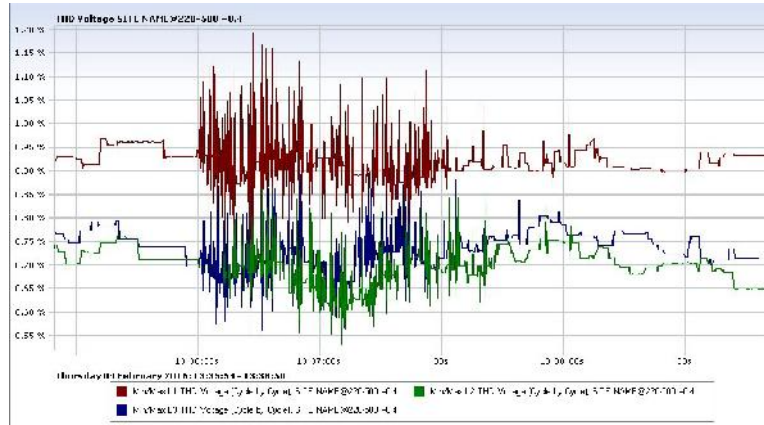


**ნახ.4.11. 500 კვ სალტეებზე არასინუსოიდური ძაბვის
სპექტრალური შემადგენლობა**

ლიტერატურიდან [2,3] 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.

**4.3.3. ახალციხის ქვესადგურის 220 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური
დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული
მდგენელების გამოკვლევა**

ნახ.4.12 -ზე გრაფიკულად წარმოდგენილია 220 კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე, საიდანაც ჩანს, რომ 220 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები მერყეობს 0,45 ÷ 1,2 % - ის ფარგლებში, ანუ იმ შემთხვევაში, როცა მუდმივი დენის ჩანართი გამორთულია 220 კვ ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობა 1997 წლის სტანდარტის მიხედვით იმყოფება დასაშვები ნორმის ფარგლებში.



ნახ.4.12. 500კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე.

ნახ. 4.13 -ზე წარმოდგენილია არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა ცალკეული ფაზების მიხედვით. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, არასინუსოიდური ძაბვის შემადგენლობაში დომინირებენ მე-3, მე-5, მე-7, რიგის ჰარმონიკები.

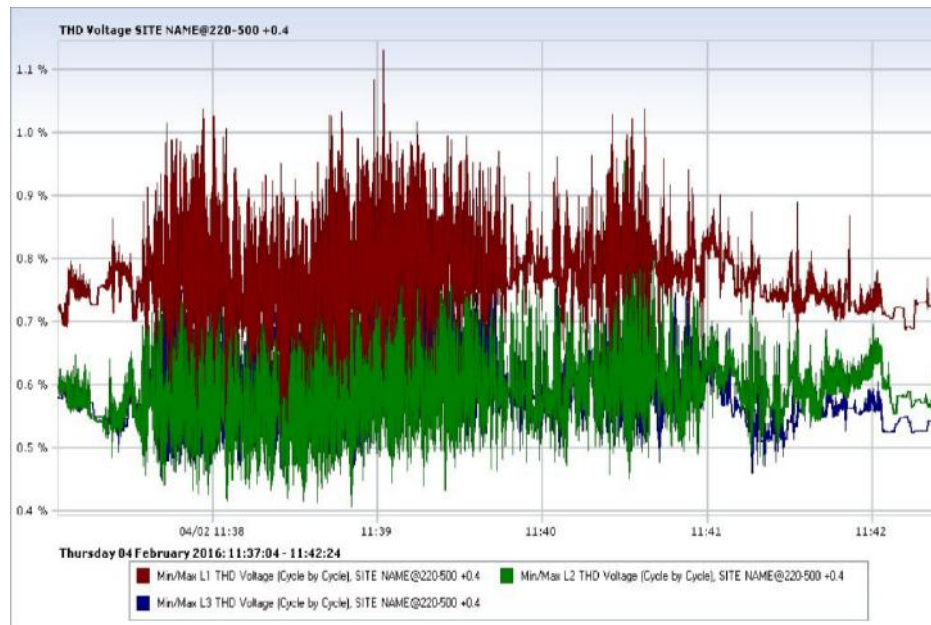


ნახ.4.13. 220 კვ სალტეებზე არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა

ლიტერატურიდან [2,3] ცნობილია, რომ ლუწი რიცხვის ჰარმონიკები თავისი მცირე მნიშვნელობიდან გამომდინარე მხედველობაში არ მიიღებიათ. ასევე სამკუთხა შეერთებების გამო მესამე და სამის ჯერადი ჰარმონიკები ელექტრულ ქსელებში არ უნდა ფიგურირებდნენ. ამიტომ ეს საკითხი ითხოვს დამატებით კვლევებს. რაც შეეხება მე-5 და მე-7 რიგის ჰარმონიკებს მათი არსებობა კითხვის ნიშნებს არ იწვევს.

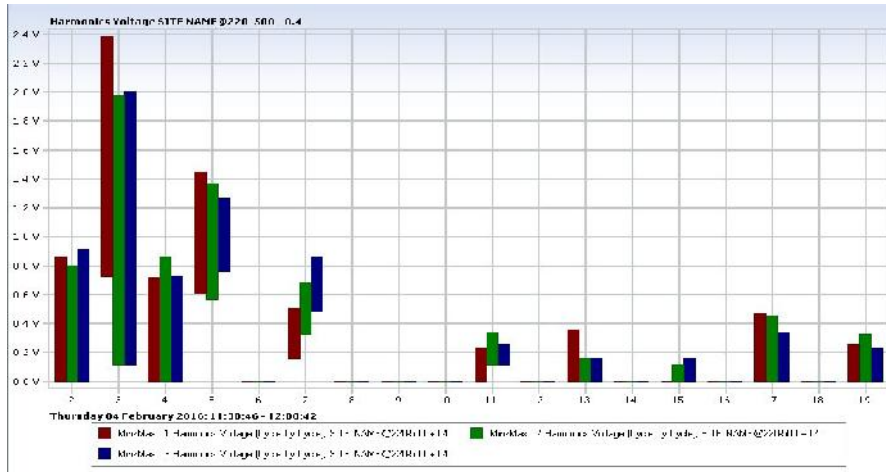
4.3.4. ახალციხის ქვესადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის
ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული
მდგენელების გამოკვლევა

ნახ.4.14 -ზე გრაფიკულად წარმოდგენილია 0,4 კვ სალტეებზე ძაბვის
ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე, საიდანაც ჩანს, რომ
0,4 კვ ძაბვის სალტეზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის
მნიშვნელობები მერყეობს $0,42 \div 1,12$ %-ის ფარგლებში, ანუ იმ შემთხვევაში,
როცა მუდმივი დენის ჩანართი გამორთულია 0,4 კვ ძაბვის ჯამური
დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობა 1997 წლის სტანდარტის
მიხედვით იმყოფება დასაშვები ნორმის ფარგლებში.



ნახ.4.14. 0,4 კვ სალტეებზე ძაბვის ჯამური
დამახინჯების კოეფიციენტის რეალური სახე.

ნახ. 4.15 -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, მე-7 რიგის ჰარმონიკები.



ნახ.4.15. 0,4 კვ სალტებზე არასინუსოიდური ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა

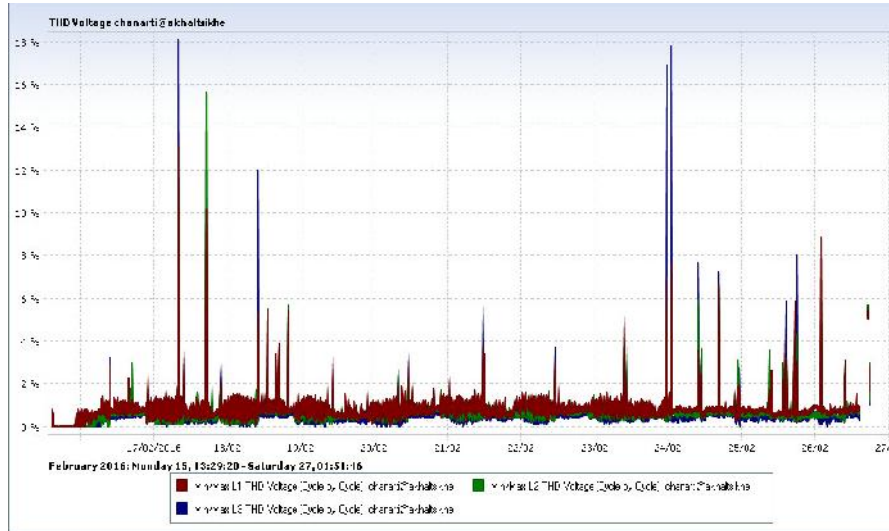
მაგრამ ლუწი რიცხვის (მე-2, მე-4) ჰარმონიკები თავისი მცირე მნიშვნელობიდან გამომდინარე მხედველობაში არ მიიღებიან. ასევე სამკუთხა შეერთებების გამო მესამე და სამის ჯერადი ჰარმონიკები ამ ელექტრულ ქსელებშიც არ უნდა ფიგურირებდნენ. რადგან 10/0,4 ტრანსფორმატორების გრაგნილების შეერთების სქემაა / . შესაძლებელია მე-3 რიგის ჰარმონიკის გამომწვევი წყარო იყოს 0,4 კვ ძაბვის მხარეს მიერთებული მომხმარებლები.

4.4. ახალციხის ქვესადგურის 500 სალტზე ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მათი ჰარმონიკული მდგენელების გამოკვლევა მუდმივი დენის ჩანართის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში 2016 წლის 15-27 თებერვლის პერიოდში 500/400/220 კვ ქვესადგურ ახალციხეში ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტული გაზომვები 500 კვ სალტებზე, ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტისა და მისი ჰარმონიკული მდგენელების რეალური ფიზიკური სიდიდეების დადგენის მიზნით, მუდმივი დენის ჩანართის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში.

ამ პერიოდში, საქართველო-თურქეთის მიმართულებით 400 კვ ეგხ „მესხეთის“ საშუალებით წარმოებდა ელექტროენერჯის ექსპორტი, წყვეტილი რეჟიმით: დღის განმავლობაში 10 საათიდან 22 საათამდე ხორციელდებოდა

ექსპორტი 85 მგვტ სიმძლავრით, ხოლო 22-საათიდან 10 საათამდე ეგ „მესხეთი“ იყო გამორთული, ანუ მუდმივი დენის ჩანართი არ იყო ჩართული, ხოლო გაზომვის პროცესი მიმდინარეობდა უწყვეტ რეჟიმში.

კვლევის პერიოდის განმავლობაში ძაბვის ჯამური დამახინჯების რეალური სახე წარმოდგენილია ნახ.4.16-ზე.



ნახ.4.16. კვლევის პერიოდის განმავლობაში ძაბვის ჯამური დამახინჯების რეალური სახე

როგორც ნახ.4.16 -დან ჩანს გარკვეული პერიოდების განმავლობაში ადგილი ჰქონდა ძაბვის სინუსოიდურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობათა ცვლილებას 18 % - მდე, რაც ძალიან დამაფიქრებელია. ჩვენს წინაშე დაისვა საკითხი, თუ რით იყო გამოწვეული აღნიშნული მოვლენები. პირველ რიგში მოვახდინეთ პიკური დროების განსაზღვრა, რისთვისაც მოვახდინეთ მათი განშლა. განაშალი წარმოდგენილია დღეებისა და დამახინჯების კოეფიციენტის პიკების მიხედვით.

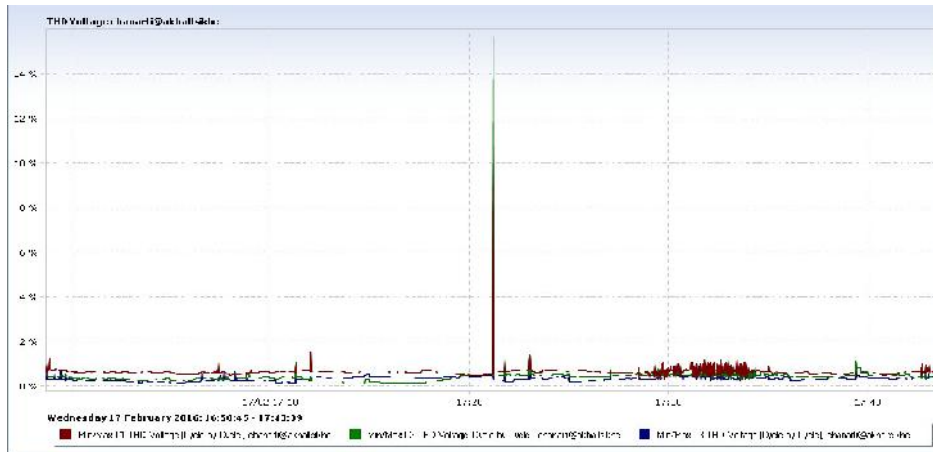
17 თებერვალს 17 საათი და 18 წუთისათვის (ცხრილი 4.4) საქართველოს ენერგოსისტემა მუშაობდა პარალელურ რეჟიმში რუსეთის ენერგოსისტემასთან შემოდინებით 89,2 მგვტ და ასინქრონულ რეჟიმში თურქეთის ენერგოსისტემასთან 85,89 მგვტ გადადინებით.

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. მიუხედავად ამისა, ჩვენი გაზომვებით დაფიქსირებულ იქნა ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის მკვეთრი ზრდა 1-დან 16 % - მდე, რაც წარმოდგენილია ნახ.4.17-ზე, ხოლო მისი განაშალი მოცემულია ნახ.4.18 -ზე.

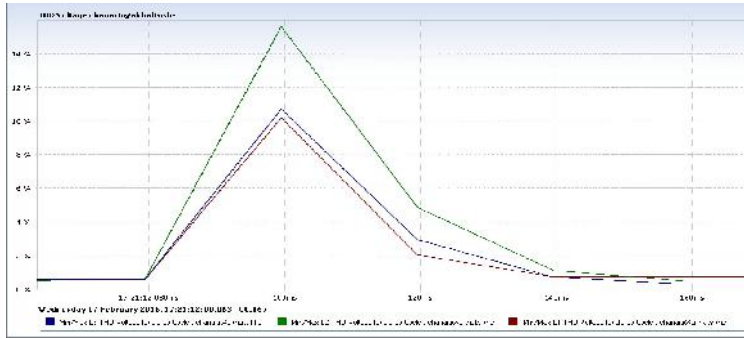
ცხრილი 4.4 სასისტემო მნიშვნელობის 500კვ ეგხ-ზე არსებული აქტიური დატვირთვები მგვტ-ში.

	ენგური 500კვ ეგხ კავკასიონი P მგვტ	ენგური 500კვ ეგხ იმერეთი P მგვტ	ზესტაფონი 500კვ ეგხ ქართლი 2 P მგვტ	ზესტაფონი 500კვ ეგხ ზეკარი P მგვტ	გარდაბანი 500კვ ეგხ ქართლი 1 P მგვტ	გარდაბანი 500კვ ეგხ ვარძია P მგვტ	ახალციხე 400კვ ეგხ მესხეთი P მგვტ
17.02.2016 17:10	88,98	-46,84	-9,57	-3,77	-101,58	-43,18	-85,79
17.02.2016 17:11	88,3	-46,61	-10,27	-4,53	-101,58	-43,17	-85,88
17.02.2016 17:12	86,34	-44,46	-8,85	-3,54	-101,58	-43,43	-85,71
17.02.2016 17:13	90,95	-49,87	-9,9	-4,39	-101,58	-44,19	-85,9
17.02.2016 17:14	91,97	-49,79	-9,25	-3,97	-101,58	-43,14	-85,9
17.02.2016 17:15	93	-51,36	-10,11	-4,32	-101,58	-43,63	-85,88
17.02.2016 17:16	87,72	-46,76	-1,75	-6,49	-79	-42,95	-85,75
17.02.2016 17:17	80,99	-36,6	24,51	-10,17	-24,16	-37,89	-85,89
17.02.2016 17:18	89,21	-39,02	23,35	-11,05	-25,12	-37,59	-85,85
17.02.2016 17:19	97,78	-43,37	17,42	-7,19	-18,65	-42,22	-85,85
17.02.2016 17:20	82,45	-35,21	-0,38	15,4	0	-63,7	-85,8

17.02.2016 17:21	77,59	-28,39	0	12,65	0	-60,38	-85,83
17.02.2016 17:22	83,21	-23,72	0	18,85	0	-66,02	-85,99
17.02.2016 17:23	92,21	-28,23	0	17,95	0	-66,35	-85,79
17.02.2016 17:24	92,17	-26,81	0	19,08	0	-67,68	-85,9
17.02.2016 17:25	87,32	-23,8	0	20,41	0	-66,36	-85,75
17.02.2016 17:26	90,44	-26,54	0	20,28	0	-67,06	-85,95
17.02.2016 17:27	92,32	-27,51	0	20,35	0	-67,39	-85,93
17.02.2016 17:28	90,61	-26,75	0	20,51	0	-68,39	-85,87
17.02.2016 17:29	96,43	-30,43	-0,24	19,82	0	-66,79	-85,97
17.02.2016 17:30	102,89	-43,57	18,6	-4,37	-20,2	-44,87	-85,93

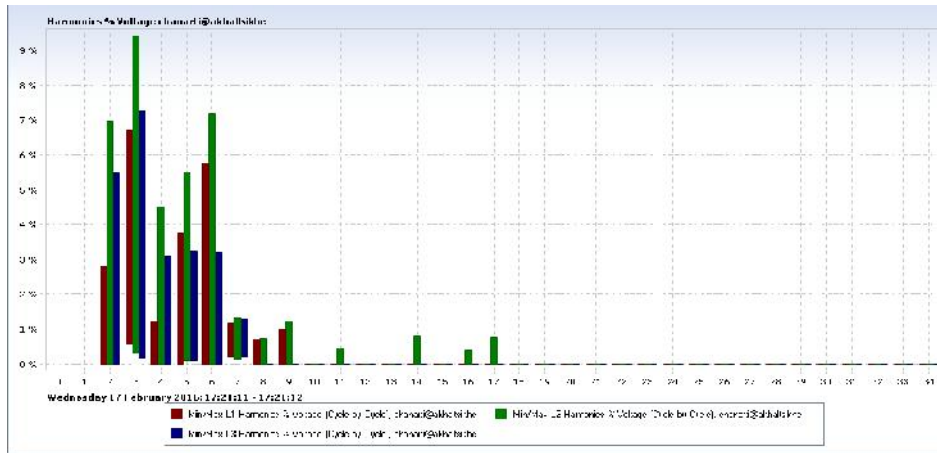


ნახ.4.17. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის ზოგადი სახე 17 საათი და 10 წუთიდან 40 წუთამდე მონაკვეთში



ნახ.4.18. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის განაშალი
17 თებერვალს 17 :21 სთ -ზე.

როგორც ნახ. 4.18-დან ჩანს 2%-ის დამახინჯების ზევით ძაბვის დამახინჯების პროცესი მიმდინარეობდა 50 მწმ-ის ანუ 2,5 პერიოდის განმავლობაში. ეს დრო სრულიად საკმარისია მართვისა და ავტომატიკის სისტემების ცრუ ამოქმედებისათვის. ამდენად, მნიშვნელოვანია მისი გათვალისწინება დანაყენების ანგარიშების დროს.

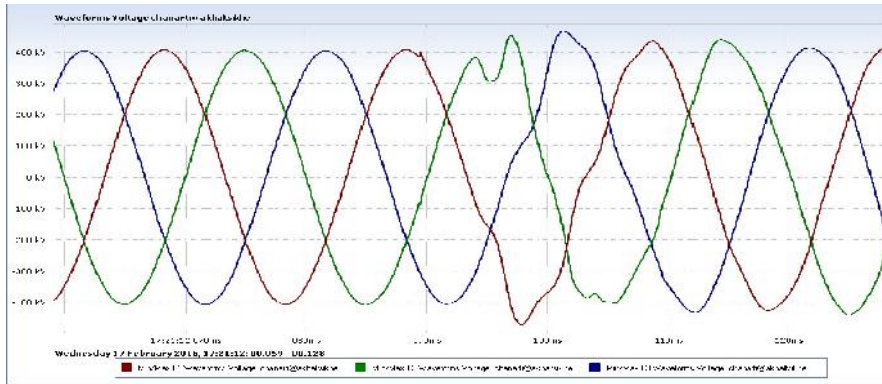


ნახ.4.19. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის
სპექტრალური შემადგენლობა

ნახ.4.19 - ზე მოცემულია ამ დამახინჯების სპექტრალური შემადგენლობა, სადაც ჩანს, რომ მის შემადგენლობაში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ლუწი რიგის (მე-2, მე-4, მე-6) ჰარმონიკებს. როგორც ლიტერატურიდან არის ცნობილი ლუწი რიგის ჰარმონიკებს მათი სიმცირის გამო მხედველობაში არ ითვალისწინებენ.

თუმცა, ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში მათი მნიშვნელობები საკმაოდ დიდია და დიდი წვლილი აქვთ ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის ფორმირებაში. ასევე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მე-3 რიგის ჰარმონიკის სიდიდე და განსაკუთრებით ერთ ფაზაში, რომელიც აღწევს 10 %-მდე ანუ აბსოლუტური სიდიდით 28 კვ-მდე.

ნახ.4.20-ზე მოცემულია ძაბვის სინუსოიდები მოცემული დროისათვის, საიდანაც ნათლად ჩანს მათი დამახინჯებული ფორმა.



ნახ.4.20. ძაბვის სინუსოიდები 17 თებერვალს 17 :21 სთ-ზე.

18 თებერვალს, 10 საათსა და 18 წუთზე გაზომვის დროისათვის ენერგოსისტემა მუშაობდა რუსეთის ერთიან ენერგოსისტემასთან პარალელურ რეჟიმში 500კვ ეგხ „კავკასიონით“ 57,43 მგვტ სიმძლავრის გადმოდინებით, ხორციელდებოდა მუდმივი დენის ჩანართის და 400კვ ეგხ „მესხეთის“ ჩართვისა და თურქეთის მიმართულებით გადადინების 0 - დან 85 მგვტ - მდე გაზრდის ღონისძიებები.

კერძოდ, სპექტრანსფორმატორის ჩართვის პროცესი, გამმართველის მუშაობის დაწყებისა და 85 მგვტ -მდე ტვირთის აღების პროცესი. დანარჩენ სასისტემო მნიშვნელობის 500 ეგხ -ზე დატვირთვები წარმოდგენილია ცხრილი 4.5 -ში.

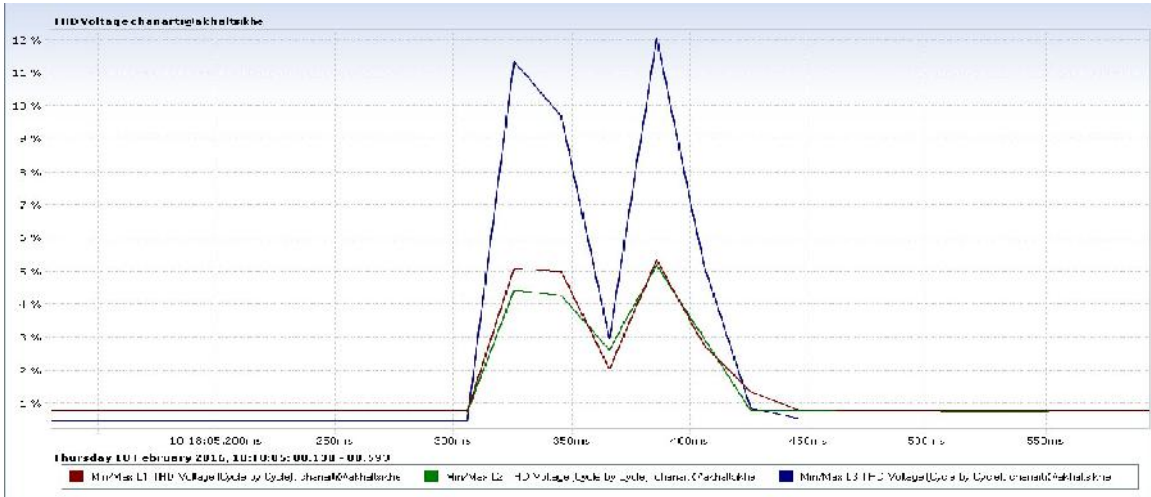
ცხრილი 4.5. სასისტემო მნიშვნელობის 500 კვ ეგ-ზე არსებული აქტიური დატვირთვები 18 თებერვალს 10:18 სთ-ზე, მგვტ-ში.

	ენგური 500კვ ეგ კავკასიონი P მგვტ	ენგური 500კვ ეგ იმერეთი P მგვტ	ზესტაფონი 500კვ ეგ ქართლი 2 P მგვტ	ზესტაფონი 500კვ ეგ ზეკარი P მგვტ	გარდაბანი 500კვ ეგ ქართლი 1 P მგვტ	გარდაბანი 500კვ ეგ ვარძია P მგვტ	ახალციხე 400კვ ეგ მესხეთი P მგვტ
18.02.20 16 10:17	53,33	-66,82	-81,23	-1,13	-58,66	40,76	1,51
18.02.20 16 10:18	57,43	-71,98	-83,31	-7,12	-57,77	39,92	-5
18.02.20 16 10:19	70,64	-101,82	-86,24	-33,95	-55,07	36,29	-35,19

ნახ.4.21 - ზე წარმოდგენილია აღწერილი პროცესის შესაბამისი ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები ამ პერიოდისათვის, ხოლო მისი განაშალი წარმოდგენილია ნახ.4.22-ზე.

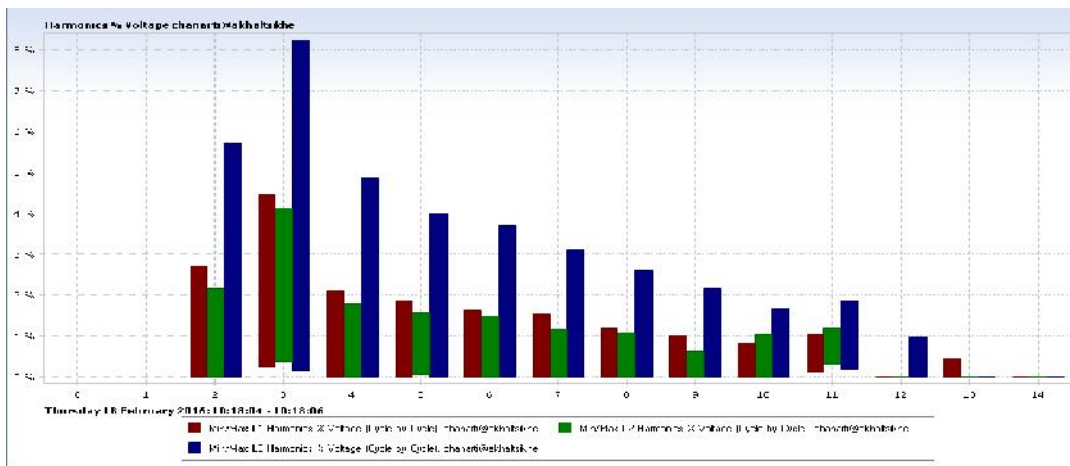


ნახ. 4.21. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის ზოგადი სახე 10 საათი და 14 წუთიდან 22 წუთამდე მონაკვეთში.



ნახ. 4.22. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის განაშალი
18 თებერვალს 10 :18 სთ -ზე.

როგორც ნახ.4.22 -დან ჩანს 2% -ის დამახინჯების ზევით ძაბვის დამახინჯების პროცესი მიმდინარეობდა დაახლოებით 100 მწმ -ზე მეტი ანუ 5 პერიოდზე მეტი ხნის განმავლობაში. ეს დრო ასევე სრულიად საკმარისია მართვისა და ავტომატიკის სისტემების ცრუ ამოქმედებისათვის. ამდენად, მნიშვნელოვანია მისი გათვალისწინება დანაყენების ანგარიშების დროს.

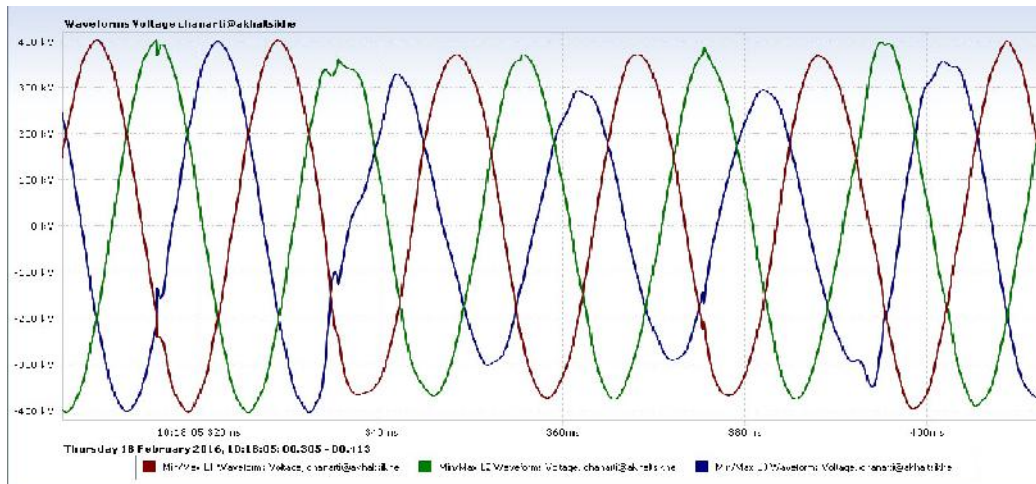


ნახ.4.23. ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის
სპექტრალური შემადგენლობა

ნახ.4.23 - ზე მოცემულია ამ დამახინჯების სპექტრალური შემადგენლობა, სადაც ჩანს, რომ მის შემადგენლობაში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ლუწი რიგის (მე-2, მე-4, მე-6, მე-8, მე-10) ჰარმონიკებს. როგორც ლიტერატურიდან არის ცნობილი, ლუწი რიგის ჰარმონიკებს მათი სიმცირის გამო მხედველობაში არ ითვალისწინებენ, თუმცა ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში მათი მნიშვნელობები საკმაოდ დიდია და დიდი წვლილი აქვთ ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის ფორმირებაში.

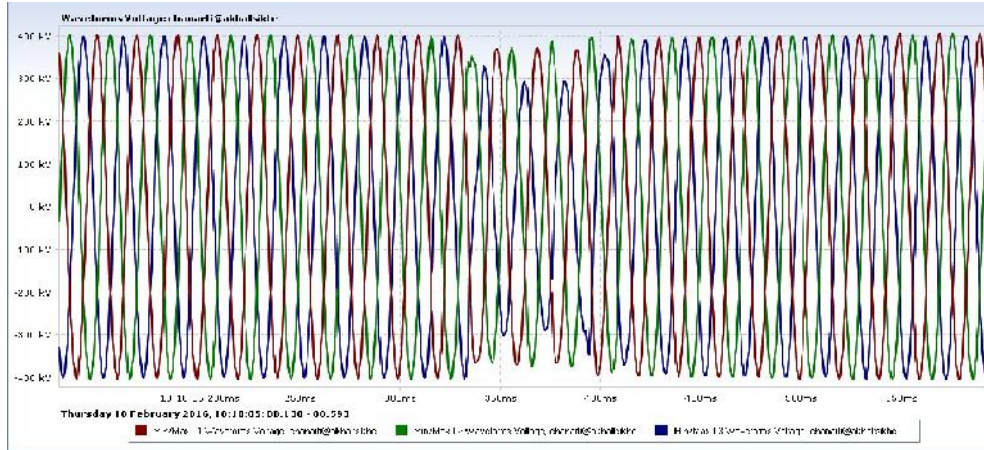
ასევე, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მე -3 რიგის ჰარმონიკის სიდიდე და განსაკუთრებით ერთ ფაზაში, რომელიც აღწევს 9 % - მდე. აქ ხაზგასასმელია ის გარემოება, რომ სპექტრში გამოჩნდა მე -11 და მე -13 რიგის ჰარმონიკები, რომელთა წარმოშობის მიზეზად გვევლინება მუდმივი დენის ჩანართი – ტირისტორული სისტემებით. აქვე აღსანიშნავია, რომ მე -11 რიგის ჰარმონიკის მნიშვნელობა 1 %-ზე მეტია, რაც აღემატება ამ სიმენსის მიერ მოცემული ზღვრებს. თუმცა ეს შეიძლება ჩაითვალოს როგორც გარდამავალი რეჟიმის თანმდევი პროცესი.

ნახ.4.24 - ზე მოცემულია ძაბვის სინუსოიდები მოცემული დროისათვის, საიდანაც ნათლად ჩანს მათი დამახინჯებული ფორმა.



4.24. ძაბვის სინუსოიდები 18 თებერვალს 10 :18 სთ-ზე.

ნახ.4.25-ზე წარმოდგენილია ძაბვის სინუსოიდები 18 თებერვალს მუდმივი დენის ჩანართის ჩართვამდე არსებული რეჟიმის, მისი ჩართვის, დატვირთვისა და დამყარებულ მუშა რეჟიმებში.



ნახ.4.25. ძაბვის სინუსოიდები 18 თებერვალს მუდმივი დენის ჩანართის ჩართვამდე არსებული რეჟიმის, მისი ჩართვის, დატვირთვის რეჟიმისა და დამყარებულ მუშა რეჟიმში.

4.5. გვირგვინის მოვლენა, როგორც მაღალი რიგის ჰარმონიკების წყარო

როგორც ცნობილია [45,46], მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზები შეიძლება იყოს მაღალი რიგის (განსაკუთრებით 3, 5 და 7 რიგის) ჰარმონიკების გენერაციის წყაროები, სადენებზე წარმოქმნილი გვირგვინის მოვლენის გამო (ნახ.4.26). აღნიშნული ჰარმონიკები კი მნიშვნელოვან საფრთხეს წარმოადგენენ ელექტროტექნიკური მოწყობილობებისათვის მუშაობის პროცესში.

მაგალითად, 3-ე რიგის ჰარმონიკამ, რომელიც გენერირდება ეგხ-ში გვირგვინის მოვლენით, შეიძლება გამოიწვიოს ძალოვან ტრანსფორმატორის ნეიტრალის დამიწების მოწყობილობის გადატვირთვა. ზოგიერთ შემთხვევაში, მე-3 რიგის ჰარმონიკის მნიშვნელობამ შეიძლება მიაღწიოს ძირითადი ჰარმონიკის 25 % –სა და მეტს.



ნახ.4.26. გვირგვინის მოვლენები

რუსეთის 220 კვ და მეტი ძაბვის ქსელში გვირგვინის მოვლენაზე დანაკარგები 2-ჯერ აღემატება მაგ., საფრანგეთის ანალოგიურ ქსელში გვირგვინზე დანაკარგების სიდიდეს, რადგანაც ევროსტანდარტების მოთხოვნები საბჭოურ - ძველ ნორმებთან შედარებით ბევრად მკაცრია. ასევე, მნიშვნელოვანია ძაბვის ოპერატიული რეგულირების სისტემების დანერგვა.

ცხრილი 4.6 - ში წარმოდგენილია რუსეთის მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემ ხაზებზე გვირგვინის მოვლენით გამოწვეული ელექტრო ენერჯისა და სიმძლავრის საშუალო ხვედრითი დანაკარგები.

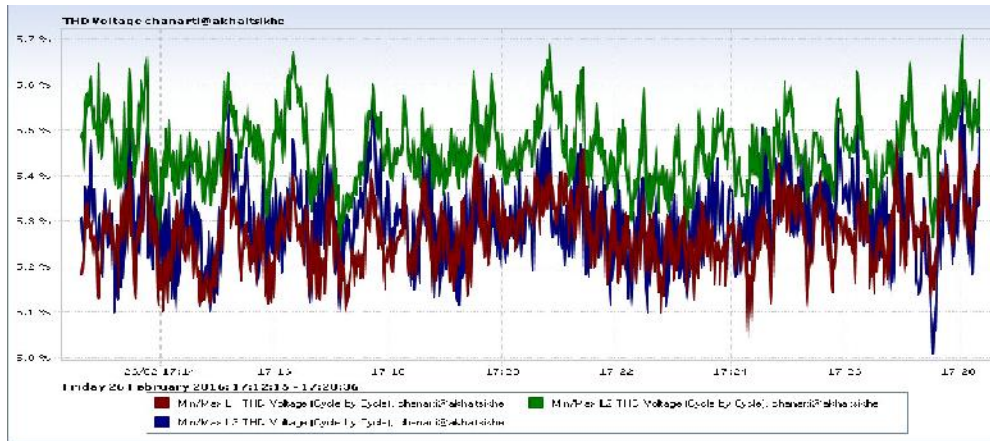
ცხრილი 4.6. რუსეთის მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემ ხაზებზე გვირგვინის მოვლენით გამოწვეული ელექტროენერჯისა და სიმძლავრის საშუალო ხვედრითი დანაკარგები.

ამინდის სახეობა	ხანგრძლივობა, სთ	ეგ სიმძლავრის დანაკარგი, ვტ/მ				ეგ ელექტრო ენერჯის დანაკარგი, ვტ.სთ/მ			
		220	330	500	750	220	330	500	750
კარგი	5159	0,3	1,5	2,4	5,7	1548	7738	12382	29406
მომატებული ტენიანობა	746	1,7	5,4	8,4	19	1268	4028	6266	14174
თოვლი	807	2,3	6,6	12,4	25	1856	5326	10007	20175
ნისლი	190	3,2	10	16,4	34	608	1900	3116	6460
წვიმა	385	6	16	30	67	2370	7616	14280	31892
ჭირბლი	1381	13	36	59,2	116	17953	49716	81755	160196
ელექტროენერჯის საშუალო წლიური დანაკარგი ვტ.სთ/მ						25603	76324	127806	262303

4.6. ექსპერიმენტული გაზომვები გენერაციის ობიექტებზე

იმისათვის, რომ გამოგვეკვლია ახალციხის 500/400/220 კვ ძაბვის ქვესადგურის 500 კვ სალტეზე ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების წარმოშობის მიზეზები, 2016 წლის 26 თებერვალს, 17 საათიდან დამატებითი კვლევები ჩატარდა ამ ქვესადგურთან უახლოესი გენერაციის ობიექტზე – ფარავანჭესის მომუშავე №1 ჰიდროაგრეგატზე.

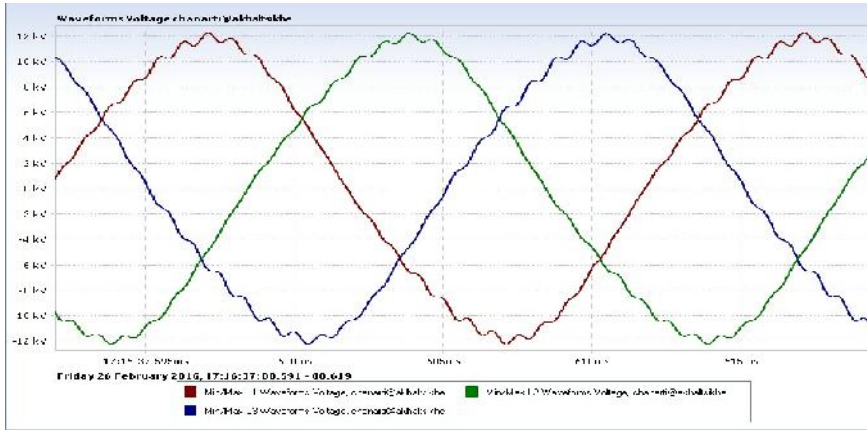
ეს ჰესი 220 კვ ხაზით პირდაპირ უკავშირდება ახალციხის ქვესადგურს. ნახ.4.27 –ზე მოცემულია საგენერატორო ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტი.



ნახ.4.27. ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტი.

როგორც ნახ.4.27 - დან ჩანს, საგენერატორო ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტი აღემატება 5,5 % -ს, რაც ძალზედ დამაფიქრებელი მოვლენაა.

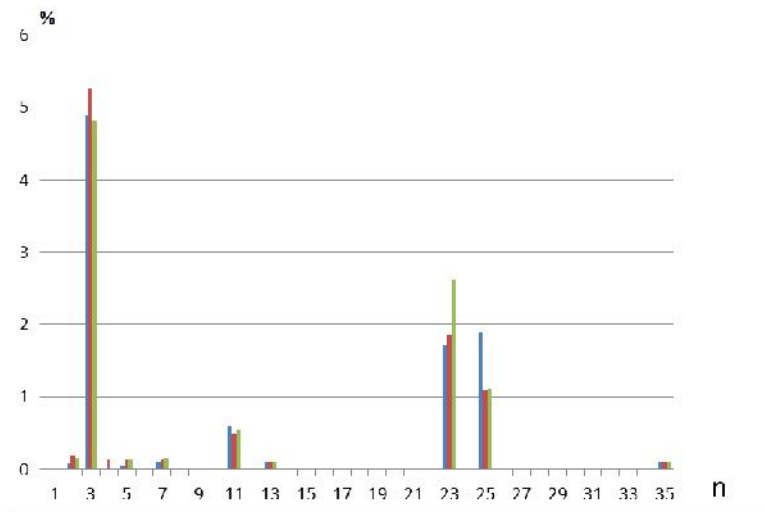
ნახ.4.28 - ზე მოცემულია ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდები.



ნახ.4.28. ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდები

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, ყველა ფაზის სინუსოიდს გააჩნია ერთნაირი დამახინჯება და აქვს განმეორებადი ხასიათი, რაც მიგვანიშნებს გენერატორის კონსტრუქციის არასრულყოფილობაზე.

ჩვენთვის ასევე საინტერესო იყო აღნიშნული ძაბვების ჰარმონიკული შედგენილობა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.4.29 –ზე.

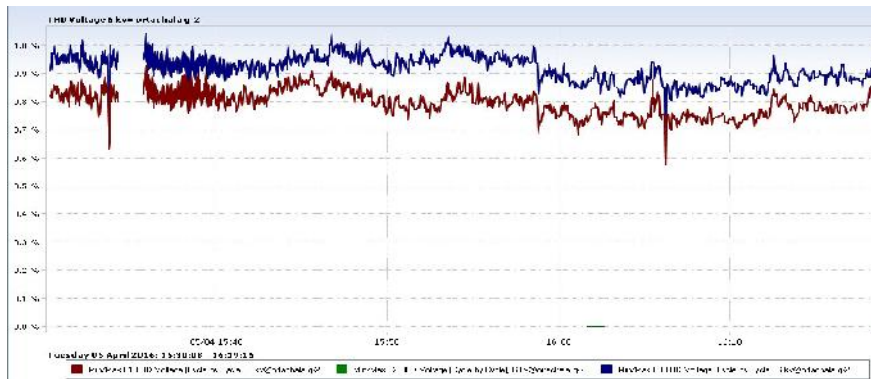


ნახ.4.29. ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვის ჰარმონიკული შედგენილობა

ნახ.4.29 - დან აშკარად ჩანს მესამე რიგის ჰარმონიკის არსებობა და ამასთანავე, მისი დიდი მნიშვნელობა. რამდენადაც ლიტერატურიდან ცნობილია, გენერატორებზე რომელთა გრაგნილები შეერთებულია

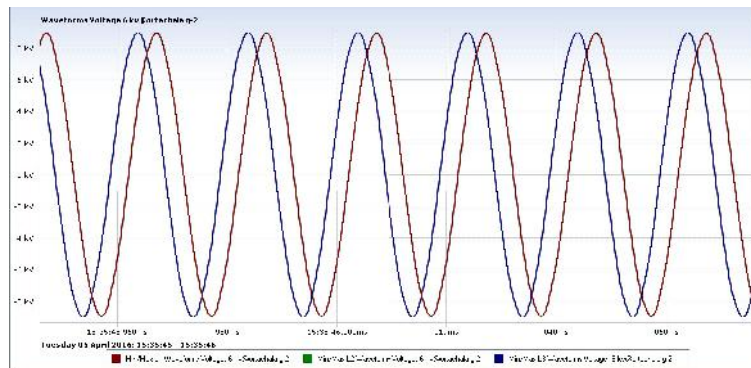
სამკუთხედად, მესამე და მისი ჯერადი ჰარმონიკები არ უნდა ფიგურირებდნენ, მით უმეტეს ასეთი მნიშვნელობით. ეს საკითხიც ცალკე კვლევის საგანია. აღსანიშნავია ასევე, რომ თავი იჩინა 23–ე და 25–ე ჰარმონიკებმა, რაც დამახასიათებელია გამმართველი მოწყობილობებისათვის, ხოლო გენერატორში გამმართველი მოწყობილობა არა გვაქვს.

შედარების მიზნით, 2016 წლის 5 აპრილს, ანალოგიური გაზომვები ჩავატარეთ ორთაქალკესის გენერატორზე, რომლის ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის დიაგრამა წარმოდგენილია ნახ.4.30 –ზე, საიდანაც ჩანს, რომ მისი მნიშვნელობა არ აღემატება 1,1 % –ს.



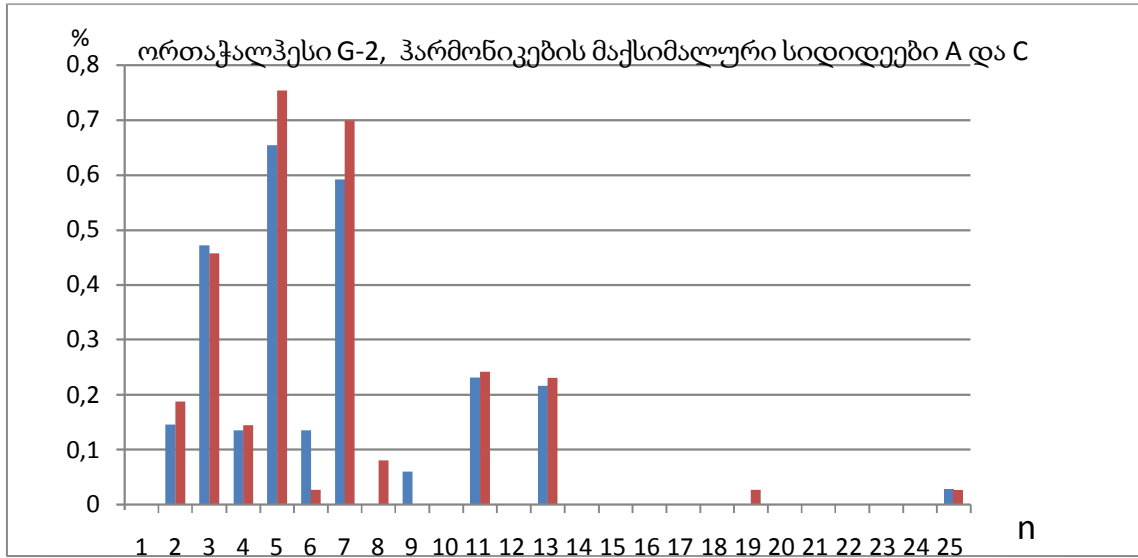
ნახ.4.30. ორთაქალკესის საგენერატორო ძაბვის ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტის დიაგრამა

ძაბვის სინუსოიდურობის სისუფთავეზე მეტყველებს ნახ.4.31 –ზე მოცემული სინუსოიდები. აქ წარმოდგენილია ორი ფაზის სინუსოიდა, რადგან მასზე დამონტაჟებული ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორადი გრავნილი მუშაობს გახსნილი სამკუთხედის რეჟიმში.



ნახ.4.31. ორთაჭალჭესის საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდები

ნახ.4.32-ზე მოცემულია ორთაჭალჭესის საგენერატორო ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი, საიდანაც ჩანს, რომ ფარავანჭესის საგენერატორო ძაბვასთან შედარებით მათი მნიშვნელობები გაცილებით ნაკლებია და არ აღემატება 1 % -ს.



ნახ.4.32. ორთაჭალჭესის საგენერატორო ძაბვის მაღალი რიგის

ჰარმონიკების სპექტრი

დიაგრამიდან ჩანს, რომ 3-ე რიგის ჰარმონიკის მნიშვნელობა არ აღემატება 0,5 %, 5-ე რიგის - 0,8 %-ს, 7-ე რიგის 0,7 %-ს. ფარავანჭესის და ორთაჭალჭესის აგრეგატზე ჩატარებული კვლევების შედეგების მიხედვით შეიძლება დავასკვნად, რომ საგენერატორო ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. შესაბამისად, მიზანშეწონილია რეკომენდაცია მიეცეს შესაბამის სტრუქტურებს 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 გამოყენებული იქნენ დოკუმენტაციის ყველა სახეობაში.

4. ჩატარებული ანალიზის შედეგად დადგენილია, რომ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ არსებულ ყველა სტანდარტში გათვალისწინებული არ არის ელექტროენერჯის 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 ნორმატიული დოკუმენტი ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესახებ.

6. ელწრედების თეორიის საფუძველზე, ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის დამუშავებულ იქნა მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ მარტივად გავანალიზოთ ელენერჯის წარმოებისა და მოხმარების ესა თუ ის მხარე.

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 ელენერგიის დანაკარგების გაზრდის მიზეზის განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

8. ჩატარებული კვლევებით 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 ის აღწევს 18 %-მდე.

9. დადგენილია, რომ დასაშვებ ნორმაზე ზევით ძაბვის დამახინჯება მიმდინარეობს $1,5 \div 2,5$ 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 ფარავანჭესის ჰიდროაგრეგატი თავიდანვე გამოიმუშავებს დამახინჯებული ფორმის ძაბვათა სამფაზა სისტემას, რაც მიგვანიშნებს ამ აგრეგატის კონსტრუქციის არასრულყოფილობაზე.

12. დადგენილია, რომ ორთაქალჭესის ჰიდროგენერატორი გამოიმუშავებს ძაბვათა „სუფთა“ სისტემას, რაც მისი კონსტრუქციის სრულყოფილობაზე მიუთითებს.

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

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

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. ГОСТ 13109 - 97. Нормы качества электрической энергии в системах электро-снабжения общего назначения.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1994.-264 е., ил.
4. Железко Ю.С. Влияние потребителей на качество электроэнергии в сети и технические условия его присоединения // Промышленная энергетика. - 1991. - № 8. - С. 39-40.
5. DC Side harmonic and filtering in HVDC transmission systems. Working Group14.03.Task Force 02.CIGRE, 1994.
6. Электрические сети сверх - и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы. В трех томах. Том 3. Электропередачи переменного тока специального исполнения. Электропередачи постоянного тока. Под общей реакции чл.-корр. РАН А.Ф.Дьякова. М: НТФ “Энергопрогресс” Корпорации “ЕЭЭК”, 2012 г.
7. Бушуев В.В., Красильникова Т.Г., Самородов Г.И. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока и их сравнительный анализ. Ж. Электро № 2, 2012 г. Стр.2-7.
8. Лысков Ю.И., Курносков А.И., Тиходеев Н.Н. Компактные линии электропередачи 330-750 кВ с опорами“ охватывающего“ типа // изв. А.Н.СССР. Энергетика и транспорт. 1984 . №4.
9. Самородов Г.И., Красильникова Т.Г., Зильбергман С.М., Яценко Р.А. Нетрадиционные электропередачи переменного тока повышенной надежности для передачи электроэнергии на дальние и сверхдальние расстояния // Энергетическая политика, 2003 вып.1.

10. Hjrowitz S.H. Phadke A.G. and Renz B.A. The Future of Power Transmission // IEEE Power and Energy, 2010, volume 8, №2.

11. Худяков В.В. Новая роль высоковольтной преобразовательной техники в энергосистемах // Электричество, 2009. №9.

12. CIGRE WG 14.20. Economic Assesment of HVDC Links, 2001. 71.pp.

13. Stewart J.S. Grant I.S. High Phase Order – Ready for Aplication. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-101 , No.6, 1982.

14. Постолатий В.М, Быкова Е.В. Эффективность применения управляемых самокомпенсирующихся высоковольтных линий и фазорегулирующих устройств трансформаторного типа // Электричество.2010.№2.

15. Самородов Г.И. Четырехфазные электропередачи // Изв. РАН Энергетика. 1995.№6.

16. Бушуев В.В., Самородов Г.И., Путилова А.Т. сверхдальние электропередачи полуволнового типа/ Изв.РАН Энергетика. 1995.№6.

17. современная электроэнергетика. Под ред. А.П.Бурмана и В.А. Строева. М.: издательский дом МЭИ.2008.

18. Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

19. საქართველოს კანონი “პროდუქციის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსის შესახებ”, თბილისი, 2012 წლის 8 მაისი. №6157 -ის.

20. საქართველოს კანონი „მომხმარებელთა უფლებების დაცვის შესახებ“. თბილისი, 1996 წლის 20 მარტი. N 151 - ის.

21. საქართველოს მთავრობის №434 დადგენილება „ტექნიკური რეგლამენტი ელსადგურებისა და ქსელების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების დამტკიცების შესახებ“. თბილისი, 2013 წლის 31 დეკემბერი.

22. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის №10 დადგენილება „ქსელის წესების შესახებ“. თბილისი. 2014 წლის 17 აპრილი.

23. საქართველოს მთავრობის დადგენილება „საქართველოს ტერიტორიაზე სამშენებლო სფეროს მარეგულირებელი ტექნიკური რეგლამენტების აღიარებისა და სამოქმედოდ დაშვების შესახებ“ საქართველოს

მთავრობის 2014 წლის 14 იანვრის №52 დადგენილებაში ცვლილების შეტანის თაობაზე. თბილისი, 2014 წლის 18 ივნისი.

24. ГОСТ 23875-88. Качество электрической энергии. Термины и определения.

25. საქართველოს კანონი „ელექტროენერგეტიკისა და ბუნებრივი გაზის შესახებ“. 1999 წელი 30 აპრილი.

26. საქართველოს კანონი „ენერგეტიკის შესახებ“ საქართველოს კანონის ძალადაკარგულად ცნობის თაობაზე. თბილისი, 2005 წლის 22 მარტი. №1123 -ის.

27. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПУЭ-7).

28. ГОСТ 30207-94. „Статические счетчики активной энергии (ватт-час) переменного тока“.

29. Российская федерация. Федеральный закон о техническом регулировании (с изменениями на 28 ноября 2015 г.)

30. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის 2008 წლის 18 სექტემბრის N 20 დადგენილებით „ელექტროენერჯის (სიმძლავრის) მიწოდებისა და მოხმარების წესების“ დამტკიცების შესახებ.

31. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: -М.: “Высшая школа”, 1984.-559 с.

32. Машкин А.Г. мощность искажения в системах тягового электроснабжения. Электрика, 2006. №6.

33. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. М. “Энергия”, 1975.

34. თ.მუსელიანი, დ.შარიქაძე, მ.გურგენიძე. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის მეთოდის არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში.

მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომათა კრებული. ქუთაისი. 18 ივნისი, 2015წ. გვ. 3–6.

35. 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.

36. Атабеков Г.А..Теоретические основы электротехники.Часть первая. Линейные электрические цепи. Москва. „Энергия“. 1978. стр. 420.

37. Беленький И.Я., Островерхов В.В., Тимиргалиев Р.А. Измерение полной мощности сети и ее составляющих в трехфазных электрических сетях с несимметричной и нелинейной нагрузкой. Ж. Приборы, № 8, 2012 г. стр.49-55.

38. IEEE Std 1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions.

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

40. 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.

41. МЭК 61000-4-30 2008. Электромагнитная совместимость Часть 4-30. Методы испытаний и измерений. Методы измерений качества электрической энергии.

42. სტანდარტი EN 50160 : 2010 „ელექტრო ენერჯიის ძაბვის მახასიათებლები, საზოგადოებრივი ელექტრული ქსელებით მიწოდებული ელექტროენერჯია“.

43. ГОСТ 32144-2013 (МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems).

44. დ.შარიქაძე. მაღალი რიგის ჰარმონიკების ნორმირების საკითხები საქართველოს და საზღვარგარეთ. ჟ. „ენერჯია“ N2(78) 2016 გვ.11-16.

45. Змазнов Е. Ю., Крайчик Ю. С., Минин В. Т., Сохранский А. С. Корона на проводах высоковольтных линий как источник третьей гармоники тока в электрических сетях // Электрические станции, 1989. — N 12. — С. 60–63. — ISSN: 0201-4564.

46. **Peek F. W.** Voltage and current harmonics caused by corona // Journal of the American Institute of Electrical Engineer, 1921. — Vol. 40, N 6. — Pp. 455– 461. — ISSN: 0360-6449.