

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გიორგი მთვარელიშვილი

საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემებში
ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების
გამოკვლევა.

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია
შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივნისი, 2016

საავტორო უფლება © 2016 გიორგი მთვარელიშვილი
თბილისი
2016 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი მთვარელიშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების გამოკვლევა და ვაძლევთ 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: მთვარელიშვილი გიორგი

დასახელება: საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემებში
ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების გამოკვლევა.

ფაკულტეტი: ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პიროვნებების 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

რკინიგზის ტრანსპორტის ენერგეტიკული პოლიტიკის ძირითად თავისებურებას წარმოადგენს სათბობენერგეტიკული რესურსების საყოველთაო დაზოგვა და ამავდროულად, ამ რესურსების მოხმარების ეფექტურობის ამაღლება.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმები ხასიათდებიან მომიჯნავე წევის ქვესადგურების არათანაბარი დატვირთვით, სადგურებშორისი საფიდერო ზონებში გამათანაბრებელი დენებით, რომლებიც აღწევენ ნორმალურ საექსპლუატაციო მნიშვნელობებს. შედეგად შეინიშნება წევის ქსელში ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგების მომატებული მნიშვნელობები, რაც ამცირებს წევის ელექტრომომარაგების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიურ მაჩვენებლებს.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმების ხარვეზები ძლიერდება წევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომარაგის შემადგენლობის ელენერგიის აღრიცხვის არასრულყოფილობის გამო.

წარმოდგენილი სადისერტაციო სამუშაო უშუალოდ დაკავშირებულია ელექტროენერგიის ეკონომიასთან და ეძღვნება რკინიგზის ელექტროენერგიის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების მიზეზების ანალიზს, რომლის საფუძველზე დამუშავებულია ელექტროენერგიის დანაკარგების შემცირების კომპლექსური ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებები.

ნაშრომის პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები, სადაც ქსელის სხვადასხვა ელემენტებში დანაკარგების მდგენელების შესწავლისა და დანაკარგების შემცირების ამა თუ იმ ღონისძიების ჩატარების საჭიროების შეფასებისათვის მოყვანილია ელექტროენერგიის დანაკარგების სტრუქტურის ანალიზის შედეგები.

დაწვრილებით განხილულია დანაკარგების სახეები, როგორც ზოგადად ელექტრომომარაგების სქემებში, ასევე კონკრეტულად წევის

ქვესადგურებსა და ქსელებში. მოცემულია მათი გაანგარიშების მათემატიკური გამოსახულებები.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება ელექტრო ენერჯის ხარისხის კონტროლის მდგომარეობისა და განვითარების ტენდენციის ანალიზის საკითხებს. რკინიგზის ელექტრომომარაგების წევის სისტემებში უბალანსობის მიღებული მნიშვნელობები არ წარმოადგენენ ელექტრომომარაგების სისტემების ცალკეულ უბნებზე ელექტრული ენერჯის მომატებული დანაკარგების შესახებ ინფორმატიულ პარამეტრებს. ამიტომ საჭიროა რკინიგზას ჰქონდეს სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემა, რომელიც მოგვცემს საშუალებას წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში შევამციროთ უბალანსობა. აქედან გამომდინარე, ამ თავში განხილულია ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის თანამედროვე მდგომარეობა, სამართლებრივი, ნორმატიულ-მეთოდური მეტროლოგიური და ტექნიკური უზრუნველყოფის საკითხები; ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზის შედეგები.

ნაშრომის III თავი ეძღვნება დამახინჯების სიმძლავრეებს, მათ გამომწვევ 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 მეთოდოლოგია.

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემების ანალიზის შედეგები და მიღებული შედეგების საფუძველზე შემუშავებული რეკომენდაციები.

სადისერტაციო ნაშრომში საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სქემა წარმოდგენილია ცალკეული მონაკვეთის სახით.

ნაშრომის ამავე თავში რეკომენდაციის სახით შემოთავაზებულია მუდმივი დენის წევის ქვესადგურებში მიღებულ და გაცემულ ელექტროენერგიებს შორის დასაშვები სხვაობის გაანგარიშების მეთოდიკა და წევის ქვესადგურებში ელენერგიის კომერციული აღრიცხვის კონტროლის სისტემების სრულყოფის რეკომენდაციები, რომლებიც გარდა ელექტროენერგიის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა, საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოთ მიღებული ელექტროენერგიის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვავლინოთ ელენერგიის არარაციონალური ხარჯები.

Abstract

The main feature of the railway transport energy policy is the general conservation of energy resources and hereby raising the efficiency of the energy consumption.

Traction power supply systems are characterized by uneven loads of contiguous traction substations, equalizing currents in feeder zones between the stations, reaching normal operational values. As a result there is traction network voltage and power losses at higher values, thus reducing the technical and economic parameters of the traction power supply systems.

The deficiency of operational conditions in traction power supply system is intensified due to incompleteness of electric power accounting in traction substations and rail transport systems.

The presented dissertation is actually related to energy conservation and is dedicated to develop of complex organizational and technical measures to reduce electricity losses which are based on the analyses of technical and economic losses of railway electric power.

Chapter 1 of dissertation dwells on the results of literature review, which first of all contains the results of power losses structure analyses for estimation of necessity of different measures of wastage reduction and study of electric power losses components in various network elements.

The types of losses are discussed as for the power supply schemes, as well as specifically for traction substations and networks. The chapter contains the formulas of mathematical calculation.

The second chapter deals with the issues of quality control of the electricity and development trend analysis. The imbalanced values in railway traction power supply system do not represent the informative parameters of increased electric energy losses in separable areas of power supply system.

So it is necessary for railway to have scientific, technical and organizational measures in a complex system, which will allow us to reduce imbalance of the traction

power supply system. Therefore, this chapter examines the current state of electric power quality control, the legal, normative methodical, technical and metrological maintenance issues, also the results of international practice analysis for the solution of electric energy quality problem.

Chapter 3 refers to distortion capacities, including the causes, analysis methods and means of reducing. In particular, there are shown SCADA system based three-phase network non-linear distortion capacities and increased electric energy losses caused by distortion, also determination methods of electric power characteristics.

Chapter 4 describes the analysis of Georgian railway power supply system and recommendations based on the obtained results.

Georgian railway electric power supply scheme is represented as separate section of thesis.

In the same chapter, there is recommended the methods of calculation for permissible difference between DC traction substations received and supplied electricity and recommendations for the improvement of electricity commercial accounting control, allowing us evaluate the condition of electrical equipment, control electricity shortages and quality indicators, also detect Irrational costs of electricity.

შინაარსი

ცხრილების ნუსხა	xii
ნახაზების ნუსხა	xiii
შესავალი	14

თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. ზოგადი ცნობები ელექტრული ენერჯის დანაკარგების შესახებ	20
1.2. ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები	22
1.3. ელექტროენერჯის დატვირთვის დანაკარგები	25
1.4. უქმი სვლის დანაკარგები	26
1.5. ელექტროენერჯის კლიმატური დანაკარგები	28
1.6. ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების სტრუქტურა	30
1.7. კომერციული დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია ქსელში გაშვებული და მოხმარებელზე სასარგებლოდ გაცემული ელექტროენერჯითა და გაზომვის ცდომილებით	31
1.8. დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია ქსელში სასარგებლოდ გაშვებული ელექტრო ენერჯის დატაცებითა და ენერგოგამსაღებელი ორგანიზაციის მუშაობაში არსებული ხარვეზებით	32
1.9. მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების გადაუხდელობით გამოიწვეული ფინანსური დანაკარგები	35
1.10. წვეის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა	40
1.11. ელექტროწვეის დატვირთვის შემცველი ენერგეტიკული სისტემების გაანგარიშების არსებული მეთოდების ანალიზი	44

შედეგები და მათი განსჯა

თავი II. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის მდგომარეობისა და განვითარების ტენდენციის ანალიზი

- 2.1. ზოგადი ცნობები _____ 49
- 2.2. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის თანამედროვე მდგომარეობა _____ 51
- 2.3. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფა _____ 53
- 2.4. ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფა _____ 56
- 2.5. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის მეტროლოგიური უზრუნველყოფა _____ 62
- 2.6. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ტექნიკური უზრუნველყოფა _____ 65
- 2.7. ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზი _____ 73

თავი III. დამახინჯების სიმძლავრები ელექტრულ ქსელებში

- 3.1. დამახინჯების სიმძლავრის გაზომვა არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში _____ 80
- 3.2. ელექტროენერჯეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა არასინუსოიდური დენის წრედებში სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით _____ 85

თავი IV. საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემების ანალიზი და მიღებული შედეგების საფუძველზე რეკომენდაციების შემუშავება

- 4.1. საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემის ანალიზი _____ 95

4.2. მუდმივი დენის წევის ქვესადგურებში მიღებულ და გაცემულ ელენერგიებს შორის დასაშვები სხვაობის გაანგარიშების მეთოდიკა _____114

4.3. წევის ქვესადგურებში ელექტროენერგიის კომერციული აღრიცხვის კონტროლის სისტემების სრულყოფის რეკომენდაციები _____ 119

დასკვნა _____122

ლიტერატურა _____124

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.1. დენის ჰარმონიკების დასაშვები მოქმედი მნიშვნელობები

ცხრილი 3.1. სიმძლავრეთა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ამონაწერი ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს არქივიდან..

ცხრილი 4.1. წევის ქვესადგურების ძირითადი მაჩვენებლები

ცხრილი 4.2. საქართველოს რკინიგზის დასავლეთის ელექტრომომარაგების სამმართველოს წარმოდგენილი 2014 წლის ელექტრომომარაგების ანგარიში.

ცხრილი 4.3. დიდუბის წევის ქვესადგურის მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი

ცხრილი 4.4. ზაჰესის წევის ქვესადგურის მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი

ცხრილი 4.5. გორის წევის ქვესადგურის მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი

ცხრილი 4.6. საქართველოს რკინიგზის წიფის უღელტეხილის მონაკვეთის 2014 წლის მონაცემები

ცხრილი 4.7. მიღებულ და განაწილებულ ელექტროენერჯებს შორის სხვაობის გაანგარიშება საქართველოს რკინიგზის წევის ქვესადგურებზე 2015 წლის განმავლობაში

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1.1. ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების სტრუქტურა.

ნახ.2.1. ძაბვის გადახრა (δU), ძაბვის უარყოფითი გადახრა ($\delta U_{(-)}$) და ძაბვის დადებითი გადახრა ($\delta U_{(+)}$).

ნახ.2.2. Perypc-K2M ტიპის ცვლადი დენის კალიბრატორი.

ნახ.2.3. ელენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი ხელსაწყო Perypc- UF2-4.30

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. საქართველოს რკინიგზის ინგირი (ეჩკ-6) - ზესტაფონის (ეჩკ-16) მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა

ნახ.4.2. საქართველოს რკინიგზის ზესტაფონი (ეჩკ-16) - ხაშურის (ეჩკ-20) მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა

ნახ.4.3. საქართველოს რკინიგზის ხაშური (ეჩკ-20) - თბილისი საკვანძო (ეჩკ-27) მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა

ნახ.4.4. თბილისი საკვანძო (ეჩკ-27) - რუსთავი (ეჩკ-28), თბილისი საკვანძო (ეჩკ-27) - მადარო (ეჩკ-30), გურჯაანი (ეჩკ-31) მონაკვეთების ელმომარაგების სქემა.

ნახ.4.5. საქართველოს რკინიგზის თბილისი საკვანძო ახალქალაქი - სადახლოს მონაკვეთები

ნახ.4.6. დიდუბის წევის ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა

ნახ.4.7. ზაჰესის წევის ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა

ნახ.4.8. გორის წევის ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა

შესავალი

რკინიგზის ტრანსპორტის ენერგეტიკული პოლიტიკის ძირითად თავისებურებას წარმოადგენს სათბობენერგეტიკული რესურსების საყოველთაო დაზოგვა და ამავდროულად ამ რესურსების მოხმარების ეფექტურობის ამაღლება. სწორედ, ამიტომ საქართველოს რკინიგზის ხელმძღვანელობის მიერ უნდა განისაზღვროს სათბობისა და ენერჯის ეკონომიისა და დაზოგვის მიზანმიმართული პოლიტიკა.

პირველ რიგში, დაგეგმილ უნდა იქნეს მატარებლის წვევაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯის (კვტ.სთ/ტონა.კმ) შემცირება.

ენერგოდაზოგვის პროგრამის შესაბამისად, ერთ-ერთ წინა პლანზე წამოიწევა ენერგოდამზოვი ღონისძიებების კომპლექსის დანერგვის საკითხები. ამ კომპლექსის უმნიშვნელოვანეს მდგენელებს წარმოადგენს კუთრი ხარჯისა და ქსელში ელექტროენერჯის გადაცემაზე ტექნოლოგიური დანაკარგების შემცირების ღონისძიებები.

ელექტრული ენერჯის ტექნოლოგიური დანაკარგების საანგარიშო მნიშვნელობები საბალანსო კუთვნილების საზღვრიდან (წვევის ტრანსფორმატორების მაღალი მხარე) ელექტრომომრავი შემადგენლობის დენმიმღებამდე რკინიგზის კონკრეტული უბნებისათვის, როგოც წესი სტაბილური სიდიდეა: მუდმივი დენის წვევის ქსელის უბანზე (8-10) %-მდეა, ხოლო ცვლადი დენის უბანზე (3-5) %-მდე.

ამჟამად, საქართველოს რკინიგზაზე ელექტროენერჯის დანაკარგების მიხედვით ასეთი მდგომარეობაა. 2015 წლის მონაცემებით წვევის ქვესადგურებში დაყენებული მრიცხველების მიერ აღრიცხულ მატარებლების წვევაზე მიღებულ ელექტრულ ენერჯიასა და ელექტრომომრავ შემადგენლობაზე დაყენებული მრიცხველების მიხედვით აღრიცხულ მოხმარებულ ელექტროენერჯიას შორის სხვაობამ (შემდგომში) „უბალანსობამ“ შეადგინა 7,1 %.

„უბალანსობასა“ და ტექნოლოგიურ დანაკარგებს შორის სხვაობას კომერციულ დანაკარგებს უწოდებენ [1,2]. მატარებლის წევაზე კომერციული დანაკარგების მდგენელში შედის ელექტროენერჯის სრულიად განსაზღვრული ელექტროენერჯის ხარჯი (ესენია: საკონტაქტო ქსელიდან ელექტროენერჯის გაუთვალისწინებელი ართმევა, დადგმული სიმლავრის მიხედვით სამგზავრო ვაგონების გათბობაზე ელექტროენერჯის მიახლოებითი აღრიცხვის ცდომილება და სხვა). ამიტომ ადრე ფართოდ გავრცელებული ტერმინი „პირობითი დანაკარგები“ ამჟამად, შეცვლილია ტერმინით „უბალანსობა“.

„უბალანსობასა“ და საანგარიშო ტექნოლოგიურ დანაკარგებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება გვიჩვენებს წევის ქვესადგურებისა და რკინიგზის მოძრავი შემადგენლობის ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემების არადამაკმაყოფილებელ ტექნიკურ და ორგანიზაციულ მდგომარეობას.

რკინიგზის წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში „უბალანსობის“ საანგარიშო მნიშვნელობა არ წარმოადგენს რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემის ცალკეულ უბანზე ელექტროენერჯის მომატებული დანაკარგების ინფორმაციულ პარამეტრს, ამიტომ რკინიგზას უნდა გააჩნდეს სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში ვმართოთ „უბალანსობის“ შემცირება. კომპლექსურმა სისტემამ უნდა გადაწყვიტოს შემდეგი ამოცანები:

- რკინიგზაზე გამოავლინოს მომატებული დანაკარგების მქონე უბნები;
- მოახდინოს რკინიგზის უბნებზე „უბალანსობის“ შემცირებისათვის შერჩეული ღონისძიების დანერგვის ეფექტურობის შეფასება;
- უზრუნველყოს „უბალანსობის“ შემცირებაში რკინიგზის შესაბამისი განყოფილების ეკონომიური დაინტერესება.

„წევის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმები ხასიათდებიან მომიჯნავე წევის ქვესადგურების არათანაბარი დატვირთვით, სადგურებშორისი საფიდერო ზონებში გამათანაბრებელი დენებით, რომლებიც აღწევენ ნორმალურ საექსპლუატაციო მნიშვნელობებს. შედეგად შეინიშნება წევის ქსელში ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგების მომატებული მნიშვნელობები, რაც ამცირებს წევის ელექტრომომარაგების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიურ მაჩვენებლებს.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმების ნაჩვენები ხარვეზები ძლიერდება წევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომარაგის შემადგენლობის ელექტრული ენერჯის აღრიცხვის არასრულყოფილობის გამო. დღევანდლამდე, მთელ რიგ ქვესადგურებში ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვა სწარმოებს ინდუქციური მრიცხველებით, რომლებიც მოწმდება და სამუშაოდ გამოიყენება წრფივ ელექტრულ წრედებში, წევის ელექტრომომარაგების სისტემები წარმოადგენენ ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ენერგოტევად არაწრფივ მომხმარებლებს და შესაბამისად, ისინი ქსელში იწვევენ დამახინჯების სიმძლავრეებს. მათ სპეციფიკურ თავისებურებას წარმოადგენს მატარებლების მოძრაობაზე ელექტროენერჯის მოხმარების მნიშვნელოვანი არათანაბრობა, დიდი რაოდენობის გამმართველი ტექნიკის არსებობა და შესაბამისად, ელექტრომომარაგების სისტემებში არსებითი დანაკარგები. ექსპლუატაციის პირობები შესამოწმებელი პირობების არაადეკვატურია და ხასიათდება ძაბვების არასიმეტრიულობით, დენების არასინუსოიდურობით და მცირე დატვირთვებით. შეიმჩნევა ექსპლუატაციის ისეთი რეჟიმები, რომლის დროსაც არ გაითვალისწინება საკონტაქტო ქსელიდან ელექტროენერჯის გარე ელექტრომომარაგების სისტემაში დაბრუნება. ელექტრომომარაგის შემადგენლობის ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემებს გააჩნიათ მთელი რიგი ხარვეზები.

წარმოდგენილი სადისერტაციო სამუშაო უშუალოდ დაკავშირებულია ელექტროენერჯის ეკონომიასთან და ეძღვნება რკინიგზის ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების მიზეზების ანალიზს, რომლის საფუძველზე დამუშავებულია ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების კომპლექსური ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებები.

სადისერტაციო სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს საქართველოს რკინიგზისათვის ისეთი სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემის შექმნა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს წვეის ელექტრომომარაგების სისტემებში შევამციროთ ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგები.

ამ მიზნის შესასრულებლად სადისერტაციო სამუშაოში განხილულია და გადაწყვეტილია თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შემდეგი კომპლექსი:

- ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე, შესწავლილია ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა, როგორც ზოგადად ელექტრომომარაგების ქსელებში, ასევე წვეის ქვესადგურებსა და ქსელებში;

- საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზის საფუძველზე შესწავლილია მსოფლიო გამოცდილება ელმომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის დანაკარგების ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორის ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის თანამედროვე მდგომარეობა, მისი სამართლებრივი, ნორმატიულ-მეთოდური მეტროლოგიური და ტექნიკური უზრუნველყოფის საკითხები;

- დამუშავებულია არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის დამახინჯების სიმძლავრის გაზომვის მეთოდიკა;

- შემოთავაზებულია სისტემა SCADA-ს მონაცემების გამოყენებით არასინუსოიდური დენის წრედებში ელექტროენერჯეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდიკა;

- ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, შესწავლილია საქართველოს რკინიგზაზე ელექტროენერჯის აღრიცხვისა და დანაკარგების მდგომარეობა;

- შემუშავებულია რეკომენდაცია, რომლის დანერგვა საქართველოს რკინიგზას მისცემს საშუალებას, გარდა ელექტროენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა შევაფასებულ იქნეს ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა; წარმოებულ იქნეს ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვლენილ იქნეს ელექტროენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

კვლევის მეთოდები. სამუშაოში დასმული მიზანი მიიღწევა მსოფლიო გამოცდილების ანალიზის საფუძველსა და რკინიგზის მოქმედ უბნებზე ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევების საფუძველზე.

თეორიულ გამოკვლევებს საფუძვლად უდევს წრფივ ელექტრულ წრედებში დამყარებული პროცესების გაანგარიშების მეთოდები და მათემატიკური სტატისტიკის ელემენტები.

სამეცნიერო სიახლე. სადისერტაციო სამუშაოში პირველად კომპლექსურად იქნა გადაწყვეტილი ამოცანა, რომელიც საშუალებას იძლევა შევამციროთ წვევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომარაგი შემადგენლობის აღრიცხვის სისტემის მიხედვით ელექტროენერჯის „უბალანსობა“ რკინიგზის მომატებული „უბალანსობის“ მქონე უბნებისა და მისი შემცირების ღონისძიების დანერგვის გზით. ამ დროს გადაწყვეტილ იქნა შემდეგი ამოცანები:

- შეიქმნა წვევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომარაგი შემადგენლობის მრიცხველების მიხედვით მატარებლის წვევაზე ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ კონტროლის სისტემა, რომელიც იძლევა საშუალებას გამოიყოს მომატებული დანაკარგების მქონე რკინიგზის უბნები;

– თეორიულად ან ექსპერიმენტულად განისაზღვრა რკინიგზის მუდმივი და ცვლადი დენის უბნებზე მატარებლის წევაზე ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ მდგენელის ცვლილების საზღვრები;

– დამუშავებულ იქნა რკინიგზის უბნების საზღვრებში მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯის კონტროლის მეთოდი;

– დამუშავებულ იქნა საანგარიშო პერიოდის შედეგების მიხედვით მატარებლის წევაზე ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ ანალიზის სისტემა;

– დამუშავებულ იქნა მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის კუთრი ხარჯისა და „უბალანსობის“ შემცირების შესახებ ღონისძიების ეფექტურობის კონტროლის სისტემა.

პრაქტიკული ღირებულება. ელექტრული ენერჯის „უბალანსობის“ შემცირებისა და კუთრი ხარჯის კონტროლის დამუშავებული ღონისძიებების ერთობლიობის გატარება საშუალებას მოგვცემს ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და წევის ქვესადგურის შემყვანებიდან მიღებული ელექტროენერჯის შემცირების ხაჯზე მივიღოთ საგრძნობი ეკონომიური ეფექტი.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი დებულებები მოხსენებულ იქნა:

1. მე-2 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერჯეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი. 2013 წელი. გვ. 24-28.

პუბლიკაციები. სადისერტაციო სამუშაოს შესახებ გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი

სამუშაოს სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 4 თავისაგან, დასკვნისაგან, 52 დასახელების ლიტერატურული წყაროსაგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა წარმოდგენილია 129 გვერდზე, შეიცავს 18 ნახაზსა და 9 ცხრილს.

თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. ზოგადი ცნობები ელექტრული ენერჯის დანაკარგების შესახებ

ზოგადად, ელექტროენერჯის დანაკარგების გაანგარიშების პრობლემა ენერჯეტიკოსებს უკვე ძალიან დიდი ხანია აწუხებთ. ამასთან დაკავშირებით, მოცემულ თემაზე ამჟამად გამოდის წიგნების ძალიან მცირე რაოდენობა, რადგან ქსელების პრინციპულ მოწყობილობაში ძალიან მცირე რამ თუ შეიცვალა. მაგრამ ამავე დროს, იბეჭდება სტატიათა დიდი რაოდენობა, სადაც სწარმოებს ძველი მონაცემების დაზუსტება და შემოთავაზებულია ელექტროენერჯის დანაკარგების გაანგარიშებასთან, ნორმირებასთან და შემცირებასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტის გზები.

ერთ-ერთი უკანასკნელი წიგნი, რომელიც ამ თემას ეძღვნება არის ი.ს. ჟელეზკოს მიერ რუსულ ენაზე გამოცემული [3]. მასში ავტორი საკმაოდ სრულად წარმოგვიდგენს ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურას, დანაკარგების ანალიზის მეთოდებსა და შემცირების ღონისძიებების შერჩევის საკითხებს. დასაბუთებულია დანაკარგების ნორმირების მეთოდები. დაწვრილებით აღწერილია დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდების რეალიზაციის პროგრამული უზრუნველყოფა.

ქსელის სხვადასხვა ელემენტებში დანაკარგების მდგენელების შესწავლისა და დანაკარგების შემცირების ამა თუ იმ ღონისძიების ჩატარების საჭიროების შეფასებისათვის სრულდება ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის ანალიზი.

ელექტროენერჯის ფაქტიური (საანგარიშო) დანაკარგები $\Delta W_{საანგ}$ განისაზღვრება როგორც ქსელში შემოსული ელექტროენერჯისა და ქსელიდან მომხმარებელზე გადაცემული ელექტროენერჯის სხვაობა. ეს დანაკარგები თავის თავში შეიცავენ სხვადასხვა ბუნების მდგენელებს: დანაკარგები ქსელის ელემენტებში, რომლებსაც გააჩნიათ სუფთა ფიზიკური ხასიათი;

ელექტროენერჯის ხარჯი ქვესადგურებში დადგმული იმ მოწყობილობების მუშაობაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ელექტროენერჯის გადაცემას; ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებით გამოწვეული დანაკარგები; ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების მიერ აღრიცხული დახარჯული ელექტროენერჯის საფასურის გადაუხდელობით ან ნაწილობრივი გადახდით გამოწვეული დანაკარგები.

დანაკარგების დაყოფა მდგენელებად შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა კრიტერიუმებით: დანაკარგების ხასიათით (მუდმივი და ცვლადი), ძაბვის კლასით, ელემენტების ჯგუფებით, საწარმოო ქვედანაყოფებითა და სხვა. მხედველობაში იღებენ ფაქტიური დანაკარგების მნიშვნელობების რაოდენობის განსაზღვრის მეთოდების სპეციფიკასა და ფიზიკურ ბუნებას და მათ ყოფენ ოთხ მდგენელად:

1. ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები ($\Delta W_{ტექ}$), რომლებიც განპირობებულია ელექტროქსელებში ელექტროენერჯის გადაცემის დროს მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით, გამოხატული ქსელის ელემენტებში ენერჯის ნაწილის სითბოდ გადაქცევით.

2. ელექტროენერჯის საკუთარი მოხმარების ხარჯები ($\Delta W_{საკ}$), რომლებიც საჭიროა ქვესადგურების ტექნოლოგიური მოწყობილობების მუშაობისა და მომსახურე პერსონალის მოქმედებისათვის. საკუთარი მოხმარების ხარჯები განისაზღვრება ქვესადგურის საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორზე დაყენებული მრიცხველებით.

3. ინსტრუმენტალური დანაკარგები ($\Delta W_{გაზ}$), რომლებიც განისაზღვრებიან გამოყენებული ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლებითა და მუშაობის რეჟიმებით.

4. კომერციული დანაკარგები განპირობებულია ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების ჩვენებისა და მომხმარებლების მიერ დახარჯული ელექტრო-ენერჯის საფასურის გადახდის შეუსაბამობით, გადახდის

დაგვიანებით, გადაუხდელობითა და ასევე ენერჯის მოხმარების კონტროლის ორგანიზაციის სფეროს სხვა მიზეზებით.

დანაკარგების შემადგენელი პირველი სამი მდგენელი განპირობებულია ელექტროენერჯის ქსელში გადაცემის პროცესის ტექნოლოგიური მოთხოვნებითა და ელენერჯის შემოდინება გადინების ინსტრუმენტალური აღრიცხვით. ამ დანაკარგების ჯამი კარგად აღიწერება ტერმინით - ტექნოლოგიური დანაკარგები. მეოთხე მდგენელი – კომერციული დანაკარგები - წარმოადგენენ `ადამიანის ფაქტორის` ზემოქმედებას და აქვს ორგანიზაციული, ეკონომიური, ფსიქოლოგიური და იურიდიული ფესვები. ისინი თავის თავში შეიცავენ ადამიანის ზემოქმედების გამოვლინებას: დანაკარგები შეიძლება იყოს ფიზიკური და ეკონომიური ხასიათის [3].

ტექნიკური დანაკარგების ჯამი, ქვესადგურის ელექტროენერჯის საკუთარი მოხმარების ხარჯი და კომერციული დანაკარგები მიეკუთვნებიან ფიზიკურ დანაკარგებს. ეს მდგენელები ნამდვილად მიეკუთვნებიან ქსელში ელექტროენერჯის განაწილების ფიზიკას. ამ დროს ფიზიკური დანაკარგების პირველი ორი მდგენელი მიეკუთვნება ქსელში ელექტროენერჯის გადაცემის ტექნოლოგიას, ხოლო მესამე-გადაცემული ელექტროენერჯის რაოდენობის კონტროლის ტექნოლოგიას.

ეკონომიკა განსაზღვრავს დანაკარგებს, როგორც ელექტროენერჯის ნაწილს, რომელზეც მომხმარებელზე მიწოდებული სასარგებლო ელექტროენერჯია ნაკლები აღმოჩნდა წარმოებულზე.

1.2. ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები

ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები იყოფა სამ ძირითად: ცვლად, მუდმივ და კლიმატურ ჯგუფად. ცვლადი ანუ დატვირთვის დანაკარგები დამოკიდებულია გადასაცემ სიმძლავრეზე, გადაცემის ხაზის კვეთსა და სიგრძეზე, ხაზში ტრანსფორმატორების რაოდენობაზე და სხვ. და

პროპორციულია ელექტრული ქსელის ელემენტებში გამავალი დატვირთვის დენის კვადრატისა, რომელიც როგორც წესი იცვლება დროის მიხედვით (მოკლედ შერთვის დანაკარგები). **მუდმივი დანაკარგები** დამოკიდებულია ძაბვის მცირე ფლუქტუაციაზე და აღიძვრებიან ტრანსფორმატორების მაგნიტურ გამტარებში (უქმი სვლის დანაკარგები) დატვირთვის გარეშე. დატვირთვის დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია გვირგვინითა და მაღალი ძაბვის იზოლატორებში გაჟონვის დენებით და მიეკუთვნებიან კლიმატურ დანაკარგებს.

გარდა ტექნიკური დანაკარგებისა უკანასკნელ ხანებში შეინიშნება ელექტრული ენერჯის დანაკარგების კომერციული მდგენელის ზრდა, რომლებიც განპირობებულია ელექტროენერჯის დატაცებით, აღრიცხვის კვანძების მოუწესრიგებლობითა და სხვა.

ეკონომიკის თვალსაზრისით ქვესადგურების საკუთარი მოხმარების ელექტროენერჯის ხარჯი არაფრით არ განსხვავდება მომხმარებლებზე დანარჩენი ელექტროენერჯის გადაცემის დროს ქსელის ელემენტებში ხარჯისაგან.

სასარგებლოდ გაშვებული ელექტროენერჯის მოცულობის არაზუსტი აღრიცხვიანობა იგივე ეკონომიური დანაკარგია, როგორც ზემოთ მოყვანილი ორი მდგენელი. იგივე შეიძლება ითქვას ელექტროენერჯის დატაცებაზე. ამგვარად, დანაკარგების ყველა ზემოთ აღწერილი ოთხივე მდგენელი ეკონომიური თვალსაზრისით ერთნაირია.

ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს შემდეგი სტრუქტურული მდგენელებით:

დატვირთვის დანაკარგები ქვესადგურების მოწყობილობებში. მათ მიეკუთვნება დანაკარგები ხაზებში, ძალოვან და მზომ ტრანსფორმატორებში, მაღალსიხშირულ შემზღვევლებში და დენშემზღვევ რეაქტორებში. ყველა ეს ელემენტი ქსელში ჩართულია მიმდევრობით და ამიტომ დანაკარგები მათში დამოკიდებულია მათში გამავალი დენის სიდიდეზე.

უქმი სვლის დანაკარგები მოიცავენ ელექტროენერჯის დანაკარგებს ძალოვან ტრანსფორმატორებში, მაკომპენსირებელ მოწყობილობებში, ძაბვის ტრანსფორმა-ტორებში, მრიცხველებსა და საკაბელო ხაზების იზოლაციებში.

კლიმატური დანაკარგები შეიცავენ ორი სახის დანაკარგს: დანაკარგები გვირგვინსა და გაჟონვის დენებით გამოწვეულ დანაკარგებს მაღალი ძაბვის საჰაერო ხაზებისა და ქვესადგურების იზოლატორებში. ორივე სახის დანაკარგი დამოკიდებულია ამინდის პირობებზე.

ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციის (ენერჯოსისტემის) ტექნიკური დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში გაიანგარიშება ძაბვის სამი დიაპაზონისათვის:

- 35 კვ და ზევით მაღალი ძაბვის მკვებავი ქსელებისათვის;
- 6-10 კვ საშუალო ძაბვის გამანაწილებელი ქსელებისათვის;
- 0,4 კვ დაბალი ძაბვის გამანაწილებელი ქსელებისათვის.

0,4-6-10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი ქსელები ხასიათდებიან მწარმოებლიდან მომხმარებლამდე ელექტროენერჯის გადაცემის მთელ ქსელში არსებულ ჯამურ დანაკარგებში მნიშვნელოვანი წილით. ეს განპირობებულია ამ სახის ქსელების აგებულების, ფუნქციონირებისა და ექსპლუატაციის ორგანიზაციის თავისებურებებით: ელემენტების დიდი რაოდენობით; სქემების განშტოებით, აღრიცხვის ხელსაწყოების არასაკმარისი უზრუნველყოფით, ელემენტების შედარებით მცირე დატვირთვით და სხვა [4].

0,4-6-10კვ ქსელებში ტექნიკური დანაკარგები გაიანგარიშება ყოველთვიურად და ჯამდება წლიურად. დანაკარგების მიღებული მნიშვნელობა გამოიყენება შემდგომი წლისათვის დანაკარგების გეგმიური ნორმირების განსაზღვრისათვის.

ქვემოთ დაწვრილებით განვიხილავთ ელექტროენერჯის ტექნიკური და კომერციული დანაკარგების სტრუქტურულ მდგენელებს.

1.3. ელექტროენერჯის დატვირთვის დანაკარგები

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ელექტროენერჯის დატვირთვის დანაკარგები შეიცავენ: დანაკარგებს ხაზებში, ძალოვან და მზომ ტრანსფორმატორებში, მაღალსიხშირულ შემზღუდელებში და დენშემზღუდავ რეაქტორებში.

ა) დანაკარგები ხაზებსა და ძალოვან ტრანსფორმატორებში განისაზღვრება (ათასი კვტ.სთ) ფორმულით:

$$\Delta W_{cv} = 3R=3\Delta t \quad (1.1)$$

სადაც: $i(t)$ – ელემენტში გამავალი დენია ტდროის მომენტში; Δt – ორ გაზომვას შორის დროის ინტერვალია, რომლებიც სრულდება ძალიან მცირე დროის ინტერვალებში.

ბ) დანაკარგები დენის ტრანსფორმატორებში. დანაკარგებს დენის ტრანსფორმატორებში საზღვრავენ სამი მდგენელის ჯამით: დანაკარგები პირველად (ΔP_1) და მეორეულ (ΔP_2) გრაგნილებში და მეორეული წრედის დატვირთვაში ($\Delta P_{\text{დატ.2}}$). 10 კვ ძაბვაზე და 2000 ა-ზე ნაკლები ნომინალური დენის, რომლებიც ექსპლუატაციაში მყოფი დენის ტრანსფორმატორების ძირითად ნაწილს შეადგენენ, დენის ტრანსფორმატორის უმრავლესობის მეორეული წრედის დატვირთვის ნორმირებული მნიშვნელობაა 10ვა $K_{\text{დატ}}=0,5$ სიზუსტის კლასის დროს და 1ვა $K_{\text{დატ}}=1,0$ დროს.

10 კვ ძაბვისა და 2000 ა და მეტის შემთხვევაში, ასევე 35 კვ ძაბვისათვის ეს მნიშვნელობები ორჯერ იზრდება, ხოლო 110 კვ ძაბვის შემთხვევაში – სამჯერ.

ერთი მიერთების დენის ტრანსფორმატორებში ელექტროენერჯის დანაკარგები (ათასი კვტ.სთ) საანგარიშო პერიოდში, რომელიც გრძელდება T დღე გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{დატ}} = (a + b \cdot \sqrt{K_{\text{დატ}}}) \cdot \frac{P_{\text{დატ}}}{333} \cdot T \cdot 10^{-6} \quad (1.2)$$

სადაც $\beta_{\text{ფა}}$ – არის დენის ტრანსფორმატორის ეკვივალენტური დენური დატვირთვის კოეფიციენტი; a და b – დენის ტრანსფორმატორებსა და მის მეორეულ წრედებში ($\Delta P_{\text{ფა}}$) კუთრ დანაკარგებს შორის დამოკიდებულების კოეფიციენტია, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta P_{\text{ფა}} = 2 \cdot [40 + 2 \cdot (6 + 0,5 \cdot \sqrt{K_{\text{ფა}}})] = 104 + 30 \cdot \sqrt{K_{\text{ფა}}} \quad (1.3)$$

გ) დანაკარგები კავშირის მაღალსიხშირულ შემზღუდველებში. კავშირის მაღალსიხშირულ შემზღუდველებში და საჰაერო ხაზის ერთი ფაზის მიერთების მოწყობილობებში ჯამური დანაკარგები (ათასი კვტ.სთ) განისაზღვრებიან ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{მს}} = (\Delta P_{\text{ნომ}} \cdot \beta_{\text{მომ}}^2 + \Delta P_{\text{მოწყ}}) \cdot T \cdot 10^{-3} \quad (1.4)$$

სადაც: $\beta_{\text{მომ}}$ – არის საანგარიშო პერიოდში მაღალსიხშირული შემზღუდველების მუშა დენის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის შეფარდება მის ნომინალურ დენთან; $\Delta P_{\text{მოწყ}}$ – დანაკარგები მიერთების მოწყობილობებში.

1.4. უქმი სვლის დანაკარგები

განვიხილოთ უქმი სვლის დანაკარგები (პირობითად მუდმივი დანაკარგები) 0,4-6-10კვ ელექტრული ქსელებისათვის:

ა) დანაკარგები ძალოვან ტრანსფორმატორებში T დროის განმავლობაში განისაზღვრებიან ფორმულით:

$$\Delta W = \frac{\Delta P_x}{\eta_x} \cdot \int_0^T u^2(t) dt \quad (1.5)$$

სადაც: ΔP_x – ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დანაკარგებია - U_x ნომინალური ძაბვის დროს; $u(t)$ – ტრანსფორმატორის შემყვანზე ძაბვის მნიშვნელობაა t დროის მომენტში

ბ) დანაკარგები მაკომპენსირებელ მოწყობილობებში. ეს დანაკარგები დამოკიდებულია მოწყობილობის ტიპზე. 0,4-6-10 კვ ძაბვის გამანაწილებელ

ქსელეებში ძირითადად გამოიყენება სტატიკური კონდენსატორების ბატარეები. დანაკარგები მათში ძირითადად განისაზღვრება ცნობილი კუთრი დანაკარგებით $\Delta P_{\text{კონდ.}}(\text{კვტ/კვარ})$, ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{კონდ.}} = \Delta P_{\text{კონდ.}} \cdot \Delta W_{\text{კონდ.}} \quad (1.6)$$

სადაც $\Delta W_{\text{კონდ.}}$ – არის საანგარიშო პერიოდში კონდენსატორების ბატარეების მიერ გამომუშავებული რეაქტიული ენერგია;

$$\Delta P_{\text{კონდ.}} = 0,003 \text{ კვტ/კვარ.}$$

გ) დანაკარგები ძაბვის ტრანსფორმატორებში. ძაბვის ტრანსფორმატორებში აქტიურ სიმძლავრის დანაკარგები შედგებიან თვით ძაბვის ტრანსფორმატორსა და მეორეულ წრედებში დანაკარგებისაგან:

$$\Delta P_{Z,t} = \Delta P_{1Z,t} + \Delta P_{2Z,t} \quad (1.7)$$

თვით ძაბვის ტრანსფორმატორში დანაკარგები $\Delta P_{1\alpha,\beta}$ ძირითადად გამოწვეულია ტრანსფორმატორის ფოლადის მაგნიტოგამტარის დანაკარგებით. ეს დანაკარგები იზრდებიან ნომინალური ძაბვის გაზრდასთან ერთად. 0,4-6-10კვ ძაბვის გამანაწილებელ ქსელეებში ეს დანაკარგები შეადგენენ დაახლოებით 6-10ვტ. დანაკარგები მეორეულ წრედებში $\Delta P_{2\alpha,\beta}$ დამოკიდებულია ძაბვის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასზე $K_{\alpha,\beta}$, ამასთანავე 6-10კვ ძაბვის ტრანსფორმატორებისათვის ეს დამოკიდებულება წრფივია. ნომინალური დატვირთვის დროს, ამ კლასის ძაბვის ტრანსფორმატორებისათვის $\Delta P_{2\alpha,\beta}$ 40 ვტ. ამასთანავე პრაქტიკაში მეორეული წრედები ხშირად გადაიტვირთებიან, ამიტომ ნაჩვენები მნიშვნელობა საჭიროა გამრავლდეს მეორეული წრედის დატვირთვის კოეფიციენტზე $\beta_{2\alpha,\beta}$. ზემოთ მოყვანილის გათვალისწინებით, ძაბვის ტრანსფორმატორის ჯამური დანაკარგები (ათასი კვტ.სთ) გამოითვლება ფორმულით:

$$W_{\alpha,\beta} = (U + \beta_{2\alpha,\beta} \cdot \Delta P_{2\alpha,\beta} \cdot K_{\alpha,\beta}) \cdot T \cdot 10^{-6} \quad (1.8)$$

დ) დანაკარგები საკაბელო ხაზის იზოლაციაში (კვტსთ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta W_{kab} = T \cdot b_c \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot l_{kab}. \quad (1.9)$$

სადაც T - კაბელის ექსპლუატაციის წელი; b_c - კაბელის ტევადური გამტარობა, სიმ/კმ; U - ძაბვა, კვ; l_{kab} - კაბელის სიგრძე, კმ; $\operatorname{tg} \varphi$ - დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\operatorname{tg} \varphi = (0,003 + 0,0002 \cdot T_{\text{ექსპლ.}}) \cdot (1 + \alpha_{\text{იზ}} \cdot T_{\text{ექსპლ.}}) \quad (1.10)$$

სადაც: $T_{\text{ექსპლ.}}$ - კაბელის ექსპლუატაციის წელთა რიცხვია; $\alpha_{\text{იზ}}$ - დაძველების კოეფიციენტი, რომელიც მხედველობაში იღებს ექსპლუატაციის განმავლობაში იზოლაციის დაძველებას. ამ დროს ხდება დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსის გაზრდა.

1.5. ელექტროენერჯის კლიმატური დანაკარგები

ელექტრომომხმარების დონე, რომელიც განსაზღვრავს სიმძლავრეთა გადინებას შტოებში და ძაბვებს ქსელის კვანძებში, არსებითად დამოკიდებულია კლიმატურ პირობებზე. სეზონური დინამიკა მუდავნდება დატვირთვის დანაკარგებზე, ქვესადგურის ელექტროენერჯის საკუთარი მოხმარების ხარჯზე და აღურიცხავი ელექტროენერჯით. მაგრამ ამ შემთხვევაში კლიმატურ პირობებზე დამოკიდებულება გამოიხატება ძირითადად ერთი ფაქტორით – ჰაერის ტემპერატურით.

ამასთან ერთად არსებობს დანაკარგის მდგენელი, რომლის მნიშვნელობა განისაზღვრება არა იმდენად ტემპერატურით, რამდენადაც ამინდის სახეობით. მას პირველ რიგში მიეკუთვნება გვირგვინზე დანაკარგები, რომლებიც აღიძვრებიან ელექტროგადაცემის მაღალი ძაბვის ხაზებზე მათ ზედაპირზე ელექტრული ველის დიდი დამაბულობის გამო. გვირგვინზე დანაკარგების გაანგარიშებისას დანაკარგების ზრდის მიხედვით ამინდის ტიპური სახეების მიხედვით შეიძლება გამოვყოთ: მზიანი ამინდი, მშრალი თოვლი, წვიმა, ჭირხლი.

გაჭუჭყიანებული იზოლატორის დროს მის ზედაპირზე აღიძვრება გამტარი გარემო (ელექტროლიტი), რაც ხელს უწყობს გაჟონვის დენების მნიშვნელოვნად გაზრდას. ეს დანაკარგები ძირითადად ხდება ნესტიან ამინდში (ბურუსი, ნამე, წვიმის ჟინჯვლის დროს). სტატისტიკის მიხედვით მაღალი ძაბვის იზოლატორებზე გაჟონვის დენების გამო, გამოწვეული ელექტროენერგიის წლიური დანაკარგები თანაზომადია გვირგვინზე დანაკარგების. გაჟონვის დენებსა და გვირგვინზე დანაკარგებს აქვთ სუფთა აქტიური ხასიათი და ამიტომ ისინი წარმოადგენენ ელექტროენერგიის დანაკარგების პირდაპირ მდგენელს. A

კლიმატური დანაკარგები შეიცავენ:

ა) **დანაკარგები გვირგვინზე** რომელიც დამოკიდებულია გამტარის კვეთზე და მუშა ძაბვაზე (რაც უფრო ნაკლებია კვეთი და მაღალია ძაბვა, მით უფრო მეტია კუთრი დაძაბულობა გამტარების ზედაპირზე და მით მეტია დანაკარგები), ფაზების კონსტრუქციაზე, ხაზის სიგრძეზე და ამინდზე.

სხვადასხვა ამინდის პირობების დროს, კუთრი დანაკარგები განისაზღვრებიან ექსპერიმენტული გამოკვლევებით.

ბ) **საჰაერო ხაზების იზოლატორებზე გაჟონვის დენებით გამოწვეული დანაკარგები.** იზოლატორებზე გაჟონვის დენის უმოკლესი გზა ნორმირებულია ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების ხარისხის მიხედვით. ამის გამო საცნობარო ლიტერატურაში მოცემული იზოლატორების წინაღობების მნიშვნელობები სხვადასხვაგვარია და არ არის მიზნული იზოლატორების გაჭუჭყიანების ხარისხზე.

ერთ იზოლატორზე გამოყოფილი სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{იზ}} = U_{\text{იზ}}^2 / R_{\text{იზ}} \quad (1.11)$$

სადაც $U_{\text{იზ}}$ - იზოლატორზე მოდებული ძაბვაა, კვ; $R_{\text{იზ}}$ – იზოლატორის წინაღობა, კვ.

მაღალი ძაბვის ხაზების იზოლატორებზე გაჟონვის დენებით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები (ათასი კვტსთ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_{\text{იზ}} = U_{\text{ნომ}}^2 \cdot T_{\text{ნესტ}} \cdot N_{\text{გირლ.}} \cdot 10^{-3} / 3 \cdot R_{\text{იზ}} \cdot N_{\text{იზ}} \quad (1.12)$$

სადაც $T_{\text{ნესტ}}$ – საანგარიშო პერიოდში ნესტიანი ამინდის ხანგრძლივობაა;
 $N_{\text{გირლ.}}$ – იზოლატორების გირლიანდების რაოდენობაა.

1.6. ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების სტრუქტურა

იდეალურ შემთხვევაში ელექტრულ ქსელში ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგები ნულის ტოლი უნდა იყოს. რეალურ პირობებში ქსელში გაშვებული, სასარგებლო ელექტროენერჯია და ტექნიკური დანაკარგები განისაზღვრებიან ცდომილებებით. კომერციულ მდგენელებს არ გააჩნიათ დამოუკიდებელი მათემატიკური აღწერა, ამიტომ ისინი არ შეიძლება გაანგარიშებულნი იქნენ ავტონომიურად.

კომერციული დანაკარგების მნიშვნელობა განისაზღვრება, როგორც სხვაობა ფაქტიურ დანაკარგსა და ტექნოლოგიური დანაკარგების პირველი სამი მდგენელის ჯამს შორის, ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{კომ}} = \Delta W_{\text{საანგ}} - \Delta W_{\text{ტექ}} - \Delta W_{\text{საკ}} - \Delta W_{\text{გაზ}} \quad (1.13)$$

ფაქტიურად მათი სხვაობა წარმოადგენს კომერციული დანაკარგების სტრუქტურულ მდგენელებს. შესაძლებლობის ფარგლებში ისინი მინიმუმამდე უნდა იქნენ დაყვანილი მათი შემცირებისათვის შესაბამისი ღონისძიებების გატარების შედეგად.

ზოგად შემთხვევაში ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების მდგენელები შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად: 1. დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია ქსელში გაშვებული და მომხმარებელზე სასარგებლოდ გაცემული ელექტროენერჯიათა გაზომვის ცდომილებით; 2. დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია ქსელში სასარგებლოდ გაშვებული

ელექტროენერჯის დატაცებითა და ენერგოგამსაღებელი ორგანიზაციის მუშაობაში არსებული ხარვეზებით; 3. მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების გადაუხდელობით.

1.7. კომერციული დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია ქსელში გაშვებული და მოხმარებელზე სასარგებლოდ გაცემული ელექტროენერჯითა გაზომვის ცდომილებით.

ელექტროენერჯის გაზომვის ცდომილება შეიძლება დაიყოს 30-ზე მეტ მდგენელად.

საზომი კომპლექსების, რომელშიც შედიან: დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები, ელექტროენერჯის მრიცხველი, მრიცხველის ძაბვის ტრანსფორმატორთან შემაერთებული ხაზები, ცდომილების ძირითად და მნიშვნელოვან მდგენელებს მიეკუთვნებიან:

ა) მუშაობის ნორმალურ პირობებში ელექტროენერჯის საზომი კომპლექსების გაზომვის ცდომილება, რომელიც განისაზღვრება დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორებისა და ელექტროენერჯის მრიცხველის სიზუსტის კლასით (ელექტროენერჯის დასაშვები მეტროლოგიური დანაკარგები);

ბ) რეალურ არანორმირებულ ექსპლუატაციის პირობებში საზომი კომპლექსების ელექტროენერჯის გაზომვის დამატებითი ცდომილებები, რომლებიც განპირობებულია:

- დატვირთვის სიმძლავრის ნორმატიული კოეფიციენტის შემცირებით (დამატებითი კუთხური ცდომილებით);

- ელექტროენერჯის მრიცხველზე სხვადასხვა სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების გავლენით;

- დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორებისა და ელექტროენერჯის მრიცხველის დაუტვირთაობითა და გადატვირთვით;

- საზომ კომპლექსზე მოყვანილი ძაბვის არასაკმარისი სიდიდითაც და არასიმეტრიულობით;
- ელექტროენერგიის მრიცხველის მუშაობით გაუთბობელ შენობებში დასაშვებზე დაბალ ტემპერატურაზე;
- ელექტროენერგიის მრიცხველის მცირე დატვირთვების დროს, განსა-კუთრებით ღამის საათებში, არასაკმარისი მგრძნობიარობით;
- გ) სისტემატური ცდომილებები, რომლებიც განპირობებულია საზომი კომპლექსების მუშაობის ზენორმატიული ვადებით;
- დ) ცდომილებები, რომლებიც დაკავშირებულია დენის, ძაბვის, ელექტრომრიცხველებისა და ტრანსფორმატორების არასწორი სქემით ჩართვასთან, მრიცხველების ჩართვის ფაზირების დარღვევასთან;
- ე) ცდომილებები, რომლებიც განპირობებულია ელექტროენერგიის აღრიცხვის ხელსაწყოების უწყესივრობით;
- ვ) ელექტრომრიცხველების ჩვენების აღების ცდომილებით, რომელიც გამოწვეულია:
 - შეცდომით ან განზრახ მრიცხველის ჩვენების ჩაწერის დამახინჯებით;
 - ჩვენების აღების არაერთდროულობით ან დადგენილ ვადაზე შეუსრულებლობით, მრიცხველების შემოვლის გრაფიკის დარღვევით;
 - ელექტროენერგიის მრიცხველის ჩვენების გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტის განსაზღვრაში დაშვებული შეცდომით.

1.8. დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია ქსელში სასარგებლოდ გაშვებული ელექტროენერგიის დატაცებითა და ენერგოგამსაღებელი ორგანიზაციის მუშაობაში არსებული ხარვეზებით.

ეს დანაკარგები შეიცავენ რამდენიმე მდგენელს:

- დანაკარგები მრიცხველების დაყენებისას;

- საანგარიშო მრიცხველების ჩვენებების აღებისა და საანგარიშო პერიოდის თარიღის შეუსაბამობა;

- ელექტროენერგიის უმრიცხველო მოხმარების ხელშეკრულების საფუძველზე აბონენტის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის გაანგარიშება;

- უყაირათო მომხმარებლების არსებობა;

- ელექტროენერგიის დატაცებით გამოწვეული.

ა) მრიცხველის დაყენებისას გამოწვეული დანაკარგები განპირობებულია:

1. ელექტროენერგიის მომხმარებელთა შესახებ მონაცემების უზუსტობით, მათ შორის:

- ელექტროენერგიით სარგებლობის ხელშეკრულების შესახებ არასაკმარისი ან შეცდომითი ინფორმაცია;

- შეცდომები კორექტირებაში მომხმარებელთა მონაცემების შესახებ;

2. შეცდომები წაყენებული ანგარიშების დროს, მათ შორის:

- ზუსტი ინფორმაციის არ არსებობის გამო მომხმარებლებისადმი ანგარიშების წაუყენებლობა;

- სპეციალური ტარიფით მოსარგებლე მომხმარებლებისადმი წაყენებულ ანგარიშში შეცდომები და უკონტროლობა;

- კორექტირებულ ანგარიშების აღრიცხვის უკონტროლობა;

3. საანგარიშო მრიცხველების ჩვენებების აღებისა და საანგარიშო პერიოდის თარიღის შეუსაბამობა:

- მომხმარებელთა დიდი რაოდენობის არსებობის დროს, როგორც წესი, ენერგოგამსაღებელი ორგანიზაცია კონტროლიორებითა და ელექტრომონტიორებით არასაკმარისად არის დაკომპლექტებული, ასევე ძალიან შეზღუდულად არის გამოყენებული ელექტროენერგიის აღრიცხვის ავტომატიზებული სისტემები, რასაც მივყავართ იმასთან, რომ უმეტეს

მომხმარებელთა მრიცხველის ჩვენებები აიღება საანგარიშო პერიოდზე ადრე ან გადაეცემა თვით მომხმარებლების მიერ.

- ორივე შემთხვევაში მცირდება გაშვებული ელექტროენერგია და იზრდება კომერციული დანაკარგები. ეს განსაკუთრებით დამახასიათებელია მეორე შემთხვევისათვის, როცა ჩვენება გადაეცემა თვით მომხმარებლის მიერ, რაც საშუალებას აძლევს მასშეამციროს მოხმარებული ელექტროენერგიის რაოდენობა და გადახდის ვადა გადაიტანოს მოგვიანებით.

ბ) ელექტროენერგიის უმრიცხველო მოხმარების ხელშეკრულების საფუძველზე აბონენტის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის გაანგარიშება.

- ელექტროენერგიის აღრიცხვიანობის არ არსებობისას აბონენტის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის რაოდენობის განსაზღვრა ხდება ანგარიშით, რაც ასახვას პოულობს მოხმარებული ელექტროენერგიის სისწორეში და შესაბამისად კომერციულ დანაკარგებში.

გ) უყარათო მომხმარებლების არსებობა.

- ქვეყანაში კრიზისულმა მოვლენებმა და ახალი სააქციო საზოგადოებების გამოჩენამ იქამდე მიგვიყვანა, რომ უკანასკნელ წლებში უმეტეს ენერგოსისტემებში გამოჩნდნენ და უკვე დიდი ხანია არსებობენ საცხოვრებელი სახლები, საერთო საცხოვრებლები, მთელი დასახლებები, რომლებიც არ დგანან რომელიმე ორგანიზაციის ბალანსზე. ელექტრო და თბოენერგიის საფასურს ისინი არავის არ უხდიან. ურჩ გადამხდელებზე ელექტროენერგიის გათიშვა არ იძლევა შედეგებს, რადგან მაცხოვრებლები თვითნებურად რთავენ ქსელს. ამ სახლების ელექტრომოწყობილობებს არავინ არ ემსახურება და მათი ტექნიკური მდგომარეობა ავარიულია, რაც ვერ უზრუნველყოფს ადამიანთა სიცოცხლისა და ქონების უსაფრთხოებას.

დ) ელექტროენერგიის დატაცებით გამოწვეული დანაკარგები, რომლებიც დაკავშირებულია მოქალაქეთა ქსელთან უკანონო მიერთებასა და აღრიცხვის ხელსაწყობთან თაღლითობასთან და სხვა.

- ეს არის კომერციული დანაკარგების ერთ ერთი ყველაზე უფრო არსებითი მდგენელი, რომელიც წარმოადგენს მსოფლიოს უმეტესი ქვეყნების ენერგეტიკოსთა ზრუნვის საგანს.

ელექტროენერჯის დატაცების წინააღმდეგ ბრძოლის საქმეში საერთაშორისო გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ამ საქმით ძირითადად დაკავებულია საყოფაცხოვრებო მომხმარებლები. ელექტროენერჯის დატაცების ფაქტებს ადგილი აქვთ ასევე სამრეწველო და სავაჭრო დაწესებულებებში, მაგრამ მათი მოცულობა განმსაზღვრელი არ არის.

ელექტროენერჯის დატაცებას აქვს ზრდის საკმაოდ მკაფიო ტენდენცია, განსაკუთრებით რეგიონებში, სადაც არ არის თბომომარაგება წლის ცივ პერიოდში, აგრეთვე პრაქტიკულად ყველა რეგიონში შემოდგომა - გაზაფხულის პერიოდში, როცა ტემპერატურა დაბალია, ხოლო გათბობა ჯერ კიდევ ჩართული არ არის.

1.9. მოხმარებული ელექტროენერჯის ღირებულების გადაუხდელობით გამოიწვეული ფინანსური დანაკარგები.

მოცემული მდგენელი განპირობებულია დადგენილ თარიღზე გვიან გადახდით, მათ რიცხვში საყოფაცხოვრებო მომხმარებლების მიერ ელექტროენერჯის საფასურის გადახდის არაერთდროულობით.

ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების ძალიან არსებით მდგენელს ადგილი აქვს იმასთან დაკავშირებით, რომ საყოფაცხოვრებო მომხმარებლების მიერ რეალურად მოხმარებული ელექტროენერჯია წინ უსწრებს გადახდას, რასაც როგორც წესი, შეაქვს ცდომილება საყოფაცხოვრებო მომხმარებლებში ფაქტიურად გაშვებული ელექტროენერჯის განსაზღვრასა და ელექტროენერჯის ფაქტიური უბალანსობის გაანგარიშებაში, რადგანაც გადახდის ჩამორჩენამ შეიძლება შეადგინოს 1-3 თვე და მეტი.

ელექტროენერჯის გაცემის ბალანსის შესადგენ მოქმედ მეთოდში მოსახლეობაში გაცემული ელექტროენერჯის რაოდენობა განისაზღვრება გადახრის ფაქტით და მიიღება 100 %-ის ტოლად. რეალურად კი მოსახლეობაში გაშვებული ელექტროენერჯის რაოდენობა სრულიად სხვაა და შეიძლება განსაზღვრული იქნეს მიახლოებით და საკმაოდ რთულია მისი პროგნოზირება მთელი რიგი მიზეზების გამო:

- კომერციული დანაკარგების სიდიდე არსებითად იზრდება ტარიფების გაზრდის შემდეგ;

- კომერციული დანაკარგების მეორე (ფინანსური) მდგენელია ხანგრძლივი უიმედო ვალები, რომლებიც გადაუხდელია: არადამაკმაყოფილებელი გადახდის პროცედურის მოთხოვნით. აქვე შეიძლება ჩაირთოს ის აბონენტები, რომლებიც ბოროტად არ იხდიან გადასახადს და აქვთ მრავალი თვის დავალიანება;

- მოსახლეობის გადახდის უუნარობით;

- გადაუხდელი ანგარიშების ცუდი აღრიცხვით, მათ რიცხვშია დოკუმენტების დაკარგვა.

ზემოთ ჩამოთვლილი კომერციული დანაკარგების გარდა ყურადსაღებია კომერციული დანაკარგების კიდევ ოთხი დამატებითი მდგენელი, რომლებიც ადრე განხილული არ იყო და მხედველობაში არ მიიღებოდა.

პირველი მათგანი წარმოდგენილ კლასიფიკაციაში გვხვდება ერთდროულად ორ ჯგუფში: კომერციული დანაკარგების ჯგუფში, რომელიც განპირობებულია სასარგებლოდ გაშვებული ელექტროენერჯის შემცირებით და ხანგრძლივი და უიმედო ვალების ჯგუფში. ეს არის დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია მომხმარებლების–ფიზიკური პირების მხრიდან გადახდის ჯამის განზრახ შემცირებით. ასეთი დანაკარგების გამოვლენა უფრო შესაძლებელია იქ, სადაც აღრიცხვის ხელსაწყო განთავსებულია მესაკუთრის

ტერიტორიაზე და მასთან შეღწევა ენერგოგამსაღებელი ორგანიზაციის მაკონტროლებელი პერსონალის მიერ გაძნელებულია იურიდიული მიზეზების გამო, ხოლო მომხმარებელი არ აპირებს მის შეშვებას. ფიზიკურმა პირმა, რომელიც დამოუკიდებლად ავსებს გადახდის ქვითარს, შეიძლება განზრახ შეამციროს მრიცხველის ჩვენება, თვით მაშინაც კი თუ იგი დროულად იხდის გადასახადს. როგორც წესი, ეს არის პირველი ნაბიჯი ხანგრძლივი ან უიმედო ვალის ჩამოყალიბებისათვის.

მეორე დამატებითი მდგენელი დაკავშირებულია ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის დანახარჯებთან, რომლებიც განპირობებულია ვალების ამოღებისა და ელექტროენერჯის დატაცების ფაქტების გამოსავლენი ღონისძიებების შესრულებასთან (სასამართლოს, სატრანსპორტო ხარჯები და სხვა).

მესამე მდგენელი შეიძლება გამოწვეული იყოს ენერგოგამსაღებელი ორგანიზაციის (ელექტროენერჯის საბითუმო მიმწოდებლის) სადისპეტჩერო პერსონალის მოქმედებით და დაკავშირებულია ენერგომომმარაგებელი დაწესებულებებისათვის მოთხოვნილი სიმძლავრის შეზღუდვის რეჟიმის შემოღებასთან.

სიმძლავრის შეზღუდვა „ზემოდან“ შეიძლება შემოღებულ იქნეს ორ შემთხვევაში:

- თუ გენერირებული სიმძლავრის დეფიციტი საფრთხეს უქმნის ენერგოსისტემის მდგრადობას;
- თუ ენერგომომმარაგებელ დაწესებულებას ელექტროენერჯის საბითუმო მიმწოდებელთან გაუჩნდა დიდი დავალიანება.

როგორც პირველ, ასევე მეორე შემთხვევაში ენერგომომმარაგებელი დაწესებულება იძულებულია თავის მომხმარებლებს გაუკეთოს მოცემული რეჟიმის ტრანსლირება. იმ შემთხვევაში, თუ ოპერატიული დისპეტჩერული მართვის ფუნქციის განხორციელება შეუძლებელია თითოეული

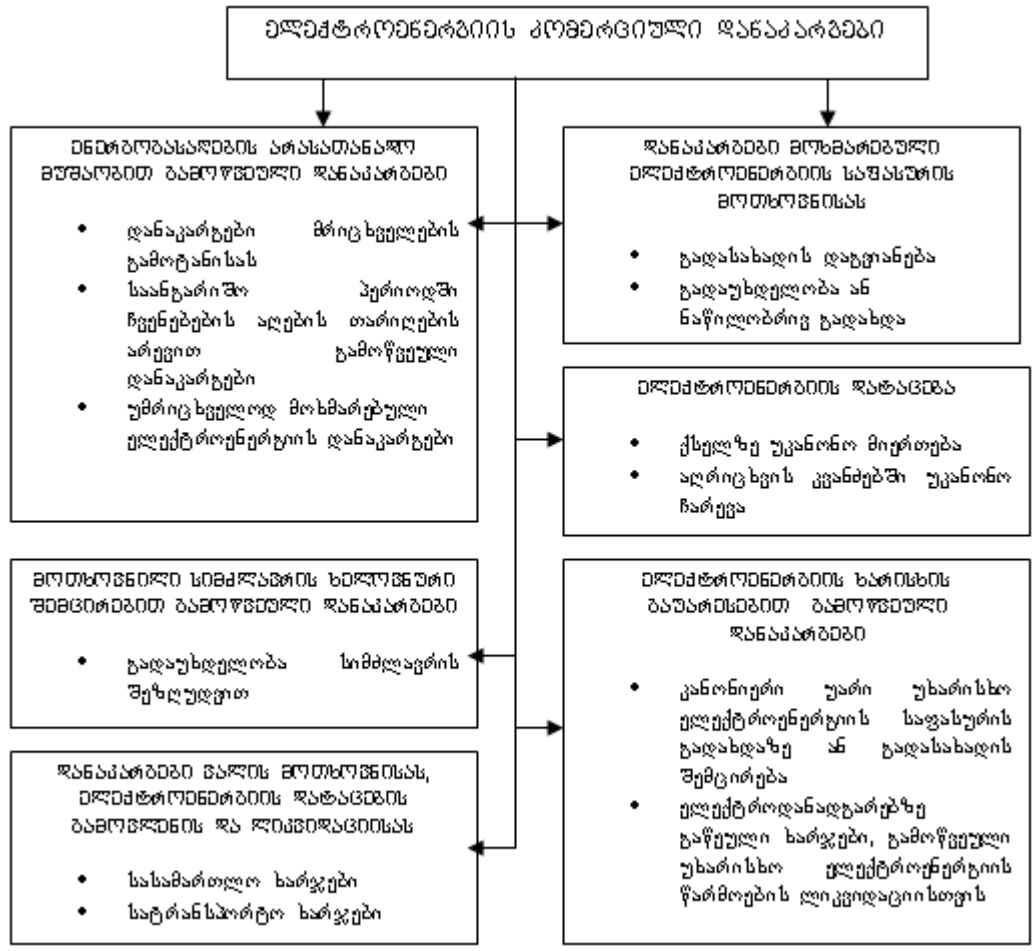
ელექტრომომხმარებლის დონეზე, მაშინ ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაცია იძულებულია გამორთოს უფრო მეტი სიმძლავრე, ვიდრე ეს ხდება „ზემოდან“. გარდა ამისა, გადახდისუნარიან მომხმარებლებზე სიმძლავრის ნაწილის შემცირებას, სიმძლავრის შეზღუდვის რეჟიმის მოქმედების დროს, არ მოაქვს შემოსავალი ენერგოდაწესებულებისათვის.

კომერციული დანაკარგების მეოთხე მდგენელი შეიძლება გამოწვეული იქნეს ელექტროენერჯის ხარისხის დარღვევითა და მომხმარებლის კანონიერი უარით უხარისხო ელექტროენერჯის საფასურის მთლიან გადახდაზე ან ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის დამატებითი დანახარჯებით, რომელიც ხმარდება უხარისხო ელენერჯით გამოწვეული შედეგების ლიკვიდაციასთან (ელმოწყობილობის რემონტი, ელენერჯის ხარისხის დარღვევის მიზეზების ლოკალიზაციისა და ლიკვიდაციის ღონისძიებების ჩატარება და სხვა).

რუსეთში არსებობს საკანონმდებლო ბაზა (კანონი `მომხმარებელთა უფლებების დაცვის შესახებ`, სამოქალაქო კოდექსი), რომელიც მომხმარებელს საშუალებას აძლევს დაამტკიცოს უხარისხო ელექტროენერჯის შედეგად მიყენებული ზარალის ოდენობა და მოითხოვოს მისი ანაზღაურება.

ამასთანავე, თუ მომხმარებელმა მაინც ისარგებლა უხარისხო ელექტროენერჯით, მან მისი საფასური უნდა გადაიხადოს შემცირებული ფასით. უხარისხო ელექტროენერჯიაზე ფასდაკლება რეგლამენტირებულია „ელექტრო და თბოენერჯიაზე ფასის გაანგარიშების წესის შესახებ ინსტრუქციით“.

ზემოთმოყვანილის გათვალისწინებით გამანაწილებელ ქსელებში კომერციული დანაკარგების საერთო სტრუქტურა ნაჩვენებია ნახ.1.1-ზე.



ნახ.1.1. ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების სტრუქტურა.

ნახ.1.1-ზე მოყვანილი ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა საშუალებას გვაძლევს ფორმულირება გავუკეთოთ ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციის ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების ძირითად მიმართულებებს. ეს არის ღონისძიებების დამუშავება და დანერგვა, რომლებიც დაკავშირებულია:

- ენერგოდაწესებულების შიდა საორგანიზაციო მოქმედებების სრულყოფასთან;
- ელექტროენერჯის დატაცების ფაქტების გამოვლენასა და აღმოფხვრასთან, მათ რიცხვში ელექტრომომარაგების ხაზებთან უსაუკეთესო მიერთებების აღმოჩენასთან;

- მოხმარებული ელექტროენერჯის დროულ კონტროლთან და სრულ გადახდასთან;
- თითოეული ელექტრომომხმარებლის დონეზე ოპერატიული დისპეტჩერული მართვის ფუნქციის რეალიზაციასთან;
- ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი და ელექტროენერჯის ხარისხის დამრღვევი მიზეზების ოპერატიულ გამოსწორებასთან.

1.10.წევის ქსელში ელექტროენერჯის

დანაკარგების სტრუქტურა

წევის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა ნაწილობრივ განსხვავდება სამრეწველო საწარმოების ელექტრომომარაგების სისტემაში არსებულ დანაკარგებისაგან. ქვემოთ მოყვანილია ტექნოლოგიური დანაკარგების მდგენელები მუდმივი დენის პოლიგონზე:

ა) დანაკარგები დამწვევ, წევის ტრანსფორმატორებსა და წევის ქვესადგურის გამმართველებში. ნაშრომებისა [5] და გამოთვლითი ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით ელექტროენერჯის საანგარიშო დანაკარგები დამწვევ, წევის ტრანსფორმატორსა და წევის ქვესადგურის გამმართველებში შეადგენს მუდმივი დენის წევის ქვესადგურის მრიცხველების მიხედვით მატარებლების წევაზე მიღებული ელექტროენერჯის (2,5-3,0) %-ს.

გამმართველ მოწყობილობებში მიმდინარეობს რთული ელმაგნიტური პროცესები. ცვლადი დენის მხარეზე ელექტრული ენერჯის აღრიცხვა სწარმოებს ცვლადი დენის უნივერსალური მრიცხველებით, რომელთა ჩვენება პროპორციულია დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობების. მუდმივი დენის მხარეზე დენისა და ძაბვის მნიშვნელოვანი არასინუსოიდურობის პირობებში წევის ქვესადგურებში აღრიცხვის ხელსაწყოები არ არსებობენ.

ბ) ელექტროენერჯის დანაკარგები წევის ქსელში. ნაშრომებში [6] მოყვანილი გამოკვლევის შედეგებისა და ნაშრომში იმიტაციური მოდელირებით განსაზღვრული შედეგების შესაბამისად წევის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგები შეადგენენ მატარებლის წევაზე გაშვებული ელექტროენერჯის (2,0-4,0) %-ს. როგორც ცნობილია, ტექნოლოგიური დანაკარგების მოცემული სახე დამოკიდებულია მოძრაობის ზომებზე, საკონტაქტო ჩამოკიდების ტიპზე, ქვესადგურებსშორისი ზონების კვების სქემებსა და სექციონირებაზე, პარალელურად შეერთებული პუნქტების განთავსების ადგილზე, სექციონირების საგუშაგოებზე.

წევის ქვესადგურის სალტებზე ძაბვის არაოპტიმალური დონით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები. მრავალრიცხოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ მომიჯნავე წევის ქვესადგურების სალტებზე ძაბვები შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან. ეს აიხსნება გარე ელექტრომომარაგების სისტემაში სხვადასხვა შესავალი წინაღობებისა და სხვადასხვა გარე მახასიათებლების მქონე გამმართველი მოწყობილობების არსებობით, რომლის გამართულ დენს გააჩნია პულსასციის სხვადასხვა რიცხვი, ასევე მომიჯნავე წევის ქვესადგურებში სხვადასხვა სიმძლავრის მიერთების არსებობით.

თეორიული დამუშავებისა [7] და გამოთვლითი ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით განსაზღვრული დანაკარგების სიდიდე შეადგენს წევაზე მიწოდებული ელექტროენერჯის (1,0-1,5) %-ს.

გ) სექციონირებისა და პარალელურად შეერთებული პუნქტების არ არსებობის ან არარაციონალურად განლაგების შედეგად გამოწვეული ტექნოლოგიური დანაკარგები. ნაშრომისა [8] და გამოთვლითი ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით, ამ პუნქტში მოყვანილი მოწყობილობების მიერ გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები

შეადგენს მუდმივი დენის წევის ქვესადგურიდან მატარებლების წევაზე გაცემული ელექტროენერჯის (0,1-0,2) %-ს.

დ) რეკუპერაციის ენერჯის არაეფექტურად გამოყენებით გამოწვეული დანაკარგები. გამოთვლითი ექსპერიმენტის შედეგებით განსაზღვრულია, რომ მუდმივი დენის პოლიგონზე რეკუპერაციის დროს დანაკარგები შეადგენს მუდმივი დენის წევის ქვესადგურიდან მრიცხველის მიერ აღრიცხული მატარებლის წევაზე გაცემული ელექტროენერჯის (0,1-0,3) %-ს.

რეკუპერაციის შესრულების დროს შეინიშნება მთელი რიგი ნეგატიური მოვლენები:

- ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობის რეკუპერაციიდან მიღებული ელექტრული ენერჯი მნიშვნელოვანი ნაწილი ქვესადგურებს შორის ზონაში სხვა მატარებლის არ არსებობის დროს მიდის დანაკარგებში;

- მომატებული ძაბვის არსებობის შემთხვევაში ხშირად ძნელდება რეკუპერაციის შესრულება;

- გამმართველისა და ინვერტორის აგრეგატების შეუთანხმებელ მუშაობას მივყავართ ისეთ რეჟიმთან, როცა გამართული ენერჯია მომატებული ძაბვის დროს მიმართულია ინვერტორის აგრეგატში და სხვა.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში ტექნოლოგიური დანაკარგების მდგენელების მოყვანილი მნიშვნელობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მუდმივი დენის პოლიგონზე ჯამური ტექნოლოგიური დანაკარგები უნდა იმყოფებოდეს (5,7-9,0) %-ის დიაპაზონში, ხოლო ცვლადი დენის პოლიგონზე (3,1-8,1) %-ის დიაპაზონში.

მაგრამ ეს დანაკარგები არ შეესაბამებია საანგარიშო მნიშვნელობებს. საანგარიშო მონაცემების შედარება რკინიგზის „უბალანსობის“ საანგარიშო მნიშვნელობებთან გვიჩვენებს, რომ ისინი ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან. ეს განსხვავება განისაზღვრება „უბალანსობის“ ე.წ. კომერციული მდგენელით.

მუდმივი დენის პოლიგონზე „უბალანსობის“ კომერციულ მდგენელში შედიან:

- წევის ქვესადგურების შემყვანების ელექტრული ენერჯის ინდუქციური მრიცხველებით აღრიცხვის ცდომილება;

- მატარებლის წევაზე ელექტრული ენერჯის ირიბი მეთოდით გაანგარიშების ცდომილება წევის ქვესადგურის შემყვანებზე ელექტრონული ხელსაწყოებითა და გამავალ ფიდერებზე ინდუქციური ხელსაწყოებით აღრიცხვის დროს;

- მატარებლის წევაზე ელექტრული ენერჯის ირიბი მეთოდით გაანგარიშების ცდომილება წევის ქვესადგურის შემყვანებსა და ყველა გამავალ ფიდერზე ელექტრონული ხელსაწყოებით აღრიცხვის დროს;

- მატარებლის სამგზავრო ვაგონების გათბობაზე დახარჯული ენერჯის აღრიცხვის ცდომილება;

- მატარებლის წევაზე დახარჯული ელენერჯის ელექტრომომრავი შემადგენლობის მრიცხველების აღრიცხვის ცდომილება.

ცვლადი დენის პოლიგონზე „უბალანსობის“ კომერციულ მდგენელებში შედიან:

- წევის ქვესადგურის შემყვანებზე მიღებული ელექტროენერჯის მრიცხველების ცდომილება;

- მატარებლების წევაზე ელექტროენერჯის გაანგარიშების ირიბი მეთოდის გამოყენებით მიღებული დანაკარგების მდგენელი;

- ელექტრომომრავი შემადგენლობის ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილება.

წევის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების ღონისძიებათა დანერგვის ეფექტურობის უზრუნველყოფის საინფორმაციო მმართველი სისტემების ორგანიზაციისათვის საჭიროა არა მხოლოდ

ტექნოლოგიური დანაკარგების მდგენელების ცოდნა, არამედ საჭიროა კომერციული დანაკარგების შეფასების ცოდნაც.

1.11. ელექტროწვევის დატვირთვის შემცველი ენერგეტიკული სისტემების გაანგარიშების არსებული მეთოდების ანალიზი

ელექტრული ენერჯის დანაკარგების შემცირებისა და წვევის ელექტრომომარაგების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების ამაღლების საკითხების ფართო წრე განხილულია რკინიგზის ტრანსპორტის მეცნიერთა შრომებში [9-12].

წვევის ელექტრომომარაგების სისტემას მსხვილი სამრეწველო დაწესებულების ელექტრომომარაგების სისტემასთან შედარებით გააჩნია რიგი განმასხვავებელი თავისებურებანი. ასეთ თავისებურებას პირველ რიგში უნდა მივაკუთვნოთ ერთი ან რამდენიმე ენერგოსისტემის სხვადასხვა კვანძებიდან წვევის ქვესადგურების კვება, დროის მიხედვით დატვირთვის არათანაბრობა, ელექტრომომარაგების სისტემებში განივი და გრძივი არასიმეტრიის არსებობა, ელექტროწვევის დატვირთვის არაწრფივობა და სხვა. ჩამოთვლილ ფაქტორებს სამრეწველო დაწესებულებების ელმომარაგების სისტემებთან შედარებით მივყავართ წვევის ელექტრომომარაგების სისტემების ექსპლუატაციის მკვეთრ გართულებასთან, სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების გაუარესებასთან, წვევის ელექტრომომარაგების სისტემების მათემატიკური მოდელების მნიშვნელოვან გართულებასთან.

ელექტრული ენერჯის დანაკარგების შემცირების შესახებ ღონისძიების დანერგვა, რომელიც დაკავშირებულია ელექტროწვევის დატვირთვის შემცველი ელექტროენერგეტიკული სისტემის მუშაობის რეჟიმების დახვეწასთან და მისი პარამეტრების ოპტიმიზაციასთან, წინ უსწრებს ცნობილი მეთოდების საფუძველზე გამოთვლითი ექსპერიმენტების შესრულება.

რკინიგზის ტრანსპორტის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის თანამშრომლების მიერ დამუშავებულია წევის ელექტრომომარაგების სისტემების ნებისმიერ წერტილში ძაბვისა და დენის მრუდების ჰარმონიული ანალიზისა და სინთეზის მეთოდოლოგია [13] წევის ქსელში განივი და გრძივი ტევადური კომპენსაციის სხვადასხვა მოწყობილობების, მრავალფუნქციური საკომპენსაციო მოწყობილობების ნებისმიერი ჩართვის დროს, რომელიც განიხილება როგორც რთული წრფივ-პარამეტრული წრედი თავმოყრილი და განაწილებული პარამეტრებით წევის ელექტრული სისტემების დამყარებული და გარდამავალ რეჟიმებში მუშაობის დროს. აღნიშნული მეთოდოლოგია იძლევა საშუალებას ჩატარდეს ელექტრომომარაგ შემადგენლობასთან ერთობლიობაში წევის ელექტრომომარაგების სისტემის გარე ელემენტების სისტემასთან ურთიერთქმედების ელექტრომაგნიტური პროცესების ერთდროული გამოკვლევა, ასევე კავშირგაბმულობის წრედებზე ელექტრომაგნიტური გავლენის გამოკვლევა.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემა, რომელიც დატვირთულია ელექტრომომარაგ შემადგენლობის ტირისტორული გარდამქმნელებით, განხილულია, როგორც წრფივპარამეტრებიანი წრედი, რომელშიც ელექტრომომარაგ შემადგენლობა თავის წინააღმდეგობას ძირითადი სიხშირის ნახევარპერიოდში იცვლის ორჯერ და მეტჯერ. დენმიმღებზე ძაბვის ფორმის განსაზღვრისათვის გამოიყენება სპექტრალური ანალიზისა და სინთეზის თეორია, ამასთანავე, საჭირო ელექტროგადაცემის ხაზი და წევის ქსელი განხილულია როგორც განაწილებულ პარამეტრებიანი წრედი.

ზოგადი სახით, როგორც ელექტრომომარაგ შემადგენლობის დენმიმღებზე, ასევე წევის ელექტრომომარაგების სისტემის ნებისმიერ წერტილში ქვესადგურებსშორისი ზონების ცალმხრივი ან ორმხრივი კვების დროს, ძაბვის მრუდის განსაზღვრისათვის შედგენილი მათემატიკური

მოდელი აგებულია ოთხპოლუსების თეორიის საფუძველზე მატრიცული აღრიცხვის გამოყენებით.

მოცემული მეთოდის ხარვეზს წარმოადგენს როგორც ძირითად სიხშირეზე, ასევე უმაღლესი ჰარმონიკების მდგენელების მიხედვით წევის დატვირთვის არასიმეტრიულობის გამოკვლევის შუძლებლობა.

ნაშრომში [10] ელექტროწევის დატვირთვის შემცველი ელექტროენერგეტიკული სისტემების გაანგარიშებისათვის გამოყენებულია დიაკოპტიკის მეთოდები. დიაკოპტიკა წარმოადგენს რთული სისტემების დანაწევრების ერთ-ერთ მეთოდს. ამ დროს, სისტემები შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ბლოკ-სქემების ან გრაფების სახით, სადაც გამოიყენება სისტემის გრაფ-ტოპოლოგიური პორტრეტი, როგორც ინფორმაციის ახალი წყარო. ნაშრომებში დამუშავებულია და სისტემაში მოყვანილია ცვლადი დენის რკინიგზის ელექტრიფიცირებული უბნების ჩანაცვლების სქემების ახალი კლასი ფაზურ კოორდინატებში, რომლებშიც მაკომპენსირებელი დანადგარების მქონე წევის ელექტროდანადგარების სისტემა განიხილება როგორც ენერგოსისტემის შემადგენელი ნაწილი. ჩანაცვლების სქემების ახალი კლასის თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ წევის ელექტრომომარაგების სისტემების გამარტივებისა და ანალიზის მიზნითა და გარე ელმომარაგების რეჟიმის გათვალისწინებით მათში შემოტანილია გარე სისტემისა და (ან) წევის ელექტრომომარაგების სისტემის გარდაქმნილი აქტიური და პასიური პარამეტრები მათი შეერთების სქემების ჩათვლით. წევისა და გარე ელექტრომომარაგების სისტემების ჩანაცვლების სქემების ახალმა კლასმა ფართო გამოყენება ჰპოვა ცვლადი დენის რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემების არასიმეტრიული რეჟიმების ანალიზისა და ოპტიმიზაციის დროს.

რამდენადმე შემცირებულია ელექტრული სიდიდეების გამოთვლების შრომატევადობა ნაშრომში [14]. მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ენერგოსისტემის საანგარიშო სქემაში ჩართულია წევის ქსელი. ამასთანავე,

წევის ქვესადგურების პარალელური მუშაობის დროს საჭიროა მატარებლის დენები წინასწარ გადატანილი იქნეს ქვესადგურის სალტეებზე „მომენტების წესის“ გამოყენებით, ხოლო შემდეგ ამ დენების მიხედვით გამონაგარიშებულ იქნეს გარდამქნელი დენები, რომლებიც გაითვალისწინებიათ დენების განაწილების გაანგარიშებაში ჩაკეტილად მომუშავე წევის ქსელთან ერთად.

ნაშრომში [15] განხილულია სქემების გამარტივების ეფექტური ხერხი - ქსელის სხვა კვანძებში დატვირთვების გადატანის ხერხი. ამ ხერხის გამოყენება იძლევა ქსელის სქემის გამარტივების საშუალებას იმ შემთხვევაში, როცა რაიმე ელემენტის სიგრძეზე მოდებულია დატვირთვა და ეს ეწინააღმდეგება სქემის ელემენტარულ გამარტივებას. მაგალითად, პარალელურად ჩართული ელემენტების შეკრებას, სამკუთხედის ვარსკვლავად და პირიქით გარდაქმნას.

ხერხი საშუალებას იძლევა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გავიანგარიშოთ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა ნაკადები. ამ დროს, ცვლადი დენის ქსელის გაანგარიშება არაფრით არ განსხვავდება მუდმივი დენის ქსელის გაანგარიშებისაგან.

მეთოდის არსი მდგომარეობს ელექტროენერგეტიკული სისტემის არასიმეტრიული ნაწილის (წევის ქსელი, ერთფაზა მფილტრავ-მასიმეტრირებელი მოწყობილობები, ელექტროწევის დატვირთვა და სხვა მოწყობილობები) გამოყოფაში. დარჩენილი ნაწილი წარმოადგენს სამფაზა სისტემას და შედგება ხაზებისაგან, ავტოტრანსფორმატორებისაგან, ტრანსფორმატორებისაგან, გენერატორებისაგან, მაკომპენსირებელი მოწყობილობებისაგან და სხვა სამფაზა მოწყობილობებისაგან. პირველი მიახლოებით ამ ნაწილის ელემენტები შეიძლება ჩაითვალოს ფაზობრივად სიმეტრიულად.

ცნობილია, რომ თუ გვაქვს რთული ელექტრული წრედი, მაშინ მისგან შეიძლება გამოიყოს ნებისმიერი ნაწილი დამოუკიდებელ წყაროებით ისე, რომ

ამ უკანასკნელის ფიზიკური მდგომარეობა არ შეიცვალოს. ეს ოპერაცია დამყარებულია ე.წ. გამოყოფის მეთოდზე [16].

გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ სისტემის სამფაზა სიმეტრიულ და მთელ რიგ ერთფაზა ნაწილს.

გამოყოფილი ნაწილები, მიღებული პოლუსების რიცხვიდან გამომდინარე ქმნიან ორ და ოთხპოლუსებს. ელექტროენერგეტიკული სისტემის დაყოფა სამფაზა მრავალპოლუსიანებად და შეუზღუდავი რაოდენობის ორ და ოთხპოლუსიანებად საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად გავამარტივოთ ელექტროენერგეტიკული სისტემის გაანგარიშებები, რადგანაც რთული სისტემის ანალიზი დაიყვანება უფრო მარტივი მისი შემადგენელი ნაწილების ანალიზამდე.

გამოყოფის მეთოდის გამოყენების შემდეგ განსახილველი ელექტროენერგეტიკული სისტემა გამოიკვლევა იტერაციული მეთოდით. მხედველობაში მიიღება ის, რომ მრავალპოლუსა წარმოადგენს სიმეტრიულ სამფაზა სისტემას და პირველ ციკლში მხედველობაში არ ვიღებთ გამოყოფილი ორპოლუსებისა და ოთხპოლუსების არსებობას, სისტემაში ელექტრული სიდიდეები შეიძლება განისაზღვროს დამყარებული რეჟიმის დროს ელექტრული წრედების ანალიზის ცნობილი ალგებრული მეთოდებით, როგორც ერთფაზა პირდაპირი თანმიმდევრობის სისტემების ანგარიშის შემთხვევას, მაგალითად, კვანძური ძაბვების მეთოდით.

ეს მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ელექტროსისტემაში დენების განაწილების გაანგარიშებისათვის არა მხოლოდ ძირითად სიხშირეზე, არამედ უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების დროსაც. მოცემული მეთოდი საშუალებას იძლევა ასევე გარე და წვევის ელექტრომომარაგების სისტემებში განისაზღვროს უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების სიმძლავრეთა ნაკადები.

ამ მეთოდის მნიშვნელოვან ღირსებას წარმოადგენს სიმძლავრეს მივცეთ წვევის ან სხვა დატვირთვის მნიშვნელობები.

შედგები და მათი განსჯა

თავი II. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის მდგომარეობისა და განვითარების ტენდენციის ანალიზი

2.1. ზოგადი ცნობები

წევის ელექტრომომარაგების სისტემები წარმოადგენენ ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ენერგოტევად არაწრფივ მომხმარებლებს და შესაბამისად, ისინი ქსელში იწვევენ დამახინჯების სიმძლავრეებს. მათ სპეციფიკურ თავისებურებას წარმოადგენს მატარებლების მოძრაობაზე ელექტროენერჯის მოხმარების მნიშვნელოვანი არათანაბრობა, დიდი რაოდენობის გამმართველი ტექნიკის არსებობა და და შესაბამისად ელექტრომომარაგების სისტემებში არსებითი დანაკარგები.

რკინიგზის ტრანსპორტზე ელენერჯის დანაკარგების მაჩვენებლის ფორმირება იწყება მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის ხარჯის აღრიცხვიდან, რომელიც განისაზღვრება ქსელში შემოსული (რომელიც აღრიცხება ქვესადგურის წევის ტრანსფორმატორის პირველად მხარეზე დაყენებული მრიცხველებით) და მომხმარებელზე გაშვებული (რომელიც აღრიცხება ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე დაყენებული მრიცხველით). ამ დროს განისაზღვრება ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგები, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემის უტყუარობაზე.

ელექტროენერჯის დანაკარგების ფაქტიურ და საანგარიშო მნიშვნელობებს შორის სხვაობა ანუ „უბალანსობა“ განპირობებულია წევის ქვესადგურებსა და ელექტრომოდრავ შემადგენლობაში ელექტრული ენერჯის აღრიცხვის სისტემების არადამაკმაყოფილებელი ტექნიკური და ორგანიზაციული მდგომარეობითა და მრავალი სხვა ფაქტორით.

ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგების განსაზღვრა, მაშინაც კი, როცა გაზომვები და გაანგარიშებები შესრულებულია საკმაოდ ზუსტად, საკმარისი არ არის წევის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების ღონისძიებების დამუშავებისა და ორგანიზაციისათვის. საჭიროა, ვიცოდეთ ამ დანაკარგების სტრუქტურა და გამოიყოს ის ფაქტორები, რომლებიც წევის ქსელში იწვევენ ელექტროენერჯის დანაკარგებს, ასევე გამოიყოს ის უბნები, სადაც ეს დანაკარგები აღემატებიან საანგარიშო მნიშვნელობებს.

მიღებულია, რომ უბალანსობასა და ტექნოლოგიურ დანაკარგებს შორის სხვაობას უწოდებენ კომერციულ დანაკარგებს. უბალანსობასა და საანგარიშო ტექნოლოგიურ დანაკარგებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება მიგვითითებს წევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომრავი შემადგენლობის ელენერჯის აღრიცხვის სისტემების არადაამაკმაყოფილებელ ტექნიკურ და ორგანიზაციულ მდგომარეობაზე.

რკინიგზის ელექტრომომარაგების წევის სისტემებში ზემოთ ნახსენები უბალანსობის მიღებული მნიშვნელობები არ წარმოადგენენ ელმომარაგების სისტემების ცალკეულ უბნებზე ელექტრული ენერჯის მომატებული დანაკარგების შესახებ ინფორმატიულ პარამეტრებს. ამიტომ საჭიროა რკინიგზას ჰქონდეს სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემა, რომელიც მოგვცემს საშუალებას წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში შევამციროთ უბალანსობა. ამ კომპლექსურმა სისტემამ უნდა გადაწყვიტოს შემდეგი ამოცანები: გამოავლინოს რკინიგზაზე ის უბნები, სადაც ყველაზე დიდი ელექტროენერჯის დანაკარგებია; გზის ამ უბნისათვის შეიმუშაოს უბალანსობის შემცირების ღონისძიებები და შეაფასოს დანერგილი ღონისძიებების ეფექტიანობა; უბალანსობის შემცირებისათვის უზრუნველყოს რკინიგზის შესაბამისი დანაყოფის ეკონომიური დაინტერესება.

2.2. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის

თანამედროვე მდგომარეობა

უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში უდავოდ აღსანიშნავია ელექტროენერჯის საჭირო ხარისხის უზრუნველყოფის დარგში ჩატარებული სამუშაოების დადებითი შედეგები, მაგრამ ამასთანავე უნდა განისაზღვროს ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისა და მართვის ამოცანების გადაწყვეტისათვის არსებული მიდგომების ზოგიერთი ხარვეზი [17].

ევროპის ქვეყნებში არსებობს ნორმატიული დოკუმენტების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ადგენენ მოთხოვნებს ელექტროენერჯის ხარისხის მიმართ, მაგრამ პრაქტიკაში ისინი ყოველთვის ეფექტურად არ მუშაობენ. ამავე დროს ნორმირებული ელექტროენერჯის ხარისხის შენარჩუნების საჭიროება თანამედროვე ელმოწყობილობებისა და ავტომატიზაციის სისტემების გამოყენებასთან დაკავშირებით, რომლებიც მგრძნობიარენი არიან ელექტროენერჯის ხარისხის თითოეული მაჩვენებლის გადახრის მიმართ, უფრო და უფრო აქტუალური ხდება. ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციების მხრიდან უხარისხო ელექტროენერჯის მიწოდების გამო გაიზარდა მომხმარებელთა საჩივრების რაოდენობა. ნორმატიულ დოკუმენტებთან შეუსაბამო ელექტროენერჯის ხარისხი პროდუქციის გამოშვების შემცირების, მისი გაფუჭების, საწარმოს მწარმოებლობის, მოწყობილობების გაცდენის, ელექტრული დანაკარგების გაზრდის და სხვა ნეგატიური შედეგების გამო იწვევს ეკონომიურ ზარალს.

თანამედროვე პირობებში ჩატარებული ელექტრული ენერჯის გამოცდა, როგორც წესი, ხანმოკლეა. მათი ჯამური ხანგრძლივობა კონტროლის ერთ წერტილში არ აღემატება წელიწადში ელექტრომოწყობილობის მუშაობის 2%-ს (ერთი კვირა). ამიტომ ასეთი გამოცდების შედეგები არასაკმარისად სრულად და უტყუარად ასახავენ ელექტროქსელურ კომპანიებში ელექტროენერჯის ხარისხის მდგომარეობას.

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისათვის ზოგიერთი ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებელი მოითხოვს ხანგრძლივ გამოცდებს. ეს პირველ რიგში ეხება ძაბვის ჩაქცევის პარამეტრებსა (ხანგრძლივობა და სიღრმე) და დროებითი გადაძაბვის პარამეტრებს (ხანგრძლივობა და გადაძაბვის კოეფიციენტი). გასაზომი ინფორმაციის დაგროვება, რომლებიც ახასიათებს ამ შემთხვევით პროცესებს, ანუ მისი სტატისტიკური დამუშავება სასურველია ჩავატაროთ არანაკლებ ერთი წლის დროის ხანგრძლივობით.

არსებით ხარვეზად, რომელიც განპირობებულია შესაბამისი ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფის არასრულყოფილობით, ითვლება ის, რომ ამჟამად ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი ხორციელდება ელექტრული ენერჯის რაოდენობის გათვალისწინების გარეშე. რადგანაც ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმები დადგენილია ელექტროენერჯის მოხმარების ყველა რეჟიმისათვის, ამიტომ საჭიროა უდიდესი და უმცირესი დატვირთვის რეჟიმებში ელექტროენერჯის მოხმარების რაოდენობრივი შეფასება და ელექტროენერჯის გამოცდის დროს მათი ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის არსებული პრაქტიკის კიდევ ერთ ხარვეზს წარმოადგენს ის, რომ ჩატარებული გამოცდების შედეგები სამწუხაროდ არ შეიცავენ ისეთ გასაზომ ინფორმაციებს, რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზისათვის (დენს ძალა, ფაზური ძვრა, სიმძლავრე).

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისა და მართვის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ხანმოკლე გამოცდებიდან გადავიდეთ უწყვეტ მონიტორინგზე, რომლის განხორციელება შესაძლებელია ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ავტომატიზებული საინფორმაციო-საზომი სისტემების დახმარებით. ამჟამად, მიმდინარეობს ელექტროენერჯეტიკის ობიექტებზე ასეთი სისტემების შექმნისა და პრაქტიკული გამოყენების საწყისი ეტაპი.

2.3 ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი

უზრუნველყოფა

ელექტროენერჯის ხარისხი წარმოადგენს ერთერთ ფაქტორს, რომელიც უშუალო გავლენას ახდენს ენერგოეფექტურობაზე. ელექტროენერჯის ხარისხის დამახინჯების საქმეში დამნაშავენი შეიძლება იყოს, როგორც ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაცია, ასევე მომხმარებელი. ელენერჯის ხარისხის ეფექტური შენარჩუნებისათვის საჭიროა კომპლექსური ტექნიკურ - ეკონომიური გადაწყვეტილებები, რომლებიც ეხება როგორც მომხმარებელს, ასევე ენერგომომმარაგებელ ორგანიზაციას. ეს მოითხოვს დამატებით კაპიტალდაბანდებებს, რაზეც ორივე მხარე უხალისოდ მიდიან.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებში ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფა დაფუძნებულია ელექტროენერჯეტიკის, ტექნიკური რეგულირებისა და გაზომვათა ერთიანობის უზრუნველყოფის შესახებ კანონმდებლობაზე. საქართველოში ახლახან შემოღებულ იქნა მხოლოდ ე.წ. ქსელის წესები, რომელიც განსაზღვრავს საქართველოს ელექტროენერჯეტიკული სისტემის მონაწილეთა და მაძიებლების მიერ გადამცემი ქსელის განვითარების, მართვის, ხელმისაწვდომობისა და უსაფრთხო სარგებლობის პროცედურებს, პირობებს, პრინციპებსა და სტანდარტებს.

მოცემულ წესებში ზოგადად არის მოყვანილი ელექტროენერჯის ხარისხის დასაშვები ნორმები სიხშირეებისა და ძაბვის გადახრებისათვის, მაგრამ ეს ზოგადი მოთხოვნებიც არ სრულდება.

ელენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფის საკანონმდებლო დარგში გადაუწყვეტელი საკითხია ელექტრულ ენერჯიაზე ტექნიკური რეგლამენტის არ არსებობა. ცხადია, რომ ელექტროენერჯიაზე ტექნიკური რეგლამენტის გამოჩენა არსებითად გააძლიერებს ელენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივ უზრუნველყოფას.

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფის საკანონმდებლო დარგში გადაუწყვეტელი საკითხია ასევე ელექტროენერჯის ხარისხის გასაზომი მაჩვენებლების ჩამონათვალი და გაზომვის ერთიანობის უზრუნველყოფის საკითხები, რომლებიც მიეკუთვნებიან სახელმწიფოებრივი რეგულირების სფეროს. არ არსებობს ასევე მოთხოვნები ამ გაზომვების მიმართ, რომლებიც დამუშავებულნი უნდა იყოს აღმასრულებელი ხელისუფების იმ ორგანოების მიერ, რომლებიც ახორციელებენ ნორმატიულ-სამართლებრივ რეგულირებას.

მაგრამ პრობლემა სრულად არ იქნება გადაწყვეტილი თუ არ გავითვალისწინებთ საკითხის იურიდიულ მხარეს. ამჟამად, ელმომარაგების ხელშეკრულებაში განსაზღვრული არ არის მომწოდებელსა და აბონენტს შორის ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაუარესებაში მხარეთა პასუხისმგებლობის მოცულობა. საქმის გარჩევის დროს ძირითად სიძნელეს წარმოადგენს დამატკიცებელი ბაზის მოძიება, რომელიც მოემსახურებოდა იმის დამტკიცებას, რომ უხარისხო ელექტროენერჯის მოხმარება იყო ელექტროდანადგარის მწყობრიდან გამოსვლის ან დამატებითი გაცვეთის მიზეზი. ამიტომ მოცემულ მომენტში აქტუალურია უხარისხო ელექტროენერჯის მოხმარების შედეგად მიყენებული ზარალის განსაზღვრა. შექმნილი სიტუაციის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა, უხარისხო ელექტროენერჯის გადადინების ნაკადების გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება, მისი შემდგომი გამოყენება და ამის საფუძველზე საკანონმდებლო ბაზის შექმნა, რომელიც ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების დამრღვევების მიმართ გაამკაცრებს სანქციებს.

განვიხილავთ რა ელენერჯის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფის საკითხებს, საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ, რომ საქართველო მისწრაფვის ევროკავშირისაკენ, რაც მას ავალდებულებს განსაზღვრული საერთაშორისო ვალდებულებების შესრულებას.

2010 წელს ევრაზიის ეკონომიური გაერთიანების საბაჟო კავშირის ჩამოყალიბების შემდეგ დაიწყო ტექნიკური რეგულირების დარგში საბაჟო კავშირის ერთიანი ნორმატიულ-სამართლებრივი ბაზის ფორმირება.

საბაჟო კავშირის ნორმატიული დოკუმენტის „ბელორუსიის რესპუბლიკაში, ყაზახეთის რესპუბლიკასა და რუსეთის ფედერაციაში ტექნიკური რეგულირების ერთიანი პრინციპებისა და წესების შესახებ შეთანხმების“ შესაბამისად მხარეები აფორმირებენ პროდუქციის ერთიან ჩამონათვალს, რომელთა მიმართაც საბაჟო კავშირის ჩარჩოებში დადგენილია აუცილებელი მოთხოვნები, რომელიც მტკიცდება საბაჟო კავშირის კომისის მიერ.

ამ დოკუმენტის მნშვნელოვანი დებულება შემდეგია: „მხარეები არ დაუშვებენ ისეთ პროდუქციას, რომლებიც ჩართულნი არ არიან ერთიან ჩამონათვალში“.

ასეთ ჩამონათვალში სწორედ არ არის ელექტრული ენერგია. ეს წარმოადგენს ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფის მთავარ პრობლემას, რომელიც ეჭვქვეშ აყენებს ელექტროენერგიის მიმართ აუცილებელი მოთხოვნების დადგენის კანონიერებას და არღვევს იმედს იმისა, რომ რუსეთში (და მით უმეტეს საქართველოში) მომავალში საბაჟო კავშირის ჩარჩოებში მიღებული იქნება ელექტროენერგიაზე ტექნიკური რეგლამენტი ან კანონმდებლობის ფარგლებში კანონი ტექნიკური რეგულირების შესახებ.

მხედველობაში ვიღებთ რა ეკონომიკისათვის სტრატეგიულად ისეთი მნიშვნელოვანი პროდუქციის არსებობას, როგორცაა ელექტროენერგია, ასევე ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლის სამართლებრივი უზრუნველყოფის სრულყოფის მიზნით აუცილებელია ელექტროენერგია ჩაირთოს ისეთი პროდუქციის ჩამონათვალში, რომელთა მიმართაც საბაჟო კავშირის ჩარჩოებში დადგენილია აუცილებელი მოთხოვნები.

2.4. ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფა

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სტანდარტიზაციის დარგში ამჟამად მიმდინარეობს არსებითი ცვლილებები, რომლებიც ამ პროცესის ყველა მხარეს ეხება. უკანასკნელ წლებში მთელი რიგი ახალი სტანდარტების გამოვლენამ, რომელთა უმეტესობა საერთაშორისო სტანდარტების ანალოგიურია და მოქმედებენ ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში, მოგვიყვანა ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმატიულ-მეთოდური უზრუნველყოფის მნიშვნელოვან ცვლილებამდე და არსებითი გავლენა მოახდინა გამოყენებულ საზომ საშუალებებსა და მათ მეტროლოგიურ უზრუნველყოფაზე.

გარდამავალი პერიოდის დაწყებამდე ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისა და მათი განმსაზღვრელი გაზომვის პროცესების მიმართ პრაქტიკულად ყველა მოთხოვნა დადგენილი იყო ერთი სტანდარტით[18]. ამ დარგში სტანდარტიზაციის განვითარებამ მიგვიყვანა ახალი სპეციალიზირებული სტანდარტების გამოვლენამდე, რომლებიც ადგენენ მოთხოვნებს ელექტრული ენერჯის ხარისხის ნორმების (ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ნორმატიული მნიშვნელობები), ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის მეთოდების, საზომი საშუალებებისა და ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის მეთოდების მიმართ.

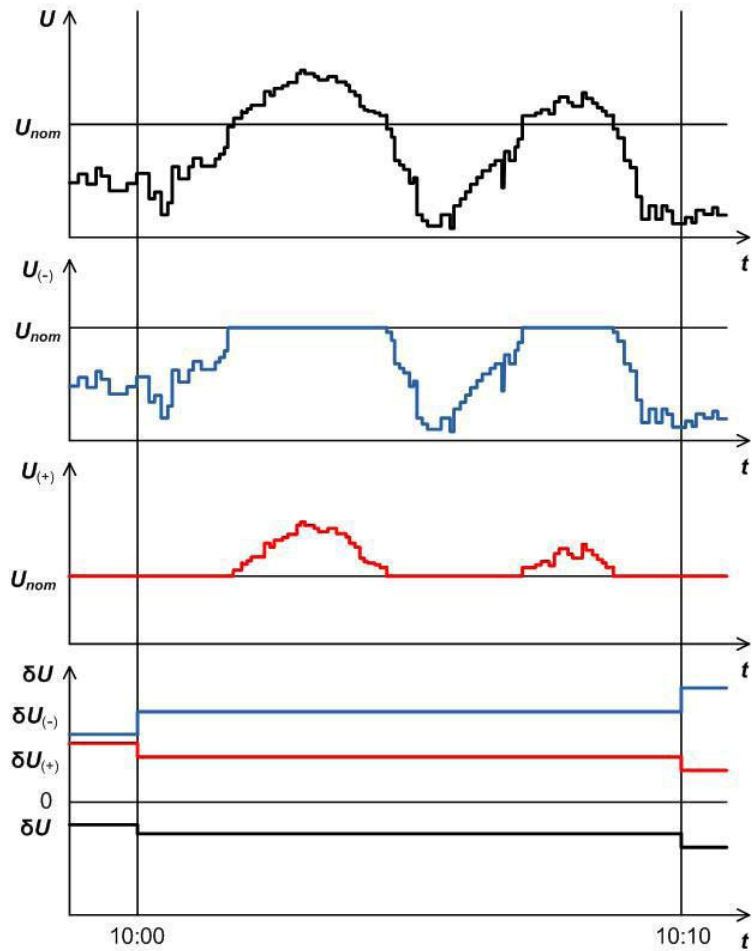
სტანდარტები, რომლებიც ადგენენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ნორმატიულ მნიშვნელობებს ასრულებენ მნიშვნელოვან, ბევრად განმსაზღვრელ როლს ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სტანდარტიზაციაში. ამჟამად რუსეთის ფედერაციაში 1999 წლის 1 იანვრიდან 2014 წლის 1 ივლისამდე მოქმედებდა ძველი სტანდარტი ГОСТ 13109-97, ხოლო 2013 წლის 1 იანვრიდან დღემდე მოქმედებს ახალი სტანდარტი ГОСТ 54149-2010 [19]. ახალ სტანდარტზე გადასვლა გამოწვეულია დროის ობიექტური

მოთხოვნებით [20]. სტანდარტში [19] გთვალისწინებულია ევროპული სტანდარტის [21] ძირითადი ნორმატიული დებულებები. მიუხედავად ამისა არსებობს ზოგიერთი განსხვავება, რომელზეც ყურადღება უნდა იქნეს მიქცეული. რუსეთის სტანდარტში ელენერგიის ხარისხის მაჩვენებლად, რომელიც ახასიათებს ძაბვის ნელ ცვლილებას, გამოიყენება ელექტროენერგიის ხარისხის ორი მაჩვენებელი: ძაბვის დადებითი გადახრა, რომელიც მხედველობაში იღებს ძაბვის იმ მნიშვნელობებს, რომლებიც აღემატებიან ნომინალურ ძაბვას და ძაბვის უარყოფითი გადახრა, რომელიც მხედველობაში იღებს ძაბვის იმ მნიშვნელობებს, რომლებც ნაკლებია ნომინალურ ძაბვაზე [22], პუნქტი 5.12). ევროპულ სტანდარტში ნორმატიული მნიშვნელობები დადგენილია ძაბვის ფარდობითი გადახრებისათვის და მხედველობაში იღებს ძაბვის ყველა მნიშვნელობას ([22], პუნქტი, 5.2.).

თუ დროის რაიმე გაერთიანებულ ინტერვალში (10 წუთი) დროის ძირითად ინტერვალში (ძირითადი სიხშირის სიგნალის 10 პერიოდი) გაზომილი ძაბვის მნიშვნელობები აღმოჩნდებიან ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობის როგორც ზემოთ, ისე ქვემოთ, მაშინ მიღებული იქნება ძაბვის როგორც დადებითი ისე უარყოფითი გადახრის მნიშვნელობები, რომლებიც ნულისაგან განსხვავებული იქნებიან. ცხადია, რომ მოდულით ისინი განსხვავებულნი იქნებიან ძაბვის ფარდობითი გადახრისაგან (ნახ.2.1).

ვადარებთ რა ერთმანეთს რუსეთისა და ევროპულ სტანდარტებს, უნდა აღინიშნოს რომ ელექტრული ენერგიის ხარისხის მიმართ რუსეთის სტანდარტის მოთხოვნები უფრო მკაცრია, ვიდრე ევროპული სტანდარტისა. ეს შენიშვნა სამართლიანია სიხშირის გადახრისათვის, ძაბვის არასინუსოიდურობისა და ძაბვის გადახრისათვის გაზომვის 100 % შედეგებისათვის. ზოგიერთ შემთხვევაში, საერთოდ არ არსებობს ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლის 100 %-იანი გაზომვის შედეგებისათვის ნორმატიული მნიშვნელობები, რომელთაც ადრე ზღვრულად

დასაშვებ მნიშვნელობებს უწოდებდნენ. პირველ რიგში ეს ეხება ფლიკერის დოზას, ძაბვის არასინუსოიდურობას, ძაბვის არასიმეტრიას სამფაზა სისტემებში.



ნახ.2.1. ძაბვის გადახრა (δU), ძაბვის უარყოფითი გადახრა ($\delta U_{(-)}$) და ძაბვის დადებითი გადახრა ($\delta U_{(+)}$).

განვიხილავთ, რა ელექტროენერგიის ხარისხის გაზომვის მეთოდებს, აღვნიშნავთ, რომ ამჟამად ჯერ კიდევ გამოიყენება ძველ „უნივერსალურ“ სტანდარტში [18] დადგენილი გაზომვის მეთოდები, რომლის მთავარი დანიშნულება იყო ელექტროენერგიის ხარისხის ნორმების დადგენა. ასევე გამოიყენება ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლის გაზომვის ახალი მეთოდები, რომლებიც დადგენილია ახალ „სპეციალიზირებულ“ სტანდარტებში [22] და [23].

ახალ სტანდარტებში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის მეთოდებში, ძველთან შედარებით, გაზომვის შედეგების მისაღებად გამოიყენება უფრო მკაცრი ალგორითმი. ახალ სტანდარტებში „A“ კლასის გაზომვების პროცესებისათვის მრავალი ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის გაზომვის დროს ხელსაწყო მეტროლოგიური მახასიათებლების მიმართ დადგენილია უფრო მკაცრი მოთხოვნები და ითვალისწინებს გაზომვის ინტერვალის კოორდინატული დროის ეროვნულ სკალასთან შესაბამისობას.

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის დროს „A“ კლასის ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის გაზომვის საშუალებების დახმარებით მიიღება ელექტროენერჯის ხარისხის ერთნაირი შეფასება. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს გაზომვის ალგორითმის ზოგიერთი ხარვეზი, რომელიც თან ახლავს როგორც ძველ ასევე ახალ სტანდარტებს.

პირველ რიგში ეს ხარვეზები დაკავშირებულია იმაზე, რომ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის შედეგები და შესაბამისად, ელექტროენერჯეტიკის ობიექტებზე ელექტროენერჯის ხარისხის შეფასება დიდად არის დამოკიდებული იმ პროცესების დროით პარამეტრებზე, რომლებიც ხდება რეალურ ელექტრულ ქსელებში. ელექტრულ ქსელებში ძაბვის სიგნალების დამახინჯების ერთნაირი ინტენსივობის პროცესების დროს, რომლებიც ხასიათდებიან ამპლიტუდითა და ხანგრძლივობით, შეიძლება მიგვიყვანონ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის სხვადასხვა გაზომვის შედეგებამდე და შესაბამისად, ელექტროენერჯის ხარისხის სხვაგვარ შეფასებამდე დამახინჯების მოქმედების დაწყებისა და დამთავრების დროის მიხედვით. თუ დამახინჯების მოქმედების დაწყებისა და დამთავრების დროის მომენტები მდებარეობენ გაერთიანებული დროის სხვადასხვა ინტერვალში, მაშინ დროთა ამ ინტერვალში მიღებული ელენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის შედეგები სრულად არ ასახავენ მომხდარი

მოვლენის მთელ მნიშვნელობას. დროის ორ გაერთიანებულ ინტერვალს შორის დამახინჯების ასეთი დაყოფის შედეგად დამახინჯების შეფასება შეიძლება იყოს მნიშვნელოვნად ნაკლები, ვიდრე ის შეფასება, რომელიც მიიღება ისეთ გაერთიანებულ ინტერვალში, რომელიც მთლიანად მოიცავს დამახინჯების მთელ მოვლენას.

გამოყენებული გაზომვის სტანდარტული ალგორითმები უზრუნველყოფენ გაზომვის შედეგების ერთნაირობას, რომლებიც მიღებულია „A“ კლასის ნებისმიერი ხელსაწყო დახმარებით. ელექტრომიმღებებზე ძაბვის დამახინჯებული სიგნალების ზემოქმედების ხარისხის განსაზღვრისათვის ეს საკმარისი არ არის. ელექტრომიმღებებისათვის მნიშვნელობა არა აქვს როდის დაიწყო და როდის დამთავრდა ძაბვის სიგნალების დამახინჯება. არსებით ფაქტორს წარმოადგენს მისი ხანგრძლივობა და ინტენსივობა, ამიტომ ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის ალგორითმში ეს გათვალისწინებული უნდა იყოს. საჭიროა, რომ ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის შედეგები და შესაბამისად, ელექტროენერგიის ხარისხის შეფასებები პრაქტიკულად დამოკიდებული არ იყოს დროის კოორდინატებზე. ეს შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს დროის მეზობელი საზომი ინტერვალის საჭირო გადაფარვებით, რაც სამწუხაროდ დაუშვებელია ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის სტანდარტული ალგორითმებით.

ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების მეთოდებზე არსებული სტანდარტების მოთხოვნების შესასრულებლად და ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების ელექტროენერგიის ხარისხის ნორმებთან შესაბამისობის შემოწმების დროს შესაბამისი გაზომვის ამოცანის ეფექტური გადაწყვეტისათვის საჭიროა სპეციალური მრავალფუნქციური საზომი საშუალების შექმნა.

ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგისათვის სპეციალური საზომი საშუალებების ჯგუფის ფორმირების პროცესის დაწყება დაკავშირებულია ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმებზე პირველი ახალი კომპლექსური სტანდარტების გამოვლენასთან [18], რომელიც შეიცავს ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის გაზომვის საშუალებისა და მეთოდების მიმართ ზოგიერთ მოთხოვნებს. ამ პროცესის განვითარებამ ბოლოს და ბოლოს მოითხოვა მოცემულ საზომ საშუალებებზე ეროვნული და საერთაშორისო სტანდარტების მიღება.

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის საშუალებების სტანდარტიზაციის პირველმა ცდამ გამოავლინა რუსეთის ფედერაციის სტანდარტები, რომლებიც ადგენენ საერთო ტექნიკურ მოთხოვნებს [24], გამოცდის მეთოდების მიმართ მოთხოვნებს [25] და ამ გაზომვის საშუალებების შემოწმების მეთოდების მიმართ მოთხოვნებს [26].

ამჟამად ტარდება ამ სტანდარტებში ცვლილებების შეტანის სამუშაოები, რათა ისინი მოყვანილი იქნენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის მეთოდებზე არსებული მოქმედი სტანდარტების მოთხოვნებთან და ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმებთან სრულ შესაბამისობაში.

დღეისათვის ელექტროენერჯის ხარისხის მოთხოვნებთან შესაბამისობა შეიძლება შემოწმებულ იქნეს სტანდარტი [27]-ის მიხედვით. ეს სტანდარტი იდენტურია 2014 წლის 1 იანვრიდან მოქმედი [28] სტანდარტისა და წარმოადგენს [18] სტანდარტის ნორმების შესაბამისობაზე ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის შესახებ მეთოდური მითითებების თანმიმდევრული განვითარების შედეგს.

ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში სტანდარტიზაციის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ელენერჯის ხარისხის კონტროლის შესახებ ახალი მეთოდური მითითებების გამოჩენასთან.

2.5. ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის მეტროლოგიური უზრუნველყოფა

ელექტროენერჯის ხარისხს კონტროლისა და ანალიზის მეტროლოგიური უზრუნველყოფა წარმოადგენს რთულ სამეცნიერო-ტექნიკურ ამოცანას. განვიხილოთ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების თავისებურებანი, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ მათი მეტროლოგიური უზრუნველყო-ფისათვის ეტალონების შერჩევაზე.

წყვეტენ რა გაზომვის ძირითად ამოცანას (ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლს) და დამატებით ამოცანას, რომელიც ფუნქციონალურად დაკავშირებული არ რის გაზომვის ამოცანასთან (ხარისხის ანალიზი და ელექტროენერჯის აღრიცხვა), მოცემული ხელსაწყოები ზომავენ ელექტრული სიდიდეების ძირითადი პარამეტრების დიდ რაოდენობას: ძაბვა, დენის ძალა, ფაზათა ძვრა, სიმძლავრე და ენერჯია.

მიუხედავად იმისა, რომ ელექტროენერჯის ხარისხის ყველა მაჩვენებელი წარმოადგენს ძაბვის პარამეტრს და მაშასადამე მოცემული ხელსაწყოების ფუნქციონალური შესაძლებლობები შეიძლება შემოიფარგლოს მხოლოდ ამ პარამეტრების გაზომვით, საზომი საშუალებების განსახილველი ჯგუფის მრავალი წარმომადგენელი ზომავს ზემოთ ჩამოთვლილი ელექტრული სიდიდეების ყველა პარამეტრს. ეს საშუალებას იძლევა სრულფასოვნად გადავწყვიტოთ გაზომვის ძირითადი ამოცანა და ელექტროენერჯის ხარისხის მართვისათვის მივიღოთ მთელი გაზომილი ინფორმაცია.

ზოგიერთი გასაზომი პარამეტრი, რომელიც გამოიყენება სამფაზა ელექტრულ ქსელებში ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზისათვის, იშვიათად გვხვდება (ან საერთოდ არ გვხვდება) მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვა დარგებში. ამის შედეგია სამოწმებელი სქემების,

ეტალონების არარსებობა და ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების მეტროლოგიური უზრუნველყოფის დროს გაზომვის პირდაპირი მეთოდების გამოყენების შეუძლებლობა.

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების მთელი რიგი ახასიათებს ელექტრულ ქსელებში შემთხვევით პროცესებს: ძაბვის ჩავარდნა, დროებითი გადაძაბვები, ძაბვის შეწყვეტა, ძაბვის რხევები. ამ პარამეტრების გაზომვის დროს გამოყენებული ხელსაწყოების მეტროლოგიური შემოწმება გართულებულია ელექტრული სიდიდეების ეტალონების შესაბამისი მეტროლოგიური მახასიათებლების არარსებობის გამო.

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების ზემოთჩამოთვლილი თავისებურებების ანალიზი საშუალებას იძლევა გაკეთდეს დასკვნა, რომ მათი მეტროლოგიური უზრუნველყოფისათვის გამოყენებული იქნეს სპეციალური ეტალონები, რომელთაც ექნებათ საჭირო ფუნქციონალური შესაძლებლობები და მეტროლოგიური მახასიათებლები.

ამ ეტალონებს უნდა შეეძლოს ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზის დროს მაღალი სიზუსტით მოგვცენ ყველა გაზომილი პარამეტრი საანგარიშო და დინამიური პარამეტრების ჩათვლით. ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების მეტროლოგიური უზრუნველყოფის მიმართ მოცემული მიდგომა ამჟამად ფართოდ გამოიყენება.

ნახ.2.2-ზე წარმოდგენილია Perypc-K2M ტიპის ცვლადი დენის კალიბრატორი. კალიბრატორის დანიშნულებაა რთული ფორმის ძაბვისა და დენის სიგნალების ფორმირება, რომლებიც შედგება ძირითადი სიხშირის (50 ჰც) სპექტრალური მდგენელებისაგან (2-დან 50-მდე რიგის), ძაბვის პატამეტრების მოცემული მნიშვნელობებისაგან (მათ რიცხვში ელექტრული ენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებისაგან), დენის ძალისაგან, ფაზური ძვრისაგან და სიმძლავრისაგან.



ნახ.2.2.Pecopc-K2M ტიპის ცვლადი დენის კალიბრატორი.

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გასაზომად გამოყენებული მუშა საზომი საშუალებების მიმართ ასეთი მიდგომების გამოყენება ეტალონების მეტროლოგიურ უზრუნველყოფაში ეფექტური გადაწყვეტილება შეიძლება იყოს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ არსებობს უფრო მაღლი თანრიგის სპეციალური ეტალონები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ყველა პარამეტრის გაზომვას, საანგარიშო და დინამიური პარამეტრების ჩათვლით, საჭირო მეტროლოგიური მახასიათებლებით.

ერთი მხრივ, ელექტროენერჯის საზომი საშუალებების მუშა ეტალონების მეტროლოგიური უზრუნველყოფის დროს შეიძლება მოთხოვნილი იქნეს სხვადასხვა ელექტრული სიდიდის საზომი საშუალებების უმაღლესი თანრიგის რამდენიმე ეტალონი. მეორეს მხრივ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების ყველა ეტალონის მეტროლოგიური მახასიათებლის შემოწმება შეუძლებელია პირდაპირი გაზომვის მეთოდის გამოყენებით. ელექტრული სიდიდეების მთელი რიგი პარამეტრებისათვის უმაღლესი თანრიგის ეტალონების არარსებობას მივყავართ ირიბი გაზომვის მეთოდების გამოყენების საჭიროებასთან. ეს არსებითად ართულებს ექსპერიმენტული გამოკვლევების ჩატარებას.

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების ეტალონების შემოწმების, დაკალიბრებისა და გამოცდის დროს

მიზანშეწონილია შევამოწმოთ მხოლოდ ძირითადი პარამეტრების მეტროლოგიური მახასიათებლები პირდაპირი გაზომვის მეთოდების გამოყენებით, ხოლო საანგარიშო პარამეტრების მეტროლოგიური მახასიათებლები, რომლებიც ფუნქციონალურად დაკავშირებულია ძირითად პარამეტრებთან, შევამოწმოთ მხოლოდ გამოცდების ჩატარების დროს სპეციალურად ამ მიზნისათვის დამუშავებული გაზომვის შესრულების მეთოდების გამოყენებით. ეს მიგვიყვანს მუშა ეტალონების მეტროლოგიური მახასიათებლების შემოწმების პროცედურის არსებით გამარტივებამდე.

ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების მეთოდებსა და საზომ საშუალებებზე ახალი სტანდარტების შემოტანამ ამაღლა მუშა ეტალონების მეტროლოგიური და ფუნქციონალური მახასიათებლების მიმართ მოთხოვნები და გაართულა მეტროლოგიური უზრუნველყოფა. ახალი სტანდარტების შესაბამისად, ელენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებების შემოწმებისათვის, დაკალიბრებისა და გამოცდებისათვის მოითხოვება ეტალონები გაუმჯობესებული მეტროლოგიური მახასიათებლებითა და გაფართოებული ფუნქციონალური შესაძლებლობებით. თავის მხრივ, ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებებისათვის მუშა ეტალონების წარმოების მეტროლოგიური უზრუნველყოფა არსებითად რთულდება უფრო მაღალი თანრიგის ეტალონების და უპირველეს ყოვლისა ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების სპეციალური სახელმწიფო ეტალონისა და შესაბამისი ნორმატიული ბაზის (სახელმწიფო შესამოწმებელი სქემისა და სტანდარტის) არარსებობის გამო.

2.6. ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლის

ტექნიკური უზრუნველყოფა

ელენერგიის ხარისხის კონტროლის ტექნიკური უზრუნველყოფის კომპონენტებს წარმოადგენენ მასშტაბირებელი გარდამქმნელები, რომლებიც

საშუალებას იძლევიან გაზომვები ვაწარმოოთ 0,4 კვ ძაბვის ზემოთ ელექტრულ ქსელებში, ასევე ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გამოომები (ანალიზატორები). ეს საზომი საშუალებები შეიძლება გამოყენებული იქნას ავტონომიურად, ასევე შეიძლება შედიოდნენ საზომი სისტემების შემადგენლობაში შესაბამისად საზომ და საზომ-გამოთვლელ კომპონენტებად.

ელექტროქსელური კომპანიების სატრანსფორმატორო ქვესადგურებში მასშტაბირებელ გარდამქმნელებად ფართო გამოყენება ჰპოვეს ძაბვისა (ITH) და დენის (ITT) საზომმა ტრანსფორმატორებმა, ასევე ტევადურმა ძაბვის საზომმა ტრანსფორმატორებმა. ავტომატიზირებულ საზომ სისტემებში მათი გამოყენების დროს გათვალისწინებულ უნდა იქნეს მათი სიხშირული მახასიათებლები. გაზომვის ამ საშუალებებზე არსებული სტანდარტები უყენებენ მოთხოვნებს მათ მეტროლოგიურ მახასიათებლებს მხოლოდ ძირითადი სიხშირის (50 ჰც) სიგნალებზე. საზომი ტრანსფორმატორების მწარმოებლები ასევე არ უდგენენ დამატებით მოთხოვნებს მათი პროდუქციის სიხშირულ მახასიათებლებს. ეს გარემოება არსებითად ართულებს ძაბვისა და დენის იმ პარამეტრების გაზომვას, რომლებიც ახასიათებენ სიგნალების არასინუსოიდურ დამახინჯებას: ჰარმონიული და ინტერჰარმონიული მდგენელების კოეფიციენტებს, ასევე სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტს.

უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალი ტიპის ელექტრომაგნიტური და ტევადური საზომი ტრანსფორმატორების რეალური სიხშირული მახასიათებლები საშუალებას იძლევიან სიგნალების პარამეტრები გაიზომოს 50 ჰც - 2000 ჰც სიხშირის დიაპაზონში. ამასთანავე, ამ სიხშირეებზე ტრანსფორმატორების გამოყენება მოითხოვს მათი სიხშირული მახასიათებლების ნორმირების განსაზღვრისათვის დამატებითი სამუშაოების ჩატარებას.

მაღალი და ზემაღალი ძაბვის ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის

მონიტორინგის დროს დენისა და ძაბვის მასშტაბირების პრობლემების გადაწყვეტის განსაზღვრული იმედები დაკავშირებულია ოპტიკური საზომი ტრანსფორმატორების გამოყენებასთან. ამასთანავე, ამჟამად საზომი ტექნიკის ამ პერსპექტიული მიმართულების მცირე წარმომადგენლების მეტროლოგიური მახასიათებლები არ შედიან სტანდარტის მოთხოვნების ჩარჩოებში და მხედველობაში იღებენ მხოლოდ ძირითადი სიხშირის სიგნალებს.

დღეისათვის, გამოთვლითი ტექნიკისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარების წყალობით უპირატესობა მოიპოვა ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების მრავალფუნქციურმა საზომმა საშუალებებმა, რომელთაც აქვთ უნარი ეფექტურად გადაწყვიტონ ელექტროენერჯის ხარისხის დარგში გაზომვის ამოცანების ფართო წრე (კონტროლი, ანალიზი, მართვა).

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ასეთი საზომ საშუალებებს, როგორც წესი, აქვთ ძაბვისა და დენის გაზომვის შესასვლელები, რაც საშუალებას იძლევა ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვასთან ერთად გაზომონ ყველა ძირითადი ელექტროენერგეტიკული სიდიდის მრავალი პარამეტრი.

ნახ.2.3-ზე წარმოდგენილია ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი ხელსაწყო Pецypc- UF2-4.30, რომელიც გამოიყენება ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ავტომატურ რეჟიმში გაზომვისათვის [18] სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად. მისი საშუალებით იზომება ძაბვის, დენის ძალის სიმძლავრისა და ენერჯის პარამეტრები ერთფაზა და სამფაზა ცვლადი დენის წრედში. განსაზღვრავს ელექტროენერჯის მრიცხველების მეტროლოგიურ მახასიათებლებს, განსაზღვრავს დენის საზომი ტრანსფორმატორებს მუშაობის რეჟიმებს.



**ნახ.2.3. ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი
ხელსაწყო Ресурс- UF2-4.30**

საზომი საშუალებების განსახილველი ჯგუფის ძირითადი თავისებურებებს წარმოადგენენ: ჯერ ერთი, მოცემული საზომი საშუალებები გამოიყენება ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლთან და ანალიზთან დაკავშირებული გაზომვების ამოცანების გადასაწყვეტად. მეორეც, ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ნორმატიული დოკუმენტების დებულებების შესაბამისად ეს საზომი საშუალებები არა მხოლოდ იძლევიან ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ცალკეულ მნიშვნელობებს, არამედ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში აწარმოებენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების დიდი რაოდენობის გაზომილი მნიშვნელობების სტატისტიკურ დამუშავებას. მესამეც, მოცემული საზომი საშუალებები ითვალისწინებენ კვლევის ობიექტის სპეციფიკურ თავისებურებებს, ისეთები როგორცაა: ელექტროკვებისა და ელექტრომომარაგების სისტემები, ელექტრული ქსელები (ფაზათა რაოდენობა, უსაფრთხოებისა და ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მოთხოვნები და სხვა).

განსახილველი ხელსაწყოები შეიძლება ფუნქციონირებდნენ ავტონომიურ რეჟიმში ან სხვადასხვა საზომი სისტემების შემადგენლობაში, უპირველესად, ელექტროენერჯის ხარისხის ავტომატიზირებული საზომი სისტემების შემადგენლობაში. ხელსაწყოების გამოყენება საზომ სისტემებში

ქმნის წანამძღვრებს მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობების უფრო სრული და ეფექტური გამოყენებისათვის. მცირდება გაზომილი ინფორმაციის მოცულობა, რომელიც გადაეცემა სისტემის სხვადასხვა კომპონენტებს შორის, მარტივდება სისტემების დამუშავება და სერტიფიკაცია, მალდება მმართველი გადაწყვეტილების მიღების ოპერატიულობა.

ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომების არსებობა ავტომატიზებული საზომი სისტემების შემადგენლობაში საშუალებას იძლევა ასევე რაციონალურად ორგანიზაცია გავუკეთოთ გაზომილი ინფორმაციის შენახვას მოვახდინოთ სისტემის სხვადასხვა კომპონენტებს შორის ინფორმაციის გაცვლის პროცესების ოპტიმიზაცია, შევამციროთ აღრიცხვის სისტემისა და ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ინტეგრაციის დანახარჯები.

ამჟამად, ყველაზე უფრო მოთხოვნადია ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საზომი საშუალებები „A“ კლასის გაზომვის პროცესებით. როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, ეს ყველაზე უფრო პრეციზიული საზომი საშუალებებია გაზომვის რთული ალგორითმებით და კოორდინირებული დროს ეროვნულ სკალასთან საზომი ინტერვალების ზუსტი სინქრონიზაციით. დღეისათვის აღნიშნული ხელსაწყოების დიდი პოპულარობის მიზეზი მდგომარეობს იმაში, რომ ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმების სტანდარტი ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების დადგენილ ნორმატიულ მნიშვნელობებთან შესაბამისობის კონტროლისათვის შეიცავს „A“ კლასის ხელსაწყოების გამოყენების მოთხოვნებს. ამ დროს ნაკლებად ზუსტი, მაგრამ უფრო იაფი, გაზომვის გამარტივებული ალგორითმის მქონე „S“ კლასის ხელსაწყოები დარჩნენ საჭირო ყურადღების გარეშე.

გარდა ხელსაწყოებისა, ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის სისტემის საზომი არხები ელექტრულ ქვესადგურებში მოიცავენ საზომ (დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორები) და დამაკავშირებელ (ხელსაწყოებისა და

საზომი ტრანსფორმატორების შემაერთებელი ხაზები) კომპონენტებს, რომლებთაც სიზუსტის მახასიათებლები გააჩნიათ უფრო უარესი, ვიდრე „A“ კლასის ხელსაწყოებს. ამას მივყავართ იმასთან, რომ არსებითი სხვაობა ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის სიზუსტეს შორის, როცა გაზომვები სწარმოებს ელექტრულ ქვესადგურებში საზომი არხების დახმარებით, „A“ და „S“ კლასის ხელსაწყოების გამოყენების დროს არ არსებობს, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, როცა „S“ კლასის ხელსაწყოებისათვის დადგენილია ისეთი მეტროლოგიური მახასიათებლები, რომლებიც აღემატებიან ამ კლასისათვის დადგენილ სტანდარტულ მოთხოვნებს. სტანდარტი [24] უშვებს ისეთ სიტუაციას, როცა გაზომვის ნაწილი შეესაბამება „A“ კლასს, ხოლო ნაწილი „S“ კლასს. ამ შემთხვევაში ელექტროენერგიის ხარისხის თითოეული მაჩვენებლისათვის ნაჩვენები უნდა იყოს გაზომვის შესაბამისი კლასთან შესაბამისობა.

ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლის, ანალიზისა და მართვის დროს აღძრული გაზომვის ამოცანების ეფექტური გადაწყვეტა შეუძლებელია საზომი სისტემების გამოყენების გარეშე. ყურდნობა რა დაგროვილ პრაქტიკულ გამოცდილებას სამეცნიერო-საწარმოო დაწესებულება «Энерготехника» ელექტრული ენერგიის სხვადასხვა სახეების გამოცდის შედეგად და ეფუძნება რა ელექტროენერგიის წყაროებისა და მომხმარებლების მიმართ თანამედროვე მოთხოვნების ანალიზს, ვარაუდობს რომ ელექტროენერგიის ხარისხის უწყვეტი მონიტორინგის სისტემების ორგანიზაციის ძირითადი პრინციპები უნდა იყოს შემდეგი:

- სისტემა უნდა იყოს ელექტროენერგიის ხარისხის მართვის სისტემის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილი და ტექნიკური ინსტრუმენტი (საზომი საშუალება);
- სისტემაში ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლის ძირითადი სახე უნდა იყოს უწყვეტი კონტროლი (მონიტორინგი), რომელიც საშუალებას

იძლევა ელექტროენერჯის ხარისხის შესახებ მიღებული იქნეს ყველაზე სრული და უტყუარი ინფორმაცია;

- ელექტროენერჯის ხარისხის უწყვეტი კონტროლის დროს საზომ საშუალებად გამოყენებული უნდა იქნეს ელექტროენერჯის ხარისხის ავტომატიზირებული საინფორმაციო-საზომი სისტემები;

- ელენერჯის ხარისხის კონტროლის დროს ძაბვის პარამეტრებთან ერთად უნდა გაიზომოს სხვა ელექტრული პარამეტრებიც (დენის ძალის პარამეტრები, ფაზათა ძვრა, სიმძლავრე), რაც მოგვცემს ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზის განხორციელების საშუალებას, ანუ განვსაზღვროთ ელექტროენერჯის ხარისხს გაუარესების მიზნები;

- ელექტრული ენერჯის ხარისხის უწყვეტი კონტროლის სისტემებში უნდა სწარმოებდეს იმ ელექტრული ენერჯის როდენობის გაზომვა, რომლის ხარისხიც ექვემდებარება კონტროლსა და ანალიზს;

- სისტემის აგება დაფუძნებული უნდა იყოს ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმებისა და შეფასების სტანდარტიზაციის პრინციპებზე, ასევე ძაბვის პარამეტრებისა (რომლებიც წარმოადგენენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებს) და სხვა ელექტრული სიდიდეების გაზომვის ალგორითმებსა და მეთოდებზე;

- ელექტროენერჯის ხარისხის პერიოდული კონტროლი და ანალიზი გამოყენებული უნდა იქნეს ელექტრული ენერჯის დამატებითი გამოცდის სახედ, რაც საშუალებას მოგვცემს გადაწყვეტილი იქნას ელექტრული ენერჯის გადაცემის დროს წარმოშობილი რთული სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანები;

- სისტემა შექმნილი უნდა იყოს ელექტროენერჯეტიკის ობიექტებზე ელენერჯის ხარისხის კონტროლის დარგში არსებული ორგანიზაციულ-ტექნიკური გადაწყვეტილებების გათვალისწინებით;

- სისტემამ უნდა მოგვცეს მისი გაფართოების საშუალება, როგორც გასაზომი პარამეტრების რაოდენობის, ასევე კონტროლის წერტილების

მოცულობის მიხედვით;

- სისტემის შექმნა და განვითარება უნდა ატარებდეს როგორც თანმიმდევრულ ხასიათს (დაწყებული ელექტრული ენერჯის კონტროლიდან აუცილებელ მოთხოვნათა შესაბამისობაზე დამთავრებული ელექტრული ენერჯის ხარისხის ეფექტური მართვისათვის საჭირო ყველა ელექტრული სიდიდის პარამეტრის გაზომვამდე) და თანდათანობით ხასიათს (დაწყებული საცდელი პროექტებიდან და დამთავრებული საზომი სისტემების გლობალური ქსელებით, რომლებიც დაყენებული იქნება ყველა ელექტრულ ქვესადგურში).

შექმნილი პრაქტიკის შედეგად რუსეთის ელექტროენერგეტიკაში ყველაზე უფრო გავრცელება ჰპოვა ერთეული წარმოების სისტემებმა. პირველ რიგში მათ მიეკუთვნება ენერგოგადამტანების აღრიცხვის სისტემები. ეს სისტემები იქმნება ელექტროენერგეტიკის კონკრეტულ საწარმოო ობიექტებზე გამოყენებისათვის მათი სპეციფიკური თავისებურებების გათვალისწინებით. გათვალისწინებული არ არის სხვა ანალოგიურ ობიექტებზე მათი ტირაჟირება.

თუ საზომი ხელსაწყოების წარმოების ერთეულოვანი ხასიათი გამოყენებული იქნება ელექტროენერჯის ხარისხის უწყვეტ მონიტორინგის სისტემების ორგანიზაციისათვის, მაშინ ეს იქნება მათი განვითარებისა და საყოველთაო გავრცელებისათვის არსებითი დამამუხრუჭებელი ფაქტორი. მხოლოდ სერიულად წარმოებული ელექტროენერჯის ხარისხის საზომი სისტემები, რომლებიც აგებულია სტანდარტული მასშტაბირებელი გარდამქმნელების საფუძველზე, წარმოადგენენ საზომი-გამოთვლითი კომპლექსების საზომ კომპონენტებს, რომლებიც დაფუძნებულია ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზატორებზე და შეიძლება გამოყენებული იქნენ ეფექტურ ინსტრუმენტად ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლის, მართვისა და ანალიზისათვის.

2.7. ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზი

ელექტროენერჯის ხარისხის ამაღლებისა და კიდევ უფრო ზოგადი – ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის პრობლემა მიეკუთვნება თანამედროვე ელექტროტექნიკის მნიშვნელოვან პრობლემებს. მათ გადაწყვეტაზე ბევრად არის დამოკიდებული ელექტრომომარაგების სისტემების სხვადასხვა დანიშნულების მომხმარებლების ელექტროენერჯის ეფექტურად გამოყენების ამაღლებისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის პრობლემები. უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული აქტუალობა შეიძინა ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემამ დაბალი ძაბვის ელექტრულ ქსელებში. ეს პირველ რიგში თანამედროვე ელექტრომომარაგების სისტემებში გამოწვეულია ისეთი თანამედროვე ფართოდ გავრცელებული ელექტრომიმღებების მიერ, რომლებიც ცხადად და არსებითად ამახინჯებენ ქსელის ძაბვას. ასეთ ელექტრომიმღებებს მიეკუთვნება: შედუღების აპარატები, მმართული ელექტროამძრავები, კომპიუტერული და სხვა ელექტრონული ტექნიკა. ამ მომხმარებლების მნიშვნელოვანი ნაწილი ქსელში გენერირებს უმაღლეს რიგის ჰარმონიკებს, რითაც სერიოზულად ამწვავებს ელექტროენერჯის ხარისხის სიტუაციას დაბალი ძაბვის ქსელებში [29].

- დაბალი ძაბვის ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის ნორმების უზრუნველყოფისთვის ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებების ჩატარების ევროპული პრაქტიკა დაფუძნებულია საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის (სეკ) შესაბამისი კონცეფციის პრინციპებზე. დაბალი ძაბვის ქსელებში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველსაყოფად საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის კონცეფცია გადმოცემულია IEC 61000-XX სერიის სტანდარტებსა და ტექნიკურ ანგარიშებში. ამ კონცეფციის ძირითადი დებულებები შემდეგში მდგომარეობს:

- ქსელებისათვის, რომლებშიც კონტროლდება დაბრკოლებათა ემისიის დონე, ძაბვის ხარისხის მაჩვენებლების ნორმები შემფოთების თითოეული ტიპისათვის დადგენილია ელექტრომაგნიტური თავსებადობის დონის საფუძველზე, რომლებიც გამოიყენება დაბრკოლებათა და დაბრკოლება მდგრადი აპარატურის ემისიის დონის ნორმირების პროცესებში კოორდინაციისათვის;

- ელექტრომაგნიტური თავსებადობის დონისა და დაბალი ძაბვის ქსელების ტიპური პარამეტრების სიდიდეების საფუძველზე აპარატურის ცალკეული ერთეულისათვის, რომლებიც მოითხოვენ ფაზაზე 75 ამპერამდე დენს, სტანდარტებით დადგენილია დაბრკოლებათა ემისიის ზღვრული დონე;

- დაბალი ძაბვის ქსელთან არაწრფივი მომხმარებლის ჩართვა, რომლის ჯამური სიმძლავრე შეადგენს ქსელის მოკლედ შერთვის სიმძლავრის 0,1 %-ს, ხდება მხოლოდ დენის ჰარმონიკის ემისიის დონის ელექტრული ქსელის მესაკუთრესთან შეთანხმების განსაზღვრული პროცედურის დროს.

ამ კონცეფციის პირველმა ორმა დებულებამ თავიანთი ასახვა ჰპოვეს საერთაშორისო ევროპულ სტანდარტებში [30,31], ხოლო მომხმარებელთა ჩართვის პირობებს (მესამე დებულება), რომელიც შემოთავაზებულია საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის ტექნიკურ ანგარიშში [32], აქვთ სარეკომენდაციო ხასიათი.

ძაბვის ჰარმონიკებისათვის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის დონის კომპრომისული სიდიდის არჩევა განპირობებული იყო არა მხოლოდ დაბრკოლებათა ემისიისა და აპარატურის დაბრკოლებამდგრადობის დონის უზრუნველყოფის ტექნიკური შესაძლებლობით, არამედ დაკავშირებულია ეკონომიურ ფაქტორებთან. უნდა აღინიშნოს, რომ უმეტეს ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის თემაზე არსებულ უმეტეს პუბლიკაციებში სრულიად გაუმართლებლად მთლიანად

უგულვებელყოფილია შემოთავაზებული ტექნიკური ღონისძიებების ღირებულების შეფასება. ცხადია, რომ ქსელში ძაბვის ხარისხის დასაშვები დონე შეიძლება იყოს ოპტიმალური მისი შენარჩუნებაზე დახარჯული მატერიალური დანახარჯებისა და მოწყობილობის ნაადრევად მწყობრიდან გამოსვლით მიყენებული ზარალის ბალანსის დროს.

დაბალი ძაბვის ქსელში მომხმარებლებისაგან დაბრკოლებათა ემისიის მაქსიმალურად დასაშვები სიდიდის დადგენა ეკისრება მხოლოდ ეროვნულ 'მომხმარებელთა ჩართვის პირობების' დირექტივას და არ განიხილება ევროპული დირექტივებით.

ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფისათვის საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის კონცეფციის პრინციპების პრაქტიკაში რეალიზაციას შეიძლება მივყვეთ დიდი ბრიტანეთის ნორმატიულ – სამართლებრივი ბაზის მიხედვით, როგორც ყველაზე უფრო სრული და ბალანსირებული.

დიდ ბრიტანეთში მიღებულია არა მხოლოდ ეროვნული ტექნიკური რეგლამენტი ელექტრომაგნიტური თავსებადობისა და შესაბამისი ჰარმონიზირებული სტანდარტები დაბრკოლებათა ემისიის შესახებ, არამედ წარმოადგენენ 'გამანაწილებელი ქსელების კოდექსის' და 'მომხმარებელთა ჩართვის პირობების' [33] შემადგენელ ნაწილს.

მოცემული სამართლებრივი დოკუმენტი გამოიყენება ელექტროენერჯის მიწოდების შესახებ ხელშეკრულების შედგენის საფუძვლად, ხოლო ქსელთან მომხმარებლების ჩართვის პროცედურის ტექნიკური დეტალები და მომხმარებლის მიმართ კონკრეტული მოთხოვნები გადმოცემულია [34] საინჟინრო რეკომენდაციებში. ამ დოკუმენტში გადმოცემული მეთოდის თანახმად, დაბალი ძაბვის ქსელებთან არაწრფივი დატვირთვის მქონე მომხმარებლის მიერთება უნდა მოხდეს სამი ნებადამრთველი სქემიდან ერთ-ერთით. პირველი (გამარტივებული)

ნებადამრთველი სქემის მიხედვით ქსელთან მიერთების ნებადართვა გაიცემა ელექტროქსელის მესაკუთრის მიერ დენის ჰარმონიკების ემისიის სიდიდის განსაზღვრის გარეშე შემდეგ შემთხვევებში:

1. თუ მომხმარებლის დატვირთვის ჯამური დენი ფაზაში არ აღემატება 16 ა, ხოლო თითოეული აპარატურის ერთეული შეესაბამება [31] სტანდარტის მოთხოვნებს.

2. თუ მომხმარებლის დატვირთვა არის ერთი ერთფაზა ან ერთი სამფაზა გარდამქმნელი, რომლის მიერ მოხმარებული დენი არ აღემატება ფაზაში 16 ა და გამოიყენება სამრეწველო მიზნებისათვის;

3. თუ მომხმარებლის დატვირთვის ჯამური დენი ფაზაში არ აღემატება 16 ა, ხოლო მომხმარებლის არაწრფივ დატვირთვას წარმოადგენს ან აპარატურის ერთი ერთეული, რომელიც მოცემული პარამეტრების მქონე ქსელისათვის აკმაყოფილებს [31] სტანდარტის მოთხოვნებს, ან აპარატურის ერთი ერთეული სიმძლავრით არაუმეტეს 12 კვა, რომელსაც გააჩნია სამფაზა ქსელური გამმართველი, ან ერთფაზა აპარატურის ერთი ერთეული სიმძლავრით 5 კვა, რომელიც გამოიყენება სამრეწველო მიზნებისათვის.

მოცემული გამარტივებული ნებადამრთველი სქემა არაწრფივი მომხმარებლის მცირე სიმძლავრის აპარატურისაგან არ მოითხოვს დენის ჰარმონიკების ემისიის ანალიზს და მასიური მომხმარებლებისათვის მაქსიმალურად ამარტივებს ქსელთან მიერთების პროცედურას, ხოლო ელექტრულ ქსელში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის ფუნქცია ეკისრება მცირე სიმძლავრის აპარატურის მწარმოებლებსა და სახელმწიფო კონტროლის ორგანოებს დაბრკოლებათა ემისიის სტანდარტების დაცვისთვის.

დიდ ბრიტანეთში თუ მომხმარებლის დატვირთვის ჯამური დენი ერთ ფაზაში აღემატება 16 ა-ს და დატვირთვა მისი მიერთებისათვის ვერ პასუხობს გამარტივებული ნებადამრთველი სქემის მესამე პუნქტს, მაშინ ამ შემთხვევაში

მეორე ნებადამრთველი სქემის შესაბამისად მომხმარებელი მოვალეა ელექტრული ქსელის მესაკუთრეს წარუდგინოს ცნობა მისი აპარატურის მიერ მოხმარებული ჯამური დენის ჰარმონიული შემადგენლობის შესახებ, ხოლო ელექტრული ქსელის მესაკუთრემ ამ მონაცემების ანალიზის საფუძველზე უნდა მიიღოს გადაწყვეტილება ამ აპარატურის ქსელთან შესაძლო მიერთების შესახებ.

ამ დროს მიღებულია, რომ ქსელთან, რომელთაც გააჩნიათ 500 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორები აქვთ უფლება ჩართონ არაუმეტეს ოთხი მძლავრი მომხმარებლისა, რომელთაგან თითოეულს აქვს დენის ჰარმონიკის ემისიის დონის თანაბარი კვოტები. ამიტომ თითოეული ასეთი მომხმარებლის დენის ჰარმონიკების ემისიის დონე არ უნდა აღემატებოდეს მთელი ქსელის დენის ჰარმონიკების ემისიის ჯამური დასაშვები დონის 25 %-ს.

[34] საინჟინრო რეკომენდაციებით ცალკეული მძლავრი მომხმარებლისათვის დადგენილია დენის ჰარმონიკების დასაშვები მოქმედი მნიშვნელობები 50-ე ჰარმონიკის ჩათვლით.

ცხრილი 1.1-ში მოყვანილია ეს მნიშვნელობები ამპერებში მეთერთმეტე ჰარმონიკის ჩათვლით.

ცხრილი 1.1.დენის ჰარმონიკების დასაშვები მოქმედი მნიშვნელობები

I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀	I ₁₁
29	48	9	29	3	41	7	10	6	40

თუ მძლავრი მომხმარებლის აპარატურა არ შეესაბამება დენის ჰარმონიკების ემისიის ხსენებულ ნორმებს (ცხრილი 1), მაშინ მისი მიერთება შესაძლებელია მესამე ნებადამრთველი სქემის შესაბამისად, რომელიც ითვალისწინებს კონკრეტული სქემის თავისებურებებს.

ამ დროს ელექტრული ქსელის მესაკუთრემ უნდა მიიღოს ქსელთან მიერთების გადაწყვეტილება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ანგარიში

გვიჩვენებს, რომ დენის ჰარმონიკების ემისიის მოცემული დონის დროს, მოცემულ კონკრეტულ ქსელში ამ მომხმარებლის მიერთების შემდეგ არ აიწევს ძაბვის ჰარმონიკების დაგეგმილი დონე.

ელექტრული ქსელის მესაკუთრისაგან ქსელზე მიერთების ნებართვის მისაღებად მძლავრი დატვირთვის მომხმარებელმა უნდა ჩაატაროს საჭირო ტექნიკური ღონისძიებები დენის ჰარმონიკების ემისიის შესამცირებლად იმ დონემდე, რომელიც მოყვანილია [34] საინჟინრო რეკომენდაციებში, რომელსაც მიუთითებენ ბრიტანული "მომხმარებელთა მიერთების პირობები" ამგვარად, დიდ ბრიტანეთში მძლავრი მომხმარებლის მიერთების დროს ელექტროქსელის მესაკუთრეს "გამანაწილებელი ქსელების კოდექსის" საფუძველზე აქვს უფლება თითოეული მძლავრი მომხმარებლისათვის დაადგინოს დენის ჰარმონიკის დასაშვები ზღვრები, ხოლო დენის ჰარმონიკის ემისიის შეზღუდვისთვის ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიების გატარება ევალება თვით ამ მომხმარებელს.

ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგის შედეგად, რომელიც ტარდება ევროკავშირის ქვეყნების გამანაწილებელ ქსელებში, სტაბილურად მტკიცდება ელექტროენერჯის პარამეტრების მოთხოვნილ ნორმებთან შესაბამისობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ თუ ევროკავშირის ქვეყნებში დაბალი ძაბვის ქსელების ელექტრომომარაგების სისტემებში ძაბვის ჰარმონიკების შემცირების პრობლემა გადაწყვეტილია იმ ელექტრომოწყობილობის გაყიდვის კანონმდებლობითი აკრძალვის გზით, რომლებიც არ შეესაბამებიან [31] სტანდარტს. აშშ-ში ასეთი აკრძალვა ეხება მხოლოდ ლუმინესცენციური ნათურების გამშვებ-მარეგულირებელ აპარატურას, რომლებიც არ შეესაბამებიან [35] სტანდარტს. აშშ-ში საოფისე და საყოფაცხოვრებო აპარატურისათვის დენის ჰარმონიკების ემისიის ზღვრული ნორმები დადგენილი არ არის.

2000 წელს აშშ-ში იყო მცდელობა მოქმედებაში შეეყვანათ მოხმარებული დენის ჰარმონიკების შეზღუდვის სტანდარტი და ყველა აპარატურისათვის მაქსიმალური დასაშვები ზღვარი ყოფილიყო 15 %. მაგრამ საბოლოოდ არ იქნა მიღებული ეკონომიურად არამიზანშეწონილობის მიზნით [36]. აპარატურის თითოეული ერთეულისათვის დენის ჰარმონიკების ემისიის დონის შეზღუდვის მაგიერ აშშ-ში მოქმედებს სტანდარტი [37]. რომელიც ადგენს დენის ჰარმონიკების ნორმებს მთლიანად ელექტრომომარაგების სისტემების მომხმარებლებისათვის.

მაგრამ ასეთი მიდგომა გამოყენებადია მხოლოდ სამრეწველო დაწესებულებებისა და მსხვილი კომერციული ორგანიზაციებისთვის და მთლიანად გამოუყენებელია საყოფაცხოვრებო სფეროსა და წვრილი სტრუქტურებისათვის, როცა შეუძლებელია გაკონტროლდეს დიდი რაოდენობის ინდივიდუალური მომხმარებლების მიერთება. მიუხედავად ამისა, აშშ-ს დაბალი ძაბვის ელმომარაგების ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის მონიტორინგმა აჩვენა, რომ ძაბვის ჰარმონიკების დონე არ აჭარბებს ელექტრომაგნიტური თავსებადობის დონეს. ეს შეტყველებს იმაზე, რომ აშშ-ში მოქმედებს ელექტრომაგნიტური თავსებადობის დონის უზრუნველყოფის უფრო ეფექტური მექანიზმი, ვიდრე აპარატურის დენის ჰარმონიკების ემისიის ნორმების მოქმედი სტანდარტი. მაგალითად, აშშ-ში და კანადაში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ტრანსფორმატორული ტიპის დენის უმაღლესი ჰარმონიკების ჯგუფურმა პასიურმა ფილტრებმა [35]. მთელ რიგ შემთხვევებში მოცემული მეთოდი ეკონომიურად უფრო ეფექტურია, ვიდრე დიდი რაოდენობის აპარატურაზე ძვირადღირებული ინდივიდუალური კორექტორების დაყენება.

ამრიგად, ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ევროკავშირის ქვეყნებში ელექტროენერჯის ხარისხის

პრობლემა წყდება საკანონმდებლო გზით. ევროპულ ელექტრომომარაგების ქსელებში მძლავრი მომხმარებლების მიერთების დროს ელექტრული ქსელის მესაკუთრეს” გამანაწილებელი ქსელის კოდექსის” საფუძველზე უფლება აქვს თითოეული მძლავრი ელექტრომომხმარებლისათვის დაადგინოს დენის ჰარმონიკის ემისიის დასაშვები ნორმები, ხოლო მომხმარებელი ვალდებულია პირველ რიგში გაატაროს დენის ჰარმონიკების ემისიის შეზღუდვის ორგანიზაციულ - ტექნიკური ღონისძიებები [38].

თავი III. დამახინჯების სიმძლავრები ელექტრულ ქსელებში.

3.1. დამახინჯების სიმძლავრის გაზომვა არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის მქონე სამფაზა ელექტრულ ქსელებში.

როგორც ცნობილია, წევის ელექტრომომარაგების სისტემები ხასიათდებიან არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვით, რასაც 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 ელექტრულ 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:

$$S_1 = \sum S_{\varphi} = \sum U_{\varphi} \cdot I_{\varphi} \quad (3.1)$$

სადაც U_{φ} , I_{φ} - 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:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.2)$$

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

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A \cdot I_A \cdot \cos\phi_A + U_B \cdot I_B \cdot \cos\phi_B + U_C \cdot I_C \cdot \cos\phi_C$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A \cdot I_A \cdot \sin\phi_A + U_B \cdot I_B \cdot \sin\phi_B + U_C \cdot I_C \cdot \sin\phi_C$$

ხელსაწყობა და გარდამქმნელთა უმრავლესობა, რომლებიც ზომავენ სამფაზა ელექტრული ქსელების პარამეტრებს, ოთხსადენიან ქსელში სრულ სიმძლავრეს განსაზღვრავენ (3.1) ფორმულით, ხოლო სამსადენიან ქსელში, რადგან ფაზური ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობების გაზომვა შეუძლებელია, ზომავენ (3.2) ფორმულით. ასეთი მიდგომა სამართლიანია წრფივი სიმეტრიული დატვირთვის მქონე ელექტრულ ქსელებში, მაშინ:

$$S_1 = S_2$$

ამასთანავე, ზოგად შემთხვევაში:

$$S_1 \geq S_2$$

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 უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების ურთიერთგავლენით. ამ შემთხვევაში (3.2) ფორმულა იღებს სახეს [39]:

$$S_3 = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (3.3)$$

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 დატვირთვის პირობებში ისინი არ ასახავენ სრული სიმძლავრის მთავარ თვისებას: ელექტრულ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები სრული სიმძლავრის პროპორციულია [40].

არასინუსოიდური და არაწრფივი დატვირთვის პირობებში სრული სიმძლავრის გაზომვისათვის სტანდარტი [41] გვთავაზობს სამფაზა ქსელის სრული სიმძლავრის გამოთვლას ე.წ. ეფექტური სრული სიმძლავრის $S_{\text{ეფ}}$ სახით, ფორმულით:

$$S_{\text{ეფ}} = 3 U_{\text{ეფ}} \cdot I_{\text{ეფ}},$$

სადაც $U_{\text{ეფ}}$ - არის სამფაზა ქსელის ეფექტური ძაბვა და სამსადენიანი ქსელისათვის: იანგარიშება ფორმულით:

$$U_{\text{ეფ}} = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{9}}$$

ოთხსადენიანი ქსელისათვის- ფორმულით:

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

$I_{\text{ეფ}}$ - არის სამფაზა ქსელის ეფექტური დენი და სამსადენიანი ქსელისათვის იანგარიშება ფორმულით:

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

ოთხსადენიანი ქსელისათვის ფორმულით:

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

ჩვენს მიერ სადოქტორო 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 ელექტროენერჯის მონიტორინგის თანამედროვე სისტემა SCADA-ს გამოყენებით, რომელიც ზომავს და არქივში ინახავს ელექტროენერჯის თერთმეტ პარამეტრს. სწორედ დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრის ამ მარტივ და მოხერხებულ ხერხს გთავაზობთ წინამდებარე სამუშაოში.

ცხრილი 3.1-ში წარმოდგენილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, კომპიუტერული და სხვა საოფისე ტექნიკით დატვირთული, მე-6 სასწავლო კორპუსის ერთი ბლოკის, 2015 წლის 18 მარტის შედეგების მიხედვით სიმძლავრეთა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ამონაწერი ელექტროენერჯის 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 (3.2) ფორმულით განსაზღვრული განსაზღვრულ იქნა S_{\sin} , ხოლო (3.3) ფორმულიდან განისაზღვრა დამახინჯების სიმძლავრე:

$$T = \sqrt{S_{\text{კოან}}^2 - P^2 - Q^2}$$

ამ ფორმულის მიხედვით გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია მე-6 სვეტში.

მე-8 სვეტში მოყვანილი სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობები განისაზღვრა ფორმულით: $\text{Cos}\varphi_{\sin} = P / S_{\sin}$

**ცხრილი 3.1. სიმძლავრეთა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ამონაწერი
ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს არქივიდან..**

N	P, კვტ	Q, კვარ	S _{არას} , კვპ	S _{სინ} , კვპ	T, კვპ	cosφ _{არას}	cosφ _{სინ}
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
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 მნიშვნელობა	29,24	6,97	41,37	30,05	28,33	0,706	0,973

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

$$\frac{S_{არს} - S_{სიწ}}{S_{სიწ}} \times 100 - \text{ჯერ}$$

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

$$\frac{S_{არს} - S_{სიწ}}{S_{სიწ}} \times 100 = \frac{41,37 - 30,05}{30,05} \times 100 = 38 \%$$

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 მეთოდოლოგია [42].

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

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

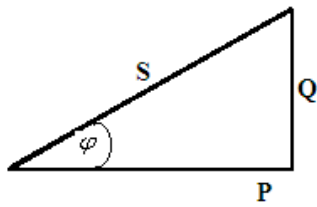
ელექტროენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრისათვის ენერგოსისტემისა და აუდიტორული კომპანიები, ასევე

ენერგოზედამხედველობის ორგანოები ფართოდ გამოიყენებენ მიკროპროცესორულ მოწყობილობებს.

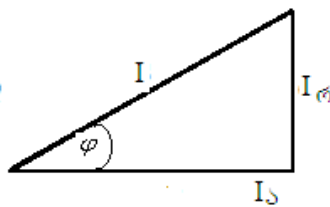
ერთ-ერთ ასეთ მოწყობილობას წარმოადგენს სისტემა SCADA, რომელიც აღრიცხავს და მონაცემთა ბაზაში ინახავს ელექტროენერგიის თერთმეტ პარამეტრს.

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.

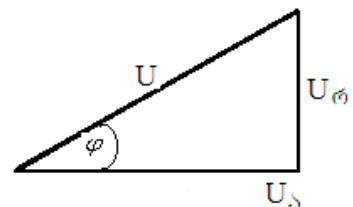
ელექტრული წრედების თეორიიდან ცნობილია, რომ ელექტრულ სისტემებში სინუსოიდური დენის შემთხვევაში ნებისმიერი ენერგეტიკული პროცესი სრულიად და ცალსახად აღიწერება აქტიური P , რეაქტიული Q და სრული S სიმძლავრეებით, რომელთა გეომეტრიული ინტერპრეტაცია, მაგალითად, წრედის ინდუქციური ხასიათის შემთხვევაში გამოისახება ნახ.3.1-ზე წარმოდგენილი სიმძლავრეთა სამკუთხედით [43].



ნახ.3.1



ნახ.3.2



ნახ.3.3

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

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

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

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

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

$$P = UI \cos\varphi = U_s I \quad (3.7)$$

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

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

$$P = UI \cos\varphi = UI_s \quad (3.9)$$

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

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 ძაბვა 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:

$$\varphi = \arctg \frac{Q}{P} = \arctg \frac{I_{\phi}}{I_s} = \arctg \frac{U_{\phi}}{U_s} \quad (3.11)$$

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:

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

საიდანაც

$$T^2 = S^2 - P^2 - Q^2 \quad (3.14)$$

ჩვენს წინაშე დაისვა სახითხი: 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 პარამეტრები, რომლებიც აგებულია აქტიური, რეაქტიული და დამახინჯების სიმძლავრეების მონაკვეთებით იძლევიან თუ არა საშუალებას ერთმანეთთან დავაკავშიროთ ელექტრომოხმარების ენერგეტიკული პარამეტრები, ასევე გამოვავლინოთ მათ შორის ახალი კავშირი.

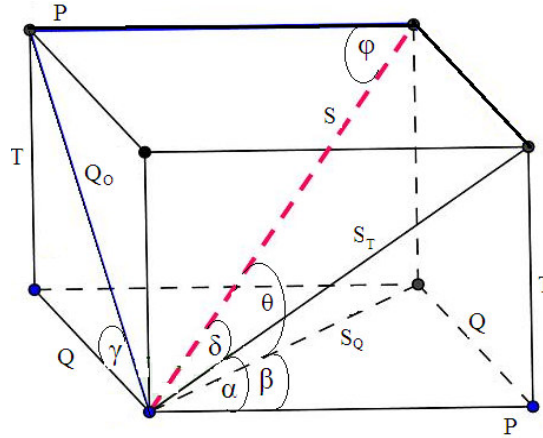
განვსაზღვროთ პარალელებიპედის თითოეული გვერდისა და დიაგონალის ფიზიკური არსი.

სიმძლავრეთა პარალელებიპედში: P - არის წრედის აქტიური სიმძლავრე, რომელიც განპირობებულია არასინუსოიდური დენის წრედებში დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით და განისაზღვრება ფორმულით [44]:

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

Q - წრედის რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც ასევე განპირობებულია დენისა და ძაბვის ერთი და იმავე რიგის ჰარმონიკებით და განისაზღვრება ფორმულით [44]:

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



ნახ.3.4. სიმძლავრეთა პარალელებიპედი

ლიტერატურა [45]-ის მიხედვით, დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

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

Q₀ - წრედის სრული რეაქტიული სიმძლავრეა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

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

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

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

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

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

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), და 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.

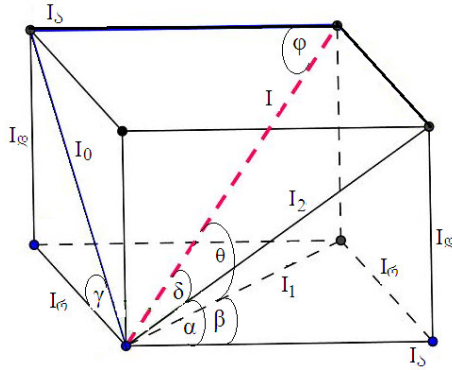
ანალოგიურად მოვიქცით არასინუსოიდური დენის წრედების შემთხვევაშიც. პარალელეპიპედის ყველა გვერდისა და დიაგონალების ძაბვაზე გაყოფით წარმოვადგინეთ დენების პარალელეპიპედი (ნახ.3.5), ხოლო დენზე გაყოფით-ძაბვების სამკუთხედი (ნახ.3.6).

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

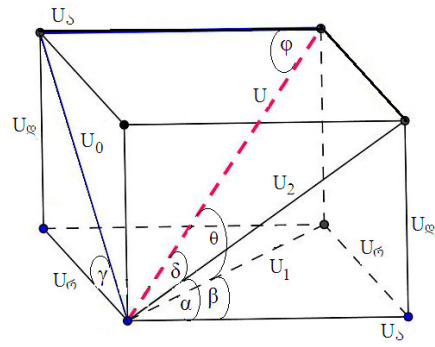
$$I = \sqrt{I_3^2 + I_6^2 + I_{\text{ფ}}^2} \quad (3.28)$$

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

$$U = \sqrt{U_3^2 + U_6^2 + U_{\text{ფ}}^2} \quad (3.29)$$



ნახ.3.5. დენების პარალელებიპედი



ნახ.3.6.ძაბვების პარალელებიპედი

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:

$$I_a = I \cos \varphi; I_r = I \sin \delta; I_d = I \sin \Theta. \quad (3.30)$$

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

$U_{AB} = 372,3$ ვ; $U_{BC} = 376,3$ ვ; $U_{CA} = 377,8$ ვ; $I_A = 53,06$ ა; $I_B = 64,83$ ა; $I_C = 73,70$ ა; $P = 28,95$ კვტ; $Q = 2,0$ კვარ; $S = 41,5$ კვა; $W = 714,9$ კვტ.სთ; $V = 105,4$ კვარ.სთ; $\cos \varphi = 0,705$.

წარმოდგენილი მონაცემებით პირველ რიგში განვსაზღვრეთ ძაბვისა და დენის საშუალო მნიშვნელობები:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$4. \quad \gamma = \arctg \frac{T}{Q} = \arctg \frac{29,66}{2,0} = \arctg 14,83 = 86,1^\circ$$

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

$$6. \quad \theta = \arctg \frac{T}{S_Q} = \arctg \frac{29,66}{29,0} = \arctg 1,023 = 45,6^\circ$$

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

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

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

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

განგარიშების სისწორე შევამოწმოთ (25) გამოსახულების საფუძველზე:

$$I_{\text{საშ}} = \sqrt{I_3^2 + I_6^2 + I_{\text{ფ}}^2} = \sqrt{48,0^2 + 3,32^2 + 49,2^2} = 68,82 \text{ ა.}$$

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 ელენერგიის 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 ($29,8 \text{ კვტ} \approx 28,95 \text{ კვტ}$) 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 ელექტროენერგიის 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, ($I_{\text{საშ}} = 68,86 \text{ ა}$), $P=28,95$ 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:

$$\cos\varphi_1 = 0,705 \quad \text{-დან} \quad \cos\varphi_2 = P/S_Q = 28,95/29,0 = 0,998.$$

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

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

აქედან

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

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 გავაანალიზოთ ელექტრომომხმარებლის ესა თუ ის მხარეები (პროცესის რეაქტიულობა, დამამახინჯებელი ფაქტორები და სხვა), ასევე ერთმანეთთან დავაკავშიროთ სხვადასხვა საზომი სისტემებით გაზომილი ელმომხმარებლის ენერგეტიკული მახასიათებლები [46].

თავი IV. საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემების

ანალიზი და მიღებული შედეგების საფუძველზე

რეკომენდაციების შემუშავება

4.1. საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სისტემის ანალიზი

საქართველოს რკინიგზის დაბადების თარიღად ითვლება 1872 წლის 10 ოქტომბერი, როცა თბილისიდან ფოთში პირველი მატარებელი ჩავიდა. იგი

შავი და კასპიის ზღვებს შორის მდებარე ევრაზიის სატრანსპორტო არტერიის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ნაწილს წარმოადგენს, რომელიც უმოკლესი გზით აკავშირებს ევროპასა და ცენტრალურ აზიას. მისი გაშლილი სიგრძე 1879 კმ-ია, ხოლო საექსპლუატაციო სიგრძე - 1575 კმ.

ამათგან, ორლიანდაგიანი ხაზები - 290 კმ-ია, ხოლო ერთლიანდაგიანი - 1295 კმ. შეიცავს 1714 ხიდსა და 45 გვირაბს. ლიანდაგის სიგანეა - 1520 მმ, მაქსიმალური ქანობი - 37 %, მინიმალური რადიუსი -160 მ. წვევის სახეობაა მუდმივი დენი - 3300 ვ ძაბვით.

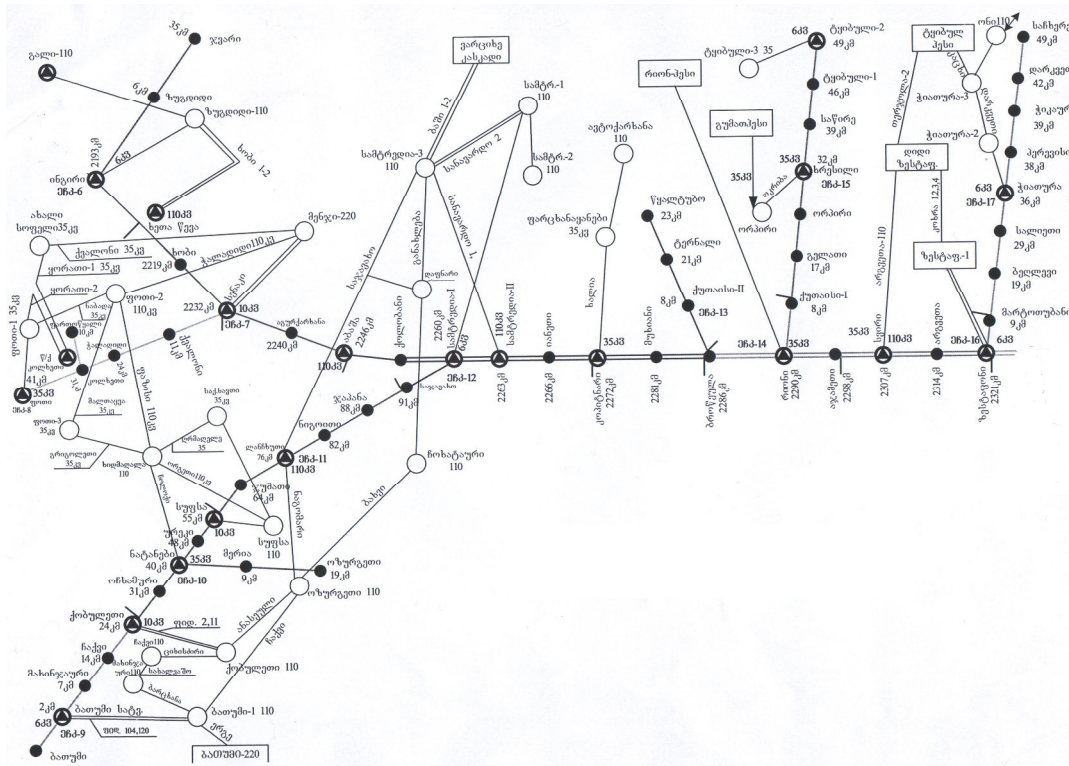
საქართველოს რკინიგზის ელმომარაგების სქემა ხუთი მონაკვეთის სახით წარმოდგენილია ნახ. 4.1-ნახ.4.5-ზე.

საქართველოს რკინიგზაზე ეჩკ-ების რაოდენობა შეადგენდა 33-ს. ამჟამად, მათი რაოდენობა შეადგენს 28-ს. ხუთი ეჩკ (ეჩკ-1-ეჩკ-5) განთავსებულია აფხაზეთის ტერიტორიაზე.

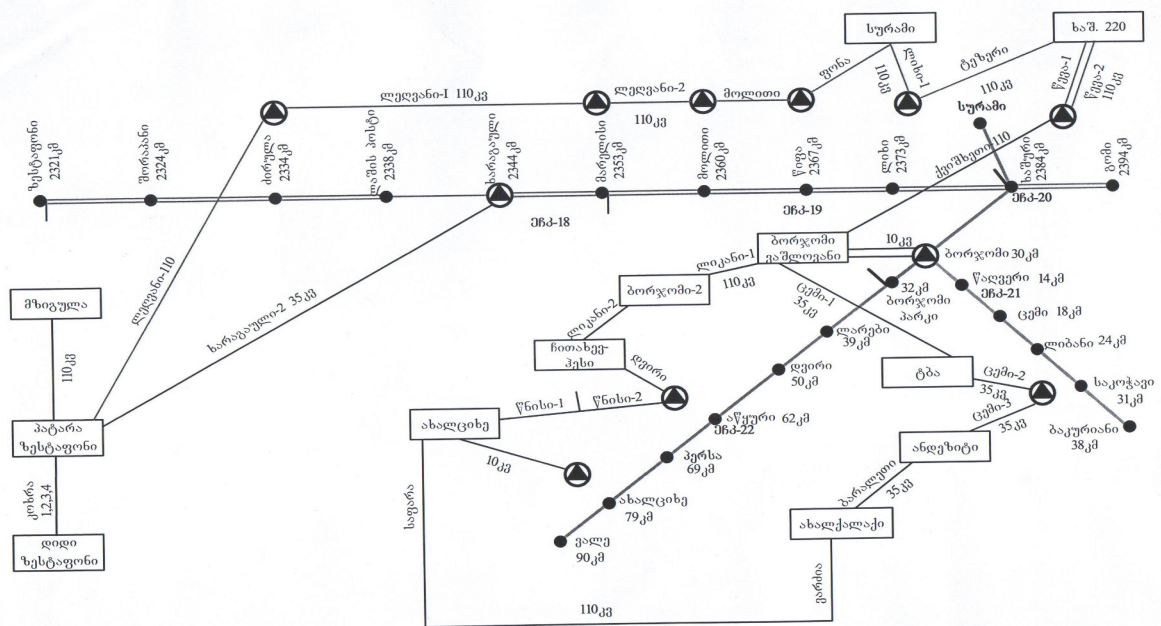
საქართველოს რკინიგზაზე წვევის ქვესადგურების რაოდენობა შეადგენს 32-ს, რომლებიც ელექტროენერგიას იღებენ ენერგოპრო-ჯორჯიას კუთვნილი 6,10, 35,110 და 220 კვ ძაბვის ქსელებით.

წვევის ქვესადგურების ძირითადი მაჩვენებლები წარმოდგენილია ცხრილი 4.1-ში.

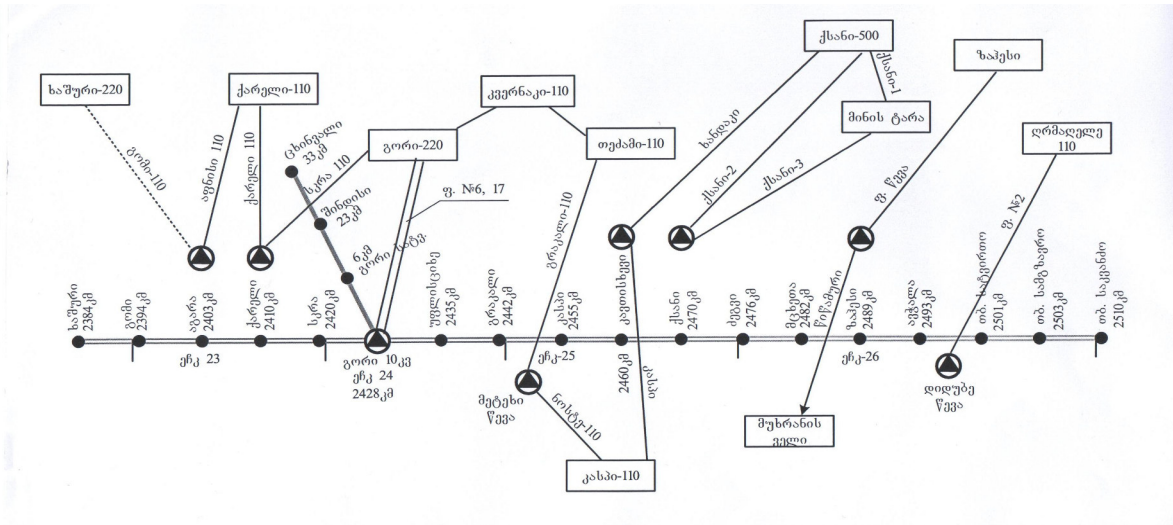
როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, საქართველოს რკინიგზის წვევის ქვესადგურების დამწვევი ტრანსფორმატორების დადგმული ჯამური სიმძლავრე შეადგენს 422 200 კვა-ს, წვევის ტრანსფორმატორების დადგმული ჯამური სიმძლავრე შეადგენს 542 920 კვა-ს, გამმართველი აგრეგატების ჯამური სიმძლავრე შეადგენს 676 500 კვა-ს. აქედან ჩანს, თუ რა სიდიდის ელექტრომომხმარებელია საქართველოს რკინიგზა.



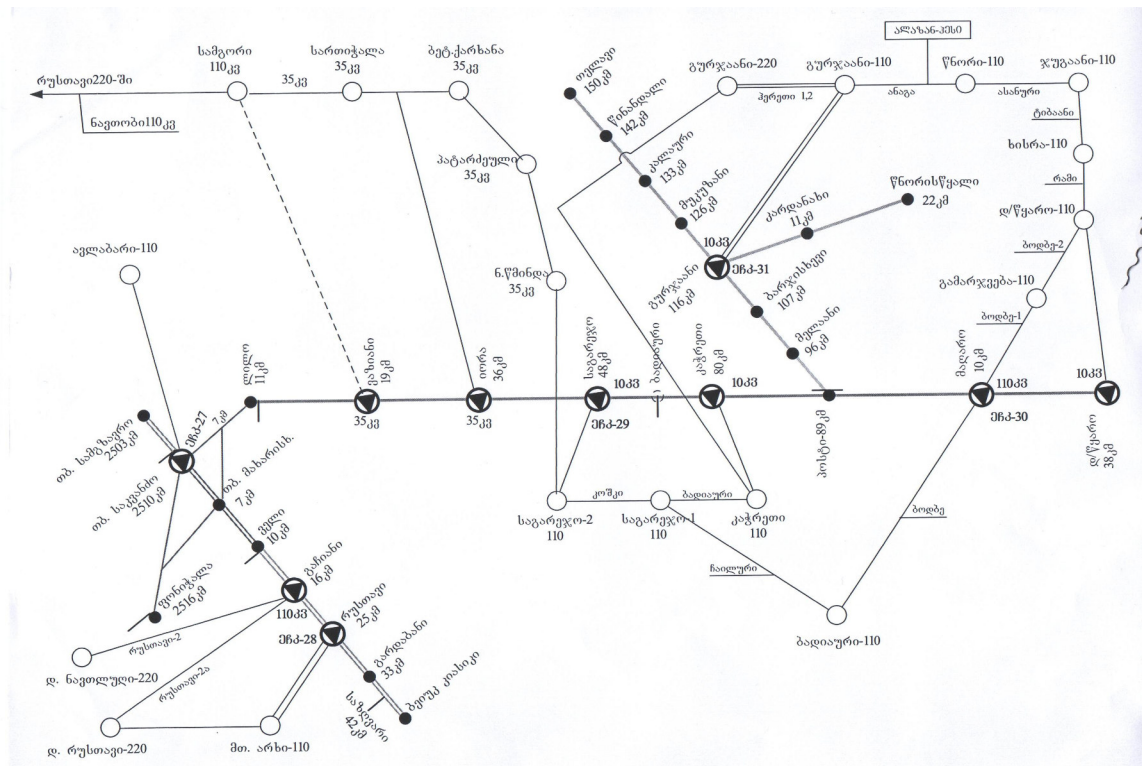
ნახ.4.1. საქართველოს რკინიგზის ინგირი (ერკ-6)- ზესტაფონის (ერკ-16) მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა



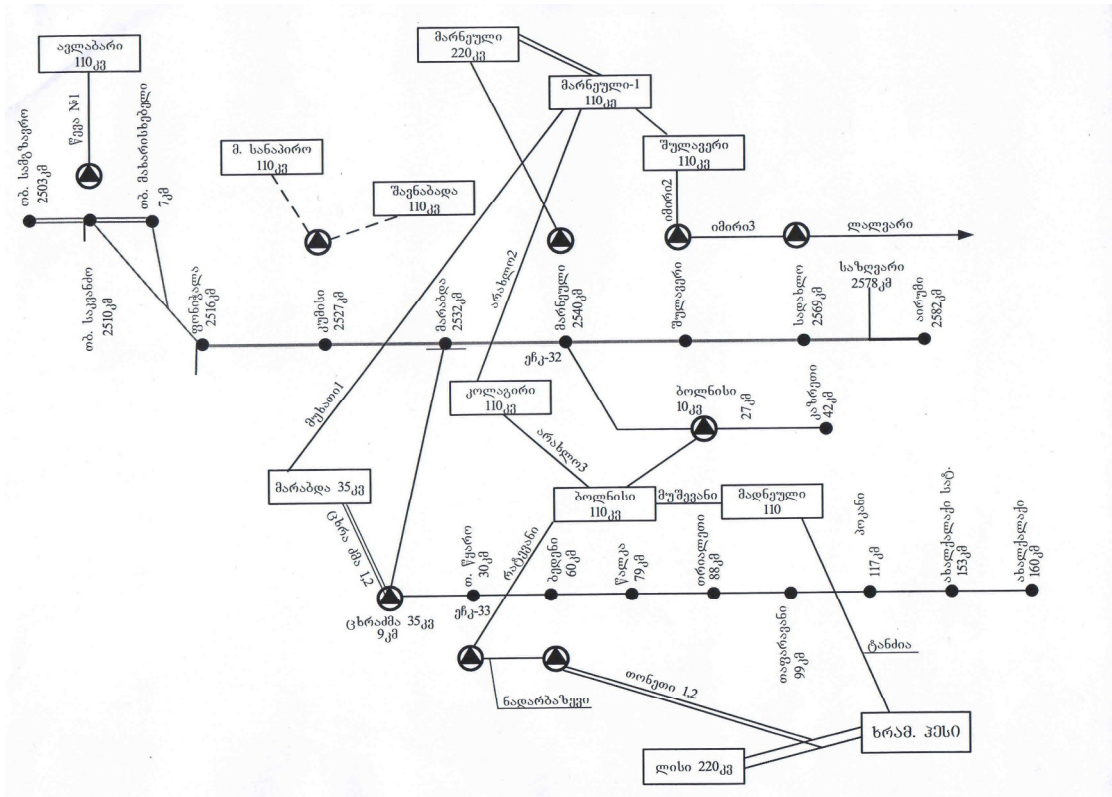
ნახ.4.2. საქართველოს რკინიგზის ზესტაფონი (ერკ-16) - ხაშურის (ერკ-20) მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა



ნახ.4.3. საქართველოს რკინიგზის ხაშური (ეკვ-20) - თბილისი საკვანძო (ეკვ-27) მონაკვეთის ელმომარაგების სქემა



ნახ.4.4. თბილისი საკვანძო (ეკვ-27) -რუსთავი (ეკვ-28), თბილისი საკვანძო (ეკვ-27) - მაღარი (ეკვ-30), გურჯაანი (ეკვ-31) მონაკვეთების ელმომარაგების სქემა.



ნახ.4.5.საქართველოს რკინიგზის თბილისი საკვანძო ახალქალაქი-სადახლოს მონაკვეთები

ცხრილი 4.1. წევის ქვესადგურების ძირითადი მაჩვენებლები

N	წევის ქვესადგურის დასახელება	პირველადი მძვავა, კვ	დამწვევი ტრანსფორმატორი			წევის ტრანსფორმატორი			გამმართველი აგრეგატი		
			ტიპი	რაოდ.	სიმძლავრე კვა	ტიპი	რაოდ.	სიმძლავრე კვა	ტიპი	რაოდ.	სიმძლავრე კვა
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	სენაკი	10	-	-	-	ტმშ-5000/10	2	2X5000	უვკე-1	2	2X9900
2	ფოთი	35	-	-	-	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-3	2	2X9900
3	აბაშა	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-5	2	2X9900
4	ბათუმი	6	-	-	-	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-3	2	2X9900

5	ქობულეთი	10	-	-	-	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
6	ნატანები	35	ტმ-4000	1	1X4000	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-3	2	2X9900
7	სუფსა	10	-	-	-	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
8	ლანჩხუთი	110	ტდნ-10000	2	2X10000	უტმრუ-6300/35	2	2X3700	პვე-3	2	2X9900
9	სამტრედია1	6	-	-	-	ტმრუ-16000/10	2	2X11840	პვე-3-უ2	2	2X9900
10	სამტრედია2	110	ტდნ-16000	2	2X16000	ტდპ-16000/35	2	2X12500	პვე-3-უ2	2	2X9900
11	კობიტნარი	110	ტდტნ-10000	2	2X10000	უტმრუ-6300/35	2	3X3700	პვე-3	2	2X9900
12	რიონი	35	-	-	-	ტდპუ-20000/35	2	2X11830	პვე-3	2	2X9900
13	სვირი	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
14	ზესტაფონი	6	-	-	-	ტმრუ-16000/10	2	2X11840	პვე-3	2	2X9900
15	ძირულა	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმპუ-6300/35	4	4X4640	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
16	ხარაგაული	35	-	-	-	ტმპუ-6300/35 უტმრუ-6300/35	4	1X4640 3X3700	პვე-3	3	3X9900
17	მარელისი	110	ტდნ-10000	2	2X10000	უტმრუ-6300/35 ტმპუ-6300/35 ტდრუ-20000/10	4	2X3700 1X4640 1X20000	პვე-3 ვიპე-1	3	2X9900 1X6600

18	მოლითი	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმპუ-16000/10 ტდპუ-12500/10	3	1X11840 2X9360	პვე-3 ვიპე-2	3	1X9900 2X6600
19	წიფა	110	ტდტნგ-200000	2	2X20000	ტმრუ-16000/10 ტდპ-12500/10	4	2X11100 2X11840	პვე-3 ვიპე-2 პვე-5ა-უ ო-ტტპ-2.4კ	5	1X9900 1X6600 2X9900 1X9600
20	ლისი	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმრუ-16000/10	2	2X11100	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
21	ხაშური	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმრუ-16000/10	2	2X11840	პვე-3	2	2X9900
22	აგარა	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმრუ-5600/35	2	2X3500	პვე-3	2	2X9900
23	ქარელი	110	ტდნ-10000	2	2X10000	ტმპუ-6300/35	2	2X4640	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
24	გორი	10	-	-	-	უტმრუ6300/35	2	2X3700	პვე-3	2	2X9900
25	მეტეხი	110	ტდნგ-15000 ტდტ-16000	2	1 X15000 1 X16000	ტმპუ-16000/110	2	2X11840	პვე-3	2	2X9900
26	კავთისხევი	110	ტდტნ-16000	2	2X16000	ტმპუ-16000/10	2	2X11840	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
27	ქსანი	110	ტდპგ-15000	2	1 X15000 1 X16000	ჩეხური 47,75125 ტმპუ-16000/10	2	1X8650 1X11840	პვე-5ა-უ1	2	2X9900
28	ზაჰესი	35	ტმ-5600 ტმ-1000	3	2 X5600 1 X1000	უტმრუ6300/35	2	2X3700	პვე-5ა-უ1	2	2X9900

29	დიდუბე	6	-	-	-	ტმპუ- 16000/10 ტმპუ- 6200/35	2	1X11840 1X3700	პვე-5ა- უ1	2	2X9900
30	თბილისი საკვანძო	35	-	-	-	უტმრუ6 300/35 ტმპ- 5600/35	4	2X3700 2X3500	უპვე-1	2	2X9900
31	გაჩიანი	110	ტდნ- 10000	2	2X10000	ტმპუ- 16000/10	2	2X11840	პვე-3 პვე-5ა- უ1	2	2X9900
32	რუსთავი	6	-	-	-	ტმრუ- 6300/10	4	4X3700	უპვე-1 უპვე-2	2	2X9900

ცხრილი 4.2-ში წარმოდგენილია საქართველოს რკინიგზის დასავლეთის ელექტრომომარაგების სამმართველოს მიერ წარმოდგენილი 2015 წლის ელექტრომომარაგების ანგარიში.

ცხრილი 4.2. საქართველოს რკინიგზის დასავლეთის ელექტრომომარაგების სამმართველოს წარმოდგენილი 2015 წლის ელექტრომომარაგების ანგარიში.

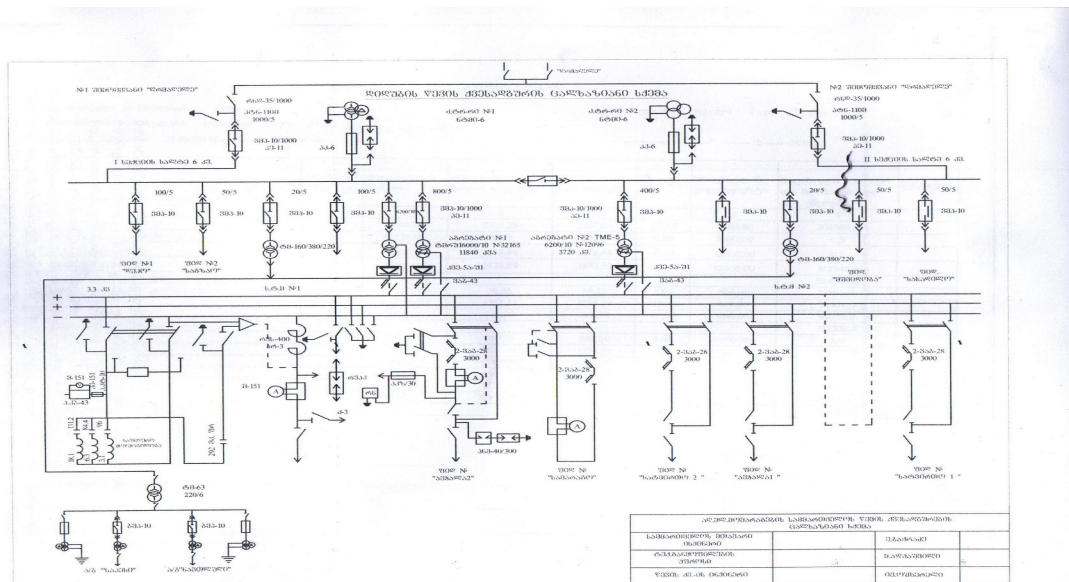
N	ქვესადგურის დასახელება	სულ მიწოდებული ელ.ენერგია კვტ.სთ	მათ შორის, კვტ.სთ				დანაკარგი კვტ.სთ
			მატარებლის წევაზე	საკუთარ მოხმარებაზე	რკინიგზის მომხმარებელზე	გარეშე მომხმარებელზე	
1	ხეთა	7606,1	7606,1	0	0	0	0
2	სენაკი	4873977,7	4516480	0	344326,4	13171,3	0
3	ფოთი	3793748	2821432,8	23260,4	554392,6	360156	34506,2
4	კოლხეთი	110740	0	26997	0	0	83743
5	ინგირი	1923881,4	1868955	0	54926,4	0	0

6	აბაშა	17126,3	0	17126,3	0	0	0
7	ბათუმი	2914560	1642317,6	30363,2	976402,8	211157,6	54318,8
8	ქობულეთი	3859353,2	3696235,2	0	163118	0	0
9	ნატანები	6564302	2516321,9	47332,4	24068,8	3976578,9	0
10	სუფსა	2603530,4	2412080	35674,8	130003,6	0	25772
11	ლანჩხუთი	14590825,6	2924800	13065	302797,2	10993023,8	357139,6
12	სამტრედია-1	895637,6	177709,6	0	717928	0	0
13	სამტრედია-2	20764927,6	19080116	60380	1516817,6	74698	32916
14	კოპიტნარი	5487615	2212560	53726	935101,6	2067062,4	21916,5
15	რიონი	6264552	6194839,8	38264	26029	424,4	4994,8
16	ხრესილი	1860663	634410	28199	14905	1044483,9	138665,1
17	ტყიბული	1034820	1012464	9679,2	0	0	12676,8
18	სვირი	777587,3	3547040	61766,6	568586,6	3422759,1	175635
19	ზესტაფონი	3685239	3607195	63228	948	0	13868
20	ჭიათურა	878703,2	791463,2	0	87240	0	0
	სულ ჯამი	89907595,4	59664026,2	509061,9	6417591,6	22163515,4	1153400,3

ამ ანგარიშიდან ჩანს, რომ საქართველოს რკინიგზის დასავლეთ საქართველოს წევის ქვესადგურებზე მიწოდებულ იქნა 89 907 597,4 კვტ. სთ ელექტროენერგია. მათ შორის: მატარებლის წევაზე მოხმარებულ იქნა 59 664 026,2 კვტ.სთ ანუ 66,4 %; საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯულ იქნა 509 061,9 კვტ.სთ, ანუ 0,5 %; რკინიგზის მომხმარებლებზე მიწოდებულ იქნა 6 417 591,6 კვტ.სთ, ანუ 7,1 %; გარეშე მომხმარებლებზე მიწოდებულ იქნა 22 163 515,4 კვტ სთ, ანუ 24,7 %, ხოლო ელექტროენერგიის დანაკარგებმა შეადგინა 1153400 კვტ.სთ, ანუ 1,3 %.

როგორც ამ ანგარიშიდან ჩანს საქართველოს რკინიგზის დასავლეთ საქართველოს უბანზე ელექტროენერჯის დანაკარგი ძალიან მცირეა, მაგრამ ამასთანავე ჩანს, რომ ზოგიერთ წევის ქვესადგურში გვაქვს ელექტროენერჯის ნულოვანი დანაკარგი, რაც რეალობას არ შეესაბამება, რადგან როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, არასიმეტრიული და არაწრფივი დატვირთვის გამო რკინიგზის წევის ელექტრულ ქსელებში ადგილი აქვს დამახინჯების სიმძლავრეებს, რომლებიც ელექტრულ ქსელებში იწვევენ ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს. ასეთი დატვირთვის შემთხვევაში შეუძლებელია ნულოვანი დანაკარგების არსებობა. წარმოდგენილი ანგარიშით უდაოა, რომ საქართველოს რკინიგზაში აღრიცხვის სისტემები მოუწესრიგებელია და საჭიროებს სასწრაფოდ გამოსწორებას.

საქართველოს რკინიგზის აღმოსავლეთ საქართველოს უბანზე წარმოშობილი საკითხის შესწავლის მიზნით განვიხილეთ დიდუბის, ზაჰესისა და გორის წევის ქვესადგურები, რომელთა ცალხაზოვანი სქემები მოცემულია ნახ.4.6, ნახ.4.7 და ნახ.4.8-ზე, ხოლო ამ ქვესადგურების მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი მოცემულია ცხრილი 4.3, ცხრილი 4.4 და ცხრილი 4.5-ში.

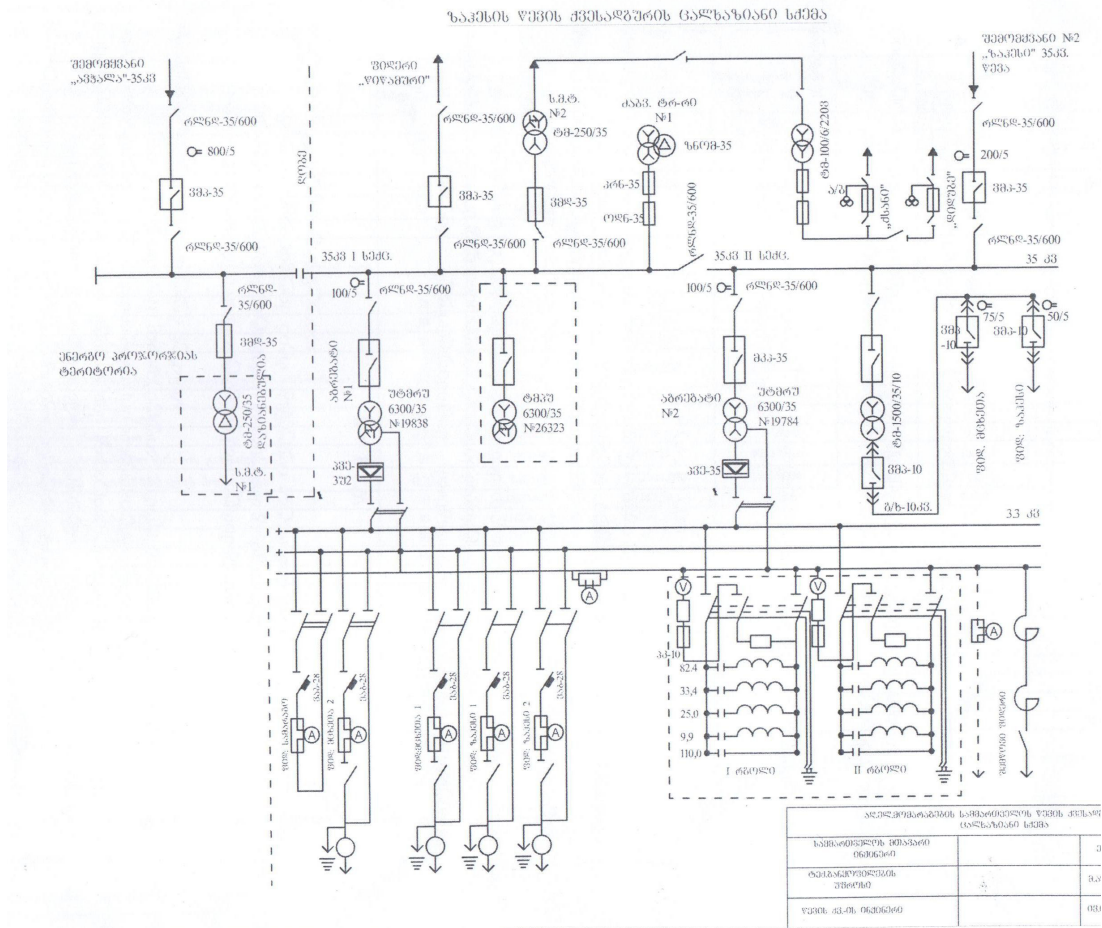


ნახ.4.6. დიდუბის წევის ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა

ცხრილი 4.3. დიდუბის წევის ქვესადგურის მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი

N	ტრანსფორ- მატორის გადამცემი ხაზების დასახელება და მრიცხველების ნომრები	მინაერთის ძაბვა (კვ)	მრიცხ- ველის ნომერი	მრიცხველის ბოლო ჩვენება	მრიცხვე- ლის წინა ჩვენება	სხვაობა	მრიცხვე- ლის კოეფიცი- ენტი	მიღებული გასული და მოხმარე- ბული ელენერჯია	შენიშვნა
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	ღრმაღელე ფ N25	6	01195364	2631,29	2567,84	63,45	4800	304560	
2	ღრმაღელე ფ N14	6	01139543	83,25	83,25	0	2400	0	
3	შემომყვანი N1	6	53024231	1578,48	1578,48	0	120000	0	
4	შემომყვანი N2	6	53023277	1428,09	1402,92	25,17	12000	302040	
სულ მიღებული ელენერჯია								304560	
1	დიდუბის კვების კომბინატი	6	1112132555	56,86	51,42	5,44	600	3264	
2	კომკ „თბილისი“	6	1112130898	1357,21	1228,27	128,94	600	77364	
3	შპს „მშვიდობა“	6	1112132508	912,70	844,78	67,92	600	40752	
სულ გასული ელენერჯია								121380	
1	აგრეგატი N1	6	53024222	509,26	509,26	0	9600	0	
2	აგრეგატი N2	6	53023255	1121,40	1100,31	21,09	4800	101232	

3	გრძივი ხაზი პზ-7	6	53024276	10350,83	10296,55	54,28	1200	65136	
4	საკ. მოხმარება N1	6	53024255	5364,39	5298,25	63,14	240	15153,6	
5	საკ. მოხმარება N2	6	53024209	1321,95	1321,95	0	240	0	
6	ა/ ბლოკირება	6	89527	32875,40	32659,10	216,30	40	8652	
სულ რკინიგზის ელენერგია								183180	

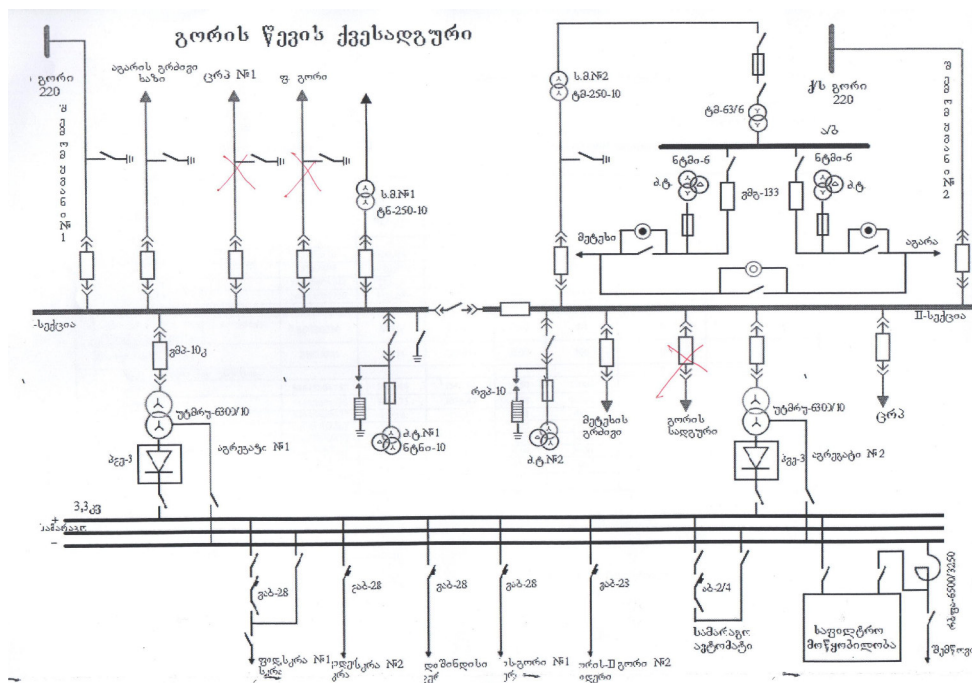


ნახ.4.7. ზაკსის წევის ქვესადგურის ცალხაზიანი სქემა

ცხრილი 4.4. ზაჰესის წევის ქვესადგურის მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი

N	ტრანსფორმატორის გადამცემი ხაზების დასახელება და მრიცხველების ნომრები	მინაერთის ძაბვა (კვ)	მრიცხველის ნომერი	მრიცხველის ბოლო ჩვენება	მრიცხველის წინა ჩვენება	სხვაობა	მრიცხველის კოეფიციენტი	მიღებული გასული და მოხმარებული ელენერჯია	შენიშვნა
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	ჰესი (მიღება)	35	01115680	1351,024	1346,351	4,67	560000	261688	
2	ფ N2 წიწამური	35	01093245	4,13	4,15	0	10500	0	
3	წევის შემომყვანი N1	35	01126120	5347,508	5328,161	19,35	14000	270858	
4	წევის შემომყვანი (საკონტროლო)	35	71848176	3789,62	3789,32	0	14000	0	
სულ მიღებული ელენერჯია								261688	
ქსელის ხაზის დანაკარგი ელ.გადამცემი ხაზის კარგვა ეჯკ								0	
სულ მიღებულია								261688	
1	ჰესი (გაცემა)	35	01115680	0,56	0,56	0	56000	0	
2	ფ N2 წიწამური	10	01093245	854,31	854,31	0	10500	0	
3	სვეტიცხოვლის საპატრიარქო	10	01093183	1140,789	1140,789	0	1000	0	
4	სსნპსქ „ნავთობპროდუქტების სადისტრიბუციო კორპორაცია“	10	500189	1310,622	1310,622	0	200	0	
5	მცხეთის სასულიერო	0,4	651173	44282	44282	0	1	0	
6	ინდ. მეწარმე ხიზანიშვილი	0,4	1053017	8143	8143	0	1	0	
7	ინდ. მეწარმე ქსოვრელი	0,22	1864099	33789	33789	0	1	0	
8	მცხეთის საავტომობილო ტრასის განათება	10	508158	4048,5916	4048,5916	0	100	0	

9	ყოვლადწმინდა ღვთისმშობლის მონასტერი	0,22	0461135	112014	112014	0	1	0	
10	შპს ა.ს.ტ	10	09334058	167,96	167,96	0	400	0	
11	შპს ნესტ ინვესტმენტი	10	11099287	176,22	176,22	0	400	0	
12	სს „ბაგრატიონი“	10	11172946	197,07	197,07	0	600	0	
13	სოფ. კარსანი	10	1682494	43,45	43,45	0	200	0	
სულ გასული ელენერგია								0	
1	აგრეგატი N1	10	71848099	2747,79	2747,79	0	7000	0	
2	აგრეგატი N2	10	71847921	1716,24	1704,28	11,96	140000	167440	
3	გრძივი ხაზი მცხეთა	10	71848075	459,98	448,40	11,58	1500	17370	
4	გრძივი ხაზი ზაჰესი	10	71851526	9997,12	9937,34	59,78	1000	59780	
5	საკ. მოხმარება N1	0,4	53024200						
6	საკ. მოხმარება N2	0,4	683270104 275477	19889,49	19736,94	152,55	80	12204	
7	ა/ ბლოკირება	6	71843485	31868,80	31650,58	218,22	40	8728,8	
სულ რეინგვის ელენერგია								261688	



ნახ.4.8. გორის წევის ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა

**ცხრილი 4.5. გორის წვეის ქვესადგურის მიერ 2015 წლის ნოემბრის თვეში
მიღებული და გაცემული ელექტროენერჯის ბალანსი**

N	ტრანსფორმატორის გადამცემი ხაზების დასახელება და მრიცხველების ნომრები	მინაერ-თის მძვება (კვ)	მრიცხველის ბოლო ჩვენება	მრიცხველის წინა ჩვენება	სხვაობა	მრიცხველის კოეფიციენტი	მიღებული გასული და მოხმარებული ელენერჯია კვტ	შენიშვნა
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ფიდერი N8	5707376	1100,030	1100	0,03	12000	360	220-კვ-იანი ქ/ს-ის
2	ფიდერი N17	5707404	1420,570	1404,300	16,27	12000	195240	220-კვ-იანი ქ/ს-ის
3	შემომყვანი N1	54645804743	1322,9	1310,93	11,97	16000	191520	
4	შემომყვანი N2	54645804730	1118,59	1118,58	0,01	16000	160	
სულ მიღებული ელენერჯია							195600	
1	საქ. თავდ. სამინ.ჯარების ლოგისტ. უზრ.სამს. ნაწილი	50800358	85011	85011	0	40	0	
2	შპალ. ქარხანა	21633074	115,11	115,11	0	400	0	
სულ გასული ელენერჯია							0	
1	აგრეგატი N1	54645804757	1555,44	1547,94	7,50	12000	90000	
2	აგრეგატი N2	54645804733	1081,75	1076,47	5,28	160000	84480	

3	გრძივი აგარა	54645804627	419,68	418,17	1,51	1000	1510	
4	გრძივი მეტეხი	54645804661	713,15	711,90	1,25	2000	2500	
5	საკ. მოხმარება N1	54645804673	519	517,66	1,34	2000	2680	
6	საკ. მოხმარება N2	54645804642	249,84	244	5,84	2000	11680	
7	ა/ ბლოკირება	411387	4291,4	4061,8	229,60	40	9184	
სულ მოხმარებული ელენერგია							195600	

როგორც ცხრილი 4.3-დან ჩანს დიდუბის წევის ქვესადგურში 2015 წლის ნოემბრის თვეში შედგენილი მოხმარებული ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების აქტის საფუძველზე, განსაზღვრული ქვესადგურში მიღებული ელექტროენერგია შეადგენს 304530,0 კვტ.სთ-ს. აქედან გარე მოხმარებლებზე გაცემული ელექტროენერგია შეადგენს 121380 კვტ-სთ-ს, ხოლო რკინიგზის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს - 183180,0 კვტ.სთ-ს. მოხმარებული ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების აქტში არ ჩანს დანაკარგების რაოდენობა.

ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ რკინიგზის აგრეგატების, გრძივი ხაზი პჩ-7-ის, საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორებისა და ავტობლოკირების მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს არა 183180,0 კვტ.სთ-ს, არამედ 190173,6. სხვაობა შეადგენს 6993,6 კვტ.სთ-ს. ასევე უნდა აღინიშნოს რომ მიღება-ჩაბარების აქტში არ არის ასახული ფიდერი ღრმაღელე N25 და შემომყვანი 2-ზე მიწოდებულ ელექტროენერგიებს შორის სხვაობა 2520 კვტ.სთ ელექტროენერგია.

ცხრილი 4.4-ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ზაჰესის წევის ქვესადგურში 2015 წლის ნოემბრის თვეში შედგენილი მოხმარებული ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების აქტის საფუძველზე, განსაზღვრულ ქვესადგურში მიღებული ელექტროენერგია შეადგენს 261688,0 კვტ.სთ-ს.

აქედან გარე მომხმარებლებზე ელექტროენერგია გაცემული არ არის , ხოლო რკინიგზის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს 261688,0 კვტ.სთ-ს. მოხმარებული ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების აქტში დანაკარგების რაოდენობა 0-ის ტოლია. ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ რკინიგზის აგრეგატების, გრძივი ხაზი მცხეთას საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორებისა და ავტობლოკირების მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს არა 261688,0 კვტ.სთ-ს, არამედ 265522,8. სხვაობა შეადგენს 3834,8 კვტ.სთ-ს.

ასევე, უნდა აღინიშნოს რომ მიღება-ჩაბარების აქტში არ არის ასახული ჰესიდან მიღებულ და წევის შემყვანი -1-ზე მიწოდებულ ელექტროენერგიებს შორის სხვაობა 9170 კვტ.სთ. აღსანიშნავია, რომ აქტის მიხედვით წევაზე უფრო მეტი ელექტროენერგიაა მიწოდებული ვიდრე ჰეს-იდანაა მიღებული.

ცხრილი 4.5-ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გორის წევის ქვესადგურში 2015 წლის ნოემბრის თვეში შედგენილი მოხმარებული ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების აქტის საფუძველზე, განსაზღვრულ ქვესადგურში მიღებული ელექტროენერგია შეადგენს 195600 კვტ.სთ-ს. აქედან გარე მომხმარებლებზე ელექტროენერგია გაცემული არ არის, ამიტომ მთელი მიღებული ელექტროენერგია მიეწოდა რკინიგზას. მოხმარებული ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების აქტში არ ჩანს დანაკარგების რაოდენობა. ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ რკინიგზის აგრეგატების, გრძივი ხაზები აგარა და მეტეხის, საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორებისა და ავტობლოკირების მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს არა 195600 კვტ.სთ-ს, არამედ 202034. სხვაობა შეადგენს 6434 კვტ.სთ-ს.

ასევე, უნდა აღინიშნოს რომ მიღება-ჩაბარების აქტში არ არის ასახული N8 და N17 ფიდერებიდან შემოსულსა და N1 და N2 შემომყვანებზე მიწოდებულ ელექტროენერგიებს შორის სხვაობა 3920 კვტ.სთ ელექტროენერგია.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემის მუშაობის რეჟიმების ნაჩვენები ხარვეზები გაძლიერებულია წევის ქვესადგურებისა და ელექტრომომარაგი შემადგენლობის მრიცხველების მიხედვით მატარებლების წევაზე ელექტროენერჯის აღრიცხვის არასრულყოფილობით.

ჩვენთვის ასევე საინტერესოა დანაკარგების ცვლილების დინამიკა თვეების მიხედვით. ამ მიზნით ჩვენს მიერ აღებული იქნა საქართველოს რკინიგზის წიფის უღელტეხილის მონაკვეთის 2015 წლის მონაცემები., რომელიც წარმოდგენილია ცხრილი 4.6-ში.

ცხრილი 4.6. საქართველოს რკინიგზის წიფის უღელტეხილის მონაკვეთის 2015 წლის მონაცემები

N	თვე	სულ გადამ. ენერგ. კვტ.სთ	მატარებ- ლის წევაზე	საკ. მოხმარე ბა	რკ.მოხ- მარება	გარეშე მოხმარება	კარგვა	კარგვის %
1	იანვარი	9157813,6	6087817,9	82327,7	574131,1	1819258,4	189701,8	2,1
2	თებერვალი	7186118,6	4988101,4	73732,1	484953,6	1477086,6	162244,8	2,2
3	მარტი	8353269	6019391,6	68477,9	459140,2	1601147,9	205111,4	2,5
4	აპრილი	7989716,4	5762843,2	55490,8	357505,9	1662785,9	151090,6	1,9
5	მაისი	8351355,9	6108857,9	44482,4	254354,9	1740781,5	202879,1	2,4
6	ივნისი	7946462,7	5705624,9	38549,4	205189	1812017,8	165453,9	2,1
7	ივლისი	9224841	6762460,8	38140,8	175471,9	2036399,9	212367,6	2,3
8	აგვისტო	9270366,1	6552766,5	37071,4	192035,2	2276507,6	211985,4	2,3
9	სექტემბერი	8390270,3	6102248,8	39164,5	217786,5	1929780,3	101290,2	1,2
10	ოქტომბერი	8491026,9	6033790,4	53548,5	326413,3	1957695,2	119579,4	1,4
11	ნოემბერი	8140724	5494751	69026,6	467493,4	2001995,3	107457,8	1,3
12	დეკემბერი	9706725,9	6861843,5	78825,8	518497,4	2119089,8	128469,4	1,3
		102208690,4	72480497,9	678837,9	4232972,4	22434546,4	1957631,4	1,9

როგორც ცხრილი 4.6-დან ჩანს, საქართველოს რკინიგზის წიფის უღელტეხილის მონაკვეთზე ელექტროენერჯის კარგვის პროცენტული მაჩვენებელი იცვლება 1,2-2,5 ფარგლებში, ხოლო საშუალო წლიური კარგვა შეადგენს 1,9 %-ს. რაც ციფრებში გამოხატული შეადგენს 1 957 631,4 კვტ.სთ-ს. მატარებლის წევაზე მოიხმარება მოწოდებული ელექტროენერჯის 71 %, საკუთარ მოხმარებაზე იხარჯება 6,6 %, რკინიგზის ინფრასტრუქტურა მოიხმარს 4,1 %-ს, ხოლო გარე მომხმარებლებს მიეწოდება 21,9 %.

დღევანდლამდე, მთელ რიგ წევის ქვესადგურებში კომერციული აღრიცხვა სწარმოებს ისეთი მრიცხველებით, რომლებიც გამოიყენებიან წრფივ ელექტრულ წრედებში მუშაობისათვის. ექსპლუატაციის პირობები ხასიათდებიან ძაბვების არასიმეტრიულობით, დენების არასინუსოიდურობითა და მცირე დატვირთვებით. შეიმჩნევა საექსპლუატაციო რეჟიმები, რომელთა დროსაც გათვალისწინებული არ არის საკონტაქტო ქსელიდან გარე ელექტრომომარაგების სისტემაში ელექტროენერჯის დაბრუნება.

ამჟამად, ფართოდ გავრცელებული ელექტროენერჯის მრიცხველები დამუშავებული და გამოცდილია საწყისი წანამძღვრებიდან გამომდინარე, რომ ქსელის ძაბვა სინუსოიდურია ან მასთან ძალიან ახლოსაა. ამის საფუძველზე განსაზღვრულია მათი მუშაობის ალგორითმები და კონსტრუქციული შესრულება. ამასთანავე, რეალურ ელექტრულ სქემებში ელექტროენერჯის ხარისხი, მათ შორის ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა, მრავალ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად არ შეესაბამება სტანდარტ [18] –ს მოთხოვნებს.

ამრიგად, საქართველოს რკინიგზის ელექტროენერჯის მოხმარების ანალიზმა ცხადყო, რომ წესრიგშია მოსაყვანი ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემები. უნდა დაყენებული იქნეს თანამედროვე მაღალი სიზუსტის მრიცხველები. განსაკუთრებით, მიზანშეწონილია სისტემა SCADA-ს გამოყენება, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება არამართო მოხმარებული

აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები, არამედ დამახინჯების სიმძლავრეებიც, რომლებიც გამოწვეულია წვეის დატვირთვის სისტემების არასიმეტრიულობითა და არაწრფივობით. ჩვენს მიერ განხილული წვეის ქვესადგურების არც ერთ მიღება-ჩაბარების აქტში აღრიცხული არ არის რეკუპერაციის შედეგად მიღებული ელექტროენერგიის რაოდენობა ამასთანავე ელექტროენერგიის მოხმარების მიღება-ჩაბარების აქტში აუცილებლად უნდა აისახოს ელენერგიის დანაკარგები.რათა დაცულ იქნეს ელექტროენერგიის მიღება-ჩაბარების ბალანსი.

P.S. აღსანიშნავია, რომ ელექტროენერგიის მოხმარების შემცირების მიზნით საჭიროა რკინიგზის სადგურებში შიგა განათებისათვის გამოყენებული ლუმინესცენციური, ნათურები და ტერიტორიის განათებისათვის გამოყენებული პროექტორების ნატრიუმისა და მეტალოჰალოგენის ნათურები შეცვლილ იქნეს თანამედროვე შუქდიოდური ნათურებით. ნაშრომში [47] დადგენილია, რომ მხოლოდ არსებული სანათების შეცვლა შუქდიოდური სანათებით 4-5-ჯერ ამცირებს მოთხოვნილ აქტიურ სიმძლავრესა და შესაბამისად მოხმარებული ელექტროენერგიის რაოდენობას.

4.2. მუდმივი დენის წვეის ქვესადგურებში მიღებულ და გაცემულ ელექტროენერგიებს შორის დასაშვები სხვაობის გაანგარიშების მეთოდიკა.

წინამდებარე ნაშრომში საქართველოს რკინიგზას რეკომენდაციის სახით ვთავაზობთ ელექტროენერგიის აღრიცხვის სისტემის მოწესრიგებასა და მუდმივი დენის წვეის ქვესადგურებში მიღებულ და გაცემულ ელექტროენერგიებს შორის დასაშვები სხვაობის გაანგარიშების მეთოდიკას.

წვეის ქვესადგურებში ელექტროენერგიის აღრიცხვის მდგომარეობის კონტროლი შესაძლებელია ყველა მიერთებაზე, მათ რიცხვში გამმართველებსა და ინვერტორებზე.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის ანალიზისა და სარწმუნოების უზრუნველყოფისათვის საჭიროა განისაზღვროს და ერთმანეთთან შედარდეს მიღებულ და განაწილებულ ელექტროენერჯებს შორის არსებული სხვაობის ფაქტიური ($\delta_{ფაქტ}$) და დასაშვები ($\delta_{დას}$) მნიშვნელობები.

სხვაობის აბსოლუტური მნიშვნელობის ფაქტიური მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta W = W_{ეს} - W_{გან} \quad (4.1)$$

სადაც $W_{ეს}$ -ენერგოსისტემიდან მიღებული ელექტროენერჯია; $W_{გან}$ -მომხმარებლებს შორის განაწილებული ენერჯია და დანაკარგებია ტრანსფორმატორში (როცა აღრიცხვის ხელსაწყო დაყენებულია ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეზე).

წევის ტრანსფორმატორის შემყვანებზე მიღებულ და მომხმარებლებს შორის განაწილებულ ელექტროენერჯებს შორის სხვაობის ფარდობითი მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\delta_{ფარდ} = \frac{W_{ეს} - W_{გან}}{W_{ეს}} \times 100 \% \quad (4.2)$$

სხვაობის ფაქტიური მნიშვნელობა სხვაობის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ნაკლები ან ტოლი უნდა იყოს, ანუ

$$\delta_{ფაქ} \leq \delta_{დას} \quad (4.3)$$

განაწილებული ელექტროენერჯი განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_{გან} = (W_{წვვ} - W_{ინვ}) - (W_{საკ.მობ.} + W_{გაშვ}) - \Delta W_{ტრ} \quad (4.4)$$

სადაც $W_{წვვ}$ -მატარებლის წვევაზე მოხმარებული ელექტროენერჯია;

$W_{ინვ}$ - ქვესადგური ინვერტორების მიერ უკან დაბრუნებული ელექტროენერჯია;

$W_{საკ.მობ.}$ - საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯული ელექტროენერჯია;

$W_{გაშვ}$ - წევის ქვესადგურის სალტეებიდან სხვა მომხმარებლებზე გაცემული ელექტროენერჯია ძაბვის კლასების მიხედვით;

$\Delta W_{ტრ}$ - წევის ქვესადგურების ძალური ტრანსფორმატორებში ელექტროენერჯის დანაკარგებია (გაითვალისწინება იმ შემთხვევაში, როცა მრიცხველები დაყენებულია ძალური ტრანსფორმატორების მაღალი ძაბვის მხარეს).

ელექტროენერჯის ბალანსის ყველა მდგენელი, გარდა ძალურ ტრანსფორმატორებში დანაკარგებისა, უნდა ავიღოთ საანგარიშო და ტექნიკური მრიცხველების გაზომვის შედეგების მიხედვით.

დანაკარგები ძალურ ტრანსფორმატორებში, როგორც წესი, განისაზღვრება ანგარიშის გზით:

მუდმივი დანაკარგები-ტრანსფორმატორების ტექნიკური მონაცემებისა და მათი მუშაობის ხანგრძლივობის გამოყენებით:

ცვლადი დანაკარგები-ტრანსფორმატორების ფაქტიური დატვირთვის გრაფიკის საფუძველზე.

დასაშვები სხვაობის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{დასაშ} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k \sigma_{მიღი}^2 \cdot d_{მიღი}^2 + \sum_{i=1}^m \sigma_{გაწი}^2 \cdot d_{გაწი}^2} \quad (4.5)$$

სადაც $\sigma_{მიღი}(d_{გაწი})$ - ძაბვისა და დენის საზომი ტრანსფორმატორებისა და მრიცხველისაგან შედგენილი, მიღებული (გაცემული) ელექტროენერჯის i -ური საზომი კომპლექსის ფარდობითი ცდომილებაა;

$d_{მიღი}(d_{გაწი})$ - i -ური საზომი კომპლექსის გავლით მიღებული (გაცემული) ელექტროენერჯის წილია(ფორმულა 4.6);

k - წევის ქვესადგურის სალტებზე (სალტებიდან) მიღებული (გაცემული) ელექტროენერჯის აღრიცხვის საზომი კომპლექსების რაოდენობაა;

m - საზომი კომპლექსების რიცხვია, რომელიც აღრიცხავს გაცემულ (მიღებულ) ელექტროენერჯიას (მათ რიცხვში საკუთარი საჭიროებისათვის).

დასაშვები სხვაობის გაანგარიშება უნდა წარმოებდეს წელიწადში ერთხელ მაინც, ასევე საჭიროების შემთხვევაში, მაგალითად, სიზუსტის სხვა კლასის მრიცხველის შეცვლის ან ელექტრომომხმარებლის ხასიათის მკვეთრი ცვლილების დროს.

i-ური საზომი კომპლექსის მიერ აღრიცხული ელექტროენერჯის წილი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha_i = \frac{W_i}{W_{\text{მთლ(გაშვ)}}} \quad (4.6)$$

სადაც W_i - საანგარიშო პერიოდში i-ური საზომი კომპლექსის მიერ აღრიცხული ელექტროენერჯია;

$W_{\text{მთლ(გაშვ)}}$ - საანგარიშო პერიოდში ქვესადგურის სალტეებზე (სალტეებიდან) მიღებული (გაშვებული) ელექტროენერჯის ჯამური რაოდენობაა.

i-ური საზომი კომპლექსის დასაშვები ფარდობითი ცდომილების ზღვარი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\delta_{\text{დას}} = \pm 1,1 \sqrt{\delta_{\text{დენ}}^2 + \delta_{\text{მაბ}}^2 + \delta_{\text{მაზ}}^2 + \delta_{\text{მრიც}}^2} \quad (4.7)$$

სადაც $\delta_{\text{დენ}}$, $\delta_{\text{მაბ}}$ - შესაბამისად დენისა [48] და ძაბვის [49] ტრანსფორმატორების ფარდობითი ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობების ზღვრებია, %;

$\delta_{\text{მაზ}}$ - ელექტროდანადგარების მოწყობის წესების [50] მიხედვით, მრიცხველების დენის ტრანსფორმატორებთან მიერთების ხაზებში ძაბვის დანაკარგებია, (0,25 %);

$\delta_{\text{მრიც}}$ - ინდუქციური [51] ან ელექტრონული [52] მრიცხველების ძირითადი ცდომილების დასაშვები ზღვარია.

თუ (4.2) ფორმულით მიღებული ფაქტიური სხვაობის მნიშვნელობა მეტია (4.5) ფორმულით მიღებულ დასაშვებ სხვაობაზე, მაშინ საჭიროა გამოვავლინოთ ამის მიზეზები და მივიღოთ ზომები მათ გამოსასწორებლად.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის მდგომარეობის კონტროლი უნდა სწარმოებდეს ყოველთვიურად ფაქტიური და დასაშვები სხვაობების შედარების საფუძველზე ცხრილი 4.7-ში მოყვანილი ფორმის მიხედვით.

ცხრილი 4.7. მიღებულ და განაწილებულ ელექტროენერჯებს შორის სხვაობის განგარიშება საქართველოს რკინიგზის წევის ქვესადგურებზე 2015 წლის განმავლობაში

წევის ქვესადგური N	წევის ქვესადგურის დასახელება	ელექტროენერჯია კვტ.სთ		სხვაობა		
		მიღებული $W_{ეს}$	განაწილებული $W_{განაწ}$	აბსოლუტური ΔW კვტ.სთ	ფარდობითი $\delta_{ფარდ}$, %	დასაშვები $\delta_{დას}$, %
1	ფოთი	3793748	3759241,8	34506,2	0,9	±1,1
2	კოლხეთი	110740	26997,0	83743,0	75,6	±1,24
3	ბათუმი	2914560	2860241,2	54318,8	1,9	±1,1
4	სუფსა	2603530,4		25772,0	1,0	±1,1
5	ლანჩხუთი	14590825,6	14233686,0	357139,6	2,4	±1,2
6	სამტრედია2	20764927,6	20732011,6	32916,0	0,1	±1,1
7	კოპიტნარი	5487615	5268450,0	219165,0	4,0	±1,24
8	რიონი	6264552	6259557,2	4994,8	0,1	±1,1
9	ხრესილი	1860663	1121997,9	138665,1	7,5	±1,2
10	ტყიბული	1034820	1022143,2	12676,8	1,2	±1,2
11	სვირი	7775787,3	7600152,3	175635,0	2,25	±1,24
12	ზესტაფონი	3685239	3671371,0	13868,0	0,4	±1,1

ცხრილი 4.6-ში მოყვანილი შედეგების ანალიზიდან ჩანს, რომ ბათუმის, ლანჩხუთის, კოპიტნარის, ხრესილისა და სვირის წევის ქვესადგურებში ფარდობითი სხვაობა მდებარეობს დასაშვებ საზღვრებს გარეთ. საჭიროა გამოვავლინოთ ამის მიზეზები და მივიღოთ ზომები მათ გამოსასწორებლად.

განსაკუთრებით გამოსაკვლევეია კოლხეთის წევის ქვესადგურის მდგომარეობა, რადგან მიღებული ელექტროენერჯის 75,6 % დანაკარგებშია გაშვებული.

4.3. წევის ქვესადგურებში ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვის კონტროლის სისტემების სრულყოფის რეკომენდაციები

საქართველოს რკინიგზის წევის ქვესადგურებისა და ელექტრომოდრავე შემადგენლობის მრიცხველების მიხედვით, მატარებლების წევაზე ელექტროენერჯის მიღების უბალანსობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ წევის ქვესადგურში იგი მნიშვნელოვნად აღემატება ელექტროენერჯის ტრანსპორტირებაზე განკუთვნილ ტექნოლოგიურ დანაკარგებს საბალანსო კუთვნილების საზღვრიდან ელმავლის პანტოგრაფამდე. უბალანსობის ერთ-ერთი მდგენელია წევის ქვესადგურების მრიცხველების მიხედვით მატარებლის წევაზე ელექტროენერჯის აღრიცხვის ცდომილება.

დღეისათვის, ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების გათვალისწინებით წევის ელექტრომომარაგებაში არსებობს სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებების კომპლექსური სისტემის დამუშავების საჭიროება ელენერჯის კონტროლისა და აღრიცხვის ავტომატიზირებული სისტემის (ეკაას) სახით. ეს საშუალებას მოგვცემს გამოვავლინოთ ელექტროენერჯის მომატებული დანაკარგების ზონები, შევიმუშაოთ მათი შემცირების ღონისძიებები, წევის ელექტრომომარაგების სისტემებში შევამციროთ ელექტროენერჯის საერთო დანაკარგები და ავამაღლოთ მისი ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლები.

წევის ელექტრომომარაგების სისტემის ყველა ელემენტში ელექტროენერჯის ხარჯის სრული სურათის მისაღებად საჭიროა ელექტროენერჯის ხარჯის აღრიცხვა საკონტაქტო ქსელის ფიდერების მიხედვით და ელექტრომოდრავე შემადგენლობაზე.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე, საქართველოს რკინიგზას ვაძლევთ რეკომენდაციას, რომ ეკაას-ის დანერგვა წევის ელექტრომომარაგების სისტემაში გარდა ელექტროენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოოთ მიღებული ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვავლინოთ ელექტროენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

ელექტრომომრავ შემადგენლობაში ასეთი სისტემის შექმნა და დანერგვა მოგვცემს საშუალებას:

- ელექტრომომრავი შემადგენლობის მრიცხველებისა და მემანქანების სამარშრუტო ფურცლების დამუშავების შემდეგ მიღებული ინფორმაციის მიხედვით კონტროლი გავუწიოთ ელენერჯის აღრიცხვის ნამდვილობას;

- ელექტრომომრავ შემადგენლობაზე უზრუნველყოთ ელენერჯის აღრიცხვის ტექნიკური და ორგანიზაციული დახვეწა;

წევის ქვესადგურებში ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვის ხელსაწყოები დაყენებული უნდა იქნეს მოწყობილობის საბალანსო კუთვნილების საზღვარზე, ანუ წევის ტრანსფორმატორების მაღალი ძაბვის მხარეზე. ამასთანავე, წევის ქვესადგურების უმრავლესობაში, ელექტროენერჯის აღრიცხვა სწარმოებს ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარეზე. ამ დროს, წევისა და დამადაბლებელ ტრანსფორმატორებში ელექტროენერჯის დანაკარგები განისაზღვრება ანგარიშის გზით. ელექტროენერჯის აღრიცხვის შესრულება დაბალი ძაბვის მხარეზე აიხსნება ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხარეზე დენისა და ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორების მაღალი ღირებულების გამო უქონლობითა და ასევე ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორების მტყუნებებით.

ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების მუშაობის სისწორის შემოწმებები აჩვენებს, რომ ადგილი აქვს ჩართვის სქემებში შეცდომებს, რასაც

მიყვავართ ელენერგის, როგორც აღურიცხაობამდე, ასევე ელექტროენერგის ზედმეტად აღრიცხვამდე.

უნდა აღინიშნოს, რომ მატარებლის წევაზე მოხმარებული ელექტროენერგია ძირითადად განისაზღვრება ირიბი მეთოდით, ანუ ენერგოსისტემიდან მიღებული და არაწევაზე გაცემული ელექტროენერგის სხვაობა, რასაც მიყვავართ იმასთან, რომ ელექტროენერგის აღრიცხვის ცდომილება, რომელიც გამოწვეულია აღრიცხვის სისტემების ელემენტების (მრიცხველების, საზომი ტრანსფორმატორებისა და საზომი სქემების) გაუმართაობითა და ცდომილებით მიეწერება მატარებლების წევას.

მატარებლების წევაზე მრიცხველების დაყენებას მიყვავართ იმასთან, რომ მიღებულ და გაცემულ ელექტრულ ენერგიებს შორის დაფიქსირდება გარკვეული სხვაობა, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს მთელი რიგი მიზეზებით: მრიცხველების არასწორი ჩართვით, აღრიცხვის სისტემების ელემენტების ცდომილებითა და გაუმართაობით.

წევის ქვესადგურის შემყვანებზე მიღებულ ელექტროენერგიასა და ფიდერების მიხედვით გარე, რკინიგზის, სატრანზიტო მომხმარებლებზე, საკუთარი საჭიროებისა და მატარებლების წევაზე გაცემულ ელენერგიებს შორის სხვაობის არსებობის დროს საჭიროა დადგინდეს შესაბამისობა მის დასაშვებ მნიშვნელობასთან და მომატებული სხვაობის მიზეზების განსაზღვრისათვის უნდა მოვითხოვოთ აღრიცხვის სისტემების რევიზია.

დასკვნა

1. დადგენილია, რომ ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა საშუალებას გვაძლევს ფორმულირება გავუკეთოთ ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციის ფუნქციონირების ეფექტურობის ამაღლების ძირითად მიმართულებებს.

2. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ საქართველოს რკინიგზაზე წესრიგშია მოსაყვანი ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემები.

3. დადგენილია, რომ მიღება-ჩაბარების აქტებში არ ფიქსირდება ელექტროენერჯის დანაკარგები. დახარჯული ელექტროენერჯის საფასური გადაიხდება ენერგო-პრო ჯორჯიას კუთვნილი მრიცხველების მიხედვით, რომლებიც დაყენებულია წევის ქვესადგურების მაღალი ძაბვის მხარეზე, ხოლო დაბალი ძაბვის მხარეზე არ ხდება ელექტროენერჯის მოხმარების კონტროლი.

4. დადგენილია, რომ არ ხდება რეკუპირაციის შედეგად მიღებული ელექტროენერჯის აღრიცხვა და ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი.

5. ელექტროენერჯის აღრიცხვის მოწესრიგების მიზნით საჭიროა საქართველოს რკინიგზაზე დანერგილ იქნეს ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვის ავტომატიზებული სისტემები (ეკაას), რაც გარდა ელენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა, საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოოთ მიღებული ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვაკლინოთ ელექტროენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

6. ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით განსაზღვრული იქნა დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით

გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები მკვებავ ელექტრულ ქსელში.

7. ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე, ელექტროენერგეტიკულ მახასიათებლებს შორის მიღებულ იქნა დამოკიდებულებანი, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ საკმაოდ მარტივად გავანალიზოთ ელექტრომომხარების ესა თუ ის მხარეები: პროცესის რეაქტიულობა, დამამახინჯებელი ფაქტორები და სხვა.

8. შემუშავებულ იქნა ელექტროენერგეტიული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდიკა სისტემა SCADA-ს მონაცემების საფუძველზე.

9. საქართველოს რკინიგზაზე ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შემუშავებულია ისეთი რეკომენდაციები, რომლებიც გარდა ელექტროენერჯის უწყვეტი კონტროლისა და აღრიცხვისა საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ ელექტრომომარაგების მოწყობილობების მდგომარეობა, ვაწარმოთ მიღებული ელექტროენერჯის დანაკარგებისა და ხარისხის მაჩვენებლების მიმდინარე კონტროლი, ასევე გამოვავლინოთ ელენერჯის არარაციონალური ხარჯები.

ლიტერატურა

1. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 176 с.
2. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и объединений. М.: СПО «Союзтехэнерго». 1987.
3. Ю. С. Железко. Нормирование технологических потерь электроэнергии в сетях — новая методология расчета. // Новости электротехники. Информационно-справочное издание. № 5 (23), 2003.
4. Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. — М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2005.- 280 с.: ил.
5. Магай Г. С. Мероприятия для снижения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов на участках постоянного тока // Матер, науч.-практ. конф. «Ресурсосберегающие технологии на предприятиях железной дороги» / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 1999. С. 165-167.
6. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 528 с.
7. Мамошин Р. Р. Экономия электроэнергии путем оптимизации уровня напряжения в тяговой сети постоянного тока // Материалы второго междунар. симпозиума «Энергосбережение, качество электроэнергии, электромагнитная совместимость» / МИИТ. М., 2000. С. 22 - 24.
8. Бардушко В. Д. Использование стандартного пакета программ для оптимизации уровней напряжения на шинах тяговых подстанций постоянного тока. // Тезисы докл. XVIII науч.-техн. конф. сотрудников ИрИИТа и

специалистов эксплуатации и строительства железных дорог / Иркутский ин-т инж. ж.-д. трансп. Иркутск, 1993. С. 59.

9. Методы расчета систем тягового электроснабжения железных дорог: Учебное пособие / А. Т. Бурков, В. М. Баренцев, С. Е. Кузин, Э. П. Селезенцов, В. Г. Картаев / Ленинградский ин-т инж. ж.-д. трансп. Л., 1985. 73 с.

10. Герман Л. А., Басов В. А. Структура потерь в системе электроснабжения железных дорог // Изв. вузов. Сер. «Энергетика». 1984. № 7. С. 43-46.

11. Быданцев В. Н. , Черемисин В. Т., Петров С. И. Совершенствование организации учета электроэнергии на участках железных дорог// Промышленная энергетика. 1990. № 2. С. 6 - 8.

12. Быданцев В. Н. , Синицина Л. А., Черемисин В. Т. Автоматизация учета электрической энергии// Электрическая и тепловозная тяга. 1990. №10. С. 35 - 37.

13. Ермоленко Д. В. Анализ потерь электроэнергии от высших гармоник в системе тягового электроснабжения // Вестник ВНИИЖТа. 1990. № 6. С. 15 - 18.

14. Марквардт К. Г., Быкадоров А. Л. Матричный метод расчета тяговых сетей // Электроснаб-жение и автоматизация электрических железных дорог: Сб. науч. тр. / Ростовский ин-т инж. ж.-д. трансп. Ростов-на-Дону, 1976. С. 36-45.

15. Караев Р. И., Волобринский С. Д., Ковалев И. Н. Электрические сети и энергосистемы. М.: Транспорт. 1988. 326 с.

16. Сигорский В. П. Общая теория четырехполюсника. Киев: Изд-во АН УССР, 1955. 311 с.

17. Щигирев Е.А., Киселев В.В., Ильяшенко Е.В. Общая концепция построения измерительных систем контроля качества электрической энергии в электросетевых компаниях // Энергоэксперт, 2012, №1.

18. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических

средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

19. ГОСТ Р 54149-2010 Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

20. Тульский В.Н., Полещук С.Н., Ильяшенко Е.В., Веселов Ю.Г., Соколов В.С. (круглый стол по новому ГОСТу с участием экспертов) Переход на новый стандарт – объективное требование времени // Энергоэксперт, 2012, №5(34).

21. EN 50160:2010 «Характеристики напряжения электричества, поставляемого общественными распределительными сетями» (EN 50160:2010 «Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks»).

22. ГОСТ 30804.4.30-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии.

23. ГОСТ 30804.4.7-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.

24. ГОСТ Р 8.655-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Общие технические требования.

25. ГОСТ Р 8.689-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Методы испытаний.

26. ГОСТ Р 8.656-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений показателей качества электрической энергии. Методика поверки.

27. Гост 32145-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

28. Гост Р 53333-2008. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

29. თ. მუსელიანი, გ. მთვარელიშვილი. ელექტროენერჯის კომერციული აღრიცხვის სისტემების შექმნისა და ექსპლუატაციის საზღვარგარეთული გამოცდილება. პირველი საერთაშორისო კონფერენცია “ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუშინ, დღეს, ხვალ“. ჟურ. ბიზნეს-ინჟინერინგი, N4, 2013 წ. გვ. 184-185.

30. European Committee for Electrotechnical Standardization Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 2-2: environment; section 2: compatibility levels for lowfrequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems. EN 61000-2-2: 199

31. European Committee for Electrotechnical Standardization. Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 3-2: Limits Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase). EN 61000-3-2: 2000.

32. IEC 61000-3-6:1996 Electromagnetic compatibility (EMC). Limits. Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems. Basic EMC publication

33. Левин М., Волков И.В., Пентегов И.В., Рымар С.В. Улучшение качества электроэнергии в электросетях крупных административных зданий// Техн. електродинаміка. Тем вип. „Силова електроніка та енергоефективність”.–2004.– Ч.1.– С.93-98.

34.Engineering recommendation G5/4-1. Planning levels for harmonic voltage distortion and the connection of non-linear loads to transmission systems and public electricity supply systems in the United Kingdom, 2005

35.For Lamp Ballasts High Frequency Fluorescent Lamp Ballasts -Supplements . American National Standard. ANSI C82.11 Consolidated-2002

36.Draft Guide for Harmonic Limits for Single-Phase Equipment, P1495/D1, 28.01.2000.

37.IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.

38. გ. მთვარელიშვილი ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემის გადაწყვეტის საერთაშორისო პრაქტიკის ანალიზი. ჟურ. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, № 4, 2015 წ. გვ. 67-70

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

40. 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

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

42. 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.

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

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

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

46. 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“. ქუთაისი. 24–25 ოქტომბერი, 2015 წ. გვ.50–56.

47. თ. მუსელიანი, გ.მთვარელიშვილი, ი.ქათამაძე. შუქდიოდური სანათები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ქუჩის განათებისათვის. ჟურ. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“. № 4, 2014 წ. გვ. 89-91.

48. Гост 7746-89 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

49. Гост 1983-89 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия.

50. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7.

51. Гост 6570-75 Счетчики электрические активной и реактивной энергии индукционные. Общие технические условия.

52. Гост 26035-83 Счетчики электрической энергии переменного тока электронные. Общие технические условия.