

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დimitრი ხარეზავა

ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური
პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის ფიზიკური მოდელის
დამუშავება

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

აკტორეფერატი

თბილისი

2023

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ენერგეტიკის
ფაკულტეტი
ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი მ. ქობალაია

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2023 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. ბოლო პერიოდში, ქალაქების ელექტრომომარაგების ქსელებში, სულ უფრო და უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს ახალი ტექნოლოგიების ათვისების საფუძველზე შექმნილი საშუალო და დიდი სიმძლავრის, მუშაობის მძიმე რეჟიმის მქონე თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ჩართვა. შედეგად, ქსელში რადიკალურად იცვლება ელექტრომაგნიტური გარემო, მომხმარებლებზე მიწოდებული ელექტროენერჯის ხარისხი და რთულდება ელექტრომომხმარებელთა ელექტრომაგნიტური თავსებადობა.

მნიშვნელოვანია რომ, ელექტრომომხმარებლებს, რომელთა შემადგენლობაში მრავალი პრაქტიკული დანიშნულების ელექტროტექნოლოგიური დანადგარები და კომპლექსები შედიან, გააჩნიათ ურთიერთ განსხვავებული მოქმედების პრინციპი და მუშაობის რეჟიმი. აქედან გამომდინარე, მკვეთრად განსხვავებულია მათ მიერ ქსელში განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესები (ემპ) და გავლენა, როგორც ელექტრომომარაგების ქსელის ასევე ერთმანეთის მუშაობაზე.

აღსანიშნავია, რომ ელექტრომომარაგების ქსელში ჩართული მომხმარებელთა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ელექტრომაგნიტური თავსებადობის (ემთ) უზრუნველყოფის, ელექტრომომარაგების სისტემების საიმედოობის ამაღლებისა და ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესების ერთ-ერთ პირობას ელექტრომომარაგების ქსელისა და ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების ძალოვან ელემენტებში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების (ედპ) ღრმა მეცნიერული გამოკვლევა, მათ მიერ ქსელში შექმნილი ელექტრომაგნიტური გარემოს (ემგ) და წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების (ემდ) დადგენა წარმოადგენს.

ქ. თბილისის ელექტრომომარაგების სისტემის დამწვევი ქვესადგურის საშუალო ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებში ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ ქსელის ცალკეულ ფაზებში ემპ-ები ურთიერთ განსხვავებულად მიმდინარეობს. ასევე განსხვავებულია ცალკეული ფაზებში გამავალი დატვირთვის დენების მრუდის ფორმის დამახინჯება,

წარმოქმნილი მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი, ცალკეულ ფაზებში შექმნილი ელექტრომაგნიტური გარემო და წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებები.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ახალი ქსელების დაპროექტებისას, ქსელში მოსალოდნელი ელექტრომაგნიტური პროცესების წინასწარ განსაზღვრისათვის საჭიროა შეიქმნას ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი, რომელიც უზრუნველყოფს დაბალი და საშუალო ძაბვის ქსელების გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარებისა და კომპლექსების მიერ ცალკეულ ფაზებში განვითარებული ელექტრომაგნიტური დინამიკური პროცესების გამოკვლევას, მათ მიერ ქსელის ელემენტებში წარმოქმნილი და ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების განსაზღვრას და ქსელის ელემენტებზე ზემოქმედების დადგენას.

ნაშრომში შემოთავაზებული „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი“ საშუალებას მოგვცემს, ელექტრომომარაგების სისტემის ახალი ქსელებისა და დამწვევი ქვესადგურების გამანაწილებელი მოწყობილობების გაფართოება-რეკონსტრუქციის პროექტების შედგენისას, წინასწარ ჩავატაროთ სრულყოფილი გამოკვლევა გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა (ეტდ) და კომპლექსების მუშაობის რეჟიმების შედეგად, ქსელის თითოეულ ფაზაში განვითარებული ელექტრომაგნიტური სტატიკური და დინამიკური პროცესები, განვსაზღვროთ ელექტრომაგნიტური გარემო და დავადგინოთ წარმოქმნილი ემდ-ები. შესაბამისად, მიღებული კვლევების საფუძველზე, შეიძლება შევადგინოთ ელექტრომომარაგების ქსელის, საიმედოობის, ელექტრომომხმარებელთა ემთ-ის, ქსელისა და მომხმარებლების ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის თვალსაზრისით, ოპტიმალური სქემა, განვსაზღვროთ ქსელის ცალკეული ელემენტების პარამეტრები.

სამუშაოს მიზანი. ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს შეიქმნას ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის ფიზიკური მოდელი რომელიც უზრუნველყოფს,

ელექტრომომარაგების სისტემის გამანაწილებელ მოწყობილობებში მიერთებული ეტდ-ისა და კომპლექსების მიერ ქსელის ცალკეულ ფაზებში განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესების სრულყოფილ გამოკვლევას, წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების განსაზღვრას, გამოწვეული სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგების შეფასებას ქსელის მუშაობის საიმედოობის, მდგრადობის, ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის ამაღლების მისაღწევად.

ძირითადი ამოცანები. სადისერტაციო ნაშრომის მიზნის მისაღწევად დაისახა შემდეგი ამოცანები:

1. გამოკვლევულ იქნას ელექტრომომარაგების სისტემის მოქმედი ქვესადგურების 6-10 კვ ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ეტდ-ისა და კომპლექსების მუშაობის რეჟიმების შედეგად ქსელის ელემენტების ცალკეული ფაზების ძალურ ნაწილში განვითარებული ედპ-ები, წარმოქმნილი და გავრცელებული ემდ-ები. დადგინდეს გამანაწილებელ მოწყობილობაში არსებული ემგ;

2. შესწავლილ იქნას ცალკეული ფაზების აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების დენების სტატიკური და დინამიკური რეჟიმები, დადგინდეს ძაბვის არასიმეტრიულობის ხარისხი და ასიმეტრიის გამომწვევი მიზეზები;

3. გამოკვლევულ იქნას ცალკეულ ფაზებში გამავალი დატვირთვის დენების მრუდის ფორმის დამახინჯების ხარისხი და წარმოქმნილი მაღალი რიგის ჰარმონიკების (მრჰ) სპექტრის პარამეტრები. განისაზღვროს ცალკეულ ფაზების სტატიკური და დინამიკური რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტები;

4. დაგენილ იქნას ელექტრომომარაგების სისტემის ქსელების გაფართოება-რეკონსტრუქციის და ახალი ქსელების პროექტირებისას ქსელში მოსალოდნელი ემპ-ისა და ემგ-ს გამოკვლევის დატვირთვის ფიზიკური მოდელებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები;

5. შეფასებულ იქნას არსებული დატვირთვების ფიზიკური მოდელების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობები;

6. დამუშავებულ იქნას „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვის ფიზიკური მოდელი“, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, ემს-ის დაბალი და საშუალო

ძაბვის გაფართოება-რეკონსტრუქციისა და ახალი ქსელების პროექტირებისას, ჩავატაროთ სრულყოფილი გამოკვლევა გამანაწილებელი მოწყობილობებთან მიერთებული ელექტროტექნოლოგიური კომპლექსების მუშაობის რეჟიმების შედეგად, თითოეულ ფაზაში წარმოქმნილი ემპ-ები და ქსელის ელემენტებში გავრცელებული ემდ-ებები;

7. ელექტრომომარაგების ქსელის ფიზიკური მოდელის ცალკეული ფაზებისათვის შედგენილ იქნას აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების, ერთსაათიანი ინტერვალის, საფეხუროვანი, დღე-ღამური გრაფიკები;

8. შემოთავაზებული დატვირთვის ფიზიკური მოდელისათვის დამუშავებულ იქნას ძალური ნაწილის ცალხაზოვანი სქემა და მიკროპროცესორული მართვის სისტემა;

9. ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელის ცალკეული უჯრედებისათვის შედგენილ იქნას პარამეტრების განსაზღვრის მათემატიკური გამოსახულებები.

კვლევის მეთოდები: 1. ტიპური ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის რეჟიმების, მათ მიერ განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესების, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ასიმეტრიის, დატვირთვის დენების ფორმის დამახინჯების და წარმოქმნილი ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრის ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში „ელექტრომომარაგების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის, ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ლაბორატორიაში „დატვირთვების ფიზიკური მოდელის“ ლაბორატორიულ სტენდზე, კომპანია „Sedmax“-ის მიერ წარმოებული ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების კონტროლის ანალიზატორების საშუალებით;

3. ელექტრომომარაგების საშუალო (6-10 კვ) ძაბვის ქსელების ცალკეულ ფაზებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების, მათ მიერ გამანაწილებელი მოწყობილობის შემკრებ სალტეებზე შექმნილი ელექტრომაგნიტური გარემოს, ქსელის ელემენტებში გავრცელებული ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების გამოკვლევები ჩატარებულია ექსპერიმენტული მეთოდით, ქ.თბილისის

ელექტრომომარაგების ქსელის 110/10/6 კვ ძაბვის ქვესადგურების „ავშნიანის, მუხიანის, დილომი-1-ის, ჩუღრეთი“, 10 და 6 კვ-ის სალტიდან გამავალი საკაბელო ხაზებზე შესრულებული გაზომვების საშუალებით.

სამეცნიერო სიახლე. შემოთავაზებული ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი უზრუნველყოფს ელექტრომომარაგების სისტემის დაბალი, საშუალო და მაღალი ძაბვის ქსელების გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ელექტრომომხმარებლების ეტდ-ბისა და კომპლექსების ცალკეულ ფაზებში განვითარებული ემპ-ების გამოკვლევას, მათ მიერ წარმოქმნილი და ქსელის ელემენტებში გავრცელებული ემდ-ებების პარამეტრების დადგენას, გამოწვეული სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგების შეფასებას, ქსელის მუშაობის საიმედოობისა და მდგრადობის, ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის ამაღლების მისაღწევად.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულებები და გამოყენების სფერო.

1. „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი“ საშუალებას გვაძლევს, ელექტრომომარაგების სისტემის ქსელების გაფართოებარეკონსტრუქციისა და ახალის პროექტირებისას, წინასწარ, ჩავატაროთ სრულყოფილი გამოკვლევა გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ეტდ-ისა და კომპლექსების მუშაობის რეჟიმების შედეგად, თითოეულ ფაზაში წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური პროცესები, განვსაზღვროთ ელექტრომაგნიტური გარემო და კვლევის შედეგების საფუძველზე შევადგინოთ ელექტრომომარაგების ქსელის, საიმედოობის, ეკონომიკური და ელექტრომაგნიტური თავსებადობის თვალსაზრისით ოპტიმალური სქემა, განვსაზღვროთ ქსელის ცალკეული ელემენტების პარამეტრები;

2. ფიზიკური მოდელი უზრუნველყოფს ელექტრომომარაგების სისტემის დაბალი, საშუალო და მაღალი ძაბვის ქსელების გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ელექტრომომხმარებლების ეტდ-ბისა და კომპლექსების მუშაობის რეჟიმების შესწავლას, მათ მიერ ქსელის ცალკეულ ფაზებში განვითარებული ემპ-ების გამოკვლევას, ქსელში წარმოქმნილი და გავრცელებული ემდ-ებების პარამეტრების დადგენას, გამოწვეული სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის

დანაკარგების შეფასებას ქსელის მუშაობის საიმედოობისა და მდგრადობის, ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის ამაღლების მისაღწევად;

3. ფიზიკური მოდელის საშუალებით შეიძლება განვსაზღვროთ გამანაწილებელი მოწყობილობის ცალკეული ფაზების საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრე, დავადგინოთ ფაზების რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირების საფეხურების რაოდენობა, შევადგინოთ დღე-ღამური გრაფიკები, შევარჩიოთ საკომპენსაციო მოწყობილობის ქსელთან მიერთების ადგილი და ცალკეული ფაზების დამოუკიდებელი მართვის სისტემის პარამეტრები.

4. შემოთავაზებული ფიზიკური მოდელი შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებულ, როგორც ელექტრომომარაგების სისტემის დაბალი (0,4 კვ) და საშუალო (6-35კვ), ასევე მაღალი (110კვ) ძაბვის ქსელების დაპროექტებისას ქსელის, ეკონომიკური და ელექტრომაგნიტური თავსებადობის თვალსაზრისით, სქემის შედგენისათვის. ასევე, კვლევის შედეგების საფუძველზე შეიძლება დავადგინოთ ქსელის ელემენტების (მაღლვანი ტრანსფორმატორების სიმძლავრე, საჰაერო და საკაბელო ეგზ-ების კვეთები);

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ცალკეული შედეგები მოხსენებულ იქნა:

1. ქ. ქუთაისში 2016 წელს ჩატარებული IV საერთაშ. სამეცნ. კონფერენციის „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ - სექციის სხდომაზე;

2. ქ. ხარკოვში 2017 წელს ჩატარებულ საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკურ კონფერენციაზე „ავტომატიზირებული ელექტროამომარაგების პრობლემები“, „მაღური ელექტრონიკა და ენერგოეფექტურობა“ - სექციის სხდომაზე;

3. ქ. თბილისში 2021 წელს ჩატარებული III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“-ის „ელექტროენერგეტიკული სისტემები და კომპლექსები“ - ის სექციის სხდომაზე;

4. სადისერტაციო „კვლევითი კომპონენტის“ - I, II III კოლოქვიუმების მოსმენისათვის ჩატარებულ სტუ-ს „ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის სხდომებზე;

5. 2023 წლის 28 აპრილს ჩატარებული სტუ-ს ენერგეტიკის ფაკულტეტის „ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის სადისერტაციო ნაშრომის წინასწარი დაცვისათვის მიძღვნილ №9 გაფართოებულ სხდომაზე.

6. სტუ-ს სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო კონფერენციაზე 2017 წლის 24 ივნისს.

ნაშრომის პუბლიკაცია. სამუშაოს ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომში. მათ შორის 1 ჟურნალ „ენერჯის“ ქ. თბილისში ჩატარებულ II და III საერთაშორისო სამეცნიერო – ტექნიკური კონფერენციებისათვის მიძღვნილ სპეციალურ გამოცემაში, 1 საქართველოს საინჟინრო აკადემიის სამეცნიერო ტექნიკურ ჟურნალ „საქართველოს საინჟინრო სიახლენში“, 1 IV საერთაშ. სამეცნ. კონფ-ის „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ –ს მოხსენებათა კრებულში (ქ.ქუთაისი) და 1 ქ. კრემენჩუგში (უკრაინა) ჩატარებული XXI საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკ. კონფერენციის „ავტომატიზირებული ელექტროამძრავების პრობლემები. თეორია და პრაქტიკა“ გამოქვეყნებულ მასალებში (2020 IEEE).

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურის მიმოხილვის, 3 თავის, დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისგან. იგი მოიცავს 106 გვერდს, მათ შორის 10 ცხრილს, 56 ნახაზს.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში ჩამოყალიბებულია ნაშრომში გადწყვეტილი სამეცნიერო – ტექნიკური პრობლემა. დადგენილია, რომ ქალაქების ელექტრომომარაგების სისტემის დაბალი და საშუალო ძაბვის ქსელებში ახალი ტექნოლოგიების ათვისების საფუძველზე შექმნილი მუშაობის მძიმე რეჟიმის მქონე თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ჩართვის შედეგად რადიკალურად იცვლება მომხმარებლებზე მიწოდებული ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების პარამეტრები და შეუძლებელი ხდება ელექტრომომხმარებელთა ელექტრომაგნიტური თავსებებადობის უზრუნველყოფა. ამავდროულად დადგენილია, რომ ელექტრომომარაგების ახალი ქსელების აგებისა და გაფართოება-რეკონსტრუქციას დაქვემდებარებული გამანაწილებელი მოწყობილობების დაპროექტებისას, საჭიროა წინასწარ ელექტრომომარაგების დატვირთვის ფიზიკურ მოდელზე ჩატარებულ იქნეს ელექტრომომარაგების ქსელისა და ქსელში ჩართული ყველა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარის ძალოვან ელემენტებში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ღრმა მეცნიერული გამოკვლევა, მათ მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური გარემოს (ემგ) და ქსელში გავრცელებული ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების (ემდ) დადგენა. დასაბუთებულია არსებული პრობლემის აქტუალობა. ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია ნაშრომის სამეცნიერო კვლევის მიმართულება, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერული სიახლენი და პრაქტიკული ღირებულებების ძირითადი ასპექტები.

ლიტერატურის მიმოხილვაში წარმოდგენილია იმ ქართული და უცხოური ლიტერატურის გამოკვლევის შედეგები, რომლებიც მიემდვნა ელექტრომომარაგების ქსელებისა და ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ძალოვან ელემენტებში განვითარებულ ელექტრომაგნიტურ პროცესების შესწავლას, ქსელის ელემენტებში გავრცელებული ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების გამოკვლევას, ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების ელექტრომაგნიტურ თავსებებადობას, ელექტროენერჯის ხარისხის

მაჩვენებლების საკითხებს. შეფასებულია და გაკეთებულია შესაბამისი დასკვნები. აღნიშნულია, რომ სასწავლო ლიტერატურა ძირითადად მოიცავს ელექტრომიმღებების ელექტრომაგნიტური თავსებადობის, მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების საიმედოობისა და ელექტროენერჯის ხარისხის საკითხებს. აღნიშნულია, რომ სამეცნიერო ლიტერატურაში ძირითადად ჩატარებულია, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ელექტრომიმღებებზე ზემოქმედების გამოკვლევა, ანალიზი და შეფასება. ასევე, სხვადასხვა ნაშრომში შემოთავაზებულია წარმოქმნილი მაღალი რიგის ჰარმონიკების შემზღუდავი ფილტრების სქემები და მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემები. მნიშვნელოვანია, რომ გამოქვეყნებულ ლიტერატურაში ნაკლებადაა წარმოდგენილი ელექტრომომარაგების დატვირთვების გამოკვლევის ფიზიკურ მოდელებთან დაკავშირებული საკითხები.

პირველ თავში ჩატარებულია ელექტრომომარაგების სისტემის ელემენტებში ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მიერ განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევა. დადგენილია ელექტრომომარაგების სისტემის ელემენტებში ელექტრომაგნიტური პროცესების წარმოქმნის ძირითადი წყაროები და მათი გავლენა ქსელის ელემენტებზე.

ელექტრომომარაგების სისტემის ქვესადგურების გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული არიან ელექტრომომხმარებლები, რომლებიც აღჭურვილნი არიან განსხვავებულ მოქმედების პრინციპზე დაფუძნებული და მუშაობის რეჟიმის მქონე სხვადასხვა ტექნოლოგიური დანიშნულების მრავალი ელექტროტექნოლოგიური დანადგართა და ელექტროტექნოლოგიური კომპლექსებით. შესაბამისად, ქსელის ცალკეულ უბნებში განვითარებულ ელექტრომაგნიტურ პროცესებს და შექმნილ ელექტრომაგნიტურ გარემოს გამანაწილებელ მოწყობილობასთან მიერთებული ტექნოლოგიური დანადგარები განაპირობებს. უნდა აღინიშნოს, რომ ყოველ ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარს ქსელში არსებული ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების მიმართ განსხვავებული მგრძობიარობა გააჩნიათ და გამანაწილებელ მოწყობილობის სალტეებზე არსებული ელექტრომაგნიტური გარემოს მიმართ განსხვავებული მოთხოვნები გააჩნიათ.

ელექტრომომარაგების ქსელში ჩართული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მდგრად და გამართულ მუშაობას, ტექნოლოგიური პროცესის მართვის სიზუსტეს, მუშაობის საექსპლუატაციო ხანგრძლივობას, ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის დონეს დიდ წილად ქსელიდან მიწოდებული ელექტროენერჯის ხარისხი განაპირობებს. ამავდროულად, ქსელის გამანაწილებელ მოწყობილობებთან მიერთებული ელექტრომიმღებების ელექტრომაგნიტური თავსებადობა მთლიანად ძაბვის ხარისხზეა დამოკიდებული. ასევე, ძაბვის ხარისხზეა დამოკიდებული ელექტრომომარაგების სისტემის ცალკეული ელემენტების გამართული მუშაობა და ენერგოეფექტურობა მაგალითად: ქსელის ცალკეული ელემენტების რელეური დაცვის სელექტიურობა, მგრძობიარობა და სწრაფმოქმედება; ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემის სიზუსტე; დისპეტჩერული მართვის სისტემების გამართული მუშაობა; ძაბვის დენისა და სიმძლავრეების გაზომვისა და კონტროლის სისტემების სიზუსტე.

თავის მხრივ, ელექტროენერჯის ხარისხს ძირითადად ძაბვის რამოდენიმე პარამეტრის, ანუ მაჩვენებლების მიხედვით განსაზღვრავენ და აფასებენ. მომხმარებელზე მიწოდებული ელექტროენერჯის (ძაბვის) ხარისხს ძირითადად შემდეგი მაჩვენებლების მიხედვით აფასებენ :

- ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრა – $\delta U_{\text{დამ}}$;
- ძაბვის რხევა (რყევა) – δU_t ;
- ძაბვის ციმციმის (ფლიკერის) მოვლენა – P_t ;
- ძაბვის მრუდის დამახინჯების კოეფიციენტი – K_U ;
- ძაბვის n-ური ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი – $K_U(n)$;
- ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვის კოეფიციენტი – K_{0U} ;
- ასიმეტრიულობა უკუმიმდევრობის მდგენელის მიხედვით – K_{2U} ;
- ასიმეტრიულობა ნულოვანი მიმდევრობის მდგენელი – K_{0U} ;
- სიხშირის გადახრა ნომინალური მნიშვნელობიდან – Δf ;
- ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობა – Δt_B ;
- იმპულსური ძაბვა – $U_{\text{იმპ}}$;
- დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი – δU_t ;

მნიშვნელოვანია, რომ ელექტროენერჯის მაჩვენებლები საერთაშორისო კანონმდებლობითაა ნორმირებული. ქვემოთ მოცემულია ევროპის EN 50160 სტანდარტებით მიღებული მრკ-ის საშუალო მნიშვნელობის ნორმები (ცხრ. 1).

ცხრილი. 1.

კენტი რიგის ჰარმონიკებისათვის				ლუწი რიგის ჰარმონ.	
სამის არაჯერადი		სამის ჯერადი			
ჰარმონიკის რიგი, γ	ჰარმონიკის ძაბვა, %	ჰარმონიკის რიგი, γ	ჰარმონიკის ძაბვა, %	ჰარმონიკის რიგი, γ	ჰარმონიკის ძაბვა, %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6-24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2	-	-	-	-
19	1.5	-	-	-	-
23-25	1.5	-	-	-	-

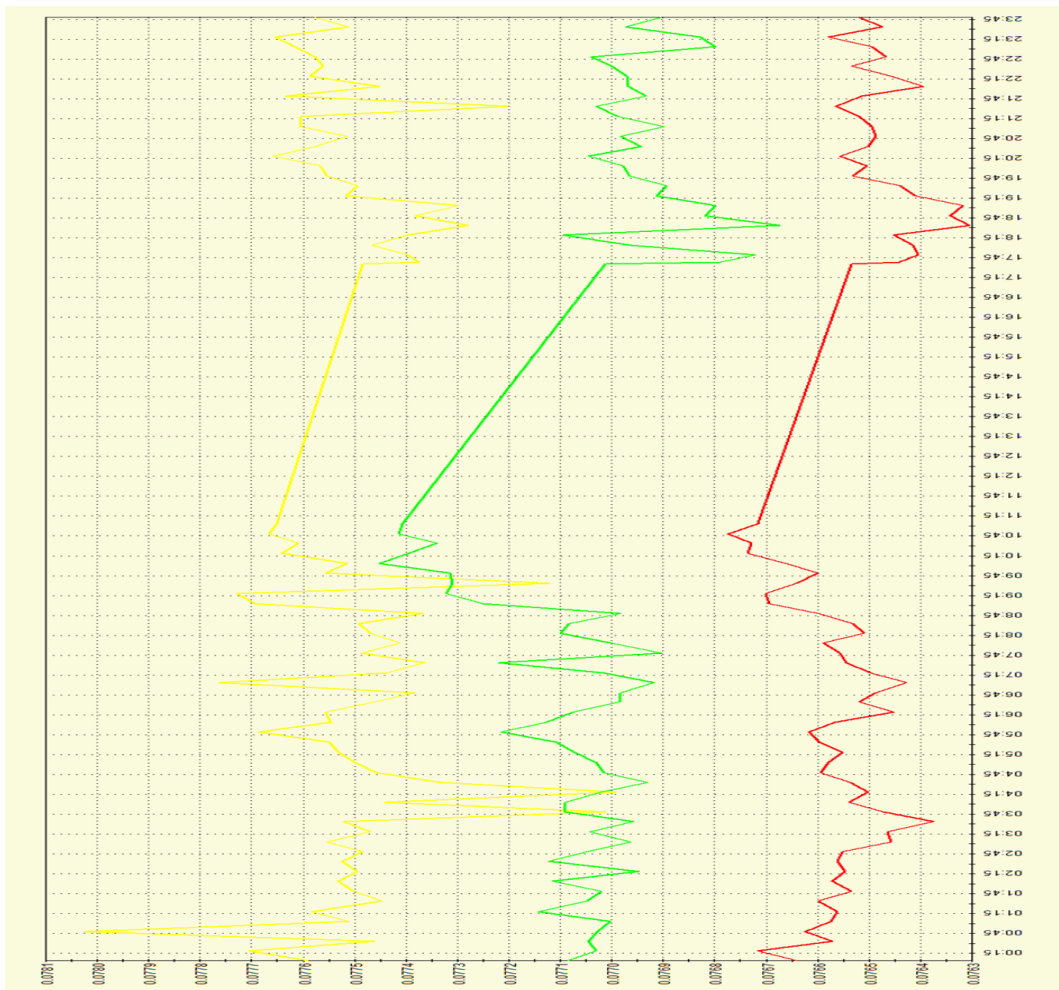
ცნობილია, რომ ელექტრომომარაგების სისტემის ქვესადგურებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების შედეგად ძირითადად შემდეგი სახის ემდ-ები წარმოიქმნება:

- 1 კვ-ზე მეტი ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებში მიწასთან წარმოქმნილი მშ-ს (დამიწების) შედეგად წარმოქმნილი ძაბვა და დენი;
- გამანაწილებელ მოწყობილობებში კომუტაციისა და მშ -ის შედეგად წარმოქმნილი იმპულსური გადაძაბვები (ემდ-ბი);
- ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტებზე ატმოსფერული განმუხტვები (მეხის დაცმ) შედეგად წარმოქმნილი იმპულსური ემდ;
- რადიოსიხშირის დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ველები;
- იმპულსური მაგნიტური ველები;
- ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატური მართვის სისტემების კვების წყაროს მიერ წარმოქმნილი ემდ-ები;
- ელექტროსტატიკური განმუხტვები.

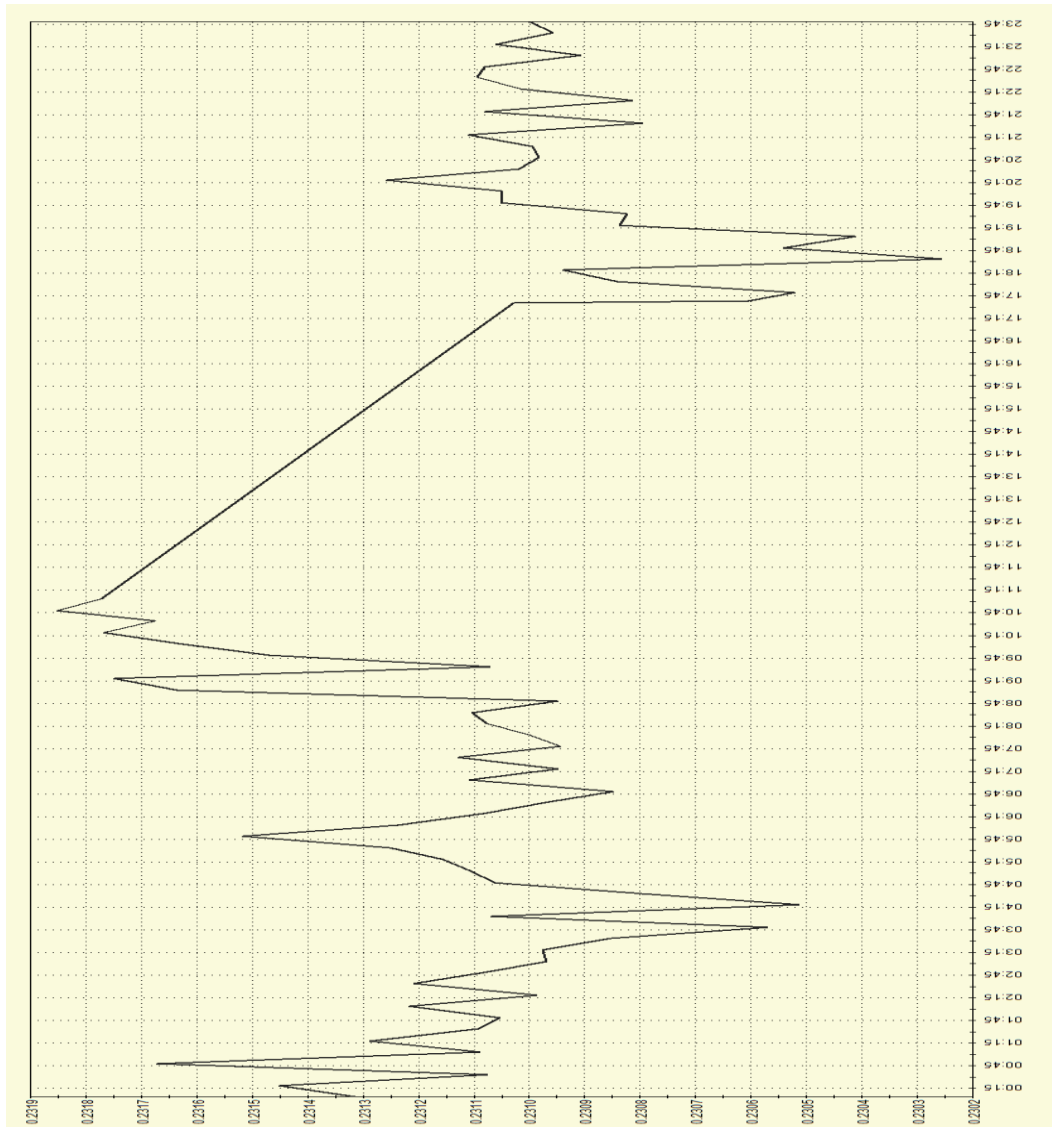
აღსანიშნავია, რომ ელექტრომომარაგების ქსელის ნებისმიერ დონეზე, სალტესთან მიერთებული ელექტრომომხმარებლების ელექტრომაგნიტური

თავსებადობის უზრუნველყოფისათვის საჭიროა გამოკვლევულ იქნას ყველა მიერთებული ტექნოლოგიური დანადგარის ემდ-ის მიმართ მგრძობიარობა, მათ მიერ ქსელში განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესები და დადგენილ იქნას წარმოქმნილი ემდ-ები.

ნაშრომში, გამოკვლევულ იქნა ქ. თბილისის ელექტრომომარაგების 4 დამწვევ ქვესადგურში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები და შექმნილი ელექტრომაგნიტური გარემო. კვლევებისათვის გამოყენებულია ქვესადგურების შემკრებ სალტეებსა და გამავალი ხაზების უჯრედებზე არსებული ანალიზატორებიდან ამოღებული მასალები.



ნახ. 1. ქვესადგური „დილომი 1“ - სრული სიმძლავრის გრაფიკი თითოეული ფაზისათვის.

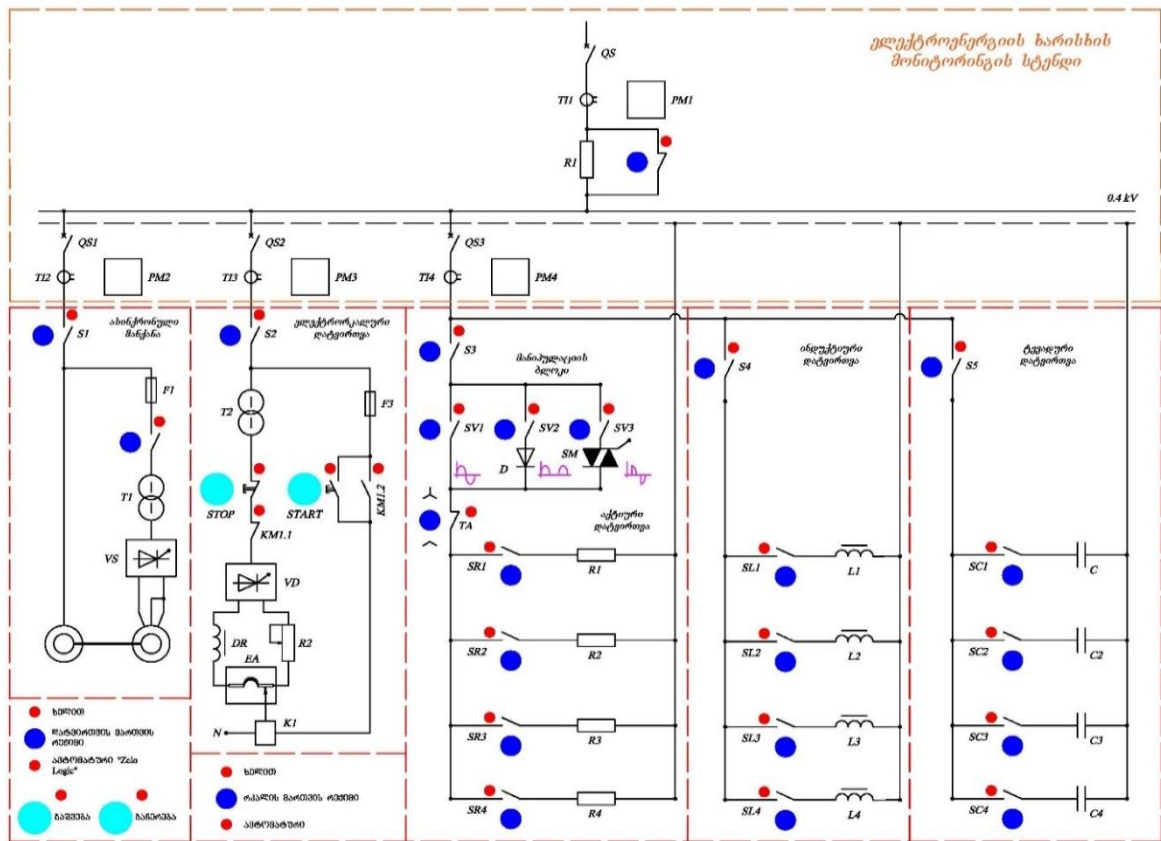


ნახ. 2. ქვესადგური „დილომი 1“ - ჯამური სრული სიმძლავრის გრაფიკი.

ანალიზატორებიდან მიღებული მასალებიდან (ნახ. 1, ნახ. 2) ნათლად ჩანს, რომ ელექტრომომარაგების ქსელის ცალკეულფაზებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები ურთიერთ განსხვავებულად მიმდინარეობს და მათ სხვადასხვა ამპლიტუდური მნიშვნელობები გააჩნიათ. შესაბამისად, განსხვავებულია ცალკეულ ფაზებში წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებები და შექმნილი ელექტრომაგნიტური გარემო. შედეგად ერთდროულად გვაქვს, როგორც სტატიკური, აგრეთვე დინამიკური ასიმეტრიული რეჟიმები. კვლევის შედეგებით ასევე დასტურდება, რომ ელექტრორკალური

დუმელების ელექტრომომარაგების ქსელში თითქმის ყველა სახის ემდ-ებს წარმოქმნიან რომელთაგან ძირითადად ძაბვის ჩავარდნა, სტატიკური და დინამიკური ასიმეტრია, ფლიკერის მოვლენა და დიდ დიაპაზონში ცვალებადი პარამეტრების მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი დომინირებს.

მეორე თავში ჩატარებულია ელექტრომომარაგების სისტემის ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის არსებული ფიზიკური მოდელების შეფასება. დღეისათვის ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტალური გამოკვლევის ფიზიკურ მოდელებს შორის შედარებით სრულყოფილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტრომომარაგების ტექნოლოგიების დეპარტამენტში შექმნილი ფიზიკური მოდელი (ნახ. 3).



ნახ. 3. ფიზიკური მოდელის ცალბაზოვანი სქემა

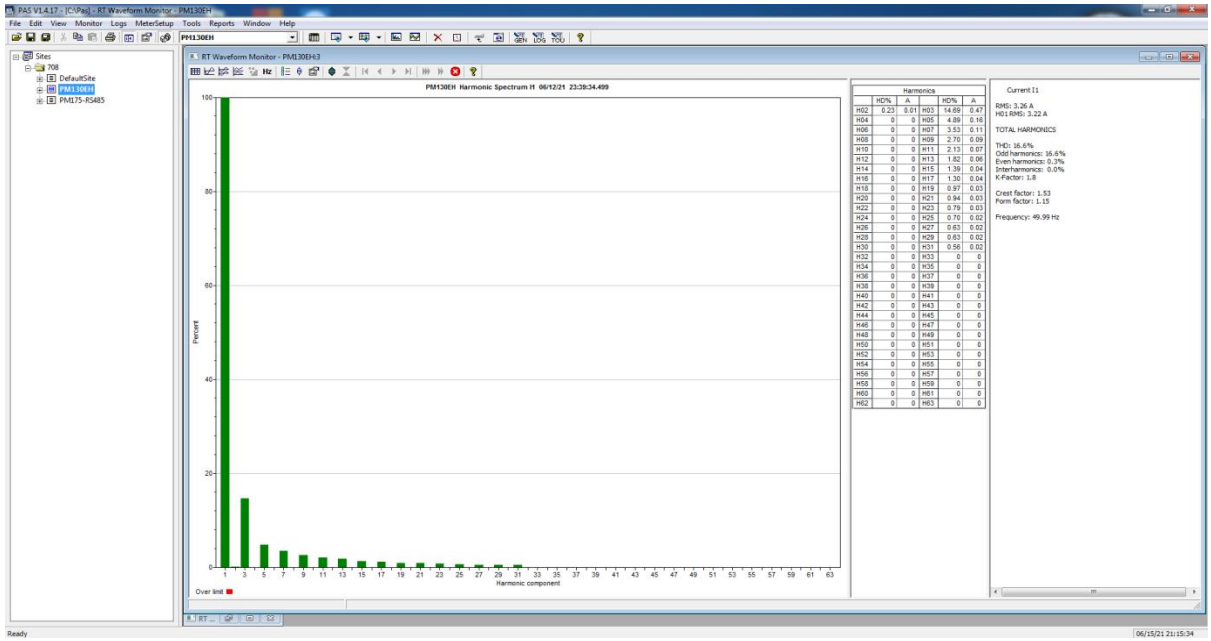
აღნიშნული ფიზიკური მოდელი შედგება მართვის სისტემისა და ხუთი: ასინქრონული ძრავას, აქტიური დატვირთვის, ინდუქციური დატვირთვის, ელექტრორკალური დატვირთვის და ტევადური დატვირთვის უჯრედისაგან.

ასინქრონული ძრავას უჯრედი მოიცავს ორ ერთმანეთთან ლილვებით მექანიკურად დაკავშირებულ ასინქრონულ მანქანას. მათ შორის ძირითადი (AM1) ძრავულ რეჟიმში მუშაობს, ხოლო დამტვირთავი (AM2) დინამიკურ სამუხრუჭო რეჟიმში მუშაობს.

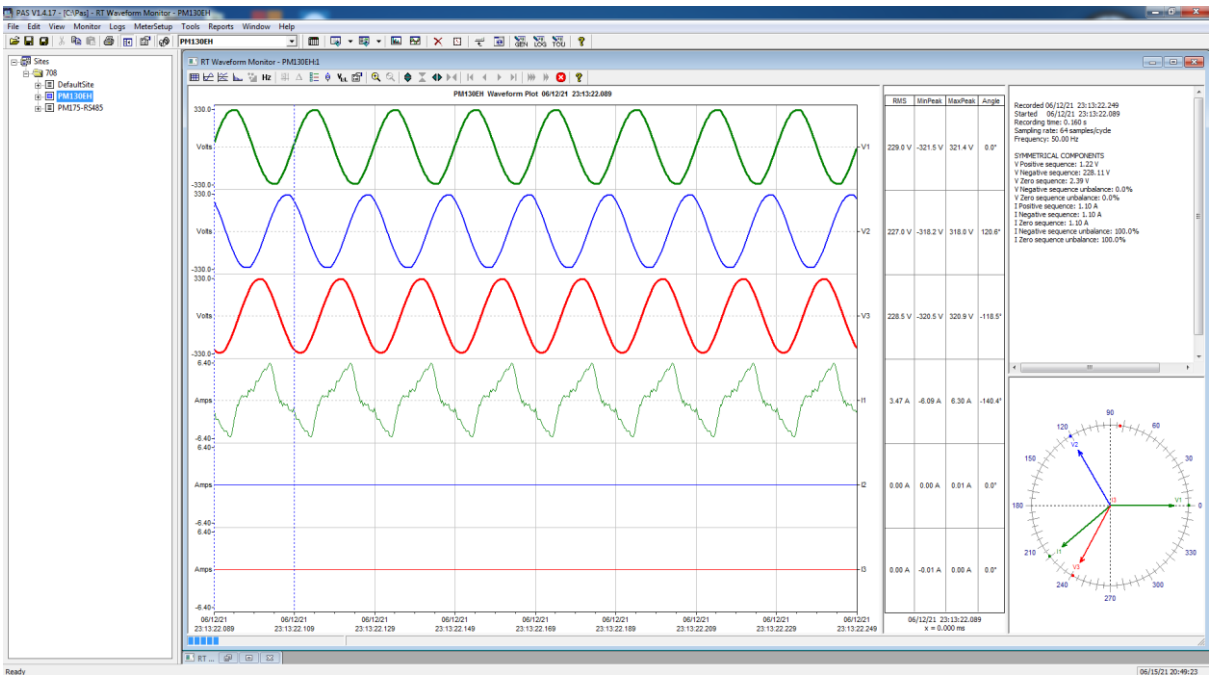
ელექტრორკალური დატვირთვის უჯრედი შედგება ერთფაზა ორგრაგნილა ძალოვანი ტრანსფორმატორის (TA), მასთან დაბალი ძაბვის მხარეს მიერთებულ ბოგირული სქემით შესრულებულ გამმართველსა და ელექტრორკალური კამერისაგან (EA). კამერაში მოთავსებული ელექტროდებიდა ერთ-ერთი ხისტადაა დამაგრებული, ხოლო მეორე მოძრავია და აღჭურვილია გადაადგილების მექანიზმით, რომელიც რკალის წარმოქმნის, მდგრადი ნთებისა და ჩაქრობის პროცესების მართვას უზრუნველყოფს.

აქტიური დატვირთვის უჯრედი მოიცავს მანიპულაციის ბლოკს (MB) და დამოუკიდებელი საკომუტაციო აპარატით აღჭურვილ, სამფაზა ოთხ საფეხურისაგან შემდგარ აქტიურ წინაღობათა ბატარეას. მანიპულაციის ბლოკი უზრუნველყოფს სტატიკური და დინამიკური ასიმეტრიული რეჟიმებს. მისი მართვა ხორციელდება ხელით. აქტიური წინაღობათა ბატარეის თითოეული სექციის წინაღობების მნიშვნელობები შერჩეულია ჯამური დატვირთვის 10%-იანი ცვლილების უზრუნველყოფისათვის. სექციების ჩართვა - გამორთვა ხორციელდება პროგრამირებადი კონტროლიორ „Zelio logic“-ს საშუალებით, დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით შედგენილი პროგრამის საშუალებით.

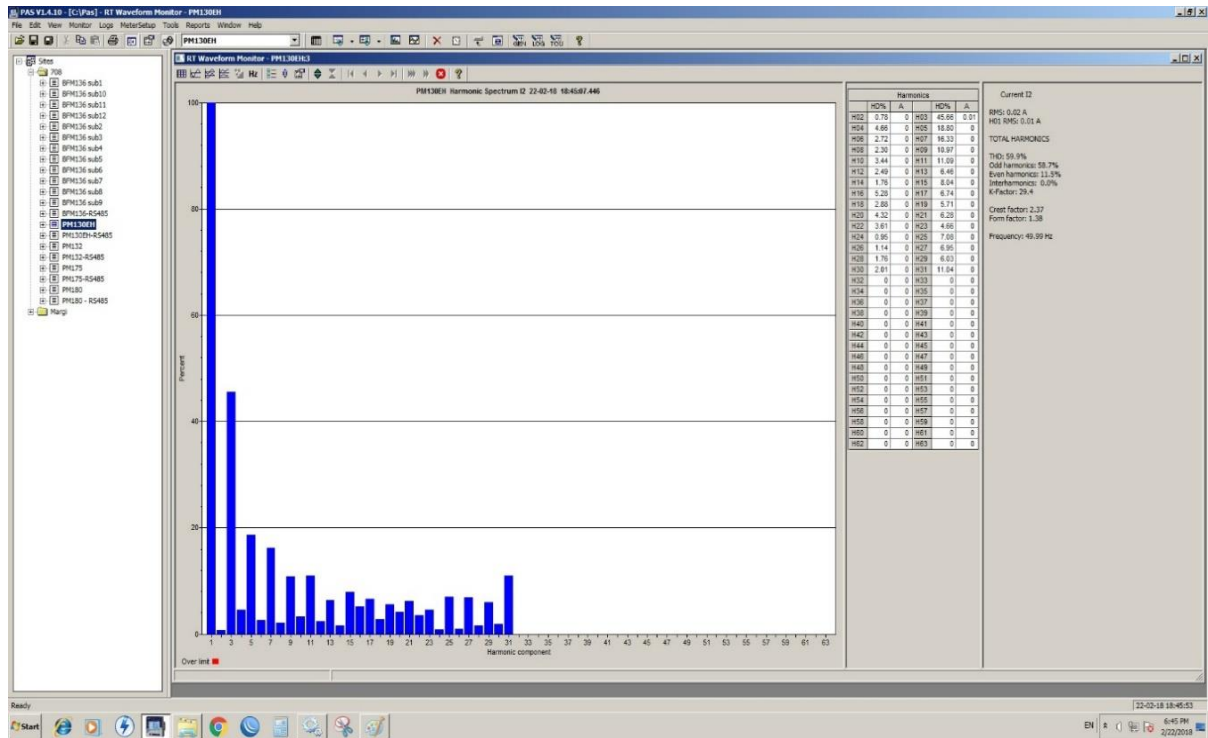
ინდუქციური და ტევადური დატვირთვის უჯრედები შესრულებულია აქტიური დატვირთვის ურედის ანალოგიურად, იმ განსხვავებით, რომ მათ არ გააჩნიათ მანიპულაციის ბლოკი. მათი მართვაც ხორციელდება პროგრამულად და პარამეტრებიც გათვალისწინებულია 10%-იანი ცვლილებისათვის. ფიზიკურ მოდელზე ჩატარებულია, როგორც ცალკეულ უჯრედებში, ასევე მათი სხვადასხვა კომბინაციით ერთობლივად ჩართვისას განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევა.



ნახ. 5. ფიზიკური მოდელის ელექტრორკალური ლუმელის უჯრედის ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი.



ნახ. 6. ფიზიკური მოდელის აქტიურ - ინდუქციური ძაბვისა და დატვირთვის დენის მრუდები.



ნახ. 7. აქტიურ- ინდუქციური დატვირთვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი.

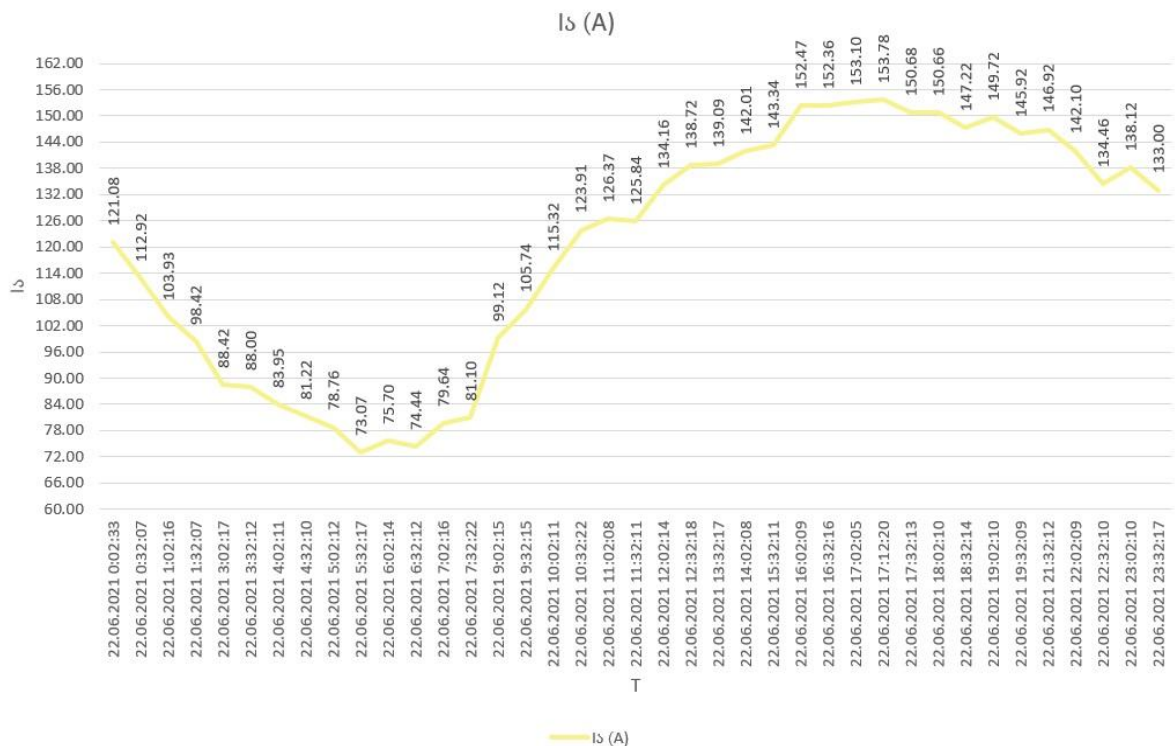
არსებული მოდელის კვლევის შედეგებით (ნახ. 4, ნახ. 5, ნახ. 6, ნახ. 7) დასტურდება, რომ მიღებული შედეგები არ შეესაბამება ელექტრომომარაგების ქსელში მიმდინარე რეალურ ელექტრომაგნიტურ პროცესებს. ვერ უზრუნველყოფს ცალკეულ ფაზებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების სრულფასოვან იმიტირებას და წარმოქმნილი ემდ-ების დადგენას.

მესამე თავში დამუშავებულია ელექტრომომარაგების სისტემის ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის სრულყოფილი ფიზიკური მოდელი (ნახ. 8).

შემოთავაზებული ფიზიკური მოდელის ძალური ნაწილი შედგენილია ცალკეული ფაზების დენების დამოუკიდებლად მანიპულაციისათვის. შესაბამისად, იგი უზრუნველყოფს ელექტრომომარაგების ქსელის ცალკეულფაზებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების დამოუკიდებლად გამოკვლევას.

ფიზიკური მოდელის აქტიური, ინდუქციური და ტევადური დატვირთვის ბლოკების ცალკეული ფაზისათვის დამუშავებულია ლოგიკური კონტროლიორის ბაზაზე რეალიზებული მართვის სისტემები. იგი დაფუძნებულია ქ.თბილისის ქვესადგურების ანალიზატორებიდან აღებულ დატვირთვის დენის 24 საათიან გრაფიკებზე.

დატვირთვის გრაფიკების საფუძველზე შედგენილია დატვირთვის ფიზიკური მოდელის აქტიური, ინდუქციური და ტევადური დატვირთვის ბლოკების მართვის სისტემის ალგორითმი (ცხრ. 2). დღე-ღამურ დატვირთვის გრაფიკად აღებულია ქ.თბილისის ელექტრომომარაგების ქსელის 6-10 კვ-ისა და სასისტემო ქვესადგურების გამანაწილებელი მოწყობილობების აქტიური დატვირთვის დღე-ღამური გრაფიკები (ნახ. 9).



ნახ. 9. ქ/ს „ჩუღურეთის“ ფიდ. №7 -ის A ფაზის დატვირთვის დენის გრაფიკი.

ცხრ. 2. დატვირთვის ფიზიკური მოდელის ბლოკების მართვის სისტემის ალგორითმი

საფეხურის კონტაქტორის ნომერი	დატვირთვა, %	კონტაქტის მდგომარეობა				
		K _I (5%)	K _{II} (10%)	K _{III} (20%)	K _{IV} (30%)	K _V (40%)
1	5	+	-	-	-	-
2	10	-	+	-	-	-
3	15	+	+	-	-	-
4	20		-	+	-	-
5	25	+	-	+	-	-
6	30	-	-	-	+	-
7	35	+	-	-	+	-
8	40	-	-	-	-	+
9	45	+	-	-	-	+
10	50	-	+	-	-	+
11	55	+	+	-	-	+
12	60	-	-	+	-	+
13	65	+	-	+	-	+
14	70	-	-	-	+	+
15	75	+	-	-	+	+
16	80	-	-	+	+	+
17	85	+	-	+	+	+
18	90	-	-	+	+	+
19	95	+	-	+	+	+
20	100	-	+	+	+	+

დატვირთვის დღე-ღამური გრაფიკისა და მართვის სისტემის ალგორითმის საფუძველზე შედგენილია მართვის სისტემის პროგრამა (ცხრ. 3).

ცხრ. 3. მართვის სისტემის პროგრამა

დროის რელეს #	დროის რელეს, დანაყენები, წთ	საფეხურის დატვირთვა, %	საფეხურის რელეს #	ჩართული კონტაქტები
t ₁	t ₁	20	K _I	k ₁
t ₂	t ₁ + t ₂	35	K _{II}	k ₁ + k ₅
t ₃	t ₁ + t ₂ + t ₃	50	K _{III}	k ₂ + k ₅
.
.
.
t _n	$t_n = \sum_{i=1}^n t_i$		K _n	K ₂ + K ₃ + K ₄ + k ₅

ყოველი საფეხურის რელეს დროის დაყოვნება განისაზღვრება ფორმულით:

$$t_i = \sum_{i=1}^n t_i ,$$

სადაც i – საფეხურის რიცხია.

ყოველ საფეხურს ამ დროს ჩართული რელეები უზრუნველყოფს. მაგალითად, მე-11 საფეხურისათვის (K_{xi}) ჩართული უნდა იყოს K_1 , K_2 და K_5 რელე. ინდუქციური და ტევადური დატვირთვის უჯრედების მართვის სისტემები შედგენილია ანალოგიურად.

დასკვნები

ნაშრომში ჩატარებული სამუშაოების, საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

10. ქ. თბილისის ელექტრომომარაგების სისტემის ოთხი დამწვევი ქვესადგურის 6-10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობების უჯრედების (ჯამური და გამავალი ხაზების) დატვირთვის დენების გამოკვლევის საფუძველზე დასაბუთებულია, რომ ქსელის ელემენტებში წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებებიდან ძირითადად დომინირებს ცალკეული ფაზების აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების დენების სტატიკური და დინამიკური არასიმეტრიულობა, ცალკეულ ფაზებში გამავალი დატვირთვის დენების მრუდის ფორმის დამახინჯებით განპირობებული, დიდ დიაპაზონში ცვალებადი პარამეტრების მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრი და მნიშვნელოვნად დაბალი რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი;

11. დადგენილია, რომ ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტებში მიმდინარე ემპ-ბის წარმოქმნის ძირითად მიზეზს შემდეგი სამი აღმამფოთებელი ფაქტორი განაპირობებს ქვესადგურის 6-10 კვ ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობებთან დიდი აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების მყისიერი ჩართვა და გამორთვა და ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და ელექტრომომარაგების ქსელების ელემენტებში წარმოქმნილი მოკლედშერთვები;

12. დატვირთვის ფიზიკური მოდელების შესწავლის საფუძველზე დადგენილია, რომ დატვირთვის არსებული მოდელები მიუღებელია, რადგან, ისინი ვერ უზრუნველყოფენ ცალკეულ ფაზებში მიმდინარე ემპ-ებსა და მათ მიერ ქსელის ელემენტებში გავრცელებულ ემდ-ების გათვალისწინებას;

13. ჩატარებული კვლევების შედეგების შეფასების საფუძველზე, დამუშავებულია „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი“, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, ემს-ის დაბალი და საშუალო ძაბვის გაფართოება-რეკონსტრუქციისა და ახალი ქსელების პროექტირებისას, ჩავატაროთ სრულყოფილი გამოკვლევა გამანაწილებელი მოწყობილობებთან მიერთებული

ელექტროტექნოლოგიური კომპლექსების მუშაობის რეჟიმების შედეგად, თითოეულ ფაზაში წარმოქმნილი ემპ-ები და ქსელის ელემენტებში გავრცელებული ემდ-ებები;

14. ელექტრომომარაგების ქსელის ფიზიკური მოდელის ცალკეული ფაზებისათვის შედგენილია აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების, ერთსაათიანი ინტერვალის, საფეხუროვანი, დღე-ღამური გრაფიკები;

15. შემოთავაზებული დატვირთვის ფიზიკური მოდელისათვის დამუშავებულია ძალური ნაწილის ცალხაზოვანი სქემა და მიკროპროცესორული მართვის სისტემა. მართვის სისტემა შესრულებულია კომპანია „შნიდერ ელექტრიკის“ მიერ წარმოებული პროგრამირებადი კონტროლერის (ინტელექტუალური რელე **Zelio Logic** -ის) საშუალებით. მართვის სისტემა მოიცავს: აქტიური, ინდუქციური და ტევადური უჯრედების ცალკეული ფაზების დამოუკიდებელ მართვის ბლოკებს;

16. ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელის ცალკეული უჯრედის პარამეტრების განსაზღვრისათვის შედგენილია მათემატიკური გამოსახულებები;

17. დასაბუთებულია, რომ შემოთავაზებული დატვირთვების ფიზიკური მოდელი საშუალებას გვაძლევს ჩავატაროთ ელექტრომომარაგების ქსელის ცალკეულ ფაზებში მიმდინარე ემპ-ების შესწავლა, მათ მიერ წარმოქმნილი და ქსელის ელემენტებში გავრცელებული ემდ-ებების სრულყოფილი გამოკვლევა, დავადგინოთ ემდ-ების ხასიათი, პარამეტრები და წარმოქმნის მიზეზები ქსელის მუშაობის საიმედოობისა და მდგრადობის, ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის ამაღლების მისაღწევად.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები:

1. ხარებავა დ. ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის მოდელი. „ენერჯია“, სერია: „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, 2021, №2(98), გვ. 47-49.

http://www.energyonline.ge/2020/ENERGY_MPPE_21_2_2021_Part_II.pdf

2. Badur Tchunashvili, Mamuka Kobalia, Alexander Petrosyan, Teimuraz Gamrekelashvili, Dimitri Kharebava. Improvement of the Physical Model of Power Supply Systems Dynamic Loads. Publisher: IEEE Published in: 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP) Date of Conference: 21-25 Sept. 2020. Kremenchuk, Ukraine.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9240833>

3. Чунашвили Б. М., Кобалия М. И., Петросян А. М., Харебава Д. Н. Физическая модель динамических нагрузок систем электроснабжения. Вестник Нац. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Тем. вып.: «Проблемы Автоматизированного Электродвижения», «Силовая Электроника и Энергоэффективность», 2017, №27(1249), с. 156-159.

<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/33728>

4. ჭუნაშვილი ბ., პეტროსიანი ა., გამრეკელაშვილი თ., ხარებავა დ. ელექტრომომარაგების მიერ ქსელში წარმოქმნილი ძაბვის მაღალი სიხშირის ჰარმონიკების სიმეტრიულობის გამოკვლევა. IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის - „ენერჯეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ - მოხსენებების კრებული, ქუთაისი, საქართველო, 2016, გვ. 5–8.

<http://science.gtu.ge/cat/7/38/>

5. ჭუნაშვილი ბ., ქობალია მ., ხარებავა დ. ელექტრომომარაგების მიერ ქსელში წარმოქმნილი მაღალი სიხშირის ჰარმონიკების სიმეტრიულობის გამოკვლევა. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, 2016, №4(80), გვ. 57–61.

<https://gen.techinformi.ge/>

Resume

The dissertation is dedicated to the study of electromagnetic processes in three-phase and single-phase cable lines made of woven polyethylene, determining the power and power losses caused by these processes in network elements, analyzing the level of reliability of the network power supply when using each of them, comparing them with each other, making relevant conclusions and determining the expediency of their use in specific conditions.

The first chapter studies the current state of the electricity supply system in Tbilisi and analyzes the emergency shutdowns in the network. It is important that the average voltage system of the city power supply includes 2191 units, 1558.1 MW total power, (10-6)/0.4 voltage transformer substations and their power supply network includes, 6-10 kV, 3967.76 km long cable network. It is important that a significant portion of cable networks are outdated and in need of urgent rehabilitation.

According to the daily report of the controller management service of the Tbilisi electricity supply network, in 2021 1567 power outages were registered due to technical malfunctions of the network. Emergency power cuts were mainly done for the following reasons: 173(11.0%) for breakdown elimination by service personnel, for breakdown liquidation as a result of relay protection -1370(87%), for unknown reasons -24(1.5%).

Research materials have shown that the reactive power factor of cable lines is significantly lower. As a result, the reactive power carried by the cables is 40-45% of the total capacity. It is also shown that the spectrum of high-order harmonics outgoing in cables is mainly dominated by 5th-order harmonics. Consequently, the additional heating of the cable insulation is mainly due to this harmonica.

In the second chapter, the current electromagnetic processes in the three-phase cables are investigated and an electrical replacement scheme is developed. Electromagnetic processes due to asymmetry of load current in cables are explored. The influence of high-order harmonics on electromagnetic processes generated as a result of load current distortion is studied. It is important that the active and reactive power and energy losses in a medium voltage cable network depend mainly on the cable design, the substance of the elements' materials, and the technical arrangement of the cable network.

The reasons for the unequal distribution of the load current between the three-phase cables connected in parallel and the separate phases are established.

Based on the qualitative and quantitative analysis of the parameters of the parallel connected cables' replacement circuit, it is established that the difference between output currents of the parallel-connected wires is mainly due to the inequality of the transient resistances of the contact at the beginning and end of the cable. A method for detecting inequality between the resistors of the same phases connected in parallel is proposed, which is based on the principle of simultaneous control of the total output currents in the parallel circuits and the difference of output currents in the separate circuits. Studies have shown that despite the identity of the cable parameters and the same operating conditions, the currents in the cables of the same phases are significantly different from each other, and in

some cases, the output current in a highly loaded cable significantly exceeds the allowable current under long-term heating conditions.

The third chapter examines the current electromagnetic processes in three-phase cable networks, identifies the causes of power and electricity losses and influence of screen grounding method on cable overheating and reducing conductivity.

Electrical replacement scheme of cable network has been developed to investigate the electromagnetic processes in three-phase cables made of single-phase woven polyethylene insulation, to estimate their power and power losses, and to determine the impact on cable conductivity. It is substantiated that the current electromagnetic processes in three-phase cable networks made of single-phase cables are similar to the current processes in a single-phase two winding power transformer. In particular, the processes in the case of a two-point grounding screen are identical to power transformer working in a short-circuit mode, and in the case of a single-point grounding and transposed screen, are identical to a power transformer working in idling mode. Accordingly, in the study of single-phase cables, power transformer replacement circuits can be used along with taking into account the parameters of the proposed replacement circuit. It is supported by evidence that in two-point screen-grounded single-phase cables mainly dominate losses due to currents generated by the current in the cable screen.

Based on the synthesis of screen grounding methods: "sectioned single-grounded screen" and "mid-grounded screen", a new screen grounding method has been developed: "sectioned mid-ground screen", which ensures damage protection from cable over voltages, reduces the number of expensive network devices, reduces the amount of installation work, and simplifies maintenance services.

Based on the conducted research, the following recommendations are proposed for the implementation of medium voltage cable networks of the power supply system.