

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნიკა ასპანიძე

ელექტრული ენერჯის ხარისხის გამაუარესებელი მომხმარებლების
იდენტიფიკაცია და მათი გავლენის შეზღუდვის ხერხები და გზები

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტექ. მეცნ. კანდიდატი გ. მახარაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
აუდიტორია 805.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. ელექტრო-ენერგეტიკულ სექტორისა და ელექტროინდუსტრიის განვითარებამ მნიშვნელოვანი გახადა ხარისხიანი ელექტროენერჯის წარმოება და მომხმარებლებისათვის მიწოდება. შესაბამისად უკანასკნელ წლებში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრომომხმარებელი ობიექტების ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრას. თანამედროვე ელექტროსისტემების უმნიშვნელოვანესია განვითარება და გაფართოება. ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგი/კონტროლი წარმოადგენს თანამედროვე გამოწვევას, რომლის აუცილებლობაც ქვეყნის ელექტროინდუსტრიის განვითარებამ და ზრდამ გამოიწვია. მრავალ სამრეწველო და კომერციულ მომხმარებელს გააჩნიათ აღჭურვილობა, რომელიც განსაკუთრებით მგრძობიარეა ელექტროსისტემაში არსებულ ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯებების მიმართ. აქედან გამომდინარე წარმოიშვება პირობა, რომელიც გულისხმობს ხარისხიანი ენერჯით მომარაგებას. ეს ყველაფერი ფართოდ არის დამოკიდებული გადამცემ და დისტრიბუციის სისტემებში ხარისხიანი ელექტროენერჯის არსებობაზე და მიმოცვლაზე, რომელიც თავისთავად დამოკიდებულია ელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული ელექტრული ენერჯის ხარისხზე. შესაბამისად დგება აუცილებლობა, რომ ნებისმიერ კვანძურ წერტილში, რომლებშიც ხდება ელექტრული ენერჯის მიმოცვლა, განხორციელდეს ხარისხის მონიტორინგი და კონტროლი. ამასთანავე, ჩამოყალიბდა ელექტროენერგეტიკის ახალი მიმართულება, რომელიც მოიცავს ელექტრული ენერჯის ხარისხის მონიტორინგს, ანალიზსა და კონტროლს.

სამუშაოს მიზანი. წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში ასახულია ელექტრო ენერჯის ხარისხის კონტროლის მექანიზმის ერთ-ერთი მაგალითი. კეროდ საქართველოს ელექტროსისტემის მძლავრი მომხმარებლების მქონე ზონის ქვესადგურებში 110 კვ ძაბვის საფეხურზე ჩატარებული ექპერიმენტული კვლევა. ჩატარებული სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს საკვლევი პერიმეტრის ელექტრული ენერჯის ხარის დაბინძურების დონის გამსაზღვრა, მოხდეს ქსელის დამახინჯების გამომწვევი მიზეზების აღმოჩენა (მათი არსებობის შემთხვევაში) და წაროჩინდეს

დონისძებები ელექტროსისტემის ქსელში ხარისხის დაბინძურების დონის შესამცირებლად ნორმის ფარგლებში ან/და სრულად აღმოსაფხვრელად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. მოცემულ ნაშრომის კვლევის ობიექტია საქართველოს ელექტროსისტემის ერთ-ერთი დიდი მოხმარების მქონე ზონაში, 110 კვ ძაბვის საფეხურზე ელექტრული ენერჯის ხარისხის დაბინძურების დონე. საკვლევ პერიმეტრზე შესაბამისი მოწყობილობებით განხორციელდება ზამთრისა და ზაფხულის მოხმარების პიკური დატვირთვის პერიოდში მონიტორინგი. მიღებული მონაცემების დამუშავდება ელექტრული ენერჯის ხარისხის ანალიზატორი პროგრამა „PQsecures“ საშუალებით. აგრეთვე შედეგების შეფასება მოხდება საქართველოში არსებული ქსელის წესებით მიღებული ნორმების მიხედვით.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და სიახლე. ბოლო წლებში ზოგადად მსოფლიოში და საქართველოშიც მკვეთრად გაიზარდა ელექტრო ენერჯის მოხმარება. ამასთანავე იმატა მუდმივი დენის ჩანარეთების, ნახევარგამტარულ ელემენტებზე დაფუძნებული ელექტრო-მოწყობილობების, მკვეთრად ცვალებად დატვირთვის მქონე მოწყობილობებისა და არასიმეტრიული მომხმარებლების რიცხვმა. ამ ყველაფერმა კი გამოიწვია ელექტროენერჯის ხარისხის დაბინძურების დონის ზრდა. აღნიშნული საკითხის გაკონტროლება/მონიტორინგი შესაძლებელია ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევის სახით.

შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში ჩატარებული ანალიზის შედეგების საფუძველზე შესაძლოა გაიცეს რეკომენდაციები საქართველოს ელექტროსისტემაში თუ, როგორ უნდა განხორციელდეს ელექტრო ენერჯის ხარისხის გამაუარესებელი მომხმარებლების იდენტიფიკაცია. აგრეთვე როგორ უნდა მოხდეს ხარისხის გამაუარესებელი მომხმარებლების ელექტროსისტემაზე გავლენის შეზღუდვა. ამჟამად საქართველოს ოთხ მეზობელ ელექტროსისტემასთან აქვს კავშირი და სისტემატიურად ახორციელებს ელექტროენერჯის ექსპორტ/ინმპორტს. თითოეულ მეზობელ სისტემასთან ენერჯის მიმოცვლის ერთერთი მთავარი პირობაა ხარისხიანი ელექტროენერჯის არსებობა საქართველოში და მისი კონტროლი. აგრეთვე აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ საქართველო სამომავლო უახლოესი პერსპექტივაა ჩაერთოს ევროპაში

ელექტროენერგიით ვაჭრობაში და ქვეყნის ელექტროსისტემა აქციოს ელექტროენერგის გამტარ, ტრანზიტორ სისტემად. შესაბამისად, აღნიშნულ პროცეში ერთ-ერთ ყველაზე რთულ დეტალს წარმოადგენს ევროპის ელექტროსისტემასთან ინტეგრაცია და მათთვის ელექტროენერგის ხარისხის მისაღები ნორმების შეთავაზება. ელექტრომომხმარებელთა ბაზაზე საქართველოს ელექტროსისტემაში არსებობენ მომხმარებლები, რომელთა გათიშვაც მუშა პროცესის გამო მიზანშეუწონელია. მაგალითად, რომ ავილოთ ლითონგადამამუშავებელი ქარხნები და მათი ელექტრო დანადგარები. რიგ შემთხვევებში ეს დანადგარები მუშაობს უწყვეტ რეჟიმში. კვლევებმა აჩვენა, რომ მსგავსი სახის მძლავრი მომხმარებლები განსაკუთრებით მგრძობიარენი არიან ელექტროენერგის ხარისხის პარამეტრების დარღვევის მიმართ. ელექტროენერგის ხარისხის ნორმების დარღვევით გამოწვეული ზარალი დიდ გავლენა აისახება ქვეყნის ინდუსტრიული თუ სასიცოცხლო მნიშვნელობის ნებისმიერ ობიექტზე. მათ შორის საავადმყოფოებსა და სხვა სასწრაფო დახმარების ობიექტებზე.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე, 1 საერთაშორისო კონფერენციაზე და წინასწარ დაცვაზე.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სტატია.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ.

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 106 გვერდის, მათ შორის 2 ცხრილს და 63 ნახაზს. იგი შეიცავს შესავალს, სამ თავს, დასკვნასა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

ნაშრომის I, II, III და IV თავები წარმოადგენს კვლევისა და ექსპერიმენტის შედეგებს. ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილების მიმართულება).

თავი 1. ელექტრო ენერჯის ხარისხი, მისი ნორმირების სტანდარტები

ელექტრო ენერჯის ხარისხი მნიშვნელობა.

უშუალოდ ელექტრული ენერჯის ხარისხი წარმოადგენს დენის, ძაბვის და სიხშირის მნიშვნელობების ნომინალურიდან გადახრით გამოვლენილ ნებისმიერი პრობლემას, რომელმაც შესაძლოა გამოიწვიოს მოწყობილობებისა და დანადგარების გაუმართაობა და დაზიანება. მისი გამომწვევი მიზეზია ნებისმიერი არასიმეტრიული და არასინუსოიდური მოვლენა თუ გადახრა. ხოლო უპირველეს მიზანს წარმოადგენს იყოს ელექტროენერჯის გამომუშავება, გადაცემა, განაწილება და მოხმარების სისტემების საუკეთესო პირობებში დაკავშირების ერთ-ერთი პირობა. ელექტრული ენერჯის ხარისხის მონიტორინგის სრულ ციკლს წარმოადგენს საჭირო (სასარგებლო) ინფორმაციის შეგროვება, ანალიზი და გაზომილი მონაცემების დამუშავებულად ინტერპრეტაცია. მონაცემთა შეგროვების პროცესი, როგორც წესი, ხორციელდება ძაბვის და დენის უწყვეტი გაზომვებით შესაძლო მაქსიმალური დისკრეტულობით აღიარებული სტანდარტის მოთხოვნების დაცვით. გაზომვის, ანალიზისა და ინტერპრეტაციის პროცესი ტრადიციულად ხორციელდებოდა კონკრეტული მოწყობილობის ინფორმაციის, ადამიანის მიერ დამუშავებით. მაგრამ ბოლო დროს მიღწეული პროგრესით შემუშავებულმა ავტომატურმა და ინტელექტუალურმა სისტემებმა შესაძლებელი გახადა დაუმუშავებელი მონაცემების ავტომატური ანალიზი და ინტერპრეტაცია, რადგან მოხდეს დაუმუშავებელი ინფორმაციის სასარგებლო ინფორმაციად გარდაქმა ადამიანის მინიმალური ჩარევით.

ენერჯის ხარისხის მონიტორინგი (PQM) არის ელექტრული მონაცემების შეგროვება, ანალიზი და გამოყენება ენერჯის ხარისხისა და სისტემის მუშაობის გასაუმჯობესებლად. ის უზრუნველყოფს ენერჯის მენეჯმენტს, ხარისხის კონტროლს, პრევენციულ მოვლას და მთლიანი ხარჯების გამოქვითვას. დღესდღეობით მომხმარებლებმა კარგად იციან ენერჯის ხარისხი და ელიან ეფექტურ ელექტრომომსახურებას. ამ მიზეზით, ელექტრო მოწყობილობები შემფოთებულია ენერჯის ხარისხის მონიტორინგით და იყენებენ ციფრული ხარვეზის ჩამწერებს, ჭკვიან რელეებს ან სხვა სპეციალური დანიშნულების დენის ხარისხის აღჭურვილობას. თანამედროვე ელექტროსადგურები რეგულარულად აკონტროლებენ მომხმარებლისთვის მიწოდებული ძაბვისა და დენების ხარისხს ენერჯის ხარისხის ოპტიმიზაციის მიზნით. ყველა ენერჯოსისტემამ უნდა გააუმჯობესოს მისი შესრულება, ეფექტურობა და გაახანგრძლივოს აღჭურვილობის სიცოცხლე.

ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლისა და მონიტორინგისათვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ელექტრულ ქსელში ხარისხის დამაბინძურებელი წერტილების აღმოჩენა. მიუხედავად იმისა ელექტრული ქსელის რომელ ნაწილს წარმოადგენს გამომმუშავებელს, მომხმარებელს თუ გადამცემს. შესაბამისად ელექტრულ ქსელში გვხვდება მრავალი კომპონენტი, რომლიც თავისმხრივ გარკვეულ გავლენას ახდენს ქსელის საერთო ხარისხის დაბინძურების დონეზე. ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის მიზნებს წარმოადგენს:

1. ელექტროსისტემის გამართულად და მდგრადად მუშაობა;
2. ახალი მომხმარებლისათვის საიმედო და მდგრადი ქსელის შეთავაზება მათი მოწყობილობების სტაბილურად მუშაობისათვის;
3. მოკლევადიანი მონიტორინგი გამოიყენება სპეციფიური მომხმარებლების სადგურების თვისებების განსასაზღვრად. შემდგომი ნომინალური ექსპლუატაციის შესაქმნელად;
4. ელექტრული ენერჯის ხარისხის მონიტორინგი საშუალებას გვაძლევს უკვე არსებული ელექტრული ენერჯის მომხმარებლებსა

და ენერჯის მიმწოდებელს შორის ნორმალური მუშაობის პირობების შესაქმნელად.

5. ელექტრული ენერჯის ხარისხის მონიტორინგით დამახინჯებების აღმოჩენა და მათ გამოსწორებაზე მუშაობის დაწყება;
6. ელექტრო სისტემის მოწყობილობების ნაადრევი დაბერების თავიდან არიდება.

ელექტრული ენერჯის ხარისხის მონიტორინგის ერთ-ერთ მიზნად შეგვიძლია აღვიქვათ, რომ გვეძლევა საშუალება ვიწინასწარმეტყველოთ გარკვეული სახის საშიშროებები, რომლებიც შესაძლებელია საფუძველი აღმოჩნდეს კატასტროფული შედეგების.

ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის საერთაშორისო სტანდარტები.

ელექტრული ენერჯის ხარისხის ანალიზისათვის და დარღვევის ზღვრების დასაფიქსირებლად შემოღებული იქნა სხვადასხვა სტანდარტები. შესაბამისად დროთა განმავლობაში მოხდა სტანდარტების და მათში დაფიქსირებული ზღვრების დამუშავება და ოპტიმალურად მორგება ელექტრული ქსელის ნორმალური მუშაობისათვის. საბოლოო ჯამში მოქმედებაში შევიდა და დამყარდა რამდენიმე სახის სტანდარტი, რომლებიც გამოცდილია და მიღებულია მოწინავე ქვეყნების მიერ, ესენია: IEEE, IEC და EN.

ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმები საქართველოში.

საქართველოში მოქმედ ელექტრული ქსელის წესებში ამჟამად არცერთი მოცემული სტანდარტი არ არის მიღებული. მაგრამ არსებობს გარკვეული ზღვრული შეზღუდვები კონკრეტული ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრების მიმართ, ესენია: სიხშირე, ნომინალური ძაბვა, ჯამური და რიგობრივი ჰარმონიკული დამახინჯება, ძაბვის ასიმეტრია, ძაბვის რხევა და სინათლის ციმციმი.

თავი 2. ნაშრომის ძირითადი კვლევა

ნაშრომი მოიცავს ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებს, რომლებიც ჩატარდა სადისერტაციო სამუშაოს კვლევის ძირითად ობიექტებზე. მოცემული ნაშრომის

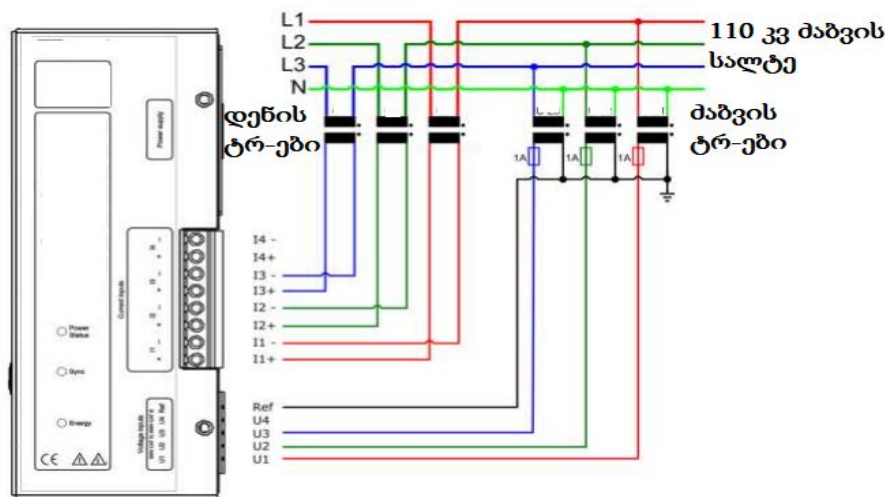
კვლევის ძირითად მიზანს წარმოადგენს საქართველოში, ქალაქ თბილისის შემოგარენში ელექტროსისტემის 110 კვ ძაბვის საფეხურის ქსელის ელექტრული ენერჯის ხარისხის ჯამური დამახინჯების დონის გამოკვლევა. ექსპერიმენტული გაზომვები ჩატარდა ექსპლუატაციაში მყოფ ოთხ ქვესადგურში, რომლებსაც პირობითად ქვიათ A, და B ქვესადგურები.

ექსპერიმენტალური კვლევის მიზანია საქართველოში ყველაზე მჭიდროდ დასახლებული და ფართოდ ინდუსტრირებული ტერიტორიის ელექტრული ენერჯის ხარისხის ღრმა კვლევა და ხარისხის დამახინჯების ნორმის განსაზღვრა.

კვლევა ერთდროულად ყველა ქვესადგურში განხორციელდა საქართველოს ელექტროსისტემაში 2021 წლის ზაფხულის პერიოდის პიკური დატვირთვის დროს, კერძოდ ივლისის თვეში და საქართველოს ელექტროსისტემაში 2022 წლის ზამთრის პერიოდის პიკური დატვირთვის დროს, კერძოდ იანვრის თვეში. ყველა მოწყობილობა კვლევის პერიოდში იყო სინქრონიზირებული.

ექსპერიმენტალური კვლევისათვის გამოყენებული იქნა UP 2210 – III ტიპის ელექტრული ენერჯის ხარისხის სამონიტორინგო მოწყობილობება რომელიც მონიტორინგს ახორციელებს განსაზღვრულია EN50160 სტანდარტის საშუალებით. ამასთანავე ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული შედეგები შეფასდა 2014 წლის 17 აპრილს საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის № 10 დადგენილებით მიღებულ „ქსელის წესებს“, რომელიც შესაბამისად განსაზღვრავს საქართველოს ელექტრო სისტემის მონაწილეთა მიერ გადამცემი ქსელის განვითარების, მართვის, ხელმისაწვდომობისა და უსაფრთხო სარგებლობის პროცედურებს, პირობებს, პრინციპებსა და სტანდარტებს.

ელექტრული ენერჯის ხარისხის სამონიტორინგო მოწყობილობა დაერთებულია 110 კვ ძაბვის საფეხურზე მზომი დენისა და ძაბვის ტრენსფორმატორების მეორად წრედებში. კერძოდ ციფრული დაცვისა და ავტომატიკის ციფრულ. პანელებში. ქვემოთ მოცემულია მოწყობილობის დაერთების სქემა (ნახ.1).



ნახ. 1. ელექტრული ენერჯის ხარისხის სამონიტორინგო მოწყობილობის დაერთების სქემა

ჰარმონიკები.

იდეალურ შემთხვევაში ელექტრო სისტემაში შემავალი გენერატორები უზრუნველყოფენ 50/60 ჰერცი სიხშირის სინუსოიდური ძაბვის გენერაციას და ძლიერი დატვირთვის რეჟიმშიც კი, გენერატორში გამავალი დენის ფორმა არ განსხვავდებოდეს სინუსოიდისაგან. 50/60 ჰც ძაბვას ვუწოდებთ ძირითად შემდგენს ანუ ფუნდამენტურ (ძირითად) ჰარმონიკას.

ელექტრული მოწყობილობების უმრავლესობა მოქმედებს მკვებავი ცვლადი ძაბვის განმეორებადი (პერიოდული) ბუნებიდან გამომდნარე. ასეთი მოწყობილობა შესაძლოა გამოიმუშავებდეს მკვებავი სინუსოიდური ძაბვის ნულზე გადასვლასთან დაკავშირებულ სინქრონულ დროით სიგნალებს. 50/60 ჰც-იანი სისტემისათვის ცვლადი ძაბვა და დენი ყოველ ნახევარ პერიოდში უნდა კვეთდეს ნულს. თუ ცვლადი ძაბვის ან დენის სინუსოიდა ყოველ ნახევარ ციკლში ერთხელ არ გადაკვეთს ნულს მაშინ აღნიშნული მოწყობილობის ნორმალური ფუნქციონირება დიდი ალბათობით დაირღვევა. ელექტროსისტემა ძაბვის ფუნდამენტალური ჰარმონიკის გარდა შეიცავს განსხვავებული სიხშირის მქონე კომპონენტებსაც. მეორე ნახაზზე ნაჩვენებია დამახინჯებული ძაბვის ფორმა, რომლის მსგავსიც შეიძლება წარმოქმნას ნებისმიერ ელექტროსისტემაში.

ჰარმონიკები კლასიფიცირდებიან შემდეგ ნაწილებად:

1. ინდივიდუალური ჰარმონიკები წარმოადგენს ნომინალურზე (50/60 ჰც) მეტი სიხშირის მქონე კომპონენტებს. ისინი იყოფიან კენტი და ლუწი რიგის ჰარმონიკებად. როგორც წესი მათი სიხშირე გამოითვლება ინდივიდუალური ჰარმონიკის რიგისა და ნომინალური სიხშირის ნამრავლით. მაგ. მეორე რიგის ჰარმონიკს აქვს 100ჰც სიხშირე, მესამე რიგისას 150 ჰც და ა. შ.

2. ჰარმონიკული გავლენით სინუსოიდური ტალღის დამახინჯების ხარისხის განსაზღვრისათვის გამოიყენება კოეფიციენტი, რომელსაც ჯამური დამახინჯების კოეფიციენტს, THD(Total Harmonic Distortions) ვუწოდებთ. იგი გამოითვლება მრუდში შემავალი მაღალი რიგის ჰარმონიკების ამპლიტუდების კვადრატების ჯამიდან კვადრატული ფესვის შეფარდებით ფუნდამენტალური შემადგენლობის ჰარმონიკასთან.

$$THD = \frac{\sqrt{f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + \dots + f_n^2}}{f_1}$$

3. ინტერჰარმონიკები წარმოადგენს ჰარმონიკულ დამახინჯებებს, რომლებსაც გააჩნიათ არამთელი 1-ზე მეტი ინდივიდუალური რიგი. შესაბამისად მათი სიხშირე არაკანონზომიერია და შეიძლება იყოს 70, 80, 130 ჰც და ა. შ.

4. საბჰარმონიკები წარმოადგენს ჰარმონიკულ დამახინჯებას, რომელთა ინდივიდუალური რიგი მოთავსებულია 0-დან 1-მდე შუალედში. შესაბამისად საბჰარმონიკების სიხშირე მოთავსებულია (50 ჰც ნომინალური სიხშირის დროს) 0 ჰც-დან 50 ჰც-მდე.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ჰარმონიკული დამახინჯება დამახასიათებელია როგორც დენის აგრეთვე ძაბვის სინუსოიდებისათვის. მათი ძირითადი გავლენა ელექტრული ენერჯის ხარისხზე არის ნომინალური სიხშირისაგან (50/60 ჰც) განსხვავებული კომპონენტების არსებობა, რომლებიც ცვლადი დენისა და ძაბვის სინუსოიდების ფორმირების დამახინჯებას იწვევს.

ძაბვის უბალანსობა.

ძაბვის უბალანსობა (ან დისბალანსი) განისაზღვრება (IEEE- ს მიერ), როგორც უარყოფითი ან ნულოვანი მიმდევრობის კომპონენტის თანაფარდობა დადებითი მიმდევრობის კომპონენტის მიმართ. მარტივი თვალსაზრისით, ეს არის ძაბვის ცვალებადობა ელექტრო სისტემაში, სადაც ძაბვის სიდიდე ან ფაზური

ძვრის კუთხეები არ არის თანაბარი. აქედან გამომდინარე აღნიშნული ელექტრული ენერჯის ხარისხის პრობლემა მრავალფაზურ სისტემებში (მაგალითად სამფაზა სისტემებში). ძაბვები იშვიათად არის ზუსტად დაბალანსებული ფაზებს შორის. თუმცა, როდესაც ძაბვის უბალანსობა გადაჭარბებულია, მას შეუძლია შექმნას პრობლემები მრავალფაზიანი ძრავებისთვის და სხვა დატვირთვებისთვის.

უბალანსო სისტემები მიუთითებენ უარყოფითი (უკუ) მიმდევრობის არსებობას, რაც საზიანოა მრავალფაზა დატვირთვებისთვის, განსაკუთრებით სამფაზა მანქანებისათვის. ძირითად ეფექტს წარმოადგენს ელექტრო მოწყობილობების (ძირითადად მბრუნავი მანქანების) გადახურებით დაზიანება. ძაბვის უბალანსობას შეუძლია შექმნას დენის უბალანსობა თავისზე 6-10-ჯერ დიდი. თავის მხრივ, დენის უბალანსობა იწვევს ელექტრო ძრავების გრაგნილებზე გადახურებას, რომელიც ამცირებს იზოლაციას, შედეგად ვიღებთ მოწყობილობების ნაადრევ დაბერებას და მუდმივ დაზიანებას. ქვემოთ მოცემულ გრაფაში გვიჩვენებს ძაბვის უბალანსობისა და ტემპერატურის ზრდის ურთიერთდამოკიდებულებას.

ძაბვის უბალანსობა შეიძლება განისაზღვროს, როგორც სამი ფაზის საშუალო ძაბვის მაქსიმალური გადახრა ფაზების მნიშვნელობებისგან, შეფარდებული სამი ფაზის ძაბვის საშუალო მნიშვნელობასთან, პროცენტებში.

$$U_{\%} = \frac{U_{\max/\min} - (U_A + U_B + U_C/3)}{U_A + U_B + U_C/3} * 100\%$$

ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის სტანდარტებისა და აგრეთვე საქართველოს ტერიტორიაზე „ქსელის წესები“-ს მიხედვით ელექტრომომარაგების ქსელში ძაბვის უბალანსობის ზღვარს, ანუ ნულოვანი და უკუ მიმდევრობის ძაბვის შემდგენების სიდიდეს წარმოადგენს ძაბვის პირდაპირი შემდგენის 1%.

სინათლის ციმციმი (Flicker PST; PLT);

ელექტრო და ელექტრონიკის ინჟინერთა ინსტიტუტის აღწერით ძაბვის ხშირი გადაბმული რხევათა სერია ზღვრული მნიშვნელობებიდან, როდესაც ძაბვის ცვალებადობა მერყეობს ნომინალური ძაბვის 0,1%-დან და 7%-მდე 25 ჰც-ზე ნაკლები სიხშირით. არსებითად შეიძლება განისაზღვროს ყველაზე მნიშვნელოვან

ელექტრული ენერჯის ხარისხის პრობლემად სხვადასხვა განათების წყაროების სინათლის გამომუშავებისას. რომელსაც ეწოდება ციმციმი. ზოგადად შეგვიძლია აღვწეროთ როგორც გამოხატულება ვიზუალური აღქმის არასტაბილურობის, განხორციელებული სინათლის წყაროს ცვალებადი, ციმციმისებური ნათების ზეგავლენით, რომლის სიკაშკაშეც დროთა განმავლობაში იცვლება.

ამჟამად, ძირითადი პარამეტრები რომლებიც განსაზღვრავს სინათლის ციმციმს არის მოკლევადიანი ციმციმი, რომელიც მოიცავს 10 წუთიანი გაზომვების ანალიზს (PST) და გრძელვადიანი ციმციმი, რომელიც მოიცავს 60 წუთიანი გაზომვების ანალიზს (PLT). ეს პარამეტრები გულისხმობს ძაბვის რხევის ეფექტს განათებაზე და მის გავლენას ადამიანის მხედველობაზე.

სინათლის ციმციმის გაზომვები პირველ რიგში შეესაბამება მიწოდების ხარისხის შეფასებას, შედარებით არსებული ციმციმის დონის გაზომვის წერტილში საერთაშორისო სატანდარტებისათვის. ხოლო მეორე გაზომვას წარმოადგენს მოწყობილობების სავარაუდო ზეგავლენის გაზომვა და განსაზღვრა მათ ბაზარზე გატანამდე.

სინათლის ციმციმი მიჩნეული როგორც ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი შედეგი ძაბვის რხევის, რადგან მას შეუძლია გავლენა მოახდინოს მომუშავე პერსონალის გარემოზე, შედეგიანობაზე და შექმნას სამუშაოზე დაბალი კონცენტრაციის დონე. ამასთანავე ციმციმს შეუძლია გამოიწვიოს ელექტრო მოწყობილობების დაძველების დაჩქარება რომელიც თავისთავად დაკავშირებულია ფინანსებთან. განსაკუთრებით მგრძობიარენი არიან ციმციმის მიმართ მუდმივ ძაბვაზე მომუშავე მოწყობილობები (მაგალითად სამედიცინო ლაბორატორიები).

ამ ეტაპზე პარამეტრები რომლებიც განსაზღვრავს სინათლის ციმციმს არის მოკლევადიანი ციმციმი, რომელიც მოიცავს 10 წუთიანი გაზომვების ანალიზს (PST) და გრძელვადიანი ციმციმი, რომელიც მოიცავს 60 წუთიანი გაზომვების ანალიზს (PLT). ეს პარამეტრები გულისხმობს ძაბვის რხევის ეფექტს განათებაზე და მის გავლენას ადამიანის მხედველობაზე.

სიხშირე და მისი სიხშირის ფარდობითი გადახრა.

ელექტროსისტემაში სიხშირის გადახრა წარმოადგენს ელექტრომომარაგების ქსელში სხვაობას რეალურ სიხშირესა f და მის ნომინალურ $f_{\text{ნომ}}$ მნიშვნელობებს შორის და განისაზღვრება ტოლობით:

$$\delta f = f - f_{\text{ნომ}}$$

ელექტროსისტემაში ცვლადი დენის სიხშირე განისაზღვრება ელექტროსადგურების გენერატორების ბრუნვის სიჩქარით. საქართველოს ელექტროსისტემაში სიხშირის ნომინალური მნიშვნელობა 50 ჰც შეიძლება უზრუნველყოფილი იყოს აქტიური სიმძლავრის რეზერვის არსებობის პირობებში. ელექტრულ სისტემაში დროის ყოველ მომენტში უნდა იყოს უზრუნველყოფილი ელექტროსადგურის გენერატორების სიმძლავრეებსა და დატვირთვების მიერ მოხმარებულ სიმძლავრეებს შორის ტოლობა (ბალანსი) ელექტრულ ქსელში გადაცემაზე სიმძლავრის დანაკარგების გათვალისწინებით.

ძაბვის ცვლილება (ვარიაცია) (voltage variation).

ძაბვის ცვლილებები ხდება მრავალ ფორმით და თითოეულ მათგანს გააჩნია თავისი შესაბამის ტექნოლოგია. ძაბვის ცვლილება არის გადახვევა ნომინალური ძაბვის მნიშვნელობიდან, რომელიც მიმდინარეობს მცირე პერიოდის (მილიწამებიდან წამებში) ან დიდი პერიოდის განმავლობაში (უფრო მეტი ვიდრე ერთი წუთი). მოკლევადიანი ძაბვის ცვლილება უმეტესად თავს იჩენს, როგორც ძაბვის სინუსოიდის რამდენიმე პერიოდიანი ჩაზნექვა ან ამოზნექვა და ძაბვის სინუსოიდის მყისიერი ჩაზნექვა ან ამომხექვა. ხოლო გრძელვადიანი ძაბვის ცვალებადობა თავს იჩენს, როგორც ძაბვის რხევები, ძაბვის ვარდნები, გადაძაბვა და ძაბვის შეწყვეტა. ძაბვის ცვლილება წარმოადგენს შედეგს გადამცემი და განაწილების ქსელის ხარვეზებისა და დატვირთვის პრობლემებს.

ძაბვის ცვალებადობის გამო ყველაზე განმეორებადი პრობლემები შეიძლება იყოს გამორთვა და/ან ანომალიები პროცესებში/მოწყობილობაში, ელექტროენერჯის ელექტრონიკის დაცვის ჩარევები, სისტემის კომპონენტების დაზერება, ელექტრონული მოწყობილობების გაუმართაობა და ა.შ. ამრიგად, მიწოდების ძაბვის ამპლიტუდა შეიძლება ხასიათდებოდეს როგორც გაზრდით (ზედმეტად) და შემცირებით (დაბალძაბვა), რომლებიც ხდება შემთხვევით,

ხანგრძლივობით, რომელიც იცვლება დროთა განმავლობაში სისტემის პირობებთან და ელექტრო განაწილებასთან დაკავშირებით.

ძაბვის წყვეტა (Voltage interruptions).

კონკრეტულ წერტილებში ძაბვის წყვეტა იჩენს თავს, როდესაც მნიშვნელობა ეცემა ნომინალურის 10 %-მდე და უფრო ნაკლებზე პერიოდიდან (0,02 წამი) 60 წამადე ინტერვალში. წარმოქმნის მიზეზებია: იზოლაციის გარღვევა, გაუმართავი დამიწება და იზოლატორების გარღვევა.

ძაბვის და დენის სინუსოიდის ანომალიები (sag, swell, notch).

ძაბვისა და დენის სინუსოიდების ანომალიები ძირითადი წარმომქმნელი მიზეზებია ამინდი, მოკლედ ჩართვა, სისტემის გადატვირთვა პიკურ დონემდე და ელექტრო ძრავის გაშვება. მათი ხანგრძლივობა გრძელდება ერთიდან რამდენიმე ციკლის (პერიოდის 0,02 წმ) განმავლობაში. მათ დასაფიქსირებლად აუცილებელია განსაკუთრებით მგრძობიარე და მაღალი კლასის ელექტრული ენერჯის ხარისხის სამონიტორინგო მოწყობილობების გამოყენება. სინუსოიდის ანომალიების მცირე რაოდენობა ელექტროსისტემაში არ იწვევს რაიმე სახის გართულებებს და ისე შეუმჩნეველია ღრმა კვლევების ცატარების გარეშე. მაგრამ მათი რაოდენობის უკონტროლო და უზომოდ ზრდა უკვე პირდაპირი საფრთხე მაშტაბური ვაგარიული სიტუაციების წარმოსაქმნელად ან მცირე ავარიული დიტუაციის გასამძაბრებლად.

ძაბვის სინუსოიდის ღრიჩოები (voltage notch).

ძაბვის სინუსოიდის ღრიჩოები შეიძლება აღიწეროს, როგორც გარემოება როდესაც ცვლადი ძაბვის სიდიდე ეცემა ნულამდე მცირე პერიოდის განმავლობაში (ჩვეულებისამებრ მიკროწამების განმავლობაში).

გამომწვევი მიზეზები:

ძაბვის სინუსოიდის ღრიჩოები უპირველეს ყოვლის გამოწვეულია სამფაზიანი ბოგური განმართველი ან კონვერტორი რომლებიც წარმოქმნიან მუდმივ დენს. აღნიშნულ მოვლენას ადგილი აქვს სხვადასხვა ფაზების დაკავშირებისას და ფაზათშორის მოკლემერთვების დროს. გარდა ამის სიღრმისეული ჩავარდნა სისტემის ნებისმიერ წერტილში ინდუქციური გავლენის შედეგია. შესაბამისად დამახინჯების ჩავარდნის კუთხე ჩავთვალოთ კომუტაციის კუთხედ.

$$\mu = \cos^{-1}(\cos a - (X_s + X_t)I_{dc}) - a$$

$$\cos \mu = 1 - \left(\frac{2E_x}{E_{d0}}\right)$$

სადაც: μ - კომუტაციის კუთხეა; a - ძვრის კუთხეა; X_s - სისტემის რეაქტიული წინაღობა კონვერტორის ბაზაზე ერთეულში; X_t - კონვერტორის ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობა კონვერტორის ბაზაზე ერთეულში; I_{dc} - მუდმივი დენი კონვერტორის ბაზაზე ერთეულებში; E_x - რეალური მუდმივი ძაბვის; E_{d0} - თეორიული მუდმივი ძაბვა.

ეფექტები:

ძაბვის სინუსოიდის ღრიჩოები წარმოადგენს ჰარმონიკულ და არაჰარმონიკულ სიხშირეებს რომლებიც უფრო მაღალია ვიდრე ისინი რომლებიც აღმოჩენილია მაღალი ძაბვის სისტემებში. ჩვეულებრივ ეს სიხშირეები არიან რადიო სიხშირეების მაჩვენებელში, რომლებიც იწვევენ უარყოფით ეფექტებს როგორებიცაა სიგნალის შეფერხება ლოგიკურ და საკომუნიკაციო სქემებში.

ძაბვის უეცარი მატება რამდენიმე პერიოდის განმავლობაში (voltage swell).

ძაბვის უეცარი მატება წარმოადგენს ნომინალური მნიშვნელობიდან მყისიერ ზრდა მცირე ხანგრძლივობით. ეს ჩვეულებრივ გამოწვეულია ამომრთველებისა და გამთიშველების მოქმედების შედეგად გამოწვეული რკალის ანთებით.

ძაბვის უეცარი ჩავარდნა რამდენიმე პერიოდის განმავლობაში (Voltage sag).

ძაბვის უეცარი ჩავარდნა წარმოადგენს გარკვეულ მცირე პერიოდიან ძაბვის მნიშვნელობის საშუალო მნიშვნელობის ჩავარდნას, რომლის ჩავარდნის დონე მერყეობს ნომინალური მნიშვნელობის 10%-დან 90%-მდე IEEE სტანდარტის მიხედვით (ხოლო EN 50160 სტანდარტის მიხედვით 1%-დან 90%-მდე ნომინალური ძაბვის). ძაბვი უეცარი ჩავარდნის ხანგრძლივობა მერყეობა 1/2 პერიოდიდან (0,01 წამი) 1 წუთამდე. შესაბამისად ძაბვი ჩაზნექვის ხანგრძლივობას ყოფენ სამ კატეგორიად.

1. მყისიერი - 1/2 პერიოდიდან 30 პერიოდის ხანგრძლივობის;
2. წუთიერი - 30 პერიოდიდან 3 წამამდე ხანგრძლივობის;
3. დროებითი - 3 წამიდან 1 წუთამდე ხანგრძლივობის.

K ფაქტორი.

K ფაქტორი წარმოადგენს საზომ ერთეულს ჰარმონიკული დატვირთვის დენების ეფექტს ტრანსფორმატორების გადახურებაზე. რომლის მნიშვნელობაც მერყეობს 1-დან 50-მდე და დასაშვები ნორმაა 1. როდესაც არასიმეტრიული დატვირთვა მიეწოდებელია ტრანსფორმატორიდან, საჭიროა მისი განტვირთვა მისი გადახურებისა და იზოლაციის გარღვევისაგან თავის ასარიდებლად. გრიგალური დენების და ტრანსფორმატორში ჰარმონიკული დანაკარგების ზრდა იწვევს დამატებით სითბოს გამოყოფას გრაგნილებში, რომლის ინდიკაცია ხდება K ფაქტორით. ტრანსფორმატორების მწარმოებელ ქარხანაში განისაზღვრება ტრანსფორმატორების ნომინალურ სიმძლავრეს, რომლის დროსაც K ფაქტორი ტოლი იქნება ერთის. შესაბამისად K ფაქტორის გაზრდის შემთხვევაში შეუძლებელია ტრანსფორმატორის ნომინალურად დატვირთვა, რადგან იწვევს გადახურებას და იზოლაციის დარღვევას.

K ფაქტორი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$\frac{\sum_{1}^{34} (i_h * h)^2}{\sum_{1}^{34} i_h^2}$$

სადაც h წარმოადგენს ჰარმონიკების რიგს.

საქართველოში მოქმედ ქსელის წესებში არ არის გათვალისწინებული მისი ზღვრები. შესაბამისად მისი შეფასება მოხდება ლიტერატურიდან გამომდინარე.

თავი 3. ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრების ნორმის ფარგლებში შენარჩუნების ხერხები

ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრების ნორმირების დონის გასაკონტროლებლად გამოიყენებენ სხვადასხვა სახეობის ელექტრო მოწყობილობებს ან/და ფილტრებს.

გადამეტაბვისგან დამცავი მოწყობილობა: მოწყობილობა, რომელიც იცავს ელექტრო აღჭურვილობას ძაბვის პიკური ზვავებისგან, ცნობილია როგორც გადამეტაბვისგან დამცავი, ჩამხშობი. როდესაც ხდება ძაბვის სწრაფი ზრდა, მოწყობილობა ამოიცნობს ასეთ ზრდას და ზღუდავს ძაბვის დონეს იმ სიდიდემდე,

რომელიც შეიძლება გადაიტანოს სისტემის მიერ გადაჭარბებული ენერჯის დაცლით მიწაზე.

ძაბვის რეგულატორები: მოწყობილობა, რომელიც ავტომატურად ინარჩუნებს მუდმივ ძაბვის დონეს, ცნობილია როგორც ძაბვის რეგულატორი. იგი აწარმოებს ფიქსირებულ გამომავალ ძაბვას, მიწოდებული შეყვანის ან დაკავშირებული დატვირთვის შესაბამისად.

გარდამავალი პროცესისგან დაცვა: ელექტრონული მოწყობილობა დაცული უნდა იყოს გარდამავალი ფაქტორებისგან არასიმეტრიული დენის ჩახშობის ან მისგან დამცავი მოწყობილობებით. ასიმეტრიული დენის ჩახშობი შეიძლება დამონტაჟდეს მიერთების წერტილში, სადისტრიბუციო პანელებზე და ცალკეულ დატვირთვებზე მგრძობიარე ელექტრონული აღჭურვილობის დასაცავად.

მაღალი ძაბვის რეზონანსული სქემები: შეიძლება გამოყენებულ იქნას ინდუქციურ დატვირთვებზე, რათა ჩაახშოს გარდამავალი პროცესი, რომელიც ბუნებრივად წარმოიქმნება დატვირთვის გამორთვისას. ტიპური მაღალი ძაბვის რეზონანსული სქემები იყენებენ რეზისტორ-კონდენსატორის (RC) წრედს, ლითონის ოქსიდის ვარისტორს ან დიოდს.

სიმძლავრის კოეფიციენტის გასწორება: დაბალი სიმძლავრის კოეფიციენტი შეიძლება გამოსწორდეს კონდენსატორის ბანკების გამოყენებით ინდუქციური დატვირთვების გასანეიტრალებლად. ბანკები შეიძლება განთავსდეს თითოეულ ინდუქციურ დატვირთვაზე, ან ისინი შეიძლება დამონტაჟდეს ზევით ძრავების ჯგუფის დასაცავად, ან ერთი კომპენსაციის სისტემა შეიძლება დამონტაჟდეს ინსტალაციის დასაწყისში. ყველა შემთხვევაში, კონდენსატორის ბანკები ასწორებენ სიმძლავრის კოეფიციენტს ბანკის ზემოთ, მაგრამ არა ქვემოთ.

სინქრონული კომპენსატორების გამოყენება: სინქრონული ძრავები შეიძლება გამოყენებულ იქნას სისტემის სიმძლავრის კოეფიციენტის მუდმივი კორექტირებისთვის სინქრონული ძრავის ველის აგზნების რეგულირებით. ძრავა შეიძლება შეიქმნას ისე, რომ მოიქცეს ცვლადი კონდენსატორის მსგავსად, მოწყობილობა, რომელსაც სინქრონული კომპენსატორი ეწოდება.

არაფაზირებული დატვირთვების დასტაბილურება: დისბალანსის გამოსწორება შესაძლებელია ერთფაზიანი დატვირთვების გადანაწილებით

სხვადასხვა სქემებზე, რათა მინიმუმამდე დაიყვანოს მაქსიმალური დისბალანსი გარკვეული პერიოდის განმავლობაში, როგორცაა მთელი კვირა.

ჰარმონიკული ფილტრები: შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჰარმონიკული დამახინჯების დასაშვებ დონემდე შესასუსტებლად. ჰარმონიკული ფილტრის თითოეული ეტაპი შედგება კონდენსატორებისგან, ინდუქტორებისგან და რეზისტორებისგან, რომლებიც შექმნილია გარკვეული ჰარმონიკული სიხშირის შესუსტებისთვის. ფილტრები არის მოწყობილობები, რომლებიც გამოიყენება სისტემაში არაწრფივი დატვირთვების შედეგად წარმოქმნილი ჰარმონიკების მოსაშორებლად. ფილტრები მოთავსებულია არაწრფივი დატვირთვების მახლობლად, ისინი ან გვერდს უვლიან ჰარმონიკულ დენებს ან ბლოკავს ჰარმონიკას ენერგოსისტემაში შესასვლელად.

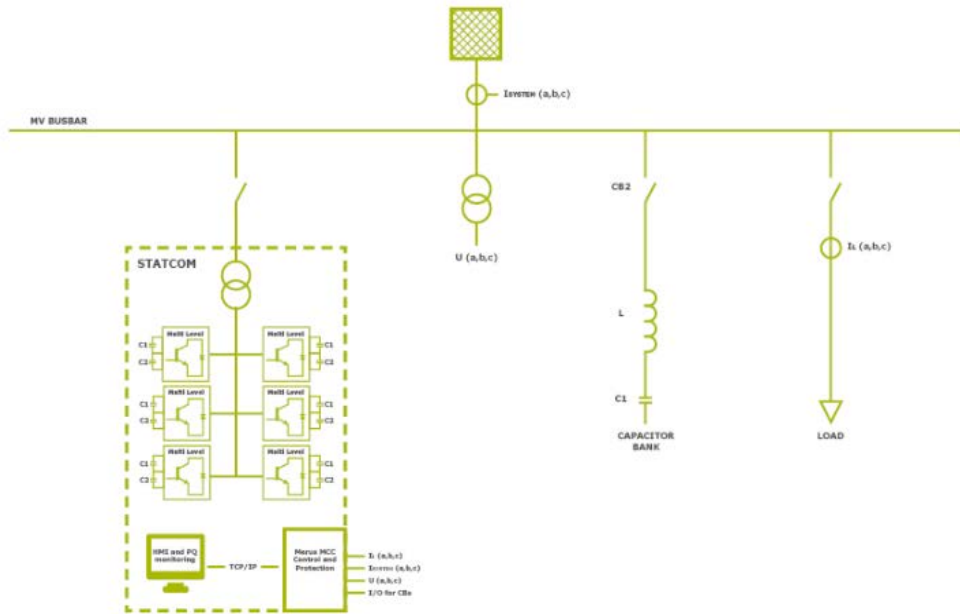
უწყვეტი ელექტრომომარაგება (UPS): არის ელექტრო მოწყობილობა, რომელიც მუშაობს როგორც სარეზერვო და უზრუნველყოფს სისტემის მიწოდებას გადაუდებელი ან ძირითადი დენის უკმარისობის დროს.

კონდენსატორთა ბანკის გამოყენება მაღალი ძაბვის საფეხურზე ძაბვის ვარიაციის გასასწორებლად. განსაკუთრებით დიდ დანადგარებზე რეკომენდირებულია ფაქტობრივი ოპერაციული პირობების შემოწმება და შედარება იმ სავარაუდო პირობებთან, რომლებისთვისაც შეიქმნა კონდენსატორის დანადგარები, რათა უზრუნველყონ, რომ ისინი არ განსხვავდებოდეს დასაშვებ ზღვარზე მეტით. ეს იმიტომ ხდება, რომ კონდენსატორი ძალიან მგრძობიარეა ზოგიერთი სამუშაო პირობების მიმართ, როგორცაა ძაბვის რყევები და სისტემაში ჰარმონიკული დამახინჯების დონე.

სინქრონული სტატიკური კომპესატორი არის უკიდურესად სწრაფი და საიმედო სისტემა, რომლის რეაგირების დრო 1 მილიწამზე ნაკლებია. ამ ცალკეულ მოწყობილობას შეუძლია გადაჭრას მომხმარებლის სხვადასხვა გამოწვევა, მათ შორის ძაბვის ცვალებადობის მინიმალიზაცია და ციმციმის შერბილება, რომელიც გამოწვეულია მძიმე ინდუსტრიული დატვირთვით, როგორცაა ელექტრული რკალის ღუმელები, მაღაროს სახვევები, ნავსადგურის ამწეები და ექსკავატორები და სხვა. იგი კლასიფიცირებულია მოქნილი ცვლადი დენის გადამცემი სისტემის

მოწყობილობებით. ტექნოლოგია დაფუძნებულია ნახევრადგამტარი ელემენტებით მოდულური მრავალი დონის კონფიგურაციაში.

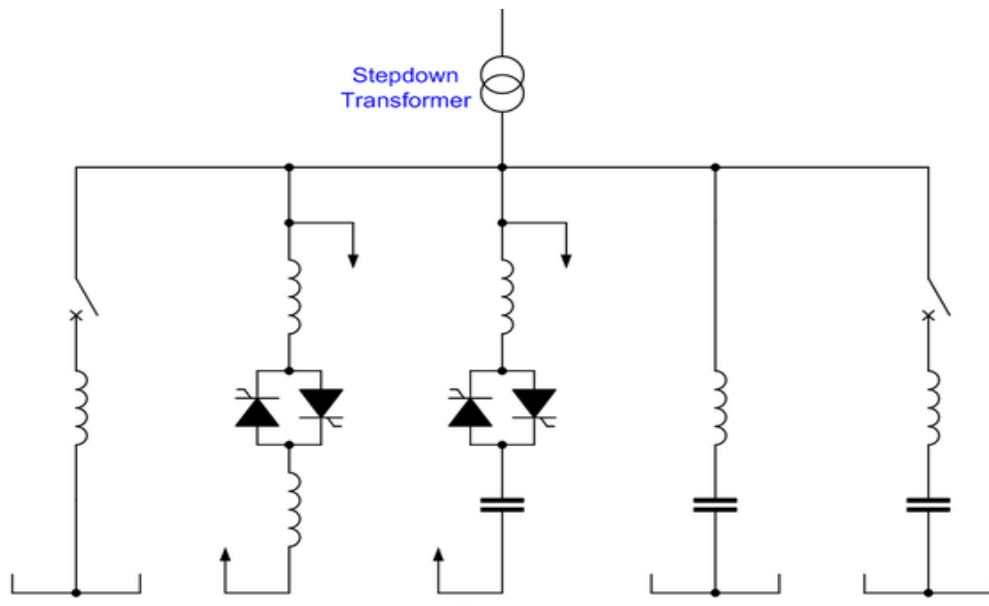
სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის მარტივი სქემა მოცემულია მე-2 ნახაზზე.



ნახ.2. სინქრონული სტატიკური კომპენსატორის ჩანაცვლების სქემა

სტატიკური ვარ კომპენსატორი (SVC) არის ელექტრული მოწყობილობების ნაკრები მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ქსელების სწრაფი მოქმედების რეაქტიული სიმძლავრის უზრუნველსაყოფად. სტატიკური ვარ კომპენსატორი არის მოქნილი ცვლადი დენის გადამცემი სისტემის ნაწილი, რომელიც არეგულირებს ძაბვას, სიმძლავრის კოეფიციენტს, ჰარმონიკებს და ასტაბილურებს სისტემას. სტატიკურ ვარ კომპენსატორს არ აქვს მნიშვნელოვანი მოძრავი ნაწილები (გარდა შიდა გადართვის მოწყობილობებისა). სტატიკური ვარ კომპენსატორის გამოგონებამდე სიმძლავრის ფაქტორის კომპენსაცია წარმოადგენდა დიდი მზრუნავი მანქანების ფუნქციას, როგორცაა სინქრონული კონდენსატორები ან კონდენსატორების ბანკები.

სტატიკური ვარ კომპენსატორის უმარტივესი სქემამოცემულია მე-3 ნახაზზე.



ნახ. 3. სინქრონული ვარ კომპენსატორი

თავი 4. მკვეთრად ცვალებადი და არასიამეტრიული დატვირთვის მქონე

მეტალურგიული ქარხნის ელექტრული ენერჯის ხარისხის გამოკვლევა.

მოცემული ქარხანა აღჭურვილია ელექტრორკალური ღუმელებით. შესაბამისად მისი მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე ქვაბებში ლითონის ღებობა მიმდინარეობს ელექტრული რაკალის საშუალებით. აღნიშნული ლითონის გადამამუშავებელი საამქროს მუშაობის პრინციპი კი შემდეგია ელექტრორკალური ღუმელებში სითბოს წყაროდ გამოიყენება ელექტროენერჯია, განსხვავებით თხევად, მყარ და აირად სათბობიან ღუმელებისაგან. ელექტროღუმელები შეიცავს სამუშაო არეს ელექტროდებით და დენმიმცვანებით, ელექტროდების დამჭერ და გადასაადგილებელ მექანიზმს, ღუმლის საბრუნავ მექანიზმსა და კაზმის ჩასატვირთ მოწყობილობას.

ნაშრომში წარმოდგენილია საქართველოში მდებარე ელექტრო რკალურ ღუმელზე მომუშავე ერთ-ერთი ქარხნის 2 კვირიანი (26.07.2021-09.08.2021 წწ) მონიტორინგის შედეგები ზაფხულის პიკური დატვირთვის პერიოდში. ეს ქარხანა აღჭურვილია სინქრონული სტატკური კომპენსატორი, რომლსაც აქვს ჩაშენებული ჰარმონიკული ფილტრებიც. მონიტორინგის პირველ კვირაში ელექტრორკალურ

ქარხანა მუშაობდა დილის 06:00 საათიდან საღამოს 18:00 საათამდე. ხოლო მეორე კვირის განმავლობაში საღამოს 18:00 საათიდან დილის 06:00 საათამდე. აღსანიშნავია, რომ ამ ორი კვირის პერიოდში ქარხანა მუშაობდა სრული დატვირთვით. ეს საშუალებას მოგვცემს ნათლად დავინახოთ თუ რა გავლენას ახდენს ელექტრორკალური ქარხნა ელექტროსისტემაზე სინქრონული სტატკური კომპენსატორის მუშაობის პირობებში და მისი გამორთულ მდგომარეობაში ყოფნის დროს.

დასკვნა

სადოქტორო ნაშრომის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს ექსპერიმენტალურ კვლევას, რომლის მიზანია ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრების გაზომვა, გაზომვის შედეგების დამუშავება/ ანალიზი და დასკვნების წარმოდგენა. აგრეთვე ნაშრომში განმარტებულია საკვლევი თემის ლიტერატურის მიმოხილვა. განმარტებული ელექტრო ენერჯის ხარისხის მნიშვნელობა, აქტუალობა და დარგის განვითარების აუცილებლობა. დეტალურად არის განმარტებული ელექტრო ენერჯის ხარისხის თითოეული პარამეტრის მნიშვნელობა. ახსნილია ხარისხის გაუარესების წარმოშობის მიზეზები. ნაჩვენებია პრობლემის შეზღუდვისა და აღმოფხვრის ტექნიკური და ადმინისტრაციული ღონისძიებები. ასევე წარმოდგენილია საქართველოში და მსოფლიოში არსებული სტანდარტები და ნორმები, რომლებიც გამოიყენება ელექტრო ენერჯის ხარისხის დაბინძურების ღონის განსასაზღვრად და გასაკონტროლებლად.

ნაშრომის ლიტერატურის მიმოხილვაში განხილულია ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრები. აგრეთვე წარმოდგენილია მათი ზღვრები საქართველოში მოქმედი „ქსელის წესები“-დან. მასში განხილულია შემდეგი პარამეტრები: ჰარმონიკები, ციმციმი, K ფაქტორი, ძაბვისა და დენის უბალანსობა, დენისა და ძაბვის სინუსოიდების ანომალიებ და სიხშირე და მისი ფარდობითი გადახრა.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევებისა და ანალიზების საფუძველზე საბოლოო ჯამში დადგინდა:

1. საქართველოში აუცილებელია დაინერგოს საერთაშორისოდ აღიარებული ელექტრული ენერჯის ხარისხის ნორმების სტანდარტები. რომელიც პირველ რიგში აუცილებელი ქვეყნის ელექტროსისტემაში ენერჯის ხარისხის საკონტროლებლად.
2. მონიტორინგის შედეგებმა აჩვენა, რომ საკვლევი ტერიტორიაზე გვხვდება სინათლის ციმციმის ნორმების დარღვევა, რომელსაც სგრძნობლად მაღალია. B ზაფხულის პიკის დროს ციმციმის მნიშვნელობა გაზომვების ჩატარების პერიოდის 70 პროცენტის განმავლობაში ირღვევა რაც

სავალალო შედეგია. აგრეთვე სინათლის ციმციმთან მიმართებაში ცუდი მდგომარეობა გვაქვს A ქვესადგურშიც.

3. ჰარმონიკული დამახინჯების სპექტრის მნიშვნელოვანი დარღვევები არ გვხვდება, მაგარმ მისი მნიშვნელობა ნომინალურ საზღვართან ახლოს ამიტომ აუცილებელია მისი მაკონტროლებელი ხომების მიღება.
4. ელექტრორკალური ღუმლის მქონე მეტალურგიული ქარხანაში მისი მაქსიმალური დატვირთვის დროს სინქრონული სტატიკური კომპენსატორი ოპერირება უზრუნველყოფს ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრების ნორმის ფარგლებში შენარჩუნებას.
5. საქარელოს ელექტროსისტემაში აუცილებელია დაინერგოს ელექტრო ენერჯის ხარისხის ცენტრალური სამონიტორინგო სისტემა. გაზომვება აჩვენა რომ ხარისხის პარამეტრები მერეონს ნორმირებულ წერტილთან ახლოს. აგრეთვე აღნიშნული პირობა მნიშვნელოვანია ევროპის ელექტროსისტემასთან ინტეგრაციისათვის.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები

1. ასპანიძე ნ. ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლი საქართველოში და მისი გავლენა ელექტროსისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკურ პროცესზე. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“, 2020, №3, გვ. 191-193.
2. ასპანიძე ნ. ელექტრო ენერჯის ხარისხის პარამეტრები. „ენერჯია“, 2022, №1(101), გვ. 25-30.
3. ასპანიძე ნ. ელექტროენერჯის ხარისხი, მისი მონიტორინგი და სტანდარტიზაცია. „ენერჯია“, 2022, №1(101), გვ. 20-25.

Resume

The dissertation discusses a new challenge for electrical systems in the modern world, ways to monitor the power quality. Recommendations for reducing and disappearing power quality are also presented. In the modern world, against the background of rapid and large-scale development of power systems, it has become necessary to control the quality of electricity. In the first stage of the development of the electrical system, only two parameters were considered as indicators of power quality: frequency in the network and voltage in each node of the network. However, over time, with the development of the power system, asymmetric, non-sinusoidal, and variable consumption elements have emerged among power consumers. It was therefore necessary to take into account additional indicators to assess the power quality.

The presented dissertation presents one of the examples of electricity quality control mechanism. The paper includes five main parts, the combination of which creates an analysis and quality control of electricity of two substations with one of the most widely consumed 110 kV voltage levels in Georgia. The aim of the work is to determine the level of pollution quality of the electricity perimeter of the study perimeter, to identify the causes of grid distortion (if any) and to present measures to reduce the level of quality pollution in the grid within the norm and / or eliminate it completely.

The second chapter covers the main part of the paper and discusses step by step the literature on electricity quality parameters. These theoretical issues are accompanied by practical information obtained directly from research on inflammation. Information on the origin, investigation and correction of each parameter (distortion) is established. In particular, the following parameters: Complete type of harmonic distortions: Rogonic harmonics, total harmonic distortion, interharmonic distortion and subharmonic distortion; Voltage imbalance; Light flicker long-term (PLT) and short-term (PST). Frequency and its relative deviation; Voltage variation; Voltage and current sinusoidal anomalies (sag, swell, notch) and voltage interruptions (Voltage interruptions). The factor K is also considered, which is the coefficient of influence of current harmonics on the overheating of the transformer. Electricity quality research was conducted at dissertation research facilities. The main purpose of this paper is to investigate the level of total distortion of the quality of electricity of the 110 kV voltage grid of the electrical system in the suburbs of Tbilisi, Georgia. Experimental measurements were performed at four operating power plants. The aim of the research is to conduct an in-depth study of the quality of electricity in the most densely populated and widely industrialized area of Georgia and to determine the norm of quality distortion. Simultaneously in all substations during the peak load of the summer period of 2021 in the Georgian power system, in particular in July, and during the peak load of the winter period of 2022 in the Georgian power system, in particular in January. All devices were synchronized during the study period. Power quality monitoring device was used for monitoring, which is monitored by EN50160 standard. In addition, the results of the experiment were evaluated by the "Network Rules" adopted by Resolution 10 of the Georgian National Energy and Water Regulatory Commission on April 17, 2014, which defines the procedures, conditions, principles and principles of transmission network development, management, access and safe use.

The third chapter contains the generally accepted recommendations that are used to reduce the level of distortion of the quality of electricity. According to the recommendations, various electrical installations, filters and correct distribution of asymmetric loads are used to correct this issue, which ensure compliance with the norms required by international standards.

The fourth chapter covers the two-week components of one of the factories operating electric arc furnaces in Georgia during the peak summer period. This plant is equipped with a synchronous static compensator, which also has built-in harmonic filters. During the first week of monitoring, the electric plant operated from 06:00 in the morning until 18:00 in the evening. And for the second week from 6:00 pm to 6:00 am. It is noteworthy that during these two weeks the factory was operating at full capacity. This allowed us to see the effect that the power plant has on the electrical system during the operation of the synchronous static compensator and when it is off.

The concluding part of the paper includes directly the results and recommendations that were drawn according to the research conducted. In order to develop quality control of electricity at this stage, it is necessary to develop and create standards that will be adjusted to the specifics of the Georgian electricity supply system. It must clearly define the distortion limits. It must be approved by the Georgian National Energy and Water Regulatory Commission. After that, the parts of the electricity network should be inspected based on the standards.