

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მაია გურგენიძე

კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო სექტორის თანამედროვე
ელექტრომიმღებების გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხის
მაჩვენებლებსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: ”ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“
შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2019 წ.

საავტორო უფლება © 2019 წელი, მაია გურგენიძე

თბილისი
2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მია გურგენიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორის თანამედროვე ელექტრომიმღებების გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

_____ , 2019 წელი

ხელმძღვანელი: _____ პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: მათა გურგენიძე

თემის დასახელება: „კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო სექტორის თანამედროვე ელექტრომიმღებების გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე“

ფაკულტეტი: ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____, 2019 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი 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

უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოდაზოგვის, ელექტრომომარაგების საიმედოობის ამაღლების და ელექტროენერჯის ხარისხის საკითხებს.

საყოველთაოდ მიჩნეულია ის ფაქტი, რომ ელექტროენერჯია არის საქონელი. როგორც ნებისმიერ საქონელს, ელექტროენერჯიასაც აქვს ისეთი მნიშვნელოვანი თვისება, როგორცაა ხარისხი.

ელექტროენერჯის ხარისხი არსებით გავლენას ახდენს ელექტრომიმღებების ეფექტურ მუშაობაზე, ასევე ელექტრული ქსელების ტექნიკო-ეკონომიურ მაჩვენებლებზე.

ელექტროენერჯის ხარისხის შემცირებამ შეიძლება მიგვიყვანოს ელექტრომიმღებების მუშაობის რეჟიმების შესამჩნევ ცვლილებამდე და შედეგად სამუშაო მექანიზმების მწარმოებლობის შემცირებამდე, პროდუქციის ხარისხის გაუარესებამდე, ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირებამდე და ავარიების ალბათობის გაზრდამდე.

ელექტრული ენერჯია ერთი მხრივ შეიძლება განვიხილოთ როგორც საქონელი, ხოლო მეორე მხრივ - როგორც ფიზიკური ცნება.

ელექტროენერჯია, როგორც საქონელი უნდა შეესაბამებოდეს განსაზღვრულ ხარისხს, ბაზრის მოთხოვნებს. იგი ენერჯიის სხვა სახეებისაგან განსხვავდება განსაკუთრებული მომხმარებლითი თვისებებით: მისი წარმოების, გადაცემისა და მოხმარების დროები ერთმანეთს ემთხვევა; ელექტროენერჯიის ხარისხის მახასიათებლები დამოკიდებულია ელექტროენერჯიის მოხმარების პროცესზე; შეუძლებელია მისი შენახვა და უხარისხო ელექტროენერჯიის უკან დაბრუნება.

ელექტროენერჯია, როგორც ფიზიკური ცნება - ეს არის ელექტრომაგნიტური ველის უნარი მისი წარმოების, გადაცემის, განაწილებისა და მოხმარების ტექნოლოგიურ პროცესში მოდებული ძაბვის მოქმედებით შეასრულოს სამუშაო [2].

იმ წერტილებისათვის, რომელთანაც მიერთებულია ელექტრული ქსელები ან მომხმარებლის ელექტროდანადგარები 50 ჰვ სიხშირის ერთფაზა და სამფაზა საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტრული ქსელები, ელექტროენერჯიის ხარისხის მაჩვენებლები და ნორმები დადგენილია სტანდარტით ГОСТ 32144-2013 „ელექტრული ენერჯია. ტექნიკური საშუალებების ელექტრომაგნიტური თავსებადობა. ელექტროენერჯიის ხარისხის ნორმები საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში“.

ელექტრულ ქსელებში კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვით გამოწვეული ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების გამომწვევი მიზეზების გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ დამახინჯების მიზეზი არის სწორედ ელექტროენერჯიის კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო მომხმარებლები.

ყველა საყოფაცხოვრებო ხელსაწყო, რომელიც მუშაობს ელექტრული დენის გამოყენებით, თავის გარშემო ქმნის ელექტრომაგნიტურ ველს და წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს. მეცნიერები ამტკიცებენ, რომ ელექტრომაგნიტურმა გამოსხივებამ შეიძლება ადამიანის ორგანიზმზე გამოიწვიოს ნეგატიური გავლენა.

ჩვენი ორგანიზმი ძალიან მგრძობიარეა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მიმართ, ამასთანავე, როგორც თანამედროვე გამოკვლევები გვიჩვენებს, მათი ზემოქმედებით ყველაზე მეტად ზიანდება ტვინი, გული, ადამიანის ენდოკრინოლოგიური, იმუნური და სასქესო სისტემები.

ნაშრომის პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული ანალიზის შედეგები. ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების ნორმალიზაცია, წარმოადგენს სამამულო ელექტროენერგეტიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას. ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების სტანდარტის მოთხოვნებთან შეუსაბამობას მივყავართ ისეთ მნიშვნელოვან მატერიალურ ზარალთან, როგორცაა ელექტრომოწყობილობების მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირება და მწყობრიდან გამოსვლა, ელექტროენერგიის დანაკარგების ზრდა და წუნდებული პროდუქციის გამოშვება, ასევე რელეური დაცვის მოწყობილობების ცრუ ამუშავება.

ამავე თავში მოყვანილია, რომ მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფების ჯანმრთელობის დაცვის უზრუნველყოფისათვის სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მოსახლეობაზე ზემოქმედება როგორც საწარმოო, ასევე არასაწარმოო პირობებში მოითხოვს აუცილებელ სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიურ რეგლამენტაციას.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ენერგიისა და სიმძლავრის დანაკარგებს არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის არსებობის დროს; ელექტრულ ქსელებში არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების გავლენის შეფასებას; მოყვანილია მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის ხარისხისა და დანაკარგების დონის ექსპერტიმენტული კვლევის შედეგები, ჩატარებულია 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში დენისა და ძაბვის დამახინჯების გავრცელების ანალიზი და მოყვანილია ძაბვისა და დენის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების წყაროების მქონე 0,4 კვ ძაბვის ქსელების გაანგარიშების მეთოდიკა.

დადგენილია, რომ ელექტროენერგიის დამატებით დანაკარგებზე დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის გავლენის გაანგარიშების ყველაზე უფრო ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს იმ ჩანაცვლების სქემის გაანგარიშება, სადაც დამამახინჯებელი დატვირთვები წარმოდგენილია n-ური ჰარმონიკის დენის წყაროებით, ხოლო ქსელის პარამეტრები გაანგარიშებულია ზედაპირული ეფექტის გათვალისწინებით.

ნაშრომის მესამე თავი ეძღვნება საცხოვრებელი სახლებისა საზოგადოებრივი შენობების 0,4 კვ ქსელებში ძაბვისა და დენის მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების დონეზე საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების გავლენის გამოკვლევის შედეგებს.

დადგენილია, რომ დარეგისტრირებული მახასიათებლებიდან ელექტრულ ქსელზე ყველაზე უფრო ნეგატიურ გავლენას ახდენს ისეთი

ელექტროხელსაწყოები, რომელთაც გააჩნიათ კვების იმპულსური ბლოკები. ასეთი ხელსაწყოებია: ტელევიზორი, კომპიუტერი და სხვა. სატელევიზიო მიმღებები ქსელში გენერირებენ მე-3, მე-5, მე-7 და მე-9 კენტი რიგის მაღალსიხშირულ დენებს. დენების დანარჩენ ჰარმონიულ მდგენელებს არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს.

ნაშრომის მეოთხე თავში მოყვანილია 0,4 კვ ქსელში ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯებით გამოწვეული სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშების ალგორითმი. წარმოდგენილია მიღებული შედეგების ანალიზი.

ამ თავში დამტკიცებულია, რომ დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელებით გამოწვეული დანაკარგები წარმოადგენს ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების განუყოფელ ნაწილს და ის არ მიეკუთვნება კომერციულ დანაკარგებს.

ნაშრომის მეხუთე თავი ეძღვნება სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავლენას ადამიანის ორგანიზმზე და ამ გამოსხივების ნორმირების საკითხებს.

მასში მოყვანილია, რომ ყველა საყოფაცხოვრებო ხელსაწყო, რომელიც მუშაობს ელექტრული დენის გამოყენებით, თავის გარშემო ქმნის ელექტრომაგნიტურ ველს. ეს ველები საშიშია უპირველესად იმიტომ, რომ ადამიანი ვერ შეიგრძნობს მის ზემოქმედებას და ამიტომ არ შეუძლია ადეკვატურად განსაზღვროს გამოსხივების ინტენსივობა და საფრთხის ხარისხი.

ამავე თავში მოყვანილია საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების სიახლოვეს ჩატარებული მაგნიტური ველის დამაბულობის დონის გაზომვის შედეგები და დადგენილია რომ საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებიდან 1 მ-ის დაშორებით მაგნიტური გამოსხივების დამაბულობის დონე უსაფრთხოა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის.

Resume

In recent decades, in the field of energy supply, the focus has been on improving energy conservation, reliability of energy supply and power quality.

It is considered that electricity is a commodity. As is the case with any commodity, electricity also has such important characteristic as quality.

The quality of electricity significantly affects the efficient operation of electrical receivers, as well as the technological and economic performance of electrical networks.

Decreased power quality can lead to noticeable changes in the operation of electrical receivers. As a result, there is a decrease in the productivity of the working mechanisms, a deterioration in product quality, a decrease in the duration of electrical equipment operation and an increase in the probability of technical accidents.

Electric energy, on the one hand, can be considered as a commodity, and on the other, as a physical quantity.

Electricity as a product must meet the specified quality and meet the requirements of the market. It differs from other types of energy by its specific consumption characteristics.

Electricity as a physical quantity is the ability of an electromagnetic field to perform work in the technological process of production, transmission, distribution and consumption of electricity.

Indicators and standards of quality of electricity are determined by the standard GOST 32144-2013 "Electricity. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality standards in general-purpose power supply systems".

Studies of the causes of voltage distortion caused by a communal load have shown that the distortion is caused by communal household consumers of electricity.

All household appliances that use electricity create electromagnetic field around themselves. Such devices are a source of electromagnetic radiation. Scientists say that electromagnetic radiation can have a negative effect on the human body.

Our body is very sensitive to the electromagnetic radiation. Modern studies show that the most sensitive to the effects are the brain, heart, endocrine, immune and genital systems of a person.

The first chapter presents the results of literary analysis. The normalization of the quality of electricity is one of the important tasks of modern electricity. Incompatibility with the requirements of the standard in terms of electrical energy leads to significant material losses.

The same chapter says that, in order to ensure the health care of various groups of people, the impact on the population of the electromagnetic field of the industrial frequency in both production and non-production conditions requires substantial sanitary and epidemiological regulation.

The second chapter of the thesis is devoted to the loss of energy and power in 0.4 kV electrical networks at non-sinusoidal current and voltage. This Chapter presents evaluation of the influence of non-sinusoidal currents and voltages in electrical networks; This Chapter also presents the results of an experimental study of the level of quality of electricity in existing electrical networks; Were analyzed distribution of power and voltage distortion in 0.4 kV networks; A method for calculating 0.4 kV voltage networks with sources of distortion sinusoidal voltage and power is presented. Non-sinusoidal voltage and current affect additional power loss.

It is established that the most effective method of calculating these losses is the calculation of the equivalent circuit, where the distorting loads are represented by the n-th harmonic component of the current sources and the network parameters are calculated based on the surface effect.

The third chapter of the work presents the results of studying the influence of household electrical appliances of residential buildings and public buildings on the level of distortion of the sinusoid current and voltage in 0.4 kV networks.

It is established that household electrical equipment, which have a impulse power blocks has the most negative impact of the electrical network. Such devices are: TV, computer and more. Television receivers generate high-frequency currents of odd order — 3rd, 5th, 7th, and 9th.

In the fourth chapter of the work, the algorithm for calculating additional losses of power and electricity in a 0.4 kV network caused by sinusoidal voltage distortions is given. The fourth chapter also contains an analysis of the results.

Electricity losses caused by high order harmonics are an integral part of technical losses of electricity, and not part of commercial losses.

The fifth chapter is devoted to the influence of electromagnetic radiation of industrial frequency on the human body and rationing of this question.

All household appliances that use electricity create electromagnetic field around themselves. Electromagnetic fields is especially dangerous because people cannot feel their effects, as such as people feel light and voices. Therefore, people can not adequately determine the intensity of electromagnetic radiation of household appliances and assess the quality of the threat.

The same chapter presents the results of measuring the level of magnetic field strength in the vicinity of household electrical appliances, and the level of magnetic radiation voltage is safe for human health within 1 meter from household appliances.

შინაარსი

გვ.

შესავალი.....	18
თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა.....	23
1.1. ელექტრული ქსელის მოდელი ძაბვის არასინუსოიდურობისა და არასიმეტრიულობის ანალიზისათვის.....	23
1.2. საცხოვრებელი სახლების ელექტროენერჯის მომხმარებლები	27
1.3. ელექტროენერჯის საზოგადოებრივი მომხმარებლები	30
1.4. დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის გავლენა ელექტრული ქსელის ელემენტების ფუნქციონირების ხარისხზე	32
1.4.1. დამატებითი დანაკარგები ტრანსფორმატორებსა და ელექტრულ მანქანებში.....	33
1.4.2. საკაბელო და საჰაერო ხაზების ნულოვანი მუშა სადენების დარღვევა.....	34
1.4.3. დამატებითი დანაკარგები კონდენსატორის ბატარეებში.....	35
1.4.4 ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირება	36
1.4.5. მცველებისა და ავტომატური ამომრთველების ცრუ ამუშავება	36
1.4.6. ვიბრაცია ელექტრომანქანურ სისტემებში.....	37
1.4.7. მკვებავი ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯება.....	38
1.4.8. გამართული ძაბვის დონის შემცირება	39
1.4.9. იმპულსური კვების წყაროების ელემენტებში სითბოს გამოყოფის ზრდა.....	39
1.4.10. ძაბვის ხანმოკლე ჩავარდნის მიმართ მდგრადობის შემცირება	39
1.4.11. დაბრკოლებები ტელეკომუნიკაციის ქსელებში	40
1.4.12. აკუსტიკური ხმაური	41

1.5. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გავლენა ელექტროენერგიის მზომ სისტემებსა და სიმძლავრის კოეფიციენტზე.....	41
1.6. ძაბვის დამახინჯებაზე მომხმარებელთა სიმძლავრის მიხედვით გავლენის შეფასება.....	42
1.7. საოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების ელექტრომაგნიტური ველი.....	45
თავი II 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ენერჯისა და სიმძლავრის დანაკარგები არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის არსებობის დროს.....	47
2.1. ელექტრულ ქსელებში არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების გავლენის შეფასება.....	47
2.2. ენერჯისა და სიმძლავრის დანაკარგები ძაბვის სინუსოიდური და არასინუსოიდური მრუდეების ფორმის დროს.....	49
2.3. მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხისა და დანაკარგების დონის ექსპერტიმენტული კვლევის შედეგები	53
2.4. 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში დენისა და ძაბვის დამახინჯების გავრცელების ანალიზი.....	59
2.5. ძაბვისა და დენის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების წყაროების მქონე 0,4 კვ ძაბვის ქსელების გაანგარიშების მეთოდოლოგია.....	64
თავი III. საცხოვრებელი სახლებისა საზოგადოებრივი შენობების 0,4 კვ ქსელებში ძაბვისა და დენის მრუდეების სინუსოიდურობის დამახინჯების დონეზე საოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების გავლენის გამოკვლევა	71
3.1. ექსპერიმენტის მიზანი.....	71
3.2. ექსპერიმენტის აღწერა.....	72
3.3. ექსპერიმენტისათვის გამოყენებული ხელსაწყო.....	74
3.4. ცალკეული ელექტრომიმღების ძაბვისა და დენის მრუდეების გამოკვლევა	75
3.4.1. შუქდიოდური და ვარვარა ნათურები და მათი ჰარმონიული სპექტრები.....	76

3.4.2. შუქდიოდური ნათურა სიმძლავრით 20 ვტ	82
3.4.3. ელექტროგამათბობელი ხელსაწყოს ჰარმონიული სპექტრი.....	83
3.4.4. სარეცხი მანქანის ჰარმონიული სპექტრი.	85
3.4.5. მტვერსასრუტის ჰარმონიული სპექტრი.....	86
3.4.6. პლაზმური ტელევიზორის ჰარმონიული სპექტრი.....	87
3.4.7. კომპიუტერის ჰარმონიული სპექტრი.....	88
3.5. ერთდროულად ჩართული ელექტროხელსაწყოთა და დენის მრუდების გამოკვლევა.....	90
3.5.1. სარეცხი მანქანისა და ელექტროგამათბობელის ერთდროული ჩართვა.....	92
3.5.2. ტელევიზორისა და კომპიუტერის ერთდროული ჩართვა	93
3.5.3. 28 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური და 300 ვტ ვარვარა ნათურა.....	95
3.6. დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის განსაზღვრა საცხოვრებელი ბინისა და საზოგადოებრივი შენობის ელექტრულ შემყვანზე.....	97
3.7. ელექტროხელსაწყოების ჯგუფი, რომელის ფორმირებას უწევს დატვირთვის დილის მაქსიმუმს.....	98
3.8. საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გამოკვლევა.....	98
3.9. საზოგადოებრივი შენობების ელექტრულ შემყვანებზე დენისა და ძაბვის მრუდების გამოკვლევა.....	101
თავი IV . 0,4 კვ ქსელში ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯებით გამოწვეული სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშება	105
4.1. მუშაობის არასინუსოიდურ რეჟიმებში ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების განსაზღვრის ალგორითმი.....	105
4.2. დამატებითი დანაკარგების შეფასებისათვის ამოცანის დასმა და საწყისი მონაცემების განსაზღვრა.....	107

4.3. სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგები საზოგადოებრივი მომხმარებლების მკვებავ 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში.....	109
4.4. მიღებული შედეგების ანალიზი.....	112
თავი V. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე და ამ გამოსხივების ნორმირების საკითხი	115
5.1. ზოგადი ცნობები.....	115
5.2. საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების ელექტრომაგნიტური გამოსხივება და მისი გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე.....	120
დასკვნები	123
გამოყენებული ლიტერატურა.....	125

ცხრილების ნუსხა

გვ.

ცხრილი 1.1. ცალკეული ელექტრომიმღების დადგმული სიმძლავრები.....	29
ცხრილი 2.1. მოქმედი 0,4 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელების სტატისტიკური გამოკვლევების შედეგები.....	54
ცხრილი 2.2. კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის გაზომვის შედეგები.....	55
ცხრილი 2.3. ელექტროენერჯის გაზომვის შედეგები 0,4 კვ ძაბვის კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის ელექტრულ ქსელებში.....	56
ცხრილი 2.4. სხვადასხვა ტელევიზორის მიერ გენერირებული დენის კენტი რიგის ჰარმონიკების ტიპიური მნიშვნელობები.....	63
ცხრილი 2.5. ერთიანად ჩართული სატელევიზიო მიმღებების დენის ჰარმონიკების სტატისტიკური შეჯამების შედეგები.....	63
ცხრილი 3.1. ექსპერიმენტისათვის გამოყენებული საკვლევი ხელსაწყოების დადგმული სიმძლავრეები.....	76
ცხრილი 3.2. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დღედამური ცვლილების მნიშვნელობები.....	99
ცხრილი 3.3. საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე დენის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები დატვირთვის მაქსიმუმისა და მინიმუმის პერიოდებში.....	101
ცხრილი 3.4. საზოგადოებრივი შენობების ელექტრომომხმარების მახასიათებელ პერიოდებში დენის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები.....	104
ცხრილი 4.1. ძირითადი სიხშირის დენისაგან გამოწვეული ელექტროენერჯის დღედამური დანაკარგები.....	111

ცხრილი 4.2. უმაღლესი რიგის დენის ჰარმონიკებისაგან გამოწვეული ელექტროენერგიის დღედამური დანაკარგები.....	111
ცხრილი 4.3. საზოგადოებრივი მომხმარებლის მკვებავი ელექტრული ქსელების ელექტროენერგიის დღედამური დანაკარგები.....	112
ცხრილი 5.1. ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გარეშე ადამიანის სამრეწველო სიხშირის ელექტრულ ველში ყოფნის დასაშვები დრო დღედამის განმავლობაში.....	116
ცხრილი 5.2. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები დონე საერთო (მთელ სხეულზე) და ლოკალური (კიდურებზე) ზემოქმედების დროს.....	118
ცხრილი 5.3. საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების მაგნიტური ველის დამაბულობები.....	121

ნახაზების ნუსხა

83

ნახაზი 1.1. საერთო მიერთების წერილის სქემა ჩართული მომხმარებლებით (ა), ჩანაცვლების სრული სქემა (ბ) , ჩანაცვლების გამარტივებული სქემა n-ური რიგის ჰარმონიკისათვის (გ)	24
ნახაზი 1. 2. საცხოვრებელი სახლის საშუალო დღეღამური დატვირთვის გრაფიკი.....	30
ნახაზი 1.3. ელექტროენერჯის საზოგადოებრივი მომხმარებლის დღეღამური დატვირთვის გრაფიკი.....	32
ნახაზი 1.4. ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და კონდენსატორის ბატარეების სქემატური ნახაზი; ა) ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და კონდენსატორის ბატარეის ჩანაცვლების სქემა; ბ) მე-5 ჰარმონიკის საანგარიშო სქემა.....	44
ნახაზი 2.1. ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ სალტეებზე ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა.....	48
ნახაზი 2.2 არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.....	48
ნახაზი 2.3. G4500 ტიპის პორტარტული ანალიზატორი.....	55
ნახაზი 2.4. საცხოვრებელი სახლის აქტიური სიმძლავრის მოხმარების ტიპიური გრაფიკი.....	57
ნახაზი 2.5. კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო დატვირთვის მკვებავი სატრანსფორმატორო ქვესადგურის სალტეებზე ძაბვის მრუდის ფორმის კოეფიციენტის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.....	57
ნახაზი 2.6. კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო დატვირთვის მკვებავი სატრანსფორმატორო ქვესადგურის სალტეებზე დენის მრუდის ფორმის კოეფიციენტის დღე-ღამური ცვლილების გრაფიკი.....	58
ნახაზი 2.7. ელექტრომომარაგების ქსელში დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების გავრცელების ხასიათი წრფივი და არაწრფივი დატვირთვის არსებობის დროს.....	60
ნახაზი 2.8. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის II–სებრი ჩანაცვლების სქემა.....	65

ნახაზი 2.9. 0,4 კვ ძაბვის სამფაზა ოთხსადენიანი ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	66
ნახაზი 2.10. 0,4 კვ ძაბვის ქსელების ჩანაცვლების სქემა დენის წყაროთი: ა) პირდაპირი და უკუთანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის; ბ) ნულოვანი თანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის.....	68
ნახაზი 2.11. საცხოვრებელი კვანძის დატვირთვის ჩანაცვლების სქემა.....	68
ნახაზი 2.12. 0,4 კვ ძაბვის ქსელის სამფაზა ჩანაცვლების სქემა არაწრფივი დატვირთვის დენის წყაროებით.....	69
ნახაზი 2.13. ელექტრული ქსელის ერთფაზა ჩანაცვლების სქემა დამამახიჯებელი დატვირთვით.....	70
ნახაზი 3.1. პორტატული ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზატორით JANITZA MRG.....	74
ნახაზი 3.2 ძაბვისა და დენის მრუდები: ა) 300 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური ნათურის; ბ)300 ვტ სიმძლავრის ვარვარა ნათურის	78
ნახაზი 3.3. მკვებავი ძაბვის ჰარმონიული შედგენილობა: ა) შუქდიოდური ნათურის; ბ)- ვარვარების ნათურის.....	78
ნახაზი 3.4 დენის მრუდის ჰარმონიული შედგენილობა: ა)- შუქდიოდური ნათურის; ბ)-ვარვარა ნათურის.....	79
ნახაზი 3.5. 20 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური ნათურის პარამეტრები.....	83
ნახაზი 3.6 ა) ელექტროგამათბობელის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ)- ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები; გ)- დენის ჰარმონიკები; დ)- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.....	84
ნახაზი 3.7. ა)-სარეცხი მანქანის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ)- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ)-ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები; დ)-დენის ჰარმონიკები; ე)- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.....	85
ნახაზი 3.8 ა)- მტვერსასრუტის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ)- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ)-ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები; დ)- დენის ჰარმონიკები; ე)- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.....	87
ნახაზი 3.9. ა)- ტელევიზორის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ)- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ)-დენის ჰარმონიკები; დ)- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.....	88

ნახაზი 3.10. ა)- კომპიუტერის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია;
ბ)- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ)-დენის ჰარმონიკები; დ)- ძაბვისა
და დენის ფაზური დიაგრამა.....89

ნახაზი 3.11. სარეცხი მანქანისა და ელექტროგამათბობელის ერთდროული
ჩართვა: ა) - კომპიუტერის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია;
ბ) - ძაბვისა და დენის მრუდები; გ) - დენის ჰარმონიკები;
დ) - ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.....93

ნახაზი 3.12. ტელევიზორისა და კომპიუტერის ერთდროული ჩართვა:
ა) გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ) ძაბვისა და დენის მრუდები;
გ) დენის ჰარმონიკები; დ) ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.....94

ნახაზი 3.13. 28 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდოდიური ნათურისა და 300 ვტ
სიმძლავრის ვარვარა ნათურის ერთდროული ჩართვა: ა)დენისა და ძაბვის
მრუდები; ბ) შუქდიოდური ნათურის ჰარმონიული შემადგენლობა;
გ) შუქდიოდური ნათურის ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა;
დ) - დენისა და ძაბვის მრუდები; ე) ჯამური დენის ჰარმონიული
შემადგენლობა; ვ) ძაბვისა და ჯამური დენის ფაზური დიაგრამა.....96

ნახაზი 3.14. საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე ძაბვის
სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დღეღამური
ცვლილების გრაფიკი.....99

ნახაზი 3.15. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ადმინისტრაციული კორპუსის დატვირთვის დღეღამური ცვლილების
გრაფიკი.....102

ნახაზი 3.16. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტრულ
შემყვანზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების
კოეფიციენტის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.....103

ნახაზი 4.1. საზოგადოებრივი დატვირთვის მკვებავი ელექტრული ქსელის
უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების გავრცელების ერთფაზა
ჩანაცვლების სქემა ა)სამის ჯერადი; ბ)სამის არა ჯერადი.....110

ნახაზი 5.1. მრავალფუნქციური უნივერსალური საზომი
სამკომპონენტური ხელსაწყო BE-METP-ის საერთო ხედი.....120

შესავალი

სამუშაოს აქტუალობა. უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოდაზოგვის, ელექტრომომარაგების საიმედოობის ამაღლების და ელექტროენერჯის ხარისხის საკითხებს.

საყოველთაოდ მიჩნეულია ის ფაქტი, რომ ელექტროენერჯია არის საქონელი. როგორც ნებისმიერ საქონელს, ელექტროენერჯიასაც აქვს ისეთი მნიშვნელოვანი თვისება, როგორცაა ხარისხი.

ელექტროენერჯის ხარისხის ქვეშ იგულისხმება მისი მახასიათებლების ერთობლიობა, რომელთა დროსაც ელექტრომიმღებებს გააჩნია უნარი შეასრულოს მათზე დაკისრებული ფუნქციები, იგი არსებით გავლენას ახდენს ელექტრომიმღებების ეფექტურ მუშაობაზე, ასევე ელექტრული ქსელების ტექნიკო-ეკონომიურ მაჩვენებლებზე [1].

ელექტროენერჯის ხარისხის შემცირებამ შეიძლება მიგვიყვანოს ელექტრომიმღებების მუშაობის რეჟიმების შესამჩნევ ცვლილებამდე და შედეგად სამუშაო მექანიზმების მწარმოებლობის შემცირებამდე, პროდუქციის ხარისხის გაუარესებამდე, ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირებამდე და ავარიების ალბათობის გაზრდამდე.

ელექტრული ენერჯია ერთი მხრივ შეიძლება განვიხილოთ როგორც საქონელი, ხოლო მეორე მხრივ - როგორც ფიზიკური ცნება [2].

ელექტროენერჯია, როგორც საქონელი უნდა შეესაბამებოდეს განსაზღვრულ ხარისხს, ბაზრის მოთხოვნებს და ენერჯის სხვა სახეებისაგან განსხვავდება განსაკუთრებული მომხმარებლითი თვისებებით: მისი წარმოების, გადაცემისა და მოხმარების დროები ერთმანეთს ემთხვევა; ელექტროენერჯის ხარისხის მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი მოხმარების პროცესზე; შეუძლებელია მისი შენახვა და უხარისხო ელექტროენერჯის უკან დაბრუნება [3];

ელექტროენერგია, როგორც ფიზიკური ცნება - ეს არის ელექტრომაგნიტური ველის უნარი მისი წარმოების, გადაცემის, განაწილებისა და მოხმარების ტექნოლოგიურ პროცესში მოდებული ძაბვის მოქმედებით შეასრულოს სამუშაო [2].

იმ წერტილებისათვის, რომელთანაც მიერთებულია ელექტრული ქსელები ან მომხმარებლის ელექტროდანადგარები 50 ჰც სიხშირის ერთფაზა და სამფაზა საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტრული ქსელები, ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები და ნორმები დადგენილია სტანდარტით ГОСТ 32144-2013 „ელექტრული ენერგია. ტექნიკური საშუალებების ელექტრომაგნიტური თავსებადობა. ელექტროენერგიის ხარისხის ნორმები საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში“ [4]. რომლის გამოყენების უფლებას გვაძლევს საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 18 ივნისის №409 დადგენილება.

სტანდარტი [4] ელექტროენერგიის ხარისხის მახასიათებლებისათვის ადგენს დასაშვებ მნიშვნელობებს; ნორმირებულია ელექტროენერგიის ხარისხის შემდეგი მაჩვენებლები:

- ძაბვის დამყარებული გადახრა (დადებითი და უარყოფითი);
- ძაბვის ცვლილების მანძილი;
- ფლიკერის დოზა (ხანმოკლე და ხანგრძლივი დოზა);
- ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი (ძაბვის ჰარმონიული მდგენელების ჯამური კოეფიციენტი);
- ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი;
- უკუ თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი;
- ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი;
- სიხშირის გადახრა;
- ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობა;
- იმპულსური ძაბა;
- დოებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი;

ჩამოთვლილ მახასიათებლებს ნორმების ჩვენების გარეშე ემატება ელექტროენერგიის ხარისხის ისეთი მაჩვენებლები, როგორცაა ძაბვის ერთეული სწრაფი ცვლილებები, ძაბვის ინტერჰარმონიული მდგენელები, ძაბვის სიგნალები, რომლიც გადაიცემა ელექტრული ქსელების გავლით და ძაბვის წყვეტები.

თანამედროვე კომუნალურ – საყოფაცხოვრებო სექტორის მიერ ელექტროენერგიის მოხმარება საკმაოდ მაღალია. თანამედროვე საცხოვრებელ სახლებს გააჩნია არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე თანამედროვე ელექტრომიმღებების მნიშვნელოვანი რაოდენობა. მსგავსი სახეობის ელექტრომიმღებები მოიხმარს დენს, რომლის ფორმა არსებითად განსხვავდება სინუსოიდისაგან. ასეთი ელექტრომიმღებები წარმოადგენს სამრეწველო სიხშირის დენის ელექტროენერგიის მოხმარებლებს, ამასთანავე გენერირებს ქსელში მაღალი სიხშირის ჰარმონიკებს. არასინუსოიდური დენის გავლა წრედის ელემენტებში იწვევს ძაბვის ვარდნას, რაც თავის მხრივ წარმოადგენს წრედის ამა თუ იმ წერტილში ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს.

ელექტრულ ქსელებში კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო დატვირთვით გამოწვეული ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების გამომწვევი მიზეზების გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ დამახინჯების მიზეზი არის სწორედ ელექტროენერგიის კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო მოხმარებლები [1].

ელექტრული ქსელის საერთო მიერთების წერტილში შეიძლება არსებობდეს რამდენიმე მოხმარებელი, რომელთათვისაც ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები ერთნაირია. ამ დროს თითოეული მოხმარებლის გავლენა ძაბვის დამახინჯებაზე შეიძლება სხვადასხვა იყოს.

ყველა საყოფაცხოვრებო ხელსაწყო, რომელიც მუშაობს ელექტრული დენის გამოყენებით, თავის გარშემო ქმნის ელექტრომაგნიტურ ველს. და წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს. მეცნიერები

ამტკიცებენ, რომ მოცემულმა გამოსხივებამ შეიძლება ადამიანის ორგანიზმზე გამოიწვიოს ნეგატიური გავლენა. ელექტრომაგნიტური ველები საშიშია უპირველესად იმიტომ, რომ ადამიანი ვერ შეიგრძნობს მათ ზემოქმედებას, ისე როგორც შეიგრძნობს, მაგალითად, სინათლეს, ხმას და ამიტომ არ შეუძლია ადეკვატურად განსაზღვროს მათი ინტენსივობა და საფრთხის ხარისხი.

ყოფაცხოვრების ტექნოლოგიზაცია თავის თავში ინახავს დაფარულ საფრთხეს. ჩვენი ორგანიზმი ძალიან მგრძობიარეა ზემოთ დასახელებული გამოსხივების მიმართ, ამასთანავე როგორც თანამედროვე გამოკვლევები გვიჩვენებს, მათი ზემოქმედებით ყველაზე მეტად ზიანდება ტვინი, გული, ასევე ადამიანის ენდოკრინოლოგიური, იმუნური და სასქესო სისტემები.

ამგვარად, სადისერტაციო სამუშაოში გამოკვლეული საყოფაცხოვრებო-კომუნალური ხელსაწყოების მიერ ძაბვის სინუსოიდურობის ფორმის დამახინჯებაზე გავლენისა და ამ ხელსაწყოების მიერ გამოსხივებული ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეების ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენის საკითხების შეფასება მეტად აქტუალური თემაა.

სამუშაოს მიზანი. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გამომწვევი საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მომხმარებლების გავლენის დონის შეფასება ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებსა და 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში სიმძლავრის და ელექტრული ენერჯის დამატებით დანაკარგებზე. ასევე, საყოფაცხოვრებო-კომუნალური ხელსაწყოების მიერ გამოსხივებული ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონის ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენის შეფასება სანიტარულ - ჰიგიენური ნორმატივების მოთხოვნებიდან გამომდინარე.

კვლევის ობიექტი. 0,4 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელების საყოფაცხოვრებო-კომუნალური ელექტრომომხმარებლების დატვირთვის კვანძები.

კვლევის მეთოდოლოგია. ზემოთ მოყვანილი ამოცანების გადაწყვეტისათვის გამოყენებული იქნა: ელექტრული წრედების თეორია, ჰარმონიული ანალიზი, სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდი, მათემატიკური მოდელირების მეთოდი, მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ექსპერიმენტული გაზომვები თანამედროვე გაზომვის ხელსაწყოების გამოყენებით.

სამეცნიერო სიახლე.

1. ექსპერიმენტულად იქნა განსაზღვრული საცხოვრებელ და საზოგადოებრივ შენობებში გამოყენებული ელექტროხელსაწყოების ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლები.
2. ჩატარებული იქნა გავლენის შეფასება საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობების ელექტრულ შემყვანებზე ძაბვისა და დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების დამამახინჯებელი თვისებების 0,4 კვ ძაბვის გარე ქსელების ელექტრომაგნიტური მახასიათებლებზე;
3. დამუშავებული იქნა ელექტრულ ქსელებში ძაბვისა და დენების არასინუსოიდურობით გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშების მეთოდოლოგია და დამუშავებული იქნა შესაბამისი ჩანაცვლების სქემა.
4. განსაზღვრულ იქნა ელექტროსაყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების მიერ გამოსხივებული მაგნიტური ველის დამაბულობის დონეები ხელსაწყოებიდან სხვადასხვა მანძილზე დაშორების მიხედვით და დადგენილი იქნა უსაფრთხო დაშორების მანძილი.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის შესახებ გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომი. დისერტაციის სამუშაოს შესახებ მოხსენებული იქნა ქ. ქუთაისში მე-5 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 2018 წელს და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში პირველ, მეორე და მესამე კოლოქვიუმებზე.

თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. ელექტრული ქსელის მოდელი ძაბვის არასინუსოიდურობისა და არასიმეტრიულობის ანალიზისათვის

ელექტროენერგიის ხარისხის ნორმალიზაცია მის ისეთ სექტორში, როგორცაა სამფაზა სისტემის ძაბვის არასინუსოიდურობა და არასიმეტრია, წარმოადგენს სამამულო ელექტროენერგეტიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას [5]. ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების სტანდარტის [4] მოთხოვნებთან შეუსაბამობას მივყავართ მნიშვნელოვან მატერიალურ ზარალთან, რომელიც დაკავშირებულია ელექტრომოწყობილობების მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირებასთან და მწყობრიდან გამოსვლასთან, ელექტროენერგიის დანაკარგების ზრდასთან და წუნდებული პროდუქციის გამოშვებასთან, ასევე, რელეური დაცვის მოწყობილობების ცრუ ამუშავებასთან [6].

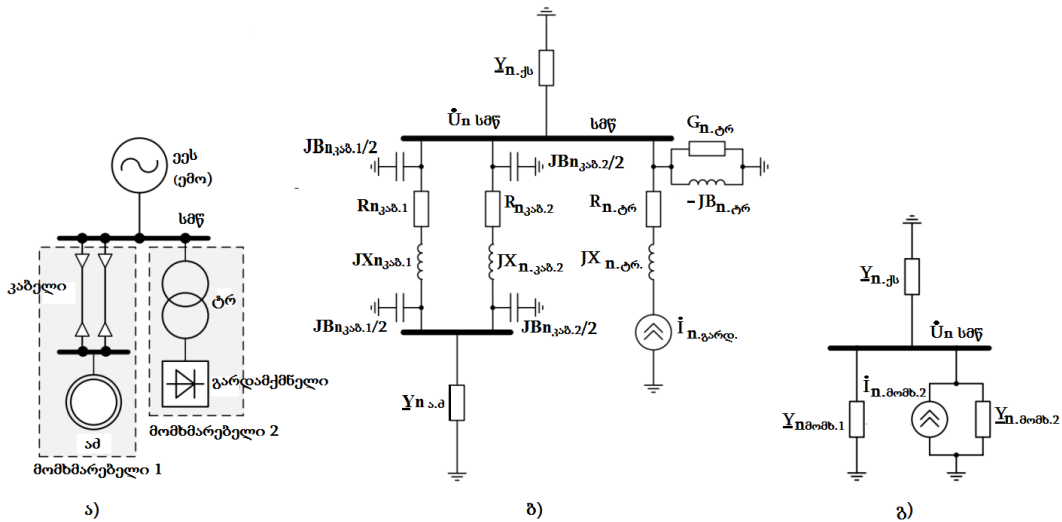
მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები და ნატურული ექსპერიმენტები [7] უკანასკნელი ათწლეულების მანძილზე უჩვენებენ ენერგოსისტემებში ელექტროენერგიის ხარისხის სისტემატურ შეუსაბამობას სახელმწიფო სტანდარტი [4]-ით დადგენილ მოთხოვნებთან. ცხადია, რომ მოცემული საკითხი აქტუალურია და საჭიროებს გადაწყვეტას. ამ დროს მუშაობა მიმართული უნდა იყოს არა მხოლოდ ცალკეულ კვანძებში ძაბვის დამახინჯების სტანდარტი [4]-ის მოთხოვნებთან შეუსაბამობის გამოსწორებისაკენ, არამედ განისაზღვროს ამ შეუსაბამობის მიზეზებიც. ამისათვის საჭიროა, ელექტრომომარაგების სისტემებში გამოვლენილი იქნეს ის მონაწილეები, რომლებიც იწვევენ ძაბვის დაუშვებელ დამახინჯებას. ამ ეტაპზე დამტკიცებულ და მოქმედ ნორმატიულ-ტექნიკურ დოკუმენტებში მოცემული არ არის ელექტროენერგიის ხარისხის დამამახინჯებელი მომხმარებლების გამოვლენის მეთოდიკა.

საერთო მირეთების წერტილში ძაბვის დამახინჯებაზე მომხმარებლის გავლენის შეფასებისათვის არსებობს სხვადასვა მიდგომა. ზოგიერთი

მათგანი [8,9] საშუალებას იძლევა განხორციელდეს მომხმარებლის გავლენის მხოლოდ ხარისხობრივი შეფასება და განსაზღვროს ელექტროენერჯის ხარისხზე მათი დადებითი ან უარყოფითი გავლენა. სხვა მეთოდები [10,11] საშუალებას იძლევა ხარისხობრივი შეფასების გარდა განისაზღვროს რაოდენობრივი გავლენაც და დადგინდეს, თუ რომელი მომხმარებელი აუარესებს ელექტროენერჯის ხარისხს ან რომელი მომხმარებელი ზიანდება მეტად და რომელი ნაკლებად.

მაზვის დამახინჯებაში იგულისხმება მაზვის არასინუსოიდურობა და არასიმეტრია. დამახინჯების მაზვა ეს არის მაზვის n -ური ჰარმონიული მდგენელი, ან უკუთანმიმდევრობის, ან ნულოვანი თანმიმდევრობის მაზვები.

განვიხილოთ ელექტრული ქსელისა და ელექტრომომარაგების სისტემების მონაწილეთა ჩანაცვლების სქემის მოდელები. ნახ.1.1-ზე წარმოდგენილია საერთო მიერთების წერტილის (სმწ) სქემა, მისი გამარტივებული სრული და ცალხაზა ჩანაცვლების სქემა ერთ-ერთი n -ური რიგის ჰარმონიკისათვის.



ნახ.1.1. საერთო მიერთების წერტილის სქემა; ა- მასთან ჩართული მომხმარებლებით; ბ- ჩანაცვლების სრული სქემა; გ - ჩანაცვლების გამარტივებული სქემა n -ური რიგის ჰარმონიკისათვის.

საკვლევი ჰარმონიკისათვის ჩანაცვლების სქემაში არაწრფივი და არასიმეტრიული დატვირთვის წარმოდგენის საერთო მიღებულ ხერხს წარმოადგენს ჩანაცვლების სქემაში მათი გამოსახვა დამახინჯების დენის წყაროთი [12]. ჩანაცვლების სქემაში ელექტრული ქსელის თითოეული არადამახინჯებელი ელემენტი წარმოდგენილია პასიური ელემენტების კრებულით: აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინაღობებით, რომელიც კორელირდება ჩანაცვლების სქემის ერთსახელა პარამეტრებით ძირითად სიხშირეზე პირდაპირი თანმიმდევრობის დენებისათვის ცნობილი თანაფარდობებით [13]. ანალოგიურად, ნახ.1.1–ზე წარმოდგენილი ჩანაცვლების სქემის მოდელი გამოიყენება არა მხოლოდ არასინუსოიდური, არამედ არასიმეტრიული რეჟიმებისთვისაც.

ამგვარად, საერთო მიერთების წერტილში ჩართული ელექტრომომარაგების სისტემის თითოეული მონაწილე წარმოადგენს პასიური და აქტიური (დამახინჯებელი დატვირთვის არსებობის დროს) ელემენტების კრებულს (ნახ.1.1.ბ).

საერთო მიერთების წერტილის მიმართ ეკვივალენტური გენერატორის მეთოდის გამოყენებით [14] ნებისმიერი მონაწილე შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ან მიმდევრობით შეერთებული ე.მ.ძ.–ით და წინააღობით ან პარალელურად შეერთებული დენის წყაროთი I და გამტარობით Y . ჩანაცვლების სქემაში ძაბვის უმაღლესი ჰარმონიკებისა და დენებისათვის ელექტრომომარაგების სისტემების (ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციის) მონაწილეების წარმოდგენის უკანასკნელი ვარიანტი (ნახ.1.1.გ) ყველაზე უფრო მოსახერხებელია [12]. ეკვივალენტურობის მოცემული მეთოდი ასევე ცნობილია როგორც აქტიური ორპოლუსას მეთოდი [15].

განვიხილოთ ძაბვის დამახინჯებაზე მომხმარებელთა გავლენის შეფასების გავრცელებული მეთოდები. უმაღლესი ჰარმონიკებისა და ძაბვების არასიმეტრიის იდენტური მიდგომისათვის შევთანხმდეთ, რომ იქ სადაც პრინციპული მნიშვნელობა არა აქვს ინდექსები (n) და 2, რომლებიც

შესაბამისად ახასიათებენ n რიგის უმაღლეს ჰარმონიკასა და ძირითადი სიხშირის დამახინჯების ძაბვას, შვცვალოთ ინდექსით „დამ“, რომელიც უჩვენებს დამამახინჯებელი დატვირთვის რეჟიმებს.

ელექტრული ქსელის კვანძებში ძაბვის დამახინჯება, რომელიც გამოწვეულია მასში დამახინჯების დენის გავლით, დამოკიდებულია მოცემული ქსელის პარამეტრებზე (ელექტროგადაცემის ხაზის აქტიურ და რეაქტიულ წინაღობებზე, ტრანსფორმატორებზე, მოკლედ შერთვის სიმძლავრეზე და სხვა). რეალურ პირობებში ძბვისა და დენის მრუდების ფორმები ყოველთვის განსხვავდება იდეალურისაგან და მათი შეფასება ხდება ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებით.

თანამედროვე ელექტრულ ქსელებში, რომლებიც კვებავენ კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო ელექტრომიმღებებს (საცხოვრებელი სახლებისა და საზოგადოებრივი შენობებს), მოხმარების არაწრფივი მახასიათებლები გააჩნიათ შემდეგ ელექტრომიმღებებს [16]:

- აირგანმუხტვის ნათურებს;
- ელექტრორკალური და კონტაქტური შედუღების დანადგარებს;
- ხელსაწყოებს, რომელსაც თავის შემადგენლობაში გააჩნია ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდამქმნელები (გამმართველები);
- უწყვეტი კვების წყაროები;
- კვების იმპულსური წყაროები;
- სიხშირის გარდამქმნელები;
- რეგულირებადი ბრუნვის სიჩქარის მქონე ელექტროძრავები და სხვა.

ტრანსფორმატორის დამაგნიტების დენი, გულარის ფერომაგნიტური თვისებებიდან გამომდინარე, ასევე არის არასინუსოიდური და შეიცავს 3,5,7 რიგის ჰარმონიკებს [17,18].

ამგვარად, საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების სრული ჩამონათვალიდან, როგორც არაწრფივი ელემენტები, შეიძლება გამოვყოთ: პერსონალური კომპიუტერები, ტელევიზორები, DVD პლეერები, ვიდეომაგნიტოფონები, აუდიოსისტემები – როგორც ხელსაწყოები,

რომელსაც გააჩნია იმპულსური კვების წყაროები; სარეცხი მანქანები, დრელები, მტვერსასრუტები – როგორც ხელსაწყოები, რომელსაც გააჩნია რეგულირებადი სიჩქარის მქონე ელექტროძრავები; მაღალი სიხშირის ელექტროლუმენები – ხელსაწყოები, რომელსაც გააჩნია სიხშირის გარდამქმნელები; ელექტროდამზოგი ნათურები – როგორც აირგანმუხტვის განათების მქონე ხელსაწყოები და სხვა.

წარმოდგენილი არაწრფივი კომუნალურ – საყოფაცხოვრებო ელექტრომიმღებების ჩამონათვალიდან ჩანს, რომ არაწრფივი დატვირთვის მქონე მომხმარებლები შეადგენენ საცხოვრებელი სახლებისა და საზოგადოებრივი შენობების მკვებავი 0,38 კვ ძაბვის მომხმარებლების მნიშვნელოვან ნაწილს.

საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების ფართოდ დანერგვა საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ დრო სახლის შიდასამეურნეო საქმიანობაზე და გავაუმჯობესოთ ცხოვრების კომფორტბელურობა [19].

1.2. საცხოვრებელი სახლების ელექტროენერჯის მომხმარებლები

საყოფაცხოვრებო ელექტრიფიკაციის დონე დამოკიდებულია ელექტროენერჯის წარმოების მოცულობაზე, მოსახლეობის მატერიალურ კეთილდღეობაზე, საცხოვრებელი სახლის ფართობზე, მოსახლეობის კულტურულ დონეზე, ელექტროენერჯის ტარიფზე და სხვა ფაქტორებზე.

თანამედროვე სასაცხოვრებელ სახლში განთავსებულია ელექტრომიმღებები, რომელიც შეიძლება დავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: განათებისა და საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოებად.

საცხოვრებელი სახლების ელექტროგანათება ხორციელდება საერთო და ადგილობრივი განათების სანათების გამოყენებით. როგორც წესი, საცხოვრებელი სახლები ნათდება ვარვარების, ლუმინესცენციური, ენერგოდამზოგი და შუქდიოდური ნათურებით სიმძლავრით 5–120 ვტ.

საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოები ფუნქციონალური მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება პირობით დავეყოთ შემდეგ მახასიათებელ ჯგუფებად: სამეურნეო, პროდუქტების დამუშავებისა და შენახვის, გამახურებელი, საჭმლის მოსამზადებელი, კულტურულ-საყოფაცხოვრებო, სანიტარულ-ჰიგიენური, შენობის კონდიციონერებისა და გათბობის, წყლის ადგილობრივი ელექტროგამაცხელებლების და სხვა;

სამეურნეო ხელსაწყოებს მიეკუთვნება: სარეცხი მანქანები, საშრობები, უთოები, ჭურჭლის სარეცხი მანქანები, მტვერსასრუტები, საკერავი მანქანები, ელექტროსანთებელები, დრელები და სხვა.

პროდუქტების დამუშავებისა და შენახვის ხელსაწყოებს მიეკუთვნება: მაცივრები, საყინულეები, უნივერსალური სამზარეულოს მანქანები, ყავის საფქვავეები, მიქსერები და სხვა.

საჭმლის მოსამზადებელ გამახურებელ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება: ელექტროლუმელები, ელექტროჩაიდნები, ყავის მადულარები, მაღალსიხშირული მიკროტალღური ლუმელები და სხვა.

კულტურულ-საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებს მიეკუთვნება: ტელევიზორები, პერსონალური კომპიუტერები, აუდიოსისტემები, DVD პლეერები, ვიდეო-მაგნიტოფონები, კინოპროექტორები, რადიომიმღებები და სხვა.

სანიტარულ-ჰიგიენურ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება: ვენტილიატორები, თმის საშრობები, ჰაერის დამატენიანებლები, თმის სახვევები, ელექტროპირსაპარსები, თმის საკრეჭები და სხვა.

კონდიციონერებისა და გათბობის ხელსაწყოებს მიეკუთვნება: კლიმატ-კონტროლის სისტემები, ელექტრორადიატორები, წყლის ელექტროგამაცხელებლები და სხვა.

მრავალი წლის განმავლობაში სხვადასხვა ორგანიზაციების მიერ ჩატარებული ანგარიშები საშუალებას გვაძლევს მოვიყვანოთ ცალკეული ელექტრომომღების დადგმული სიმძლავრის საშუალო შეფასებითი მონაცემები [20], რომელიც წარმოდგენილია ცხრილი 1-ში.

ცხრილი 1. 1. ცალკეული ელექტრომიმღების დადგმული სიმძლავრეები

#	დასახელება	დადგმული სიმძლავრე, ვტ
1	გათბობის ხელსაწყოები	1800–3700
2	ტელევიზორები	120–140
3	რადიო და სხვა აპარატურა	70–100
4	მაცივრები	165–300
5	საყინულეები	140
6	სარეცხი მანქანა წლის გაცხელების გარეშე	600
7	სარეცხი მანქანა წლის გაცხელებით	2000–2500
8	ელექტრომტვერსასრუტები	650–1400
9	ელექტროუთოები	900–1700
10	ელექტროჩაიდნები	1850–2300
11	წვენსაწურები	200–300
12	ელექტროხორცსაკეპი	1100
13	ელექტროფენი	400–1600
14	მაღალსიხშირული ღუმელები	900–1300
15	ღუმელის ზედა ფილტრები	250
16	ვენტილიატორები	1000–2000

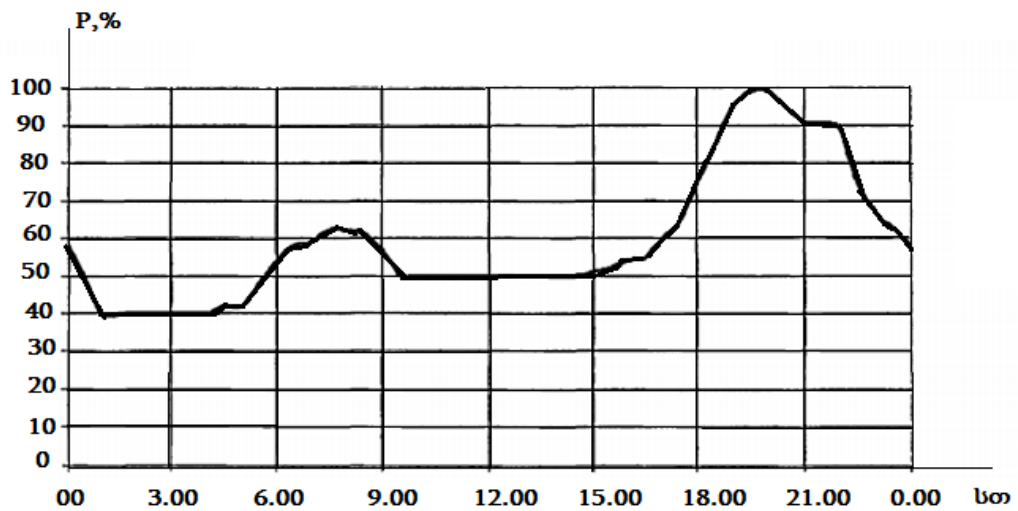
სახლში ელექტროხელსაწყოების ჩართვა მრავალი ფაქტორიდან გამომდინარე, ატარებს შემთხვევით ხასიათს, მათ რიცხვში საყოფაცხოვრებო, ოჯახის შრომითი რეჟიმიდან, საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებით გაჟღენთვის ხარისხიდან, სათავსოს ბუნებრივი განათების დონიდან და სხვა პირობებიდან გამომდინარე.

წლის დროებიდან და კვირის დღეებიდან გამომდინარე საცხოვრებელი სახლების დატვირთვის დღელამური გრაფიკი ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. დატვირთვის გრაფიკზე გავლენას ახდენს იმ დროის სეზონი (ზამთარი ან ზაფხული), რომელ სეზონშიც ჩატარდა გაზომვები, ასევე გავლენას ახდენს საცხოვრებელი სახლების ბინებში საჭმლის მომზადების ხერხი.

ყველაზე უფრო საინტერესოა დატვირთვის ზამთრის გრაფიკი, რადგანაც წლის ამ დროს ყველაზე დიდია ელექტრომოხმარება. საჭმლის მომზადების თვალსაზრისით დატვირთვის გრაფიკები შეიძლება დავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: ბუნებრივ აირზე მომუშავე ქურის მქონე სახლებისთვის და ელექტროლუმების მქონე სახლებისათვის.

დღედამური დატვირთვის გრაფიკის ფორმა და მისი მახასიათებელი (შევისება), ასევე დატვირთვის მაქსიმუმი იცვლება ფართო საზღვრებში. ამიტომ კვლევებისათვის აიგება დატვირთვის გასაშუალოებული გრაფიკები, რომელიც იანგარიშება 30 წუთიანი გასაშუალოებული დატვირთვის შესაბამისად.

ნახ.1.2–ზე ნაჩვენებია გაზის ღუმელის მქონე საცხოვრებელი სახლის დატვირთვის გრაფიკი, რომელშიც შეიძლება გამოვყოთ ხანგრძლივობა და დატვირთვის მაქსიმუმები და მინიმუმები.



ნახ.1.2. საცხოვრებელი სახლის საშუალო დღედამური დატვირთვის გრაფიკი

1.3. ელექტროენერჯის საზოგადოებრივი მომხმარებლები

ელექტროენერჯის საზოგადოებრივ მომხმარებლებს მიეკუთვნება ადმინისტრაციული და საზოგადოებრივი კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო ელექტროენერჯის მიმღებები. ელექტროენერჯის საზოგადოებრივი მომხმარებლების სპექტრი ძალიან ფართოა. მას მიეკუთვნება მალაზიები,

საპარიკმახეროები, კაფეები, რესტორნები, კლუბები, კულტურის სახლები, ორგანიზაციების ადმინისტრაციული შენობები, საავადმყოფოები, სკოლები, სპორტდარბაზები და სხვა. სხვადასხვა საზოგადოებრივი მომხმარებლის დატვირთვის დღედამური გრაფიკები, მოხმარებული სიმძლავრის მნიშვნელობა და ელექტრომიმღებების შედგენლობა ერთმანეთისაგან არსებითად განსხვავებულია, მაგრამ, ამასთანავე, შესაძლებელია საზოგადოებრივი მომხმარებლების ძირითადი პარამეტრების განზოგადოება:

1. საზოგადოებრივი მომხმარებლების უმეტესობას აქვს ნორმირებული რვასაათიანი სამუშაო დღე;
2. საზოგადოებრივ მომხმარებლებს, რომელსაც თავის ელექტრომიმღებების შემადგენლობაში არა აქვს სპეციალური მოწყობილობები, გააჩნია მდოვრე დღედამური დატვირთვის გრაფიკი.
3. საზოგადოებრივი მომხმარებლების ელექტრომიმღებები შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად: განათების და ძალოვან ელექტროხელსაწყოებად.

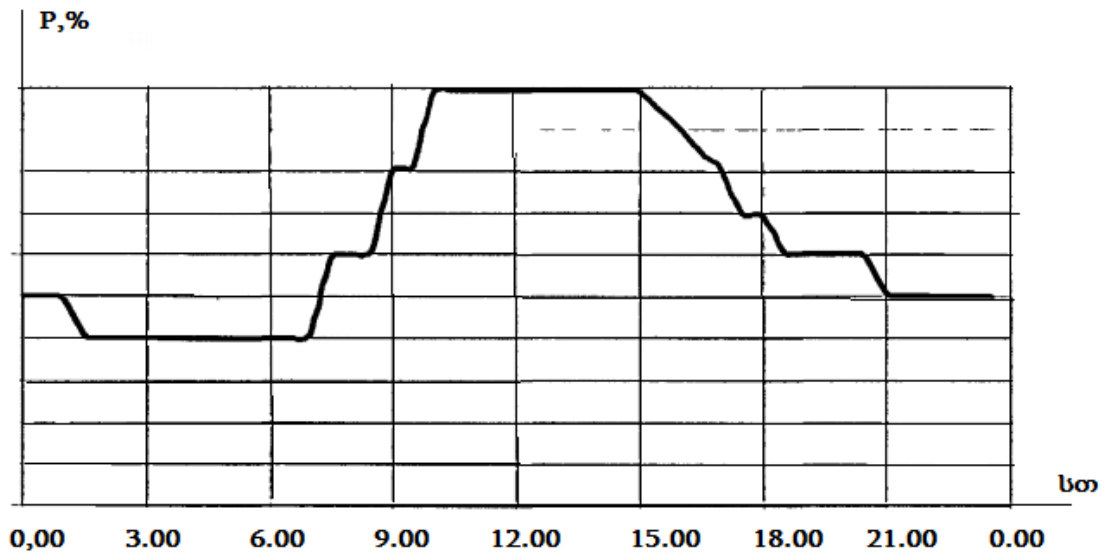
საზოგადოებრივი მომხმარებლების განათების ელექტროხელსაწყოები ძირითადად წარმოადგენს საერთო განათების სანათებს და აღჭურვილია ლუმინესცენციური, ენერგოდამზოგი და შუქდიოდური სანათებით, სიმძლავრით 5–120 ვტ.

ელექტროხელსაწყოების შემადგენლობაში შეიძლება იყოს: კომპიუტერები, ქსეროქსები, პრინტერები, სკანერები, ფაქსები, ქსელური სერვერები და სხვა.

ყველა ჩამოთვლილ ტექნიკას აქვს ელექტრომომხმარების არაწრფივი მახასიათებელი.

საზოგადოებრივი შენობების დატვირთვის დღედამურ გრაფიკს (ნახ.1.3) მათი მუშაობის რეჟიმიდან გამომდინარე აქვს ორი ან სამი მახასიათებელი პერიოდი. ელექტრომომხმარების ორი მახასიათებელი

პერიოდი ეს არის დატვირთვის დღის მაქსიმუმი და დატვირთვის ღამის მინიმუმი, ასევე შეიძლება გამოიყოს ელექტრომომხმარებლის ღამის პერიოდი, რომელსაც ფორმირებას უწევს მორიგე განათების ელექტრომომხმარებლები



ნახ.1.3. ელექტროენერჯის საზოგადოებრივი მომხმარებლის დღეღამური დატვირთვის გრაფიკი

1.4. დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის გავლენა ელექტრული ქსელის ელემენტების ფუნქციონირების ხარისხზე

არაწრფივი ელექტრომიმღებებით გენერირებული დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები იწვევენ ნეგატიურ და ზოგჯერ შეუქცევად შედეგებს.

ამ პრობლემებზე ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგებიდან შეიძლება გამოვყოთ ისეთები, რომლებიც ყველაზე უფრო დიდ გავლენას ახდენს ელექტრული ქსელების ელექტრომოწყობილობებზე, მათი დაცვისა და ავტომატიკის სისტემებზე, ტელეკომუნიკაციის კავშირისა და მართვის სისტემებზე.

1.4.1 დამატებითი დანაკარგები ტრანსფორმატორებსა და ელექტრულ მანქანებში

დამატებითი დანაკარგების გაზრდის შედეგად არასინუსოიდური დენები შეიძლება იყოს ტრანსფორმატორებისა და ელექტრული მანქანების მტყუნებათა მიზეზი [21,22].

ზედაპირული და სიახლოვის ეფექტის შედეგად ტრანსფორმატორის გრაგნილებს დენების არასინუსოიდურობის მიმართ გააჩნია აქტიური წინაღობის გაზრდის თვისება, რაც წარმოადგენს ტრანსფორმატორების გრაგნილების დამატებითი გახურებისა და შედეგად ტრანსფორმატორის მუშაობის ხანგრძლივობის ვადის შემცირების მიზეზს.

დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების არსებობისას მცირდება ტრანსფორმატორის გამტარუნარიანობა. გარდა ამისა, დენის მაღალსიხშირული ჰარმონიკები არის ტრანსფორმატორის გრაგნილსა და ფოლადში გრიგალური დენების წარმოქმნის მიზეზი, რაც იწვევს სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებსა და ტრანსფორმატორის გადახურებას. წრფივი დატვირთვებისათვის დანაკარგები გრიგალურ დენებზე შეადგენს საერთო დანაკარგების დაახლოებით 5 %-ს, ხოლო არაწრფივი დატვირთვებისთვის დანაკარგები ზოგ შემთხვევაში 15–20 ჯერ იზრდება.

ელექტრულ მანქანებში, სტატორში ანალოგიური დანაკარგების გარდა (დანაკარგები სპილენძსა და მაგნიტოგამტაში), უმაღლესი ჰარმონიკებით შექმნილი მბრუნავი მაგნიტური ველის სიჩქარესა და როტორის ბრუნვის სიჩქარეს შორის არსებული მნიშვნელოვანი სხვაობის გამო, აღიძვრება დამატებითი დანაკარგები როტორის დემფერულ გრაგნილებსა და ელექტრული მანქანის მაგნიტოგამტარში.

ელექტროგადაცემის ხაზებში დენის ჰარმონიკები განაპირობებს ელექტროენერჯისა და ძაბვის დამატებით დანაკარგებს. გარდა ამისა, ძაბვის ჰარმონიკებმა შეიძლება გაზარდოს მისი ამპლიტუდა, რაც ხელს უწყობს გვირგვინზე დანაკარგების გაზრდას.

1.4.2. საკაბელო და საჰაერო ხაზების ნულოვანი მუშა სადენების დარღვევა

სამის ჯერადი ჰარმონიკებით ($n = 3(2k+1)$, სადაც $K=0,1,2,3...$) [21] გადატვირთვის შედეგად შესაძლებელია საკაბელო და საჰაერო ხაზების ნულოვანი მუშა სადენების დარღვევა. სამის ჯერადი დენის ჰარმონიკები სამფაზა წრედებში ფაზით ერთმანეთს ემთხვევ და ქმნის ნულოვანი თანმიმდევრობის სისტემას. შედეგად ნეიტრალურ სადენში გამავალი დენი შეადგენს:

$$I_N = 3 \cdot \sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots}$$

საკაბელო და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებში ნულოვანი მუშა სადენების გადახურება და რღვევა ხდება მაშინ, როცა დენები ნულოვან მუშა სადენებში მნიშვნელოვნად აღემატება ფაზურ სადენებში გამავალ დენებს, ხოლო წრედებში ნულოვან სადენებში დენური გადატვირთვისაგან დაცვა ელექტრომოწყობილობის წესების თანახმად გათვალისწინებული არ არის [22].

1 კვ-მდე ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ნულოვანი მუშა სადენი დაცული არ უნდა იყოს ავტომატური ამომრთველით ან დნობადი მცველით [23]. ელექტრომომარაგების „ძველი“ სისტემები პროექტირდებოდა მხოლოდ ხაზური დატვირთვისათვის, ითვლებოდა, რომ ელექტრომიმღებების მიერ მოხმარებული დენი შეიცავდა მხოლოდ ძირითად ჰარმონიკას (50 ჰც). ამ შემთხვევაში დენი ნულოვან მუშა სადენში არ აღემატებოდა ყველაზე უფრო დატვირთული ფაზის დენს და ფაზური სადენების დაცვა ერთდროულად წარმოადგენდა ნულოვანი მუშა სადენის გადახურებისაგან დაცვას.

ექსპლუატაციის პროცესში დასაშვები დენების ასიმეტრია ფაზების მიხედვით არ უნდა იყოს 10 %-ზე მეტი. ამიტომ სადენისა და კაბელების კვეთის არჩევისა და გახურების მიხედვით ხანგრძლივად დასაშვები დენის განსაზღვრის დროს ოთხსადენიანი სისტემის სამფაზა დენის ნულოვანი

მუშა სადენი, ჩამიწებისა და ნულოვანი დამცავი სადენი, ანგარიშში არ მიიღება [23], რადგანაც დენი ამ სადენებში მხოლოდ წრფივი ელექტრომიმღებების არსებობისას არსებითად მცირეა ხაზური სადენების დენებთან შედარებით.

1.4.3. დამატებითი დანაკარგები კონდენსატორის ბატარეებში.

კონდენსატორის ბატარეები გამოიყენება დატვირთვის რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისათვის, ანუ ელექტროდანადგარის სიმძლავრის კოეფიციენტის ამალღებისათვის [21].

არასინუსოიდური დენების დროს კონდენსატორების ბატარეა იმავდროულად წარმოადგენს არაწრფივი ელექტრომიმღების მიერ გენერირებული ჰარმონიკის აბსორბციულ ელემენტებს, რადგანაც კონდენსატორის წინაღობა სიხშირის უკუპროპორციულია.

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot f_0 \cdot C},$$

ხოლო დანაკარგები მასში მოდებული ძაბვის სიხშირის პროპორციულია

$$\Delta P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

სადაც f_0 – არის ძირითადი სიხშირე (50 ჰც); n - ჰარმონიკის ნომერი; C - კონდენსატორის ტევადობა; $\operatorname{tg} \delta$ - დიელექტრიკული დანაკარგების კოეფიციენტი, რომელიც სიხშირეზეა დამოკიდებული.

რადგანაც ქსელის ელემენტების წინაღობებს აქვთ ინდუქციური ხასიათი, ამიტომ რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების გამოყენება და ქსელში არაწრფივი ელექტრომიმღებების არსებობა ელექტრომომარაგების სისტემის ცალკეულ ელემენტებზე ქმნის პირობებს რეზონანსული მოვლენებისათვის, როგორც დენის, ასევე ძაბვის მიხედვით. ეს კი უარყოფითად შეიძლება აისახოს სისტემის ცალკეული ელემენტის მუშაუნარიანობაზე, ან შეიძლება ზედენებისა და გადაძაბვების გავლენის გამო მწყობრიდანაც კი გამოვიდეს. როგორც ცნობილია, უმაღლესი

ჰარმონიკების გათვალისწინებით, კონდენსატორზე დასაშვები ძაბვა არ უნდა აღემატებოდეს ნომინალური ძაბვის 10 %-ს, ხოლო დენის მიხედვით გადატვირთვა არ უნდა აღემატებოდეს ნომინალური დენის 30 %-ს.

1.4.4. ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირება.

საიზოლაციო მასალებში მუშა ტემპერატურის დროს მიმდინარეობს ქიმიური პროცესები, რომელიც თანდათანობით იწვევს მასალებში საიზოლაციო და მექანიკური პროცესების ცვლილებას [24].

ტემპერატურის ზრდასთან ერთად ეს პროცესები ჩქარდება და ამცირებს ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობის ვადას. ელექტრულ მანქანებში ნულოვანი მიმდევრობის დენები ქმნის მაგნიტოგამტარის ფოლადის დამატებით შემაგნიტებას, რაც აუარესებს მის მახასიათებლებს და იწვევს ასინქრონული ძრავების სტატორებისა და ტრანსფორმატორების მაგნიტოგამტარების დამატებით გახურებას.

იზოლაციის ელექტრული დაძველების არსი, ეს არის ე.წ. ნაწილობრივი მუხტების აღძვრა, რომელიც ვრცელდება მხოლოდ დიელექტრიკში, კონდენსატორის შემონაფენებს შორის არსებულ საიზოლაციო შუალედში. ნაწილობრივი განმუხტვები დაკავშირებულია ენერჯის გაბნევასთან, რომლის შედეგს წარმოადგენს გარემომცველ დიელექტრიკზე ელექტრული, მექანიკური და ქიმიური ზემოქმედება. შედეგად, იზოლაციაში ვითარდება ადგილობრივი დეფექტები, რასაც მიყვავართ მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირებასთან.

1.4.5. მცველებისა და ავტომატური ამომრთველების ცრუ ამუშავება.

ეს პროცესი განპირობებულია არასინუსოიდური დენების გადინებით და შედეგად ზედაპირული და სიახლოვის ეფექტების მოქმედებით. პრაქტიკაში ყოფილა ელექტროდანადგარების მოწყობის წესების მოთხოვნების შესაბამისად შერჩეული ავტომატური ამომრთველების ცრუ

ამუშავების შემთხვევები, რომელიც იცავდა კომპიუტერული მოწყობილობების კვების ხაზებს.

უმაღლეს ჰარმონიკებს შეუძლია დაარღვიოს დაცვის მოწყობილობების მუშაობა ან გააუარესოს მისი მახასიათებლები. დარღვევის ხასიათი დამოკიდებულია ელექტრული მოწყობილობის მუშაობის პრინციპზე და ელექტრული ქსელების მუშაობის რეჟიმებზე. ავარიულ რეჟიმებში ჰარმონიკები იწვევენ არსებით გავლენას რელეური დაცვის მთელი რიგი სახეობებზე, სახელდობრ, წინაღობის რელეზე. ასეთმა რელემ, ე.წ. დისტანციურმა, რომელიც დაფუძნებულია ძირითად სიხშირეზე წინაღობის გაზომვაზე, მოკლედ შერთვის დენებში უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობისას (განსაკუთრებით მე-3 რიგის) შეიძლება მოგვცეს არსებითი შეცდომები.

ჰარმონიკების დიდი შემცველობა შეინიშნება იმ შემთხვევებში, როცა მოკლედ შერთვის დენი გაედინება მიწაში. თუ ჰარმონიკები არ იფილტრება, მაშინ ცრუ ამუშავების ალბათობა ძალიან დიდია [22]. მეტალთან მოკლედ შერთვის დროს დენსა და ძაბვაში აჭარბებს ძირითადი ჰარმონიკა. ამასთანავე, მოკლედ შერთვის დენების დიდი მნიშვნელობის გამო, ხდება დენის საზომი ტრანსფორმატორების გაჯერება. ამ მოვლენის შედეგად, დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის დენის მრუდი შეიძლება ძლიერ დამახინჯდეს, განსაკუთრებით მოკლედ შერთვის დენში აპერიოდული მდგენელის ხარჯზე, რასაც მივყავართ დაცვის რელეს ცრუ ამუშავებამდე. ასეთივე სიტუაცია შეიძლება აღიძრას გარდამავალი პროცესის დროს, მაგალითად უქმ სვლაზე ძალური ტრანსფორმატორის ჩართვის დროს, რომელსაც თან ახლავს დენის დიდი აპერიოდული მდგენელი.

1.4.6. ვიბრაცია ელექტრომანქანურ სისტემებში.

ინდუქციური ელექტროძრავების კვების წყაროს ძაბვაში უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა მაგნიტურ ნაკადში წარმოადგენს უმაღლესი

ჰარმონიკების სიხშირის მდგენელების აღძვრის მიზეზს, რომლებიც თავის მხრივ აღძრავენ ემპ-ების ჰარმონიკებს და შედეგად, როტორის გრაგნილში წარმოიქმნება დენის უმაღლესი ჰარმონიკები. ეს ჰარმონიკები ურთიერთქმედებს ძირითად მაგნიტურ ნაკადთან და ქმნის ელექტრული მანქანის ლილვზე დამატებით მექანიკურ მომენტს. შედეგად ელექტრული ძრავას ლილვზე წარმოიქმნება მბრუნავი მომენტის ჰარმონიული პულსაციები. ექსტრემალურ შემთხვევებში, როტორის მბრუნავი მასის რეზონანსულ სიხშირეზე შეიძლება აღიძვრას ვიბრაცია, რომელსაც მიყვავართ დაღლილობის დაგროვებასთან და ელექტროძრავას როტორის ლილვის შესაძლო მოწყვეტასთან.[23].

1.4.7. მკვებავი ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯება

იმპულსური დატვირთვის მიერ მოხმარებული დენის არასინუსოიდური ხასიათი წარმოადგენს ელექტრომიმღების მკვებავი ძაბვის სინუსოიდის დეფორმაციის მიზეზს. ძაბვის სინუსოიდა ხდება „ბრტყელი“, რადგანაც დენის იმპულსის მომენტში იზრდება ძაბვის ვარდნა ქსელის შიდა წინააღობაზე [21].

$$u_{\text{დატვ.}}(t) = u_{\text{ქსელ.}}(t) - i(t) \cdot Z_{\text{ქსელ.}}$$

სადაც $u_{\text{დატვ.}}(t)$ - ელექტრომიმღების მომჭერებზე დეფორმირებული ძაბვიღს სინუსოიდაა; $u_{\text{ქსელ.}}(t)$ - მკვებავი ქსელის ძაბვის სინუსოიდაა; $i(t)$ - იმპულსური დენია; $Z_{\text{ქსელ.}}$ - ქსელის სრული წინააღობაა დატვირთვის მხრიდან ელექტრომიმღების მიერთების წერტილში, რომელიც ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულია ჰარმონიკის ნომერზე.

„ბრტყელი“ სინუსოიდა მოქმედებს რა კვების იმპულსურ წყაროზე ამცირებს გამართული ძაბვის დონეს; იმპულსური კვების წყაროს ელემენტებში ზრდის სითბოს გამოყოფას; ამცირებს ძაბვის ხანმოკლე ვარდნის მიმართ მდგრადობას.

1.4.8. გამართული ძაბვის დონის შემცირება

მკვებავი ძაბვის სინუსოიდის ფორმის დეფორმაციას მიყვავართ შესავალი ძაბვის ამპლიტუდის შემცირებასთან, შედეგად მცირდება ძაბვა გამმართველის კონდენსატორზე. კონდენსატორზე იმ ძაბვის დონის შემცირებას, რომლისგანაც ხორციელდება მაღალსიხშირული გარდამქმნელის, ხოლო შემდეგ მუდმივი დენის წრედების კვება, უნდა მივეყვანეთ გამართული ძაბვის შემცირებასთან. მაგრამ კვების იმპულსური წყაროების უმეტესობაში გათვალისწინებულია გამოსავალი ძაბვის სტაბილიზაცია, მაგალითად განედურ-იმპულსური რეგულირების მეთოდით. შესავალი ძაბვის დონის შემცირება დასაშვებ ფარგლებში არ იწვევს გამართული მუდმივი ძაბვის დონის შემცირებას [24].

1.4.9. იმპულსური კვების წყაროების ელემენტებში სითბოს გამოყოფის გაზრდა

განედურ - იმპულსური რეგულირების დროს შესავალი ძაბვის შემცირება იწვევს მაღალსიხშირული გარდამქმნელის დენის იმპულსების ხანგრძლივობის გაზრდას დენის იმპულსებს შორის პაუზის ხანგრძლივობასთან შედარებით. ეს ნიშნავს, საშუალოდ, პერიოდის განმავლობაში მაღალსიხშირული გარდამქმნელის მიერ მოხმარებული დენისა და კონდენსატორის განმუხტვის სიჩქარის გაზრდას. მაღალსიხშირული გარდამქმნელის მიერ დენის მოხმარების გაზრდა ზრდის თბურ დანაკარგებს იმპულსური კვების წყაროს ელემენტებში. მაგალითად, შესავალი ძაბვის შემცირება 10 %-ით იწვევს დენის გაზრდას 11 %-ით, ხოლო თბური დანაკარგებისა კი - 23 %-ით [23].

1.4.10. ძაბვის ხანმოკლე ჩავარდნის მიმართ მდგრადობის შემცირება

იმპულსური კვების წყაროს მომჭერებზე ძაბვის ხანმოკლე ჩავარდნის ან მთლიანად გაქრობის შემთხვევაში მუდმივი დენის წრედებს შეუძლიათ

გააგრძელონ ნორმალური მუშაობა დროის ძალიან მცირე მონაკვეთში. დროის ამ მონაკვეთში სამუშაოდ საჭირო ენერგია ეს არის მაგლუვებელ კონდენსატორში დაგროვილი ენერგია. მიუხედავად იმისა, რომ კონდენსატორს გააჩნია დიდი ტევადობა, მასში დაგროვილი ენერგია დამოკიდებულია იმ ძაბვაზე, რომლითაც ის იყო დამუხტული დასაწყისში. ეს ძაბვა გამოისახება ფორმულით

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{C}}.$$

მკვებავი ძაბვის მრუდის სინუსოიდური ფორმის დროს კონდენსატორი შეიძლება დაიმუხტოს უფრო მეტი ძაბვით, ვიდრე მკვებავი ძაბვის „ბრტყელი“ ფორმის დროს. ამ შემთხვევაში კონდენსატორში დაგროვილი ენერგია შესაძლოა, რომ საკმარისი არ აღმოჩნდეს მუდმივი დენის წრედების ნორმალური მუშაობისათვის ძაბვის ხანმოკლე ჩავარდნის ან მთლიანად შეწყვეტის შემთხვევაში [23].

1.4.11. დაბრკოლებები ტელეკომუნიკაციის ქსელებში

დაბრკოლებები ტელეკომუნიკაციის ქსელებში შეიძლება აღიძრას, რადგან ძალური კაბელები და ტელეკომუნიკაციის კაბელები ერთმანეთთან ახლოს არიან განლაგებული. ძალოვან კაბელებში მაღალსიხშირული ჰარმონიკების გავლის დროს ტელეკომუნიკაციის კაბელებში აღიძვრებიან დაბრკოლებები, რაც იწვევს საინფორმაციო სიგნალის დამახინჯებას. დამახინჯების ინტენსივობა დამოკიდებულია დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებზე, ქსელის პარალელური უბნის სიგრძეზე და კაბელებს შორის დაშორებაზე. პირდაპირი და უკუთანმიმდევრობის უმაღლესი ჰარმონიკების მაგნიტური ველები ნაწილობრივ ერთმანეთს აკომპენსირებენ, ამიტომ ტელეკომუნიკაციის სისტემებში ყველაზე დიდ გავლენას ახდენს სამის ჯერადი ჰარმონიკები. რაც მეტია ჰარმონიკის რიგი,

მით უფრო დიდია ტელეკომინიკაციის სისტემებში აღძრული დაბრკოლების დონე [21,23].

1.4.12. აკუსტიკური ხმაური

ტრანსფორმატორებში, დროსელებში და სხვა ელექტრომაგნიტურ ელემენტებში უმაღლესი ჰარმონიკები წარმოქმნიან ელექტრომაგნიტურ ძალებს, რითაც იწვევენ დამატებით აკუსტიკურ ხმაურს [21,23].

1.5. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გავლენა ელექტროენერჯის მზომ სისტემებსა და სიმძლავრის კოეფიციენტზე

ელექტროენერჯის მრიცხველების უმეტესობა, მაგალითად, როგორცაა ევროალფა, ალფა და სხვა, მუშაობს მიკროპროცესორულ ბაზაზე. დანიშნულების მიხედვით მათი ძირითადი ფუნქციაა ძირითადი სიხშირის ელექტროენერჯის გაზომვა. ზოგად შემთხვევაში ქსელის სიმძლავრე შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$P_{\Sigma} = U_0 \cdot I_0 + U_1 I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_3 \cdot I_3 \cos \varphi_3 = P_0 + P_1 + P_3$$

სადაც U_0, I_0, P_0 – ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის მუდანივი მდგენელებია; U_1, I_1, P_1 – ძაბვის დენისა და სიმძლავრის ძირითადი ჰარმონიკის მდგენელებია; U_3, I_3, P_3 – ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ჰარმონიული მდგენელებია.

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში უმაღლესი ჰარმონიკების წარმოქმნა იწვევს გაზომვის ცდომილების ზრდას.

გარდა ზემოთმოყვანილი ნეგატიური მოვლენებისა, უმაღლესი ჰარმონიკები ასევე უარყოფით გავლენას ახდენს სიმძლავრის კოეფიციენტზე და ამცირებენ მის მნიშვნელობას, რომელსაც ცდილობენ შეინარჩუნონ 0,85–1,0 ფარგლებში

ამგვარად უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა აუარესებს ელექტრული ქსელის ელემენტების უმეტესობის მუშაუნარიანობას, რაც უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების დონის მინიმუმამდე შემცირებისათვის მოითხოვს როგორც ტექნიკური, ასევე ორგანიზაციული ღონისძიებების გამოყენებას.

1.6. ძაბვის დამახინჯებაზე მომმარებელთა სიმძლავრის მიხედვით

გავლენის შეფასება

არაწრფივი და არასიმეტრიული დატვირთვის ხასიათის მქონე ელექტრომიმღებების რაოდენობის ზრდამ და დადგმული სიმძლავრის მატებამ გამოიწვია თანამედროვე ელექტრომომარაგების სისტემების დამახასიათებელი და განუყოფელი დამახინჯებული რეჟიმები. ნორმატიულ დოკუმენტში [25] წარმოდგენილია ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე მომხმარებელთა სიმძლავრის მიხედვით გავლენის შეფასების მეთოდი, რომელიც გამოიყენება საერთო მიერთების წერტილში ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესების მიზნების ანალიზისათვის. ამ მეთოდის დებულებები წარმოდგენილია ძაბვის არასინუსოიდურობის მაგალითზე. ანალოგიურად სრულდება ძაბვის არასიმეტრიულობის დროს დამახინჯების წყაროების გამოვლენა.

ნაშრომში [25]-ში შემოთავაზებულია, რომ საერთო მიერთების წერტილში უნდა გამოვყოთ ობიექტები დამამახინჯებელი ელექტრომიმღებებით, რომლებიც საერთო მიერთების წერტილში გავლენას ახდენს ძაბვის არასინუსოიდურობაზე. ასეთი ობიექტების გამოვლენისათვის საჭიროა:

1. გამოვითვალოთ a სიდიდის მნიშვნელობა, როგორც ობიექტის დასაშვები სრული სიმძლავრის $S_{დას}$ ფარდობა საერთო მიერთების წერტილში უმცირესი მოკლედ შერთვის სიმძლავრესთან $S_{ა.შ.უმც.}$ (პროცენტებში), ფორმულით.

$$a = (S_{დას} / S_{ა.შ.უმც.}) \times 100\% \quad (1.1)$$

ელექტრულ ქსელებში საერთო მიერთების წერტილისათვის (1.1)

ფარდობის დასაშვები მნიშვნელობებია:

- 0,22/0,38 კვ ძაბვის ქსელებისათვის - $a_{დას} \leq 0,2\%$;
- 6 კვ და ზევით ძაბვის ქსელებისათვის $a_{დას} \leq 0,3\%$;

თუ $a \leq a_{დას}$, მაშინ განსახილველი ობიექტი მიეკუთვნება ობიექტების ჯგუფს ისეთი ელექტრომიმღებებით, რომლებიც საერთო მიერთების წერტილში გავლენას არ ახდენს ძაბვის არასინუსოიდურობაზე.

თუ $a > a_{დას}$, მაშინ ობიექტის დატვირთვის შედგენილობის საფუძველზე საჭიროა განისაზღვროს არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე დამამახინჯებელი ელექტრომიმღებების ჯამური დადგმული სიმძლავრე $S_{დამ}$.

2.გამოვითვალთ a_1 სიდიდის მნიშვნელობა, როგორც ობიექტის დამამახინჯებელი ელექტრომიმღებების ჯამური დადგმული სრული სიმძლავრის $S_{დამ}$ ფარდობა საერთო მიერთების წერტილში უმცირესი მოკლედ შერთვის სიმძლავრესთან $S_{მ.შ.უმც.}$ (პროცენტებში), ფორმულით:

$$a_1 = (S_{დამ} / S_{მ.შ.უმც.}) \times 100\% \quad (1.2)$$

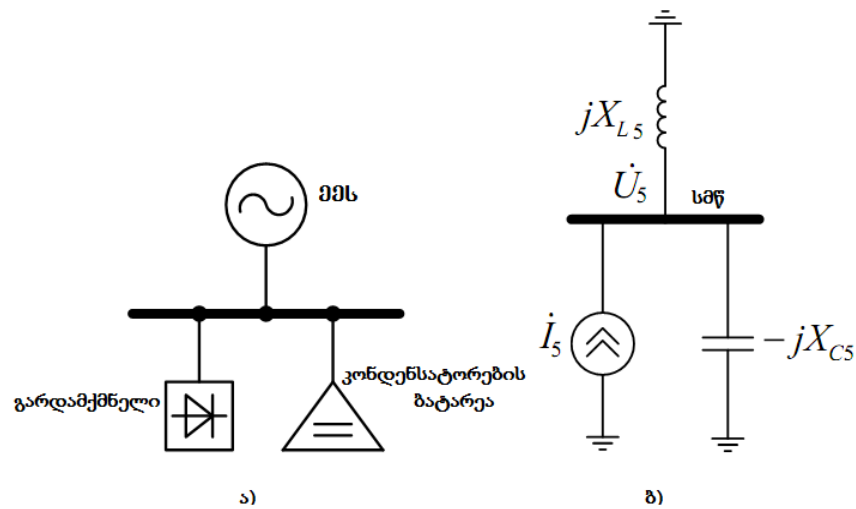
თუ $a_1 \leq a_{დას}$, მაშინ განსახილველი ობიექტი ასევე მიეკუთვნება ობიექტების ჯგუფს ისეთი ელექტრომიმღებებით, რომლებიც საერთო მიერთების წერტილში გავლენას არ ახდენენ ძაბვის არასინუსოიდურობაზე.

თუ $a_1 > a_{დას}$, მაშინ ობიექტი მიეკუთვნება ობიექტების ჯგუფს ისეთი ელექტრომიმღებებით, რომლებიც განსახილველ საერთო მიერთების წერტილში ქმნიან ძაბვის არასინუსოიდურობას.

პოტენციურად დამამახინჯებელი მომხმარებლების გამოვლენის მოცემული ხერხი არ ითვალისწინებს მაღალი რიგის ჰარმონიკების მიერ მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვების აღძვრის შესაძლებლობას თვით მცირე სიმძლავრის არაწრფივი მომხმარებლის მუშაობის დროს მომხმარებლის გარე ქსელში რეზონანსის შემთხვევაში. მაგალითის სახით განვიხილოთ 6კვ ძაბვის საერთო მიერთების წერტილი (სმწ) მასზე მიერთებულ

მომხმარებლებთან ერთად, რომლის საანგარიშო და ჩანაცვლების სქემა მოცემულია ნახ.1.4.ა-ზე.

დავუშვათ ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და კონდენსატორის ბატარეების პარამეტრები (ნახ.1.4.ა) ისეთია, რომ საკვლევ, მაგალითად მე-5 ჰარმონიკისათვის ადგილი აქვს მათი რეაქტიული წინაღობების მოდულების ტოლობას (ნახ.1.4.ბ). ეს შესაძლებელია, მაგალითად, საერთო მიერთების სალტებზე 18,2 კა სამფაზა მოკლედ შერთვის დენისა და 7,2 მვარ კონდენსატორების ბატარეის სიმძლავრის დროს. ამ შემთხვევაში [16]-დან ცნობილი გამოსახულებების მიხედვით ძირითად სიხშირეზე ვიღებთ ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და კონდენსატორის ბატარეების წინაღობების მნიშვნელობებს:



ნახ.1.4. ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და კონდენსატორის ბატარეის სქემატური ნახაზი ა)ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და კონდენსატორის ბატარეის ჩანაცვლების სქემა ; ბ) მე-5 ჰარმონიკის საანგარიშო სქემა;

$$X_{L1} = \frac{U_{საგნო}}{\sqrt{3}I_{გ,გ}} = \frac{6,3}{\sqrt{3}18,2} \approx 0,2 \text{ ომი}; X_{C1} = \frac{U_{გოგ}^2}{Q_{გოგ}} = \frac{6^2}{7,2} \approx 5 \text{ ომი} \quad (1.3)$$

იგივე წინაღობები მე-5 ჰარმონიკის სიხშირეზე ტოლია.

$$X_{L5} = 5X_{L1} = 1 \text{ ომი}; X_{C5} = \frac{1}{5}X_{C1} = 1 \text{ ომი} \quad (1.4)$$

დავუშვათ, რომ ნახ.1.4-ზე მოცემული 6 პულსიანი გამმართველის ნომინალური სიმძლავრეა 100 კვა. მივიღოთ გარდამქმნელის კომუტაციის

კუთხე $\gamma_0 = 200$, მაშინ მის მიერ გენერირებული მე-5 ჰარმონიკის დენი [16]-ის შესაბამისად ტოლია:

$$I_5 \approx \frac{S_{\text{დამ}}}{\sqrt{3}U_{\text{დამ}}} \cdot \frac{\sin\left[n-1\frac{\gamma_0}{2}\right]}{n \cdot n-1\frac{\gamma_0}{2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} \cdot \frac{\sin\left[5-1\frac{\pi}{18}\right]}{5 \cdot 5-1\frac{\pi}{18}} = 1,774 \text{ ა} \quad (1.5)$$

ასეთ შემთხვევაში საერთო მიერთების წერტილში მე-5 ჰარმონიკის დაბვა შეზღუდულია მხოლოდ ქსელის ელემენტების აქტიური წინააღმდეგობით და აღემატება დასაშვებს.

შევამოწმოთ (1.1) კრიტერიუმი:

$$a = \frac{S_{\text{დას}}}{\sqrt{3}U_{\text{საშ.დამ}}I_{\text{ს.შ}}} \times 100\% = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 3.18200} \cdot 100\% \approx 0,05 \%. \quad (1.6)$$

განხილული პარამეტრების მქონე, ნახ.1.4-ზე მოცემული დამამახინჯებელი მომხმარებელი რეალურად იწვევს მაღალი რიგის ჰარმონიკების დაუშვებელ დაბვას ხოლო [25]-ის მიხედვით მიეკუთვნება ისეთ ობიექტებს, რომლებც საერთო მიერთების წერტილში გავლენას არ ახდენს დაბვის არასინუსოიდურობაზე. მიღებული შედეგი გვიჩვენებს დამამახინჯებელი მომხმარებლის გამოვლენის მიდგომის არასრულყოფილობაზე.

1.7. საოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების ელექტრომაგნიტური ველი

საოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების უწყვეტმა განვითარებამ და რაოდენობის მკვეთრმა ზრდამ გამოიწვია ელექტრომაგნიტური გარემოების რადიკალური ცვლილებები დაბალი სიხშირის (30–300 ჰც) დიაპაზონში.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება გარემოს მნიშვნელოვანი ფიზიკური ფაქტორია, რომელიც გავლენას ახდენს მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობაზე. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კონტროლი კომუნალური ჰიგიენისა და შრომის ჰიგიენის საელმწიფო სანიტარული ზედამხედველობის საქმიანობის ერთ-ერთი მიმართულებაა.

ჯანმრთელობის საერთაშორისო ორგანიზაციის მონაცემებით, ძირითადი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს ელექტრომაგნიტურ მდგომარეობას დაბალი სიხშირის დიაპაზონში არის სამრეწველო სიხშირის 50 ჰც ელექტრომაგნიტური ველი [82,83]. მოცემულ ფაქტორს გააჩნია ადამიანის ბინადრობის გარემოში შეღწევის ძალიან მაღალი ხარისხი [16].

დღეისათვის დაგროვილი მონაცემები მოწმობს, რომ სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი წარმოადგენს ბიოლოგიურად აქტიურ ფაქტორს, რომელსაც გააჩნია უნარი განსაზღვრულ პირობებში გამოიწვიოს ადამიანის ორგანიზმის ფუნქციონირებაში არასასურველი ცვლილებები [3, 8, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 56, 62].

მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფების ჯანმრთელობის დაცვის უზრუნველყოფის მიზნით, სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მოსახლეობაზე ზემოქმედება როგორც საწარმოო, ასევე არასაწარმოო პირობებში მოითხოვს აუცილებელ სანიტარულ–ეპიდემიოლოგიურ რეგლამენტაციას.

დადგენილია, რომ საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზის მეთოდურ მითითებებში მოცემული პოტენციურად დამამახინჯებელი მომხმარებლების გამოვლენის ხერხი არ ითვალისწინებს მაღალი რიგის ჰარმონიკების მიერ მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვების აღძვრის შესაძლებლობას თვით მცირე სიმძლავრის არაწრფივი მომხმარებლის მუშაობის დროსაც კი მომხმარებლის გარე ქსელში რეზონანსის შემთხვევაში [26].

ასევე მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფების ჯანმრთელობის დაცვის უზრუნველყოფისათვის სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მოსახლეობაზე ზემოქმედება როგორც საწარმოო, ასევე არასაწარმოო პირობებში მოითხოვს აუცილებელ სანიტარულ–ეპიდემიოლოგიურ რეგლამენტაციას.

თავი II. 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ენერჯისა და სიმძლავრის დანაკარგები არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის არსებობის დროს

2.1. ელექტრულ ქსელებში არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების გავლენის შეფასება

როგორც ცნობილია, არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლის მქონე ელექტრომიმღებები წარმოადგენს ელექტრულ ქსელებში დენისა და ძაბვის მრუდეების დამახინჯების მიზეზს. დენის $i(t)$ ან ძაბვის $u(t)$ მრუდი, რომელსაც გააჩნია არასინუსოიდური ფორმა, შეიძლება აღიწეროს ფურიეს მწკრივით ძირითადი სიხშირის ჯერადი n -ური რიგის ჰარმონიკების სხვადასხვა სიხშირის ელემენტარული სინუსოიდების ჯამის სახით [33]:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^k U_n \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t + \varphi_u); \quad i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^k I_n \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t + \varphi_i)$$

სადაც U_0, I_0 - ძაბვისა და დენის მუდმივი მდგენელებია;

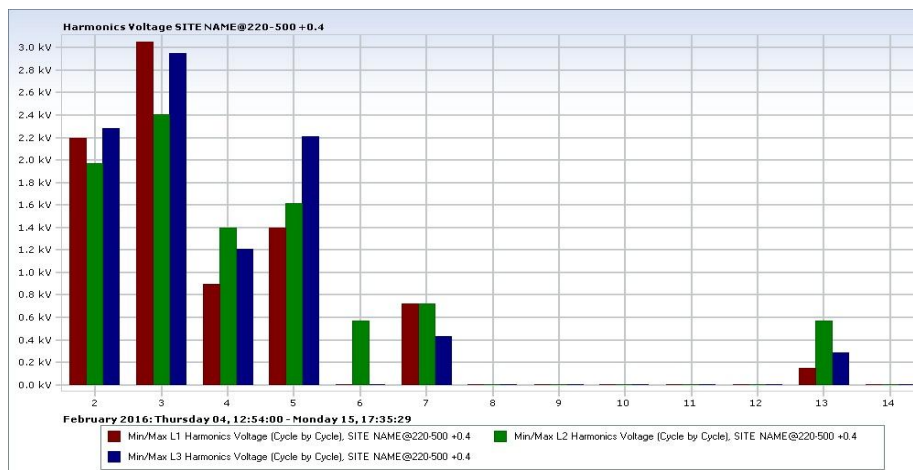
$U_n \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t + \varphi_u)$ და $I_n \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t + \varphi_i)$ – შესაბამისად ძაბვისა და დენის n -ური რიგის ჰარმონიული მდგენელებია აპლიტუდებით U_n და I_n და საწყისი ფაზებით φ_u და φ_i ;

n -ჰარმონიული მდგენელის რიგია;

k - მხედველობაში მიღებული უკანასკნელი ჰარმონიკის რიგია.

არასინუსოიდური ძაბვებისა და დენების ასეთი წარმოდგენის ფორმას ეწოდება დროითი ფორმა.

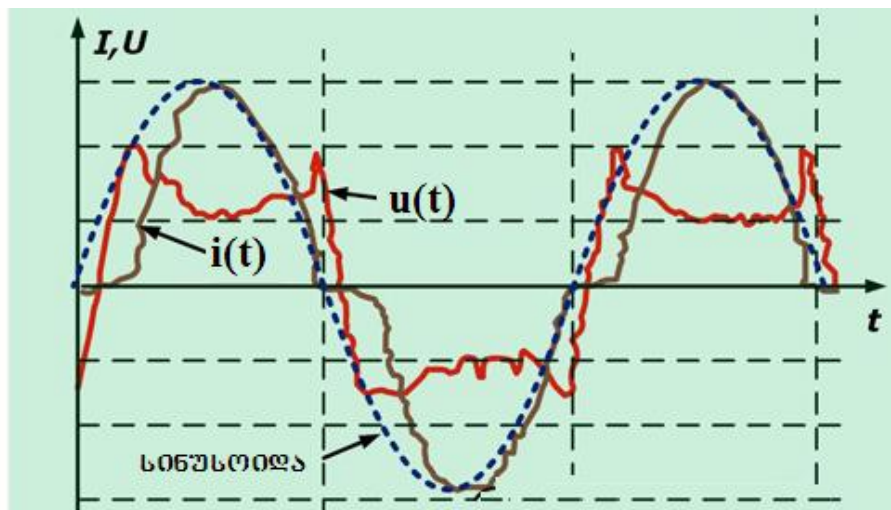
პრაქტიკაში გამოიყენება არასინუსოიდური სიგნალების კიდევ ერთი ფორმა – სპექტრალური. ამ შემთხვევაში სარგებლობენ ძაბვისა და დენის მრუდეების ამპლიტუდურ-სიხშირული სპექტრებით, რომელიც დაფიქსირებულია კომუნალურ საყოფაცხოვრებო დატვირთვის სატრანსფორმატორიო ჯიხურზე. ნახ.2.1-ზე მოცემულია ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ სალტეებზე ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა [34].



ნახ.2.1. ახალციხის ქვესადგურის 500 კვ სალტებზე ძაბვის სპექტრალური შემადგენლობა

განსახილველი პარამეტრების წარმოდგენის უფრო თვალსაჩინო ფორმას წარმოადგენს დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები $u(t)$ და $i(t)$.

დროითი ფორმით წარმოდგენის მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ ნახ-2.1-ზე წარმოდგენილი გრაფიკები.



ნახ.2.2. არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის ასეთი ფორმით წარმოდგენა პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება. ის საშუალებას იძლევა დროის განმავლობაში პარამეტრების სხვადასხვა კანონზომიერი ცვლილება

ერთმანეთს შევადაროთ და ვაწარმოოთ ქსელის მუშაობის რეჟიმებისა და ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესების მიზნების ანალიზი.

ძაბვის მრუდის ჰარმონიული შემადგენლობა ნორმირებულია 2-დან 40 ჰარმონიკამდე ჩათვლით ძაბვის n -ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის მიხედვით: [4]

$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100\%$$

ძაბვის მრუდის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების კოეფიციენტით:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_2^{40} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

ანალოგიურად გამოითვლება კოეფიციენტები $K_{I(n)}$ K_I დენის მიხედვით, მაგამ ისინი არ ნორმირდებიან.

$$K_{I(n)} = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100\%; \quad K_I = \frac{\sqrt{\sum_2^{40} I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%$$

2.2. ენერჯისა და სიმძლავრის დანაკარგები ძაბვის სინუსოიდური და არასინუსოიდური მრუდეების ფორმის დროს

ელექტრული ენერჯის გადაცემის დროს ელექტრული წრედის თითოეულ ელემენტში ადგილი აქვს ენერჯის დანაკარგებს. ქსელის სხვადასხვა ელემენტებში დანაკარგების მდგენელების შესწავლისა და დანაკარგების შემცირების ამა თუ იმ ღონისძიების ჩატარების საჭიროების შეფასებისათვის, პირველ რიგში, სრულდება ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის ანალიზი.

მოქმედ ნორმატიულ დოკუმენტებში ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრისათვის გამოიყენება ფაქტიური (საანგარიშო) დანაკარგების ცნება.

ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგები ($\Delta W_{\text{ფ}}$) განისაზღვრება ტრანსფორმატორის სალტეებიდან გაცემული ელექტროენერჯისა (W_0) და მომხმარებლის მიერ გადახდილი და ენერგოსისტემის საწარმოო

საჭიროებისათვის დახარჯული ელექტროენერჯის ჯამის ($W_{მომბ.} + W_{ს.მ.}$), სხვაობით [35]:

$$\Delta W_{\text{ფ}} = W_0 - (W_{\text{მომბ.}} + W_{\text{ს.მ.}}),$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ $\Delta W_{\text{ფ}}$ სიდიდე შეიცავს არა მარტო ტექნიკურ დანაკარგებს ($\Delta W_{\text{ტ}}$), არამედ ელექტროენერჯის დანაკარგებსაც, რომლებიც განპირობებულია აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებითა ($\Delta W_{\text{ხელს.}}$) და კომერციული დანაკარგებით ($\Delta W_{\text{კ}}$). ეს დანაკარგები შედგება სხვადასხვა ბუნების მდგენელებისგან: 1. დანაკარგები ქსელის ელემენტებში, რომლებსაც გააჩნიათ წმინდა ფიზიკური ხასიათი; 2. ელექტროენერჯის ხარჯი, რომელიც გამოწვეულია ქვესადგურებში დადგმული მოწყობილობების მუშაობით, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროენერჯის გადაცემას; 3. ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებით გამოწვეული დანაკარგები; 4. ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების მიერ აღრიცხული მომარებული ელექტროენერჯის საფასურის გადაუხდელობით ან ნაწილობრივი გადახდით გამოწვეული დანაკარგები. დანაკარგების პირველი სამი მდგენელი წარმოადგენს ტექნიკურ დანაკარგს, ხოლო მეოთხე კი - კომერციულ დანაკარგს.

ელექტროენერჯის დანაკარგების დაწვრილებით განხილვამდე წარმოვადგინოთ ელექტროენერჯის გადაცემის პროცესის ძირითადი მახასიათებლები [36].

სინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროს:

ერთფაზა კვების შემთხვევაში:

აქტიური სიმძლავრე

$$P = UI \cos \varphi$$

რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q = UI \sin \varphi$$

სრული სიმძლავრე

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI$$

სამფაზა კვების შემთხვევაში:

აქტიური სიმძლავრე

$$P = \sqrt{3} U_b I_b \cos \varphi_x = 3 U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi_{\Phi}$$

რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q = \sqrt{3} U_b I_b \sin \varphi_b = 3 U_{\Phi} I_{\Phi} \sin \varphi_{\Phi}$$

სრული სიმძლავრე

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} U_b I_b = 3 U_{\Phi} I_{\Phi}$$

არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროს:

ერთფაზა კვების შემთხვევაში:

აქტიური სიმძლავრე

$$P_{k\Sigma} = \sum_{k=1}^n U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k$$

რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q_{k\Sigma} = \sum_{k=1}^n k \cdot U_k \cdot I_k \cdot \sin \varphi_k$$

სრული სიმძლავრე

$$S_{k\Sigma} = \sqrt{P_{k\Sigma}^2 + Q_{k\Sigma}^2 + T_{k\Sigma}^2}$$

სადაც k ჰარმონიკის რიგი; $T_{k\Sigma}^2$ - დამახინჯების სიმძლავრეა, რომელიც გამოწვეულია დენისა და ძაბვის მრუდების არასინუსოიდურობით.

სამფაზა კვების შემთხვევაში გაანგარიშება ხდება თითოეული ფაზისათვის ერთფაზა კვების ანალოგიურად, ხოლო შემდეგ მიღებული შედეგები ჯამდება.

აქტიური სიმძლავრე ტოლია:

$$P_{\Sigma} P = \sum P_{Ak} + \sum P_{Bk} + \sum P_{Ck}$$

რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია:

$$\sum Q = \sum Q_{Ak} + \sum Q_{Bk} + \sum Q_{Ck}$$

სრული სიმძლავრე ტოლია:

$$S = \sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2 + \sum T^2}$$

განვიხილოთ თითოეული დანაკარგი ცალცალკე.

ელექტროენერგიის ტექნიკური დანაკარგები ($\Delta W_{\text{ტექ}}$), განპირობებულია ელექტროქსელებში ელექტროენერგიის გადაცემის დროს

მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით, გამოხატული ქსელის ელემენტებში ენერჯიის ნაწილის სითბოდ გადაქცევით.

სინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროს R წინაღობის ქსელის ელემენტზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით [37]:

$$\Delta P = S^2 R / U^2 = I^2 R$$

არაწრფივი ანუ არასინუსოიდური დატვირთვა სასარგებლო ენერჯიად გარდაქმნის მხოლოდ პირველი ჰარმონიკის ენერჯიას, მოხმარებული ენერჯიის დანარჩენი ნაწილი უბრუნდება უკან ელექტრულ ქსელს, რითაც ქმნის სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს, რომლებიც ტოლია

$$\Delta P_{k\Sigma} = \sum_{k=2}^n I_k^2 \cdot r_k,$$

სადაც r_k მოცემული ელემენტის წინაღობაა.

ამგვარად, სიმძლავრის საერთო დანაკარგები შეადგენს:

$$\Delta P = I_1^2 \cdot r_1 + I_k^2 \cdot r_k$$

მოთხოვნილი აქტიური ელექტროენერჯია დამახინჯების სიმძლავრის გათვალისწინებით შეადგენს:

$$W_0 = T \cdot \sum_{k=0}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k = T \cdot \sum_{k=0}^{\infty} P_k,$$

სადაც T – არის ელექტროენერჯიის მოხმარების დრო, სთ.

ელექტრული ქსელის R წინაღობის ელემენტში ელექტროენერჯიის ტექნიკური დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{ტ}} = \sum_{k=1}^n R_k \int_0^T I_k^2(t) dt \approx \sum_{k=1}^n R_k \cdot \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I_{kj}^2,$$

სადაც $I_k(t)$ – არის t დროის მომენტში ელემენტში გამავალი სრული დენი, რომელიც ითვალისწინებს ყველა ჰარმონიკას; ΔT – არის დროის ინტერვალი ორ მიმდევრობით გაზომვას შორის, თუ გაზომვები ხორციელდებოდა დისკრეტულად დროის მცირე ტოლ შუალედებში.

ცნობილი ტექნიკური დანაკარგების დროს კომერციული დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{კ}} = \Delta W_{\text{ტ}} - \Delta W_{\text{ხელს.}}$$

ეკონომიურად დასაბუთებული ანუ ოპტიმალური ტექნიკური დანაკარგები ($W_{\text{ობტ}}$) განისაზღვრება როგორც ფაქტიური დანაკარგებისა ($\Delta W_{\text{ფაქტ.}}$) და იმ მიღებული დანაკარგების (δW) სხვაობით, რომელიც შეიძლება მიღწეული იქნეს დანაკარგების შემცირების ყველა შესაძლო ღონისძიების დანერგვის შემდეგ[37]:

$$\Delta W_{\text{ობტ}} = \Delta W_{\text{ფაქტ.}} - \delta W$$

ქსელის ელემენტებში დანაკარგებს მიეკუთვნება ტრანსფორმატორების უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის დანაკარგები, რომელთა მნიშვნელობები ტრანსფორმატორის სიმძლავრის მიხედვით აიღება სპეციალური ცხრილებიდან.

ამგვარად, ელექტროენერგიის ტექნოლოგიურ, ინსტრუმენტალურ და კომერციულ დანაკარგებთან ერთად არასინუსოიდური დენის წრედებში განსაზღვრულ წილს შეადგენს ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებით გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგები.

2.3. მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის ხარისხისა და დანაკარგების დონის ექსპერტიმენტული კვლევის შედეგები

ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის დანაკარგების რეალური დონის შეფასები-სათვის ნსაჭიროა ვიცოდეთ ელექტრული ქსელის შედგენილობა, ელექტროენერგიის მოხმარების დონე და ძაბვისა და დენის მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების დონე.

მოცემული სამუშაოს ჩარჩოებში მოყვანილია ქ.თბილისის დელისის საექსპლუატაციო უბანში მოქმედი ელექტრული ქსელების სტატისტიკური კვლევები. გამოკვლეულია 122 სატრანსფორმატორო ქვესადგური, რომელიც კვებავს კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვას და მათგან გამომავალი საკაბელო ხაზები.

მოქმედ ელექტროდანადგარებზე ტექნიკური დანაკარგების გაანგარიშება ხდება სინუსოიდური დენებისა და ძაბვებისათვის. ამ დროს სიმძლავრის კოეფიციენტი მიღებულია $\cos\varphi=0,9$. ნულოვანი სადენის კვეთი მიღებულია

ფაზური სადენის კვეთის ტოლად. მაჩვენებლების მიხედვით ელექტროენერჯის ხარისხის მდგომარეობა, რომელიც განსაზღვრავს ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობას, გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მიიღება.

კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.1.

ცხრილი 2.1. მოქმედი 0,4 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელების სტატისტიკური გამოკვლევების შედეგები

დასახელება	მაქსიმალური	მინიმალური	საშუალო
ს/ქს ტრანსფორმატორის სიმძლავრე 6/0,4,კვა	1000	63	400
ქს-დან გამავალი კაბელების რიცხვი	7	1	4
კაბელის კვეთი და მარკა	ABBΓ -185	AC-50	ABBΓ -125
ერთი ქს-დან გაშვებული სრული სიმძლავრე,კვა	650	4	130
ერთი ქს-დან გაშვებული აქტიური სიმძლავრე,კვტ	585	3,6	117
ერთი ქს-დან გაშვებული რეაქტიული სიმძლავრე,კვარ	283	1,73	57
საკაბელო ხაზის სიგრძე, კმ	4,5	0,6	2,2
აბონენტების რიცხვი ერთ ქვესადგურზე	543	1	108
ერთი აბონენტის მიერ საშუალო თვიური მოხმარება, კვტ.სთ/თვეში	300	280	158
საანგარიშო ტექნიკური დანაკარგები 0,4 კვ საკაბელო ხაზებში,%	14,3	0,16	8,4
საანგარიშო ტექნიკური დანაკარგები 1 კმ სიგრძეზე, კვტ/კმ.	8,5	0,02	3,8

ამავე ქსელებში სეწმეკის წარმომადგენლებთან ერთად ჩატარდა ელექტროენერჯის ხარისხის კვლევითი სამუშაოები. სეწმეკ-ის კუთვნილი G4500 ტიპის პორტარტული ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ანალიზატორით, რომლის საერთო ხედი წარმოდგენილია ნახ.2.3 –ზე.



ნახ.2.3. G4500 ტიპის პორტარტული ანალიზატორი.

გაზომვის შედეგები შეტანილია ცხრილი 2.2-ში და ცხრილი 2.3-ში.

ცხრილი 2.2. კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის გაზომვის შედეგები.

ელ.ენერჯის ხარისხის მავენებელი	გადაჭარბება 6 კვ ძაბვის ქსელში, %	გადაჭარბება 0,4 კვ ძაბვის ქსელში, %
Δf	0	0
δU	94	89
K_{2U}	6	3
K_{0U}	-	42
K_U	6	2
$K_{U(n)}$	15	32

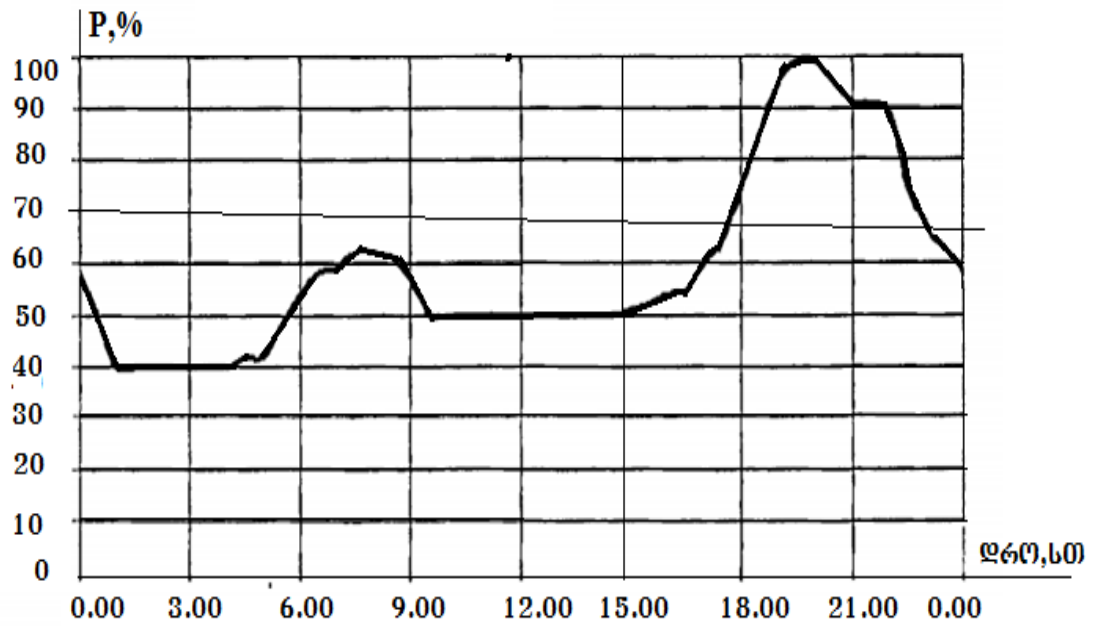
ცხრილი 2.3. ელექტროენერჯის გაზომვის შედეგები 0,4 კვ ძაბვის კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის ელექტრულ ქსელებში.

ელენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის დასახელება	ელენერჯის ხარისხის მაჩვენებლის მნიშვნელობა, %
KU	1,15-6,89
KU(3)	0,53-4,76
KU(5)	0,62-2,64
KU(7)	0,52-1,79
KI	2,3-18
KI(3)	1,6—10,5
KI(5)	2,4-8,9
KI(7)	1,3-4,6

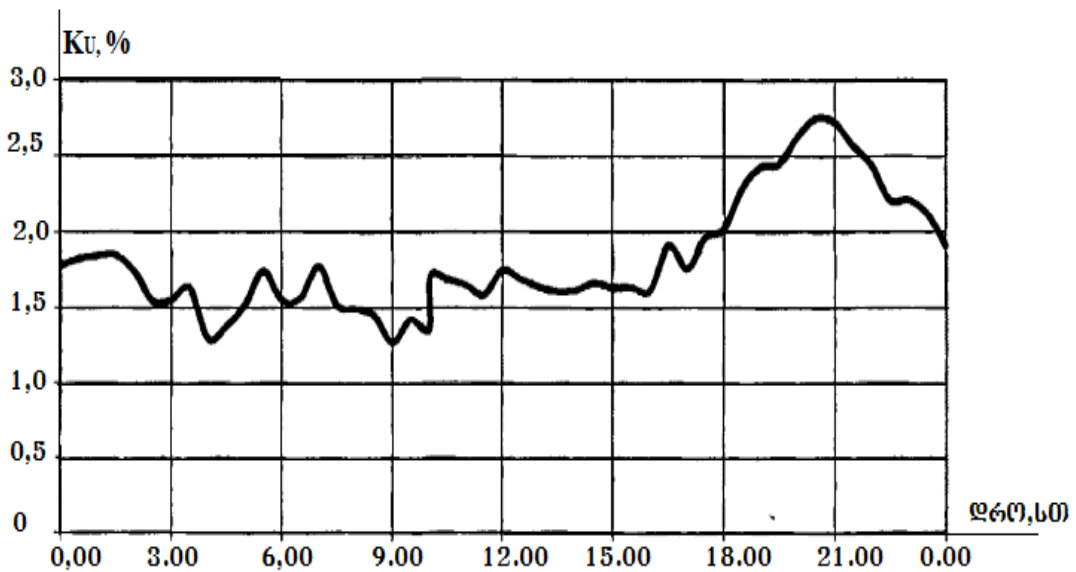
ძაბვისა და დენის სინუსოიდური მრუდეების დამახინჯება იცვლება დღე-ღამის განმავლობაში კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორის მოხმარების რეჟიმების მიხედვით. ნახ.2.4-ზე, ნახ.2.5-ზე და ნახ.2.6-ზე ნაჩვენებია ასეთი ცვლილების მაგალითები, რომელიც დაფიქსირებულია კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორის დატვირთვის მკვებავ ქვესადგურზე დღე-ღამის განმავლობაში.

მოყვანილ ნახაზებზე კარგად ჩანს დენისა და ძაბვის მრუდების დამახინჯების დამოკიდებულება მოხმარებულ სიმძლავრეზე. დღე-ღამის განმავლობაში ძაბვისა და დენის მრუდის დამახინჯების კოეფიციენტის ზრდა და კლება ემთხვევა საცხოვრებელი სახლის მოთხოვნილი სიმძლავრის მახასიათებელი გრაფიკის ნახტომსა და ვარდნას. თავის მხრივ, ძაბვის მრუდის დამახინჯების ფორმის კოეფიციენტი იცვლება დენის მრუდის დამახინჯების კოეფიციენტის ცვლილებასთან ერთად.

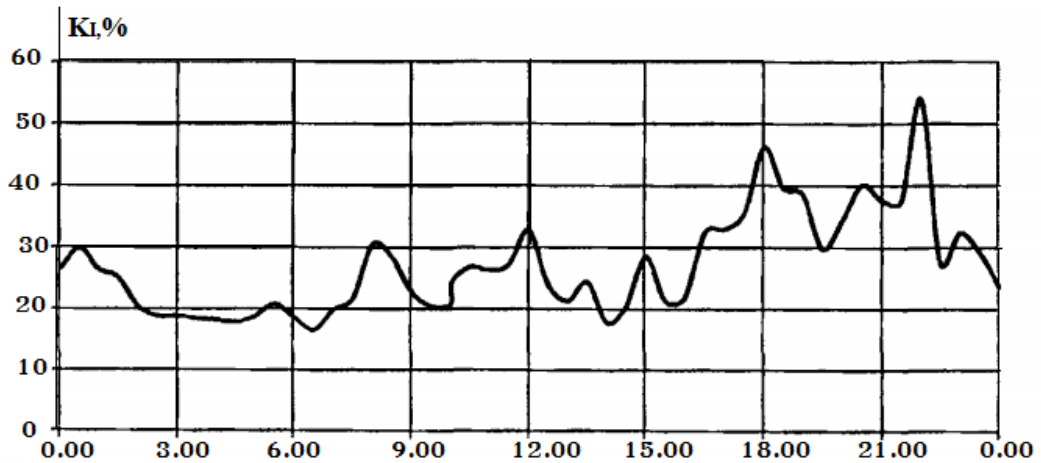
მოცემული დამოკიდებულება ადასტურებს, რომ კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორის დატვირთვა აუარესებს ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებს. სახელდობრ, მიმდინარეობს დენის საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებით გამოწვეული დენის მაღალსიხშირული ემისია.



ნახ.2.4. საცხოვრებელი სახლის აქტიური სიმძლავრის მოხმარების ტიპიური გრაფიკი



ნახ.2.5. კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის მკვებავი სატრანსფორმატორო ქვესადგურის სალტებზე ძაბვის მრუდის ფორმის კოეფიციენტის დღელამური ცვლილების გრაფიკი



ნახ.2.6. კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის მკვებავი სატრანსფორმატორო ქვესადგურის სალტებზე დენის მრუდის ფორმის კოეფიციენტის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი

საჭიროა აღინიშნოს 0,4 კვ ელექტრული ქსელების კონსტრუქციული თავისებურებანი, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენს დენებისა და ძაბვების უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების მნიშვნელობაზე. პროექტირების პრაქტიკაში დამყარებული 10(6)/ 0,4 კვ ქსელებში ყველაზე უფრო ფართოდ გავრცელებულია ტრანსფორმატორების Y/Y-0 შეერთების სქემები.

ასეთი ტრანსფორმატორების ძირითადი უარყოფითი მხარეა ნულოვანი თანმიმდევრობის შედარებით დიდი წინაღობა Z^0_T , რომელიც განისაზღვრება კონსტრუქციული თავისებურებებით, გრაგნილების შეერთების სქემით, მაგნიტოგამტარის ღეროს გაჟღენთვის ხარისხით და სხვა. უნდა აღინიშნოს, რომ ტრანსფორმატორის ნულოვანი თანმიმდევრობის აქტიური R^0_T , რეაქტიული X^0_T და სრული Z^0_T წინაღობების განსაზღვრის საკითხებს მიძღვნილი აქვს შრომები [38,39], რომლებშიც მოყვანილი შედეგებიდან შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ TM, TMA, TCMA ტიპის ტრანსფორმატორებისთვის ნულოვანი თანმიმდევრობის სრული წინაღობა Z^0_T 8-18-ჯერ მეტია ვიდრე პირდაპირი თანმიმდევრობის წინაღობა. Y/Y-0-ზე შეერთების სქემის ტრანსფორმატორების ასეთი თავისებურება არასინუსოიდური ფაზური დენების მიმართ ხდის მას ძლიერ მრძნობიარეს.

0,4 კვ ძაბვის საჰაერო და საკაბელო ხაზების შესრულების მახასიათებელ თავისებურებას უპირველესად წარმოადგენს ის, რომ საჰაერო ხაზის ნულოვანი სადენის კვეთი 3-9-ჯერ ნაკლებია ფაზური სადენების ჯამურ კვეთზე, ხოლო კაბელის ნულოვანი სადენის კვეთი 5-14 -ჯერ ნაკლებია ფაზური სადენების ჯამურ კვეთზე.

შედეგად, საჰაერო ხაზის ნულოვანი თანმიმდევრობის წინაღობა 4-10-ჯერ, ხოლო საკაბელო ხაზის 6-15-ჯერ მეტია ვიდრე უკუთანმიმდევრობის წინაღობა. გარდა ამისა, 0,4 კვ ხაზების მახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ ტრანსფორმატორებისა და ხაზების სრული წინაღობის აქტიური მდგენელები ძალიან მნიშვნელოვანია. ეს იწვევს ელექტროქსელების პროექტირებისა და მათი მუშაობის რეჟიმების გაანგარიშების დროს მათი გათვალისწინების საჭიროებას.

ამგვარად, 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში აღიძვრება ფაზური ძაბვების მნიშვნელოვანი არასინუსოიდურობა, რომლებიც განპირობებულია უმაღლესი ჰარმონიკების დენებით და სამფაზა ოთხსადენიანი ქსელების ელემენტების ნულოვანი თანმიმდევრობის დიდი წინაღობებით.

2.4. 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში დენისა და ძაბვის დამახინჯების გავრცელების ანალიზი

ელექტროენერჯიის წყაროდან ელექტრომიმღებისაკენ ელექტროენერჯიის ნაკადი აღიწერება უმოვ-პოიტინგის ვექტორით, რომელსაც ელექტრომაგნიტური ველის ენერჯიის ნაკადის სიმკვრივის ვექტორი ეწოდება [11]:

$$-\oint \bar{\Pi} \cdot d\bar{S} = p(t) + \frac{\partial}{\partial t}(W_g + W_a)$$

სადაც $\bar{\Pi} = [\bar{E} \cdot \bar{H}]$ - პოიტინგის ვექტორია;

$p(t)$ - სადენებში მყისი სიმძლავრეა;

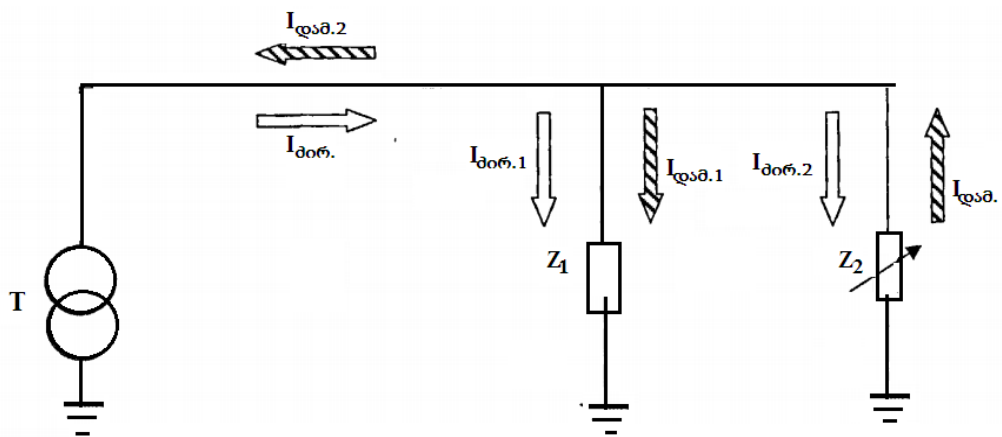
W_g , W_a - ელექტრული და მაგნიტური ველების მყისი ენერჯიაა.

უმოვ - პოიტინგის თეორემიდან გამომდინარეობს, რომ ელექტროენერჯიის გადაცემის პროცესს აქვს ორი მიმართულების ხასიათი.

მაშასადამე, ენერგია შეიძლება მიდიოდეს არა მხოლოდ გენერატორიდან დატვირთვისაკენ, არამედ პირიქითაც. ენერგიის ამ თვისებას მივყავართ ენერგიის გადაცემის ეფექტურობის შემცირებისაკენ და სიმპლავრისა და ელექტროენერგიის დანაკარგების გაზრდისაკენ.

დატვირთვა, რომელსაც გააჩნია მოხმარების არაწრფივი მახასიათებელი, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, წარმოადგენს დენისა და ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს. ასეთ დატვირთვას გააჩნია გარდამქმნელი თვისებები. მოიხმარს რა ძირითადი სიხშირის დენს, იგი ენერგიის ნაწილს გარდაქმნის დამახინჯების ენერგიად და გენერირებს უკან ქსელში, უმოვ-პოიტინგის კანონით ელექტროენერგიის ორი მიმართულების შესახებ.

ქსელში დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების გავრცელებას აქვს რთული ხასიათი. ქსელში არა მხოლოდ დამამახინჯებელი, არამედ წრფივი დატვირთვის მქონე მოხმარებლების არსებობის დროსაც უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების დენების გავრცელების მიმართულებას ექნება ნახ.2.7-ზე წარმოდგენილი სახე [40].



ნახ.2.7. დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების გავრცელების ხასიათი წრფივი და არაწრფივი დატვირთვის არსებობის დროს.

ნააზზე Z_1 წრფივი მახასიათებლის მქონე ელემენტის წინააღობაა;

Z_2 - არაწრფივი მახასიათებლის მქონე ელემენტის წინააღმდეგ;

$I_{\text{ბირ.}}$, $I_{\text{ბირ.1}}$, $I_{\text{ბირ.2}}$ - ძირითადი სიხშირის დენებია; $I_{\text{დამ.}}$, $I_{\text{დამ.1}}$, $I_{\text{დამ.2}}$ - დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელებია, რომლებიც გამოწვეულია $I_{\text{ბირ.2}}$ დენის დამამახინჯებელი დატვირთვის გარდაქმნით.

T - ტრანსფორმატორია.

უმაღლესი ჰარმონიკები ქმნიან სხვადასხვა თანმიმდევრობის მაგნიტურ ველებს. რადგანაც თითოეულ ფაზაში ძაბვის მრუდები ერთმანეთის მიმართ დაძრულია 120° -ით (ანუ მესამე ჰარმონიკის სრული პერიოდით) ამიტომ მესამე ჰარმონიკის დენები ერთმანეთს ფაზით ემთხვევა და ქმნის ნულოვან თანმიმდევრობას, იგივე ეხება სამის ჯერად ყველა ჰარმონიკას. ამიტომ სამფაზა წრედში სამის ჯერად ჰარმონიკებს არ შეუძლია არსებობა ნულოვანი სადენის გარეშე. ასევე არ შეუძლია სამკუთხედად შეერთებული გრაგნილების საზღვრებს გარეთ გამოღწევა.

ფაზების მონაცვლეობის წესი $n = 4, 7, 10, 13 \dots [(n-1)/3]$ ჰარმონიკებისათვის ემთხვევა პირდაპირ, ხოლო $n = 2, 5, 8, 11 \dots [(n+1)/3]$ ჰარმონიკებისათვის ემთხვევა უკუთანმიმდევრობის წესს. სისტემაზე უფრო რთულ ზემოქმედებას იწვევს ისდ ჰარმონიკები, რომელთა ამპლიტუდები თითოეულ ფაზაში განსხვავებულია. მაგალითად, ქსელში ერთფაზა მომხმარებლის ჩართვის დროს, როცა თითოეული მათგანი რეგულირდება თავისი დატვირთვით. ამ შემთხვევაში თითოეული ჰარმონიკის არასიმეტრიული სისტემა თავის მხრივ შეიძლება დაშლილი იქნეს სიმეტრიულ მდგენელებად, ამ დროს ჰარმონიკების უკუთანმიმდევრობა $n = 2, 5, 8, 11, \dots$ დაემთხვევა ძირითადი სიხშირის ფაზების მიმდევრობას, ხოლო ჰარმონიკებს $n = 4, 7, 10, 13, \dots$ ექნება უკუთანმიმდევრობის წესი.

დამახინჯებები წარმოადგენს ვექტორულ სიდიდეებს, რომელთა შეჯამებამ დიაპაზონში შეიძლება მიგვიყვანოს არითმეტიკული შეჯამებიდან (ფაზური კუთხეების თანხვედრის დროს) არითმეტიკულ სხვაობამდე (ურთიერთსაწინააღმდეგო ფაზური კუთხეების დროს) [41].

დამოუკიდებელი ვექტორების დროს, რომლის მოდულები იცვლება შემთხვევითი სახით 0-დან 1-მდე, ხოლო ფაზური კუთხეები 0-დან 360⁰-მდე. მათი ჯამის მოდული განისაზღვრება კვადრატული შეჯამების კანონიდან გამომდინარე. შეჯამებული სახით შეჯამებულ ვექტორებად შეიძლება ჩაითვალოს უკუ და ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვები.

ნაშრომში [42] მოყვანილმა კვლევებმა აჩვენა, რომ გარდამქმნელების მიერ გენერირებული ჰარმონიკები ჯამდება სხვადასხვა ხერხით, ჰარმონიკის რიგის მიედვით: მე-3, მე-5, და მე-7 ჰარმონიკები ჯამდება არითმეტიკულად, მე-11 და მე-13 ჰარმონიკები 1,4 ხარისხით, ხოლო უფრო მაღალი რიგის ჰარმონიკები კი - მეორე ხარისხით.

შეჯამების აბსოლუტურად შემთხვევითი ხასიათი შეიძლება დასაშვები იყოს არაკანონიკური (ლუწი) ჰარმონიკებისათვის, ასევე ნებისმიერი ჰარმონიკისათვის, რომელიც გენერირებულია არაგარდამქმნელი დანადგარებით. თუ ხარისხის მაჩვენებელს, რომელიც ახასიათებს შეჯამების მექანიზმს α -თი აღვნიშნავთ, მაშინ განსახილველი სახის დამახინჯების დონის შეჯამებისათვის საერთო ფორმულა ექნება შემდეგი სახე

$$\Pi_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \Pi_{i\alpha}}$$

სადაც k -დამახინჯების წყაროს რიცხვია.

ცხრილი 2.4-ში მოცემულია მონაცემები ფრანგული კომპანიის “electrosity de Frans” -ის მიერ შესწავლილი სხვადასხვა ტელევიზორის მიერ გენერირებული ჰარმონიკების შეჯამების სტატისტიკის [43], შესახებ, ხოლო ცხრილში 2.5. კი მოცემულია ერთიანად ჩართული სატელევიზიო მიმღებების დენის ჰარმონიკების სტატისტიკური შეჯამების შედეგები, სადაც β -არის ჯამური დენის ფარდობა დენების ჯამთან.

ცხრილი 2.4. სხვადასხვა ტელევიზორის მიერ გენერირებული დენის კენტი რიგის ჰარმონიკების ტიპური მნიშვნელობები.

ჰარმონიკის ნომერი	მიმღების ტიპი			
	შავ- თეთრი ნათურებიანი	შავ-თეთრი ტრანზისტორებზე	ფერადი დიოდურ ბოგირზე	ფერადი ტირისტორებზე
3	0,53	0,32	0,73	0,82
5	0,31	0,25	0,59	0,66
7	0,13	0,15	0,43	0,34
9	0,055	0,08	0,27	0,14
11	0,055	0,04	0,15	0,09
15	0,03	0,03	0,045	0,04

ცხრილი 2.5. ერთიანად ჩართული სატელევიზიო მიმღებების დენის ჰარმონიკების სტატისტიკური შეჯამების შედეგები

მიმღების რ-ბა ფაზაში	პარამეტრი	ჰარმონიკის ნომერი				
		1	3	5	7	9
1	დენი ფაზაში, ა	0,8	0,67	0,48	0,29	0,09
10	დენი ფაზაში, ა	8,00	5,80	3,5	1,70	0,70
	β ფაზის	1,00	0,86	0,73	0,58	0,77
	დენი ნეიტრალში, ა	1,0	1,74	0,70	0,60	2,1
	β ნეიტრალის	0,12	2,60	0,14	0,20	2,30
80	დენი ფაზაში, ა	64,0	37,60	13,20	3,80	1,70
	β ფაზის	1,00	0,70	0,34	0,16	0,23
	დენი ნეიტრალში, ა	9,60	116,0 0	3,0	0,90	4,60
	β ნეიტრალის	0,15	2,10	0,08	0,04	0,63

2.5 .ძაბვისა და დენის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების წყაროების მქონე 0,4 კვ ძაბვის ქსელების გაანგარიშების მეთოდოლოგია

როგორც ცნობილია, დატვირთვა, რომელსაც გააჩნია არაწრფივი მახასიათებელი, წარმოადგენს დენისა და ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს. ასეთ დატვირთვას გააჩნია გარდამქმნელი თვისებები. მოიხმარს რა ძირითადი სიხშირის დენს, იგი ენერგიის ნაწილს გარდაქმნის დამახინჯების ენერგიად და გენერირებს უკან ქსელში. ენერგიის ეს თვისება იწვევს ენერგიის გადაცემის ეფექტურობის შემცირებასა და ელექტროენერგიის სიმძლავრის დანაკარგების ზრდას.

როგორც არსებულ, ასევე პროექტირების სტადიაში მყოფი ენერგეტიკული სისტემებისათვის უმაღლესი ჰარმონიკების გავრცელების ანალიზი წარმოებს როგორც ანგარიშით, ასევე გაზომვების შედეგების საფუძველზე.

ამასთანავე, უნდა აღინიშნოს, რომ თავისებურებების აღრიცხვისათვის უმაღლესი ჰარმონიკების გავრცელების დროს საჭიროა შედგენილი იქნეს ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა, რომელშიც ყველა მისი ელემენტი შეცვლილი უნდა იქნეს მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული ჯაჭვებით და უმაღლესი ჰარმონიკების ძაბვისა და დენის წყაროებით, ანუ დამატებითი წყაროებით, როგორც დამახინჯების წყაროები.

ცნობილია, რომ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებისათვის ელექტროენერგეტიკული სისტემის ელემენტების უმრავლესობის ჩანაცვლების სქემები განსხვავდება ჩანაცვლების სქემებისაგან ძირითად სიხშირეზე და ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულია ჰარმონიკის რიგზე. ეს თავისებურებები აღწერილია ნაშრომებში [16,20]. სადაც გადმოცემულია ელექტრული ქსელის კვანძებში უმაღლესი ჰარმონიკების დონეების გაანგარიშების თეორიული საფუძველები.

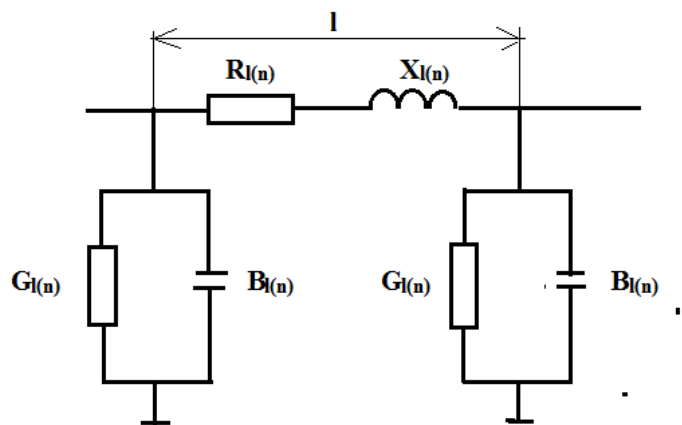
საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზი ნომინალური ძაბვების დროს უმაღლესი ჰარმონიკების გავრცელების გაანგარიშებისას ჩვეულებრივ წარმოდგინდება II-სებრი უჯრედების მიმდევრობით შეერთებული ჯაჭვის სახით (ნახ.2.8). ეს საშუალებას იძლევა სხვადასხვა რიგის ჰარმონიკებისათვის გავითვალისწინოთ მისი პარამეტრების განაწილება, გრძივი აქტიური და რეაქტიული წინაღობებისა და განივი აქტიური და რეაქტიული გამტარობების ცვლილებები.

ჩანაცვლების სქემის პარამეტრები n -ური რიგის ჰარმონიკისათვის გამოითვლება ფორმულებით:

$$R_{l(n)} = r_0 \cdot l \cdot \sqrt{n}; \quad X_{l(n)} = x_0 \cdot l \cdot \sqrt{n}; \quad G_{l(n)} = g_0 \cdot \frac{l}{2}; \quad B_{l(n)} = b_0 \cdot \frac{l}{2 \cdot n}$$

სადაც r_0, x_0 - არის ხაზის კუთრი გრძივი აქტიური და რეაქტიული წინაღობები (ომი/კმ), ხოლო g_0, b_0 - არის ხაზის კუთრი განივი აქტიური და რეაქტიული გამტარობები (სიმ/კმ);

l - ხაზის სიგრძეა, (კმ).



ნახ.2.8. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის II-სებრი ჩანაცვლების სქემა

ელექტრული ქსელების პროექტირების დროს საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს, რომ ნულოვანი თანმიმდევრობის ჰარმონიკები შეიძლება შეიკრას არა მხოლოდ ტრანსფორმატორის ნეიტრალის გავლით, არამედ ნაწილობრივ საყრდენების განმეორებითი ჩამიწების გავლითაც.

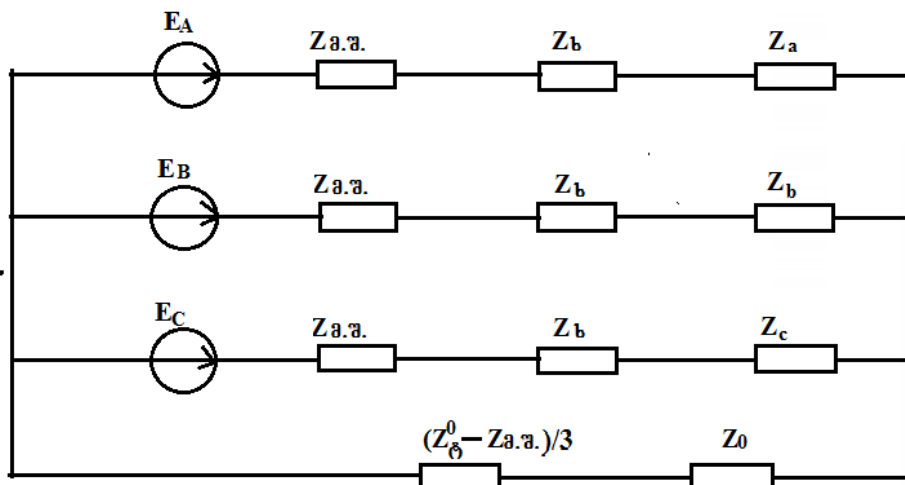
თუ დავუშვებთ, რომ დამამახინჯებელი დატვირთვის გარდა, ქსელის დანარჩენ ელემენტებს აქვთ წრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები და ქსელი სიმეტრიულია, მაშინ ქსელის სამფაზა ოთხსადენიან სქემას ექნება სახე [43]:

სადაც, E_A, E_B, E_C – ემძ-ების სიმეტრიული სამფაზა სისტემა;

$Z_{a.a.}, Z_0^0$ – ტრანსფორმატორის მოკლედ შერთვისა და ნულოვანი თანმიმდევრობის წინააღობებია;

Z_b, Z_0 – ხაზის ფაზური და ნულოვანი სადენების წინააღობებია;

Z_a, Z_b, Z_c – სამი ნებისმიერი დატვირთვის წინააღობაა, რომელთა პარალელურადაც ჩაირთვება დატვირთვის არასწრფივი ელემენტები.



ნახ.2.9. 0,4 კვ ძაბვის სამფაზა ოთხსადენიანი ქსელის ჩანაცვლების სქემა.

მოცემული მოდელი ითვალისწინებს 0,4 კვ ქსელის პარამეტრებს, სახელდობრ, ტრანსფორმატორის სიმძლავრესა და შეერთების სქემებს, შესრულებას, ხაზის სადენების სიგრძესა და კვეთს, დატვირთვის პარამეტრებს და საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ მოცემული ქსელის ყველა დენისა და ძაბვის გაანგარიშება.

საკუთრივ ჩანაცვლების სქემაში არაწრფივი დატვირთვა, როგორც წესი, წარმოდგინდება დენის წყაროს სახით. წარმოდგენის ეს ფორმა საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ ელექტრული ქსელის მუშაობის რეჟიმების

განგარიშება დენისა და ძაბვის თითოეული n -ური რიგის ჰარმონიული მდგენელისათვის.

წარმოდგენის ასეთი ფორმის დროს დატვირთვაზე მიღებული ძაბვის დამახინჯებული სინუსოიდური მრუდი შეესაბამება შენობის შემყვანზე ფაზური ძაბვის არასინუსოიდურობას, ხოლო ხაზში დენის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯება შეესაბამება გარე მკვებავ ქსელში ფაზური დენის არასინუსოიდურობას. სინამდვილეში, 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში თითოეული ელექტრომიმღები ჩართულია შენობის შიდა ქსელის კონკრეტულ წერტილთან და შესაბამისად აქვს ძაბვა და დენი, რომლის ფორმა განსხვავდება შენობის შემყვანზე ძაბვის ფორმისა და გარე მკვებავ ქსელში ფაზური დენის მრუდის ფორმისაგან.

ძაბვისა და დენის მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების დონე ერთ კვანძში მთლიანი დატვირთვის ეკვივალენტურობის ცდომილების გამო შეიძლება ზუსტი არ იყოს, მაგრამ საინჟინრო პრაქტიკაში არაწრფივი დატვირთვის წარმოდგენის ასეთი ფორმა თავისი სიმარტივისა და საიმედოობის გამო მისაღებია.

ამ ფორმის დროს რეჟიმების განგარიშებისათვის გარე სისტემა ითვლება უსასრულო სიმძლავრის სისტემად, ხოლო ხაზის წრედის პარამეტრები განისაზღვრება თითოეული ჰარმონიკისათვის ცალცალკე.

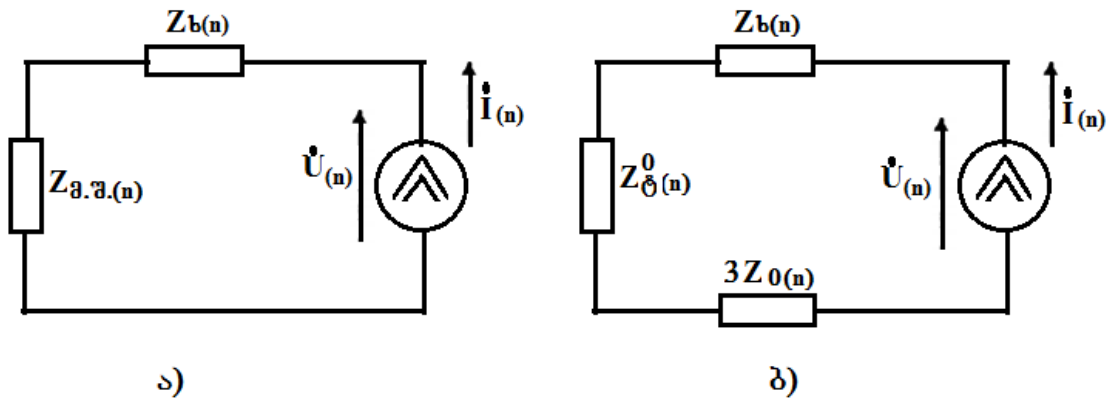
0,4 კვ ძაბვის ქსელებში სამის ჯერადი ჰარმონიკების გავლის გზა განსხვავდება დანარჩენი ჰარმონიკების გავლის გზისაგან. ამის შესაბამისად, ნულოვანი და პირდაპირი/უკუ თანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის ჩანაცვლების სქემები ერთმანეთისაგან განსხვავებული იქნება.

ნახ.2.10.ა-ზე მოცემულია 0,4 კვ ძაბვის ჩანაცვლების სქემა დენის წყაროთი პირდაპირი და უკუთანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის, ხოლო ნახ.2.10.ბ-ზე – ნულოვანი თანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის.

სადაც $\dot{U}_{(n)}$, $\dot{I}_{(n)}$ – ქსელის n -ური ჰარმონიკის ძაბვა და დენია.

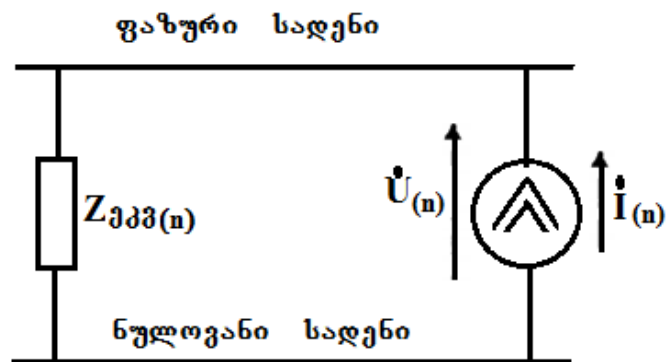
$$\dot{U}_{(n)} = - \dot{I}_{(n)} \cdot Z_{(n)},$$

სადაც $Z_{(n)}$ = ქსელის n -ური ჰარმონიკის ეკვივალენტური წინაღობაა.



ნახ.2.10. 0,4 კვ ძაბვის ქსელების ჩანაცვლების სქემა დენის წყაროთი: ა - პირდაპირი და უკუთანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის; ბ- ნულოვანი თანმიმდევრობის ჰარმონიკებისათვის.

კომუნალურ - საყოფაცხოვრებო სექტორის ელექტრომიმღებებს თავის შემადგენლობაში გააჩნიათ როგორც წრფივი ასევე არაწრფივი საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოები, ამიტომ ცალკე აღებული დატვირთვის კვანძი (საცხოვრებელი სახლი), ჩანაცვლების სქემაზე წარმოდგენილი იქნება დენის წყაროთი და მასთან პარალელურად ჩართული ეკვივალენტური დატვირთვით (ნახ.2.11).

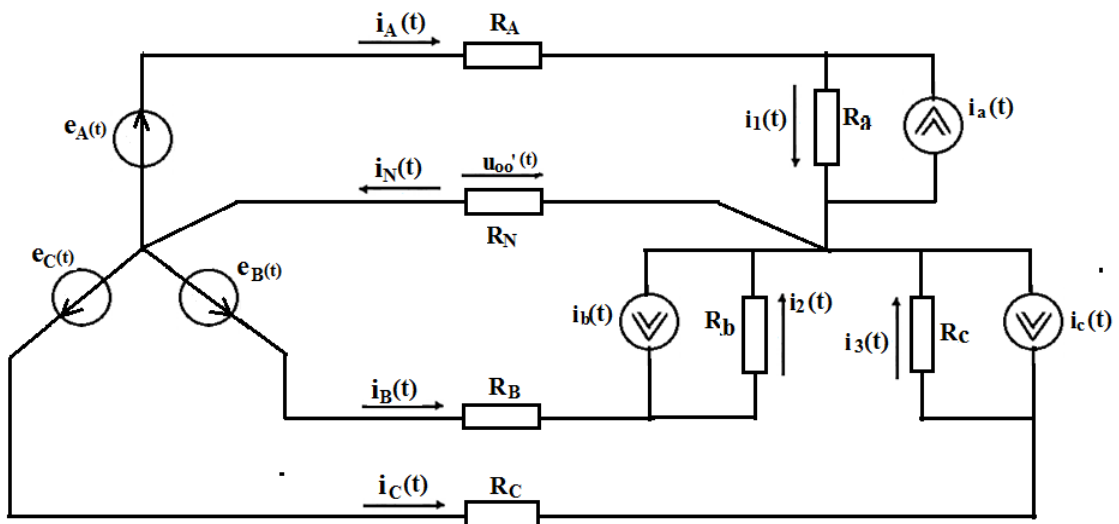


ნახ.2.11. საცხოვრებელი კვანძის დატვირთვის ჩანაცვლების სქემა;

ნახაზზე $Z_{გგ(n)}$ - საცხოვრებელი სახლის ელექტრომიმღებების ეკვივალენტური წინაღობაა.

სამფაზა ოთხსადენიან ელექტრულ ქსელს, რომელიც შეიცავს დამახინჯების წყაროს ეკვივალენტური ფაზური დატვირთვით ექნება ნახ. 2.12-ზე წარმოდგენილი სახე [44]:

სადაც $e_A(t)$, $e_B(t)$, $e_C(t)$ – ემძ-ების სამფაზა სიმეტრიული სისტემა; R_A , R_B , R_C , R_N - ხაზის ფაზური და ნულოვანი სადენების წინაღობებია; R_a , R_b , R_c - სამი ნებისმიერი დატვირთვის წინაღობებია, რომელთა პარალელურად ჩართულია არაწრფივი დატვირთვები (დენის წყაროები); $i_a(t)$, $i_b(t)$, $i_c(t)$, $i_n(t)$ - ხაზის ფაზურ და ნულოვან სადენებში გამავალი დენებია; $I_a(t)$, $I_b(t)$, $I_c(t)$ - არაწრფივი დატვირთვის ფაზური დენებია; $I_1(t)$, $I_2(t)$, $I_3(t)$ - დატვირთვის წინაღობაში გამავალი ფაზური დენებია.



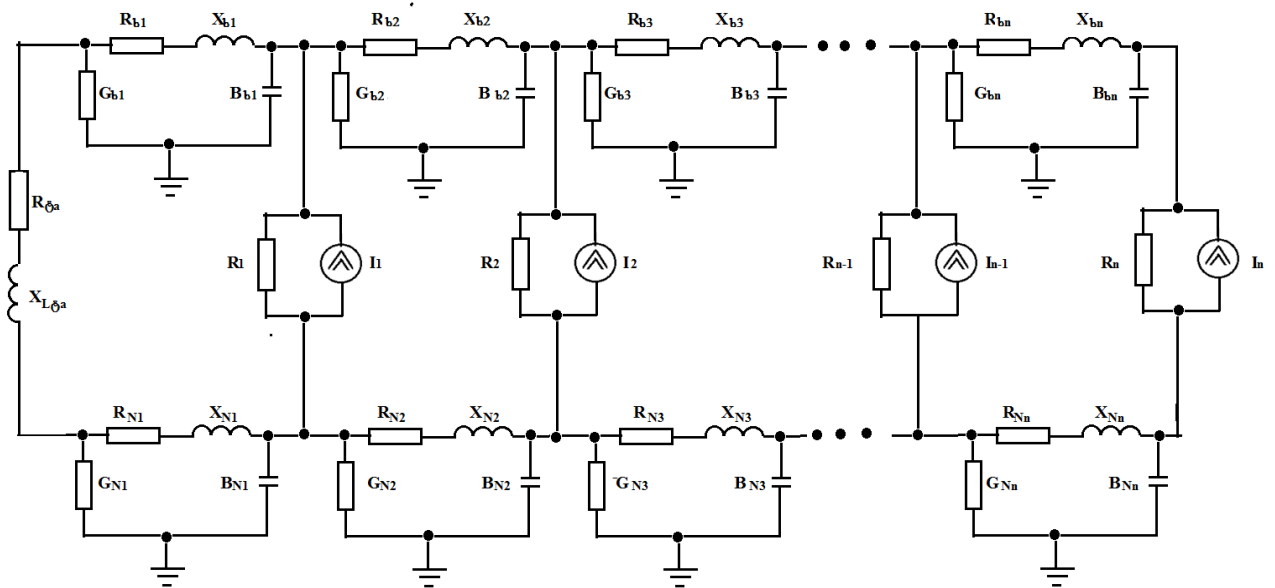
ნახ.2.12. 0,4 კვ ძაბვის ქსელის სამფაზა ჩანაცვლების სქემა არაწრფივი დატვირთვის დენის წყაროებით.

სამფაზა ქსელის ჩანაცვლების სქემა ეკვივალენტური დატვირთვით საშუალებას იძლევა ვაწარმოოთ უმაღლესი ჰარმონიკების ძაბვებისა და დენების გაანგარიშება მნიშვნელოვანი ცდომილებით, რადგანაც იგი არ ითვალისწინებს ელექტრომაგნიტურ პროცესებს, რომელიც თან ახლავს დენის გავლას ელექტროგადამცემი ხაზის გასწვრივ. ზემოთმოყვანილი დებულებების გათვალისწინებით უფრო ადეკვატურია ელექტროგადამცემი

ხაზის ჩანაცვლების სქემა მასში ყველა დატვირთვისა და ხაზის პარამეტრების ჩვენებით ხაზის მთელ სიგრძეზე.

ჩვენს მიერ დამუშავებული ასეთი ჩანაცვლების სქემა ერთი ფაზის მაგალითზე წარმოდგენილია ნახ.2.13-ზე [45].

სადაც $R_{xn}, X_{xn}, G_{xn}, B_{xn}$ - ელექტროგადამცემი ხაზის უბნის ფაზური სადენის პარამეტრებია; $R_{Nn}, X_{Nn}, G_{Nn}, B_{Nn}$ - ელექტროგადამცემი ხაზის უბნის ნულოვანი სადენის პარამეტრებია; R_{ta}, X_{Lta} - ტრანსფორმატორის A ფაზის გრაგნილის პარამეტრებია; R_n, I_n - დატვირთვის კვანძის პარამეტრებია.



ნახ.2.13. ელექტრული ქსელის ერთფაზა ჩანაცვლების სქემა დამამახიჯებელი დატვირთვით.

ამგვარად, დადგენილია, რომ ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებზე დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის გავლენის გაანგარიშების ყველაზე უფრო ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს იმ ჩანაცვლების სქემის გაანგარიშება, სადაც დამამახიჯებელი დატვირთვები წარმოდგენილია n-ური ჰარმონიკის დენის წყაროებით, ხოლო ქსელის პარამეტრები გაანგარიშებულია ზედაპირული ეფექტის გათვალისწინებით.

თავი III. საცხოვრებელი სახლებისა საზოგადოებრივი შენობების
0,4 კვ ქსელებში ძაბვისა და დენის მრუდეების სინუსოიდურობის
დამახინჯების დონეზე საყოფაცხოვრებო
ელექტროხელსაწყოების გავლენის გამოკვლევა

3.1.ექსპერიმენტის მიზანი

კომუნალურ - საყოფაცხოვრებო სექტორის ელექტრომომარაგების რეალური სურათის შეფასებისათვის საჭიროა გამოკვლეული იქნეს თანამედროვე საცხოვრებელი სახლების გავლენა 0,4 კვ ელექტრომომარაგების ქსელის მუშაობის რეჟიმებსა და ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე.

ელექტრულ ქსელებში სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების შეფასება შეიძლება განხორციელებული იყოს ინსტრუმენტალურ-საანგარიშო მეთოდით. ამისათვის დანაკარგების გაანგარიშებისათვის საჭირო საწყისი მონაცემების ნაწილი განისაზღვრება გაზომვის გზით, ხოლო შემდეგ, შესაბამისი ჩანაცვლების სქემით, ცალკეული ჰარმონიული მდგენელებისათვის გამოითვლება რეჟიმები და განისაზღვრება სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგები. გაანგარიშებისათვის საწყისი მონაცემებს წარმოადგენს ქსელში დენისა და ძაბვების უმაღლესი ჰარმონიკების გაზომვის შედეგები.

საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი სექტორის დატვირთვის კვანძების მიერ 0,4 კვ ქსელებში ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებაზე გავლენის შესახებ მონაცემებისა და არასინუსოიდურობით გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშებისათვის საწყისი მონაცემების მისაღებად საჭიროა ჩატარებული იქნეს შემდეგი ექსპერიმენტული გამოკვლევები:

1. ცალკეული ელექტრომიმღების ძაბვისა და დენის მრუდეების გამოკვლევა;

2. ერთობლივად ჩართული ელექტრომიმღებების ძაბვისა და დენის მრუდეების გამოკვლევა;
3. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გამოკვლევა საცხოვრებელი სახლების ელექტრულ შემყვანებზე;
4. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გამოკვლევა საზოგადოებრივი შენობების შემყვანებზე.

ჩამოთვლილი ექსპერიმენტული გამოკვლევების შესრულება საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ საცხოვრებელი სახლებისა და საზოგადოებრივი შენობების ცალკეული ელექტრომიმღების ფაზურ - სიხშირული და ამპლიტუდურ - სიხშირული მახასიათებლები. განვსაზღვოთ თანამედროვე საცხოვრებელ სახლებსა და საზოგადოებრივ შენობებში არაწრფივი ელექტრომიმღებების წილი. შევაფასოთ გარე ელექტრულ ქსელში დენის მაღალსიხშირული მდგენელების ემისიის დონე და საცხოვრებელი სახლებისა და საზოგადოებრივი შენობების გავლენა გარე ელექტრულ ქსელში ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებაზე. ვაწარმოოთ ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობით გამოწვეული ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშება.

3.2. ექსპერიმენტის აღწერა.

ექსპერიმენტის ჩატარების დროს ძირითად ეტაპებს, რომელთაც შეუძლიათ გავლენა მოახდინონ შედეგების უტყუარობაზე წარმოადგენენ:

- გაზომვის საკონტროლო წერტილების არჩევა;
- თითოეულ წერტილში გაზომვის ხანგრძლივობა.

ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია გაზომვის საკონტროლო წერტილები არჩეული იქნეს ელექტროხელსაწყოს ქსელთან მიერთების წერტილი, დატვირთვის კვანძის ელექტრულ შემყვანზე და გამოსაკვლევ კსელის საზღვარზე (ტრანსფორმატორის სალტებზე), და ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროებთან.

საჭირო გაზომვების ხანგრძლივობა განსაზღვრული უნდა იქნეს დამახინჯების წყაროების მახასიათებელი რეჟიმების ხანგრძლივობით. მახასიათებელი რეჟიმების ხანგრძლივობის შესახებ უტყუარი ინფორმაციის არ არსებობის დროს უნდა ვისარგებლოთ სტანდარტ [4] -ის რეკომენდაციებით. ამ დოკუმენტის გამოყენების უფლებას გვაძლევს საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 18 ივნისის N 409 დადგენილება “საქართველოს ტერიტორიაზე სამშენებლო სფეროს მარეგულირებელი ტექნიკური რეგლამენტების აღიარებისა და სამოქმედოდ დაშვების შესახებ“ საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 14 იანვრის # 52 დადგენილებაში ცვლილებების შეტანის თაობაზე, სადაც მუხლი 1 გვეუბნება, რომ პროდუქტის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსის 59-ე მუხლის, 103-ე მუხლის პირველი ნაწილისა და „ნორმატიული აქტების შესახებ“ საქართველოს კანონის მე-12 მუხლის პირველი პუნქტის შესაბამისად, სამშენებლო სფეროს ტექნიკური რეგულირების მიზნით, შესაბამისი ტექნიკური რეგლამენტის მიღებამდე, აღიარებული და საქართველოს ტერიტორიაზე დროებით სამოქმედოდ დაშვებული იქნეს ყოფილი საბჭოთა კავშირის 1992 წლამდე მოქმედი და შემდგომ პერიოდში მოდიფიცირებული სამშენებლო ნორმები და წესები, ტექნიკური რეგულირების სხვა დოკუმენტები და მათი ის ნაწილები, რომელთა ალტერნატივა არ არსებობს საქართველოში მიღებული ტექნიკური რეგლამენტების ან სხვა ნორმატიული აქტების სახით და რომლებიც არ ეწინააღმდეგება საქართველოს მოქმედ კანონმდებლობას ან/და იმ საერთაშორისო ხელშეკრულებებს, რომელთა მონაწილეც არის საქართველო. საქართველს კი ამჟამად არ გააჩნია სტანდარტი ელექტროენერჯის ხარისხის შესახებ.

სტანდარტ [4]-ს მიხედვით ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის დროს გაზომვის მინიმალური აუცილებელი ხანგრძლივობა შეადგენს 1 დღე-ღამეს, ხოლო სარეკომენდაციო ხანგრძლივობა შეადგენს 7 დღე-ღამეს.

საერთო დანიშნულების ელექტრულ წრედებში უმეტესი ამოცანების გადაწყვეტის დროს გამოიყენება დროის გასაშუალებული ინტერვალები 0,5 საათი ან 1 საათი. დამატებითი დანაკარგები, რომლებიც განპირობებულია დენისა და ძაბვების არასინუსოიდურობით, შეიძლება განვიხილოთ როგორც მთლიანად ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების განუყოფელი ნაწილი. ამიტომ მათი გაანგარიშებისათვის უნდა გამოვიყენოთ ის საწყისი მონაცემები, რომლებიც მიღებულია ძირითადი დანაკარგების გაანგარიშებისათვის მიღებული მონაცემების ანალოგიურად. ამგვარად, პარამეტრები, რომლებიც ახასიათებს ძაბვებისა და დენების არასინუსოიდურობას, შეიძლება გაზომილ იქნეს 0,5 საათის გასაშუალებული ინტერვალებით.

3.3. ექსპერიმენტისათვის გამოყენებული ხელსაწყო

ექსპერიმენტი ჩატარებული იქნა გერმანული წარმოების A კლასის პორტატული ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზატორი JANITZA MRG, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.3.1-ზე



ნახ.3. 1. პორტატული ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ანალიზატორი JANITZA MRG

დანიშნულება. მოწყობილობა MRG-ს დანიშნულებაა სახლის ელექტროფარეზზე, გამანაწილებელ მოწყობილობებზე, ძალოვან ამომრთველებსა და გამანაწილებელ ფარეზზე ძაბვის კონტროლი სტანდარტ [46] შესაბამისად.

გამოყენების არე.

- მაღალხარისხოვანი ქსელური ანალიზი A კლასის დონეზე;
- დროითი გაზომვები, მაგალითად, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის დანადგარის გაანგარიშებისათვის;
- ქსელში პრობლემების დროს ელექტრული დაბრკოლების ანალიზი;
- მაღალხარისხოვანი შედარებითი გაზომვა ელექტროენერჯის გაზომვის მოწყობილობებისათვის;

ძირითადი მახასიათებლები:

- ძაბვის ხარისხის კონტროლი;
- ძაბვის ხარისხის ყველა პარამეტრის (უმაღლესი ჰარმონიკების, ხანმოკლე წყვეტების, ასიმეტრიის ...) რეგისტრაცია;
- შორეული შეღწევა Ethernet -ისა და ვებ-სერვერის გავლით;
- ძაბვის ხარისხის ანალიზის პროგრამა;
- ძაბვის ხარისხის შესახებ სტანდარტული ანგარიშები;
- დანახარჯების აღძვრის ადგილების მიმოხილვა;
- დიდი (128/2356 მბ) შიდა მეხსიერება გაზომვის შედეგების ჩასაწერად.

3.4. ცალკეული ელექტრომიმღების ძაბვისა და დენის მრუდების გამოკვლევა

ძაბვისა და დენის ამპლიტუდურ - სიხშირული მახასიათებლების, ასევე ცალკეული ელექტრომიმღების დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელის ემისიის დონის გაზომვა წარმოებდა უშუალოდ სახლის შიგა ელექტროქსელთან ელექტროხელსაწყოს ჩართვის წერტილში. გაზომვის სიზუსტის ამაღლებისათვის სახლის ელექტრულ ქსელთან ჩართული იყო

მხოლოდ საკვლევი ხელსაწყო. ექსპერიმენტის დროს საზომი ხელსაწყო კვებას იღებდა შიგა წყაროდან და გავლენას არ ახდენდა ექსპერიმენტის შედეგებზე. ცხრილი 3.1-ში წარმოდგენილია ექსპერიმენტისათვის გამოყენებული საკვლევი ხელსაწყოების დადგმული სიმძლავრეები.

ცხრილი 3.1 ექსპერიმენტისათვის გამოყენებული საკვლევი ხელსაწყოების დადგმული სიმძლავრეები.

ელექტომიმლების დასახელება	დადგმული სიმძლავრე, ვატი
ვარვარა ნათურა	300
შუქდიოდური ნათურა	28
შუქდიოდური ნათურა	20
ელექტროგამათბობელი	1600
სარეცხი მანქანა	150
მტვერსასრუტი	250
პლაზმური ტელევიზორი	25
კომპიუტერი	10

3.4.1. შუქდიოდური და ვარვარა ნათურები ნათურები და მათი ჰარმონიული სპექტრები

უკანასკნელ პერიოდში, შუქდიოდურმა ნათურებმა ფართო გამოყენება ჰპოვა ქუჩების, პარკების, გზების, ოფისების, საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო შენობების განათების საქმეში. მათი დახასიათების დროს მოცემულია როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი თვისებები. დადებით თვისებებში მოყვანილია, რომ მას ვარვარა ნათურებთან შედარებით აქვთ დაბალი ელექტრომოხმარება, მუშაობის ხანგრძლივობის დიდი ვადა. სრული ეკოლოგიური უსაფრთხოება საშუალებას იძლევა გავუფრთხილდეთ გარემოს. ისინი არ მოითხოვენ უტილიზაციის სპეციალურ პირობებს, რადგან არ შეიცავენ ვერცხლისწყალს და სხვა

მომწამლავ ნივთიერებებს. უარყოფითი თვისებების ჩამონათვალში პირველ რიგში მოცემულია მათი მაღალი ფასი, გარდა ამისა მრავალი შუქდიოდური ნათურა ანათებს მხოლოდ ერთი მიმართულებით, გააჩნიათ შეუიარაღებელი თვალისათვის უხილავი ციმციმი და სხვა.

აშშ-ში გამოყოფილია დიდი ფინანსური რესურსი, რათა შესაბამისი კომპანიების მიერ დაჩქარდეს ახალი თაობის შუქდიოდური ნათურების მასიური წარმოება, რომელიც ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი მაჩვენებლით აღემატება ამჟამად არსებულს.

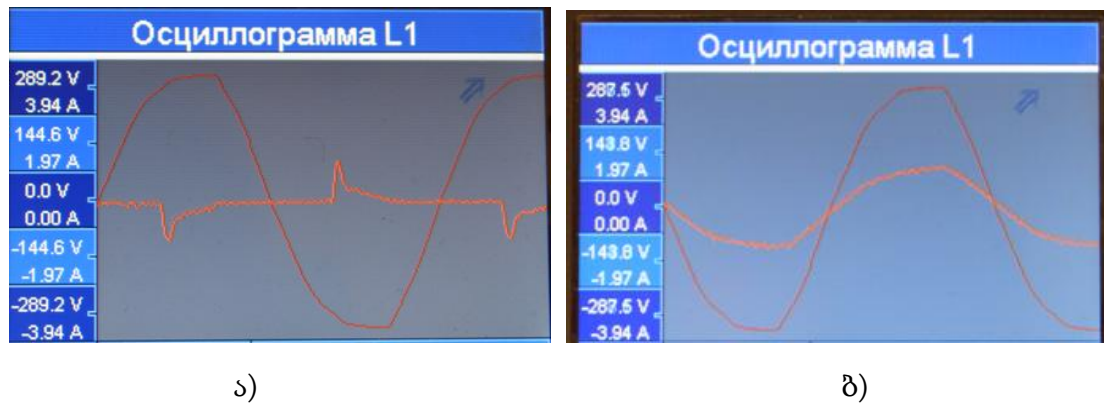
უარყოფითი თვისებების ჩამონათვალში მოცემული არ არის თუ რა გავლენას ახდენს ეს ნათურები ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე. წლების განმავლობაში გრძელდება ცხარე კამათი ერთი სახის ნათურების მეორეთი შეცვლის თაობაზე. დიდი ხანია მიმდინარეობს დებატები ჯანმრთელობის ზიანის მოტანის შესახებ, რომელიც დაკავშირებულია ვარვარა ნათურებისაგან განსხვავებული სინათლის სპექტრის გენერაციასთან, ციმციმთან, ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებასთან და სხვა მოვლენებთან. წარმოდგენილ სტატიაში ჩვენ არ განვიხილავთ ამ საკითხებს, რადგანაც ჩვენ არ წარმოვადგენთ ამ დარგის სპეციალისტებს.

ურთიერთშედარებისათვის შუქდიოდურ ნათურებთან ერთად განვიხილავთ ვარვარა ნათურასაც.

მართლაც, შუქდიოდური ნათურა, რომლის სიმძლავრეა 20 ვატი თავისი სიკაშკაშით ანათებს, როგორც 80 ვატიანი ვარვარა ნათურა. აქედან გამომდინარე აქტიური დატვირთვის შემცირებით მკვეთრად მცირდება ელექტროენერჯის დანახარჯები განათებაზე. მცირდება აქტიური დენური დატვირთვა და შესაბამისად მცირდება ელექტროენერჯის თბური დანაკარგები განათების სისტემების სადენებსა და კაბელებში.

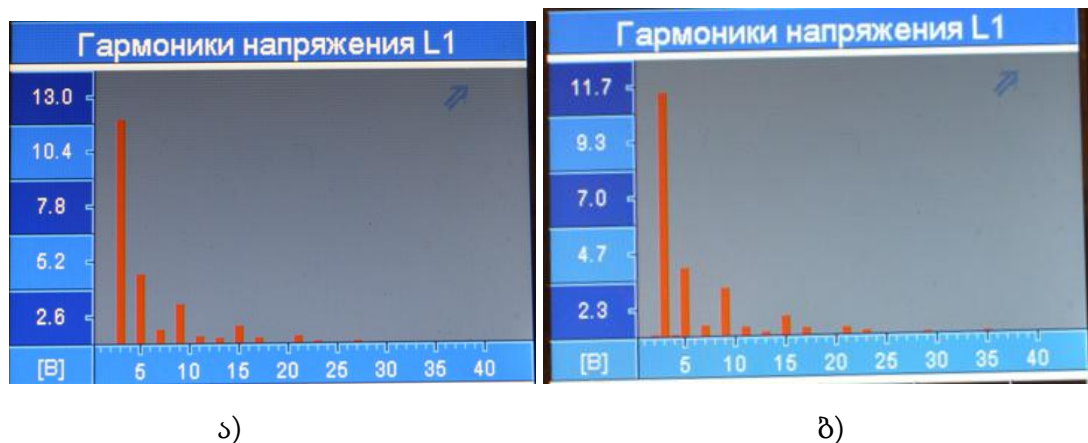
შუქდიოდურ და ვარვარა ნათურებზე მოდებული ძაბვისა და მის მოხმარებული დენის ოსცილოგრამები, წარმოდგენილია სურ.3.2-ზე. მათი

ძაბვების ჰარმონიული სპექტრები წარმოდგენილია ნახ.3.3-ზე, ხოლო დენებისა კი - ნახ.3.4.ზე.



ნახ.3.2. ძაბვისა და დენის მრუდები: ა) 300 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური ნათურის; ბ- 300 ვტ სიმძლავრის ვარვარა ნათურის.

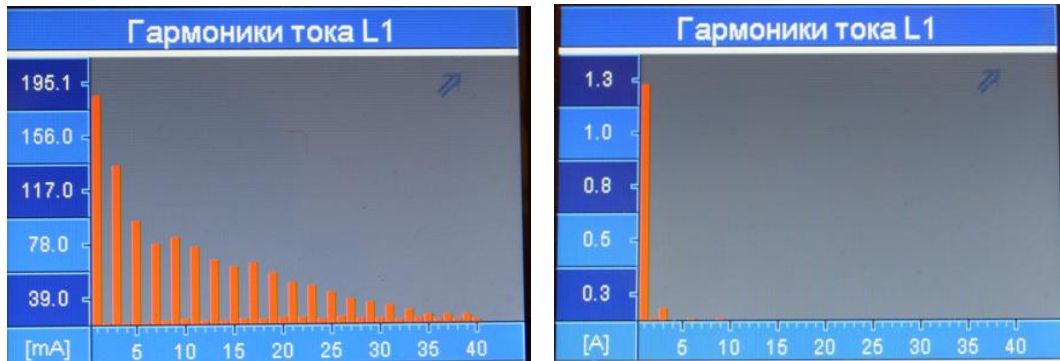
როგორც ნახ.3.2- დან ჩანს ორივე შემთხვევაში ძაბვის მრუდების ფორმა ერთნაირია, ხოლო რაც შეეხება დენის მრუდების ფორმას ისინი ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავდება. იმის გამო, რომ ქსელში ძაბვის ფორმა არ არის წმინდად სინუსოიდური, ვარვარა ნათურაში გამავალი დენის ფორმაც არ არის სინუსოიდური.



ნახ.3.3. მკვეთრი ძაბვის ჰარმონიული შედეგნილობა: ა) შუქდიოდური ნათურის; ბ- ვარვარების ნათურის.

როგორც ნახ.3.3-დან ჩანს მკვეთრი ძაბვის მრუდის ჰარმონიული შედეგნილობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია, ერთმანეთისაგან მხოლოდ

მცირედ განსხვავდებიან მათი ამპლიტუდური მნიშვნელობები. სწორედ დაბვის ამ ჰარმონიულმა შედგენილობამ განაპირობა ვარვარა ნათურაში გამავალი დენის მრუდის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯება.



ა)

ბ)

ნახ. 3.4. დენის მრუდის ჰარმონიული შედგენილობა: ა- შუქდიოდური ნათურის; ბ-ვარვარა ნათურის.

როგორც ნახ.3.4-დან ჩანს შუქდიოდურ ნათურაში გამავალი დენის მრუდი შეიცავს ყველა კენტი რიგის ჰარმონიკებს 1-40 რიგის ჩათვლით. ამ მრუდში ძალიან მცირე მნიშვნელობით ფიგურირებენ ასევე ლუწი რიგის ჰარმონიკებიც. რაც შეეხება ვარვარა ნათურის დენის მრუდს, იგი ძირითადად შეიცავს 1-3 ჰარმონიკებს და მცირე მნიშვნელობით მე-7 და მე-9 რიგის ჰარმონიკებს. რაც ასევე გამოწვეულია ქსელზე მოდებული დაბვით.

წარმოდგენილი სურათების მიხედვით შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. გამოცდილი შუქდიოდური ნათურა ქსელში გენერირებს ტევადური ხასიათის რეაქტიულ სიმძლავრეს,
2. შუქდიოდური ნათურა ვარვარა ნათურისაგან განსხვავებით ელექტროენერჯის არაწრფივი მომხმარებელია და წარმოადგენს დენის უმაღლესი უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების წყაროს.

დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეულ შედეგები დაწვრილებით განხილულია ნაშრომებში [47,48]. ამ ნაშრომების ძირითადი დებულების თანახმად 0,4 კვ ძაბვის ელექტროდანადგარებში დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეულ შედეგებს შეიძლება მივაკუთვნოთ:

- საკაბელო ხაზებში ნულოვანი მუშა გამტარების გადახურება და დაშლა;
- დამატებითი დანაკარგები ძალურ ტრანსფორმატორებში (მწყობრიდან გამოსვლამდეც კი);
- დაცვის მოწყობილობების ცრუ ამუშავება;
- სადენებისა და კაბელების იზოლაციის დაძველების დაჩქარება;
- მკვებავი ძაბვის ხარისხის გაუარესება;
- ელექტროძრავების მწყობრიდან გამოსვლა;
- რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსატორების კონდენსატორული დანადგარების მწყობრიდან გამოსვლა;
- რეზონანსული მოვლენები 0,4 კვ ძაბვის ელექტროდანადგარებში;
- ელექტროდანადგარების სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირება.

სხვადასხვა დანიშნულების საწარმოო, სავაჭრო, საოფისე, საცხოვრებელი და სხვა შენობების ელექტრომომარაგების სისტემებში მსგავსი პრობლემების აღძვრის რისკი ჩვენს ქვეყანაში უფრო მაღალია, ვიდრე ევროპის ქვეყნებში. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ევროპის ქვეყნებში ჰარმონიკების პრობლემა ცნობილია და მის გადასაწყვეტად გამოიყენება ტექნიკური საშუალებები. აღსანიშნავია, რომ ასეთი საშუალებები ძალიან ძვირია და შეიძლება სრულიად დაიხარჯოს ენერგოდამზოგი ნატურებიდან მიღებული მთელი ეკონომია.

ჩვენს ქვეყანაში, თვით პროფესიონალ ენერგეტიკოსებს შორისაც კი, ეს პრობლემა გააზრებული არ არის სათანადოდ. ჩვენთან გამოყენებული ტრანსფორმატორები დაპროექტებულია დენის ძირითადი ჰარმონიკის სიხშირეზე - 50 ჰერცზე. ამასთან დაკავშირებით, დიდი ალბათობით

შუქდიოდური ნათურების მასიურმა გამოყენებამ, შეიძლება მიგვიყვანოს არა რესურსების ეკონომიასთან, არამედ ავარიათა დიდ რიცხვთან და ელექტრომომარაგების სისტემების მწყობრიდან გამოსვლასთან, თუ არ მოხდება მნიშვნელოვანი დანახარჯების გაწევა ქსელში უმაღლესი ჰარმონიკების დონის შემცირების მიზნით

ჩვენ დეტალურად განვიხილეთ პუბლიკაციები ენერგოდამზოგი ნათურების მიერ გენერირებული ჰარმონიკების საკითხების შესახებ. აღმოჩნდა, რომ არის რამდენიმე ათეული ნაშრომი, მაგალითად, [49,50], რომლებშიც საუბარია ენერგოდამზოგი ნათურების გამოყენების უარყოფითი შედეგების შესახებ და მხოლოდ ერთ პუბლიკაციაშია [51] მტკიცებულება იმისა, რომ ენერგოდამზოგი ნათურის მიერ გენერირებული დენის ჰარმონიკები არ ახდენს არსებით გავლენას ელექტრულ ქსელზე. ეს მტკიცებულება ეყრდნობა იმ ფაქტს, რომ ქსელში არსებობს ისეთი არაწრფივი დატვირთვები, რომელთა სიმძლავრეები ბევრად აღემატება ენერგოდამზოგი ნათურების სიმძლავრეს.

როგორ პარადოქსალურადაც არ უნდა ჟღერდეს, ორივე პუბლიკაციის ავტორი მართალია, ხოლო მათ მიერ გაკეთებული ურთიერთსაწინააღმდეგო დასკვნები აიხსნება იმით, რომ ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის პირობები არსებითად ერთმანეთისაგან განსხვავებულია.

ევროკავშირის ბევრ ქვეყანაში და მსოფლიოს ზოგიერთ ქვეყანაში უკვე დაწყებულია შენობების ენერგოსერტიფიკაცია. სერტიფიკაცია წარმოებს შენობის პროექტირების, მშენებლობის და ექსპლუატაციაში ჩაბარების ეტაპებზე.

შენობის სერტიფიკაციის პროცესში დიდი ადგილი ეთმობა ელექტროენერჯის ხარისხის საკითხებს, რადგან წარმოების ადგილზე ელექტროენერჯის ხარისხის შესაბამისობა დადგენილ ნორმებთან არ იძლევა გარანტიას, რომ მოხმარების ადგილზეც ელექტროენერჯის ხარისხი შეესაბამება დადგენილ ნორმებს.

ამიტომ, რადგანაც შუქდიოდურ ნათურებს შეუძლიათ დენის უმაღლესი ჰარმონიკების გენერირება და ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესება მოხმარების ადგილზე, საჭიროა უკვე პროექტირებისას იქნეს გათვალისწინებული მოდელირებული შენობის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის პირობები და მივიღოთ საკომპენსაციო ტექნიკური გადაწყვეტის ღონისძიებები [52].

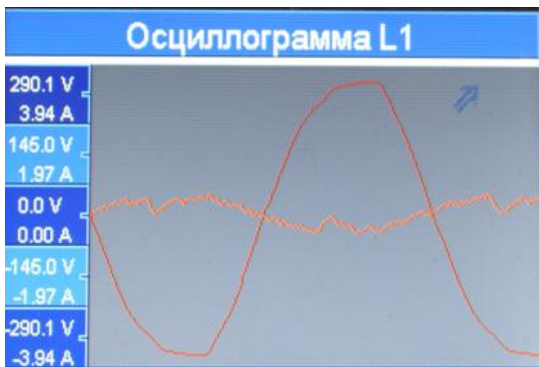
ამგვარად, როგორც შუქდიოდური ნათურების გამოკვლევებმა გვიჩვენა, მათ შეუძლია ქსელში დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების გენერირება და 0,4 კვ ძაბვის ქსელებისათვის შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ნეგატიური მოვლენების რისკს. ამიტომ ვარვარების ნათურის მხოლოდ მექანიკური შეცვლა შუქდიოდური ნათურით, ჰარმონიკების წინააღმდეგ ბრძოლის დამატებითი ღონისძიების გარეშე, მაღალი ალბათობით ვერ მოგვცემს სასურველ ეფექტს.

3.4.2. შუქდიოდური ნათურა სიმძლავრით 20 ვტ.

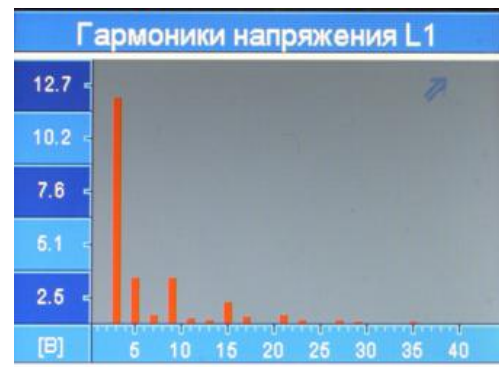
ჩვენთვის ასევე მეტად საინტერესო იყო 20 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური ნათურის ჰარმონიული სპექტრი, რადგან ამ სიმძლავრის ნათურები ყველაზე მეტად გამოიყენება საყოფაცხოვრებო პირობებში.

ნახ.3.5-ზე მოცემულია 20 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური ნათურის პარამეტრები. კერძოდ, ნახ.3.5.ა-ზე წარმოდგენილია ძაბვისა და დენის მრუდების ოსცილოგრამები. საიდანაც ჩანს, რომ ძაბვის მრუდის ფორმა შეესაბამება წინა შემთხვევას (ნახ.3.5.ბ), ხოლო დენის მრუდი არის დამახინჯებული. მისი ფორმა მკვეთრად განსხვავდება სინუსოიდისაგან, ხოლო მისი ჰარმონიული სპექტრი შეიცავს როგორც კენტი, ასევე ლუწი რიგის ჰარმონიკებს.

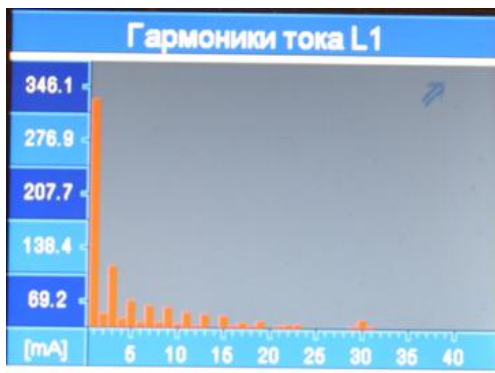
როგორც წინა შემთხვევიდან, ასევე ამ შემთხვევიდანაც ჩანს, რომ შუქდიოდური სანათი არის ტევადური ხასიათის ხელსაწყო, რაც კარგად ჩანს ნახ.3.5.დ-დან (დენი წინ უსწრებს ძაბვას).



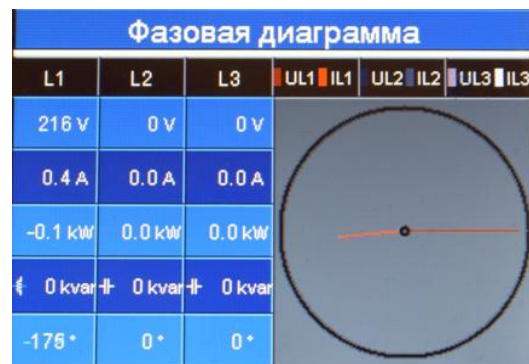
ა)



ბ)



გ)



დ)

ნახ.3.5. 20 ვტ სიმბლავრის შუქდიოდური ნათურის პარამეტრები.

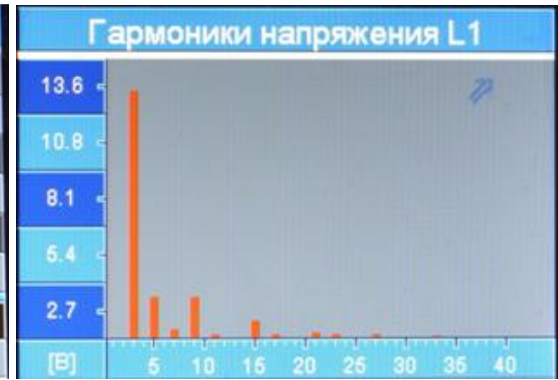
3.4.3. ელექტროგამათბობელი ხელსაწყოს ჰარმონიული სპექტრი.

ელექტროგამათბობელის პარამეტრები წარმოდგენილია ნახ.3.6-ზე.

ნახ.3. 6.ა-დან ჩანს, რომ დატვირთულია მხოლოდ L1 ფაზა, რომლის ძაბვა 210 ვ-ია, მასში გამავალი დენი 7,67 ამპერია, ხოლო დატვირთვა 1,6 კვტ-ია და იგი წმინდად აქტიური ხასიათისაა რაზეც მიუთითებს მისი სიმბლავრის კოეფიციენტი, რომელიც 1,00 -ის ტოლია.

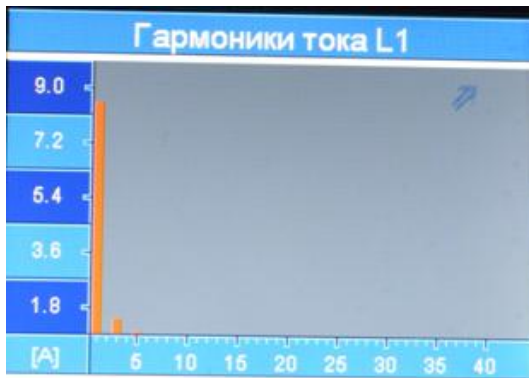
ნახ.3. 6.ბ-ზე ნაჩვენებია ძაბვის უმაღლესი ჰარმონიული შედგენილობა

UMG512-4200-2410					
	Напряжение	Ток	Акт. мощность	Реакт.мощ.	PF1
L1-N	210 V	7.67 A	1.6 kW	± 0.0 kvar	1.00
L2-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	± 0.0 kvar	1.00
L3-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	± 0.0 kvar	1.00
L4-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	± 0.00 kvar	1.00
L1..L3	50.0 Hz	7.67 A	1.6 kW	± 0.0 kvar	1.00
Цифр. выходы			Цифр. входы		



ა)

ბ)



გ)

დ)

ნახ.3.6. ა) ელექტროგამათბობელის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- დაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები; გ- დენის ჰარმონიკები; დ- დაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

ნახ.3.6.გ - დან ჩანს, რომ ელექტროგამათბობელის დენის შემადგენლობაში გვაქვს მე-3 და მე-5 უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები, რომელთა მაქსიმალური მნიშვნელობა არ აღემატება 0,9 ა-ს. ელექტროგამაცხელებლის დატვირთვის დენის შემადგენლობაში უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების არსებობა აიხსნება დატვირთვის კვანძში მოდებული ძაბვით, რომელსაც მაღალსიხშირული ჰარმონიკების გამო სინუსოიდის თავი წაკვეთილი აქვს (ნახ.3.5.ა), ხოლო ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი წარმოდგენილია ნახ.3.6.ბ-ზე.

საიდანაც ჩანს რომ იგი შეიცავს მე-3, მე-5, მე-9 მე-11, მე-15, 21-ე, 23-ე, 27-ე და 33-ე ჰარმონიკებს.

ნახ.3.6.დ-ზე წარმოდგენილია ელექტროგამათბობელის ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა, საიდანაც კარგად ჩანს, რომ დენი და ძაბვა ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა.

3.4.4. სარეცხი მანქანის ჰარმონიული სპექტრი.



ა)

ბ)



გ)

დ)

ნახ. 3.7: ა- სარეცხი მანქანის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ- ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები; დ- დენის ჰარმონიკები; ე- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

ნახ.3.7-ზე მცემულია სარეცხი მანქანის პარამეტრები, როგორც სარეცხი მანქანის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაციიდან ნახ. 3.7.ა-დან ჩანს, რომ სარეცხი მანქანის აქტიური სიმძლავრეა 0,1 კვ, ხოლო სიმძლავრის

კოეფიციენტი 0,94. ნახ.3.7.ბ-დან ჩანს, რომ ძაბვის მრუდი თავისი ფორმით იგივეა, რაც ყველა წინა შემთხვევაში. დენის მრუდის ფორმა კი სინუსოიდისგან მკვეთრად განსხვავდება. რაც შეეხება ძაბვისა და დენის ვექტორულ დიაგრამას, როგორც ნახ. 3.7.დ-დან ჩანს, სარეცხი მანქანის შემთხვევაში დენის ვექტორი უსწრებს ძაბვის ვექტორს 13 გრადუსით, ანუ ადგილი აქვს ტევადურ ხასიათს. ეს კი შეიძლება განპირობებული იყოს იმ ელექტრონული მოწყობილობების გავლენით, რომლებიც ემსახურებიან სარეცხი მანქანის ავტომატურ მართვას.

3.4.5. მტვერსასრუტის ჰარმონიული სპექტრი

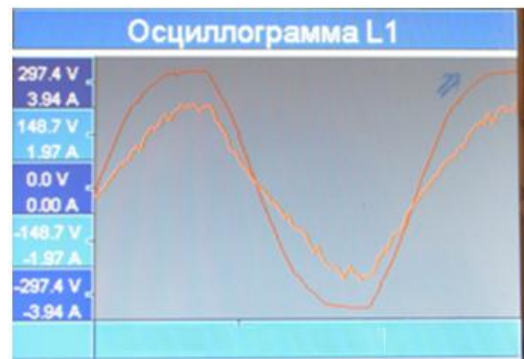
ქსელში ჩართული იყო 0,4 კვტ სიმძლავრის მტვერსასრუტი, რომლის ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 297 ვ, ხოლო დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა 3,94 ა. მტვერსასრუტის სიმძლავრის კოეფიციენტი ტოლია 0,99-ის. ნახ.3.8. წარმოდგენილი ძაბვისა და დენის მრუდების ოსცილოგრამებიდან ჩანს, რომ ძაბვის მრუდის ფორმა განსხვავებულია სინუსოიდისაგან. როგორც ძაბვის ასევე დენის მრუდებიც არასინუსოიდურია. ძაბვის მრუდი შეიცავს: მე- 3, მე-5, მე- 7, მე-9, მე- 11, მე-13, მე-15, 21-ე და 27-ე რიგის ჰარმონიკებს, ხოლო დენის მრუდი შეიცავს: 1, მე- 3, მე-5, მე-7, 21-ე, და 23-ე რიგის ჰარმონიკებს, რომლის სიდიდეები, გარდა პირველი ჰარმონიკისა, ძალიან უმნიშვნელოა.

ნახ. 3.8. ე-ზე ნაჩვენებია აქტიური სიმძლავრის ცვლილების გრაფიკი. გრაფიკის ასეთი მკვეთრი დამახინჯებული სახე გამოწვეულია მტვერსასრუტის მუშაობის რეჟიმით.

რაც შეეხება ძაბვისა და დენის ვექტორულ დიაგრამას, როგორც ნახ. 3.8.ვ-დან ჩანს, მტვერსასრუტის მუშაობისას, ძაბვის ვექტორი წინ უსწრებს დენის ვექტორს, რაც იმას ნიშნავს, რომ მტვერსასრუტის დატვირთვა ატარებს. აქტიურ-ინდუქციურ ხასიათს.

UMG512-4200-2410					
	Напряжение	Ток	Акт.мощность	Реакт.мощ.	PF1
L1-N	223 V	1.91 A	0.4 kW	0.1 kvar	0.99
L2-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	0.0 kvar	1.00
L3-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	0.0 kvar	1.00
L4-N	109 V	0.03 A	-0.00 kW	0.00 kvar	-0.99
L1..L3	50.0 Hz	1.91 A	0.4 kW	0.1 kvar	0.99
Цифр. выходы			Цифр. входы		

ა)



ბ)



გ)



დ)



ე)



ვ)

ნახ.3. 8. ა- მტვერსასრუტის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ- ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები; დ- დენის ჰარმონიკები; ე-აქტიური სიმძლავრის გრაფიკი ვ- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

3.4.6. პლაზმური ტელევიზორის ჰარმონიული სპექტრი.

ქსელში ჩართული იყო 0,01 კვტ სიმძლავრის ტელევიზორი, რომლის ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 211 ვ, ხოლო დენის მაქსიმალური

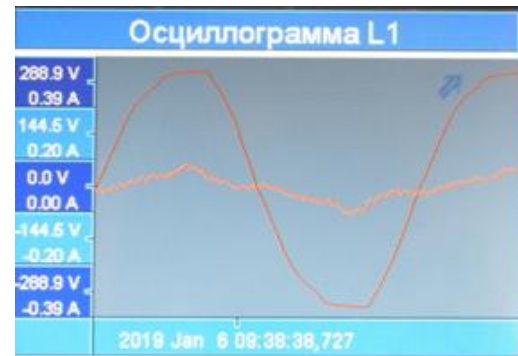
მნიშვნელობა 0,04 ა. ტელევიზორის სიმძლავრის კოეფიციენტი ტოლია 1,0-ის. სურ.3.9.ბ-დან ჩანს, რომ როგორც ძაბვის ასევე დენის მრუდები არასინუსოიდურია. ნახ. 3.9.გ-დან ჩანს, რომ დენის მრუდი შეიცავს: 1, მე-3, მე-5, მე- 7, მე- 9, მე- 13, მე- 15 რიგის ჰარმონიკებს.

ნახ.3.9.დ-დან ჩანს, რომ ტელევიზორის დატვირთვა აქტიურ-ინდუქციურია. ძაბვა უსწრებს დენს.

UMG512-4200-2410

	Напряжение	Ток	Акт.мощность	Реакт.мощ.	PF1
L1-N	211 V	0.04 A	0.01 kW	0.00 kvar	1.00
L2-N	0.00 V	0.00 A	0.00 kW	0.00 kvar	1.00
L3-N	0.00 V	0.00 A	0.00 kW	0.00 kvar	1.00
L4-N	103 V	0.03 A	-0.00 kW	0.00 kvar	-0.99
L1..L3	50.0 Hz	0.04 A	0.01 kW	0.00 kvar	1.00
Цифр. выходы			Цифр. входы		

ა)



ბ)



გ)

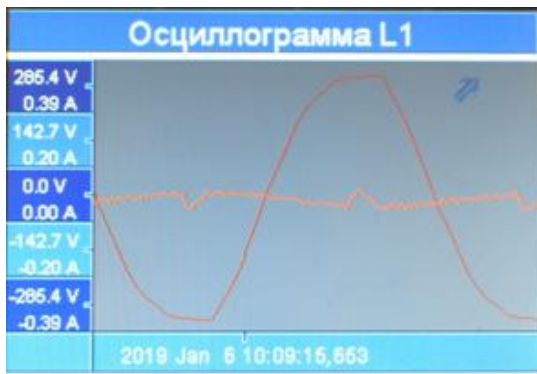


დ)

ნახ. 3.9. ა- ტელევიზორის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ - დენის ჰარმონიკები; დ.- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

3.4.7. კომპიუტერის ჰარმონიული სპექტრი

ჩვენთვის ასევე მეტად საინტერესო იყო კომპიუტერის ჰარმონიული სპექტრი, რადგან კომპიუტერები ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ფართო მასებისათვის გამოყენებადი ელექტრომომხმარებელია.



ა)



ბ)



გ)



დ)

ნახ. 3.10. ა- კომპიუტერის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ - დენის ჰარმონიკები; დ.- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

ნახ..3.10.ა-ზე წარმოდგენილია ძაბვისა და დენის მრუდების ოსცილოგრამები. საიდანაც ჩანს, რომ ძაბვის მრუდის ფორმა შეესაბამება წინა შემთხვევებს და მისი ჰარმონიული სპექტრიც წინა შემთხვევების ანალოგიურია. ხოლო დენის მრუდის ფორმა განსხვავებულია სინუსოიდისაგან.

ნახ.3.10.ბ-ზე მოცემულია დენის მრუდის ჰარმონიული შემადგენლობა, აწნიშნული სპექტრი თავისი შემადგენლობით იდენტურია შუქდიოდური ნათურების სპექტრისა. მისი ჰარმონიული სპექტრი შეიცავს როგორც კენტი, ასევე ლუწი რიგის ჰარმონიკებს.

ნახ.3.10.გ-ზე წარმოდგენილია კომპიუტერის მიერ აქტიური სიმძლავრის მოხმარების გრაფიკი, რომელიც უარყოფითია, რაც მიგვითითებს იმაზე, რომ თითქოს კომპიუტერი კი არ მოიხმარს სიმზავრეს, არამედ გასცემს.

მთლიანობაში როგორც შუქდიოდური ნათურის შემთხვევაში ასევე ამ შემთხვევიდანაც ჩანს, რომ კომპიუტერი არის ტევადური ხასიათის ხელსაწყო, რაც კარგად ჩანს ნახ.3.10.დ-დან (დენი წინ უსწრებს ძაბვას).

3.5. ერთდროულად ჩართული ელექტროხელსაწყოთა ძაბვისა და დენის მრუდების გამოკვლევა

საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ელექტროხელსაწყოების მთელი რიგიდან ელექტროენერჯის მოხმარების მახასიათებლების მიედვით შეიძლება გამოვყოთ ხელსაწყოების სამი ძირითადი ჯგუფი. ეს არის ელექტროგამახურებელი ხელსაწყოები, ვარვარების ნათურები და ხელსაწყოები რომელსაც თავის შემადგენლობაში გააჩნია ელექტროძრავები. მაგალითად, ესენია: მაცივრები, საყინულეები სარეცხი მანქანები, ვენტილატორები და ხელსაწყოები იმპულსური კვების ბლოკებით და სინათლის ენერგოდამზოგი წყაროები.

ელექტროხელსაწყოების შემადგენლობა, დადგმული სიმძლავრე, მუშაობის ხანგრძლივობა და ერთდროული ჩართვა თითოეულ სახლში სხვადასხვაა. ამასთან ერთად, გავანალიზებთ რა საცხოვრებელი სახლებისა და საზოგადოებრივი შენობების ელექტრომოხმარების რეჟიმებს, შეიძლება გამოვყოთ ერთდროულად ჩართული ხელსაწყოების განსაზღვრული ჯგუფი, მათი მუშაობის დრო და ხანგრძლივობა. ძაბვისა და დენის ამპლიტუდურ - სიხშირული და ფაზურ - სიხშირული მახასიათებლების გაზომვა მიზანშეწონილია ჩავატაროთ ერთად ჩართული ხელსაწყოების ყველაზე უფრო სავარაუდო ჯგუფისათვის.

ელექტრომოხმარების სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოების ერთდროულად ჩართვის დროს წარმოებს სხვადასხვა ხელსაწყოების ერთმანეთზე და გამოსავალი ძაბვისა და დენის

მრუდების ფორმაზე გავლენის შეფასება. ამ ექსპერიმენტის ჩატარების დროს შეიძლება დაფიქსირებული იყოს სხვადასხვა ელექტროხელსაწყოს დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების შეჯამების მექანიზმი, ასევე მაღალსიხშირული დენებისათვის სხვადასხვა სახის ელექტრომიმღებების მაშუნტირებელი თვისებები.

საცხოვრებელ სახლებში ელექტრომიმღებების ჩართვა ატარებს შემთხვევით ხასიათს სხვადასხვა ოჯახების ცხოვრებიდან, ამა თუ იმ ელექტროხელსაწყოს ნაკრებიდან, მატერიალური უზრუნველყოფიდან, სათავსოს ბუნებრივი განთებულობის დონიდან და სხვა პირობებიდან გამომდინარე. ყველა ეს ერთობლიობა გათვალისწინებული უნდა იქნეს სახლის შიგა ელექტროხელსაწყოებით გამოწვეული ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების განსაზღვრის დროს. საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების მუშაობის რეჟიმები სხვადასხვაა. ისინი იცვლებიან დანიშნულებისა და ოჯახში ამ ხელსაწყოების გამოყენების მიხედვით.

ელექტროხელსაწყოების ერთდროულად ჩართვის დროს დენის მაღალსიხშირული ჰარმონიული მდგენელების შეჯამების ხასიათს სახლის შიგნით აქვს რთული ხასიათი. ელექტრომიმღებები, რომელთაც აქვთ ელექტროენერჯის მოხმარების წრფივი მახასიათებელი განსაზღვრული ხარისხით წარმოადგენენ არაწრფივი ელექტრომიმღებების მიერ გენერირებული დენის მაღალსიხშირული ჰარმონიული მდგენელების დენებისათვის მაშუნტირებელ დატვირთვას.

არაწრფივი ელექტრომიმღებების ელექტრომოხმარება შეადგენს საცხოვრებელი სახლის საერთო ელექტრომოხმარების მნიშვნელოვან წილს (60-70 %).

საცხოვრებელი სახლის ელექტრომიმღებების დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების ემისიის დონის შეფასებისათვის უფრო მიზანშეწონილია სახლის დატვირთვის გრაფიკის მახასიათებელ წერტილებში დენისა და ძაბვის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების გამოკვლევა.

როგორც ცნობილია, საცხოვრებელი სახლის დატვირთვის გრაფიკი ხასიათდება დატვირთვის ორი მაქსიმუმით დილისა და საღამოს პერიოდში. მაშასადამე დატვირთვის გრაფიკიდან შეიძლება გამოვყოთ 4 მახასიათებელი პერიოდი, სახელდობრ დატვირთვის დილისა და საღამოს მაქსიმუმი და დატვირთვის დღისა და ღამის მინიმუმი.

საცხოვრებელი სახლის მაქსიმუმი და მინიმუმი დატვირთვის დროს ელექტროენერჯის მოხმარებას განაპირობებენ ერთდროულად ჩართული ელექტროხელსაწყოები.

დატვირთვის მაქსიმუმის ფორმირებას უწევს ხანგრძლივი და ხანმოკლე გამოყენების სხვადასხვა ელექტრომიმღებები. მიუხედავად იმისა, რომ ელექტრომიმღებების შემადგენლობა, მათი დადგმული სიმძლავრე და მარკა ცალკეულ სახლში შეიძლება იყოს სხვადასხვა, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ დატვირთვის მაქსიმუმში მონაწილეობს გამანათებელი ელექტროხელსაწყოები, სამეურნეო ელექტროხელსაწყოები, პროდუქტების დასამუშავებელი და შესანახი ელექტროხელსაწყოები. საჭმლის მოსამზადებელი გამაცხელებელი ელექტროხელსაწყოები და კულტურულ - საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოები.

საცხოვრებელი სახლის ერთობლივად ჩართული ელექტროხელსაწყოების რამდენიმე ჯგუფის ექსპერიმენტული გამოკვლევები წარმოდგენილია ქვემოთ.

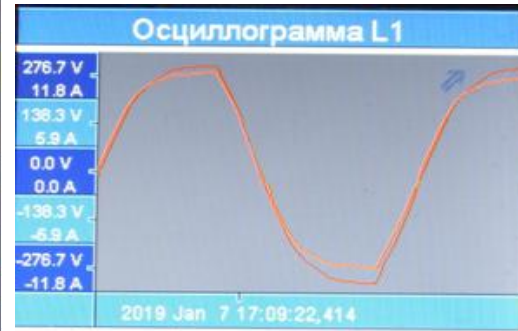
3.5.1. სარეცხი მანქანისა და ელექტროგამათბობელის ერთდროული ჩართვა.

სარეცხი მანქანისა და ელექტროგამათბობელის ერთდროული ჩართვის ექსპერიმენტული მონაცემები წარმოდგენილია ნახ. 3.11-ზე.

როგორც ნახ.3.11.ა-დან ჩანს, ორივე ელექტროხელსაწყოს ჩართვის შემთხვევაში აქტიური სიმძლავრე 1,5 კვტ-ია. ამ სიმძლავრეს ძირითადად განაპირობებს ელექტროგამათბობელი. ეს კარგად ჩანს სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობიდან, რომელიც ტოლია 1,0-ის და ნახ.3.11.ბ-

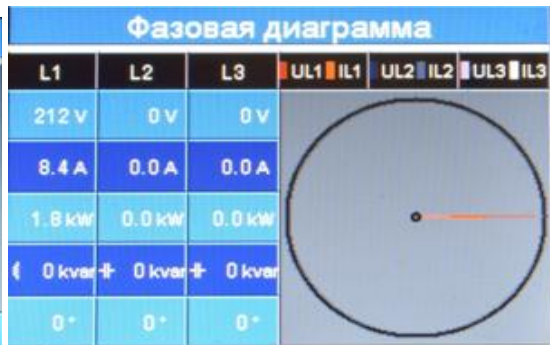
დან და ნახ.3.11.დ-დან, სადაც ისინი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევიან. ჯამურ დენის ჰარმონიულ სპექტრში აღარ ჩანს სარეცხი მანქანის მიერ გამოწვეული დამახინჯებანი. რაც იმის მანიშნებელია, რომ ელექტროგამათბობელმა თავისი სიმძლავრით და შესაბამისად თავისი გავლენით გამოიცილა სარეცხი მანქანის გავლენა ელექტრულ ქსელზე.

UMG512-4200-2410					
	Напряжение	Ток	Акт.мощность	Реакт.мощ.	PF1
L1-N	212 V	7.25 A	1.5 kW	± 0.0 kvar	1.00
L2-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	± 0.0 kvar	1.00
L3-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	± 0.0 kvar	1.00
L4-N	0.00 V	0.00 A	0.0 kW	± 0.0 kvar	1.00
L1..L3	50.0 Hz	7.25 A	1.5 kW	± 0.0 kvar	1.00
	Цифр. выходы		Цифр. входы		
		



ა)

ბ)



გ)

დ)

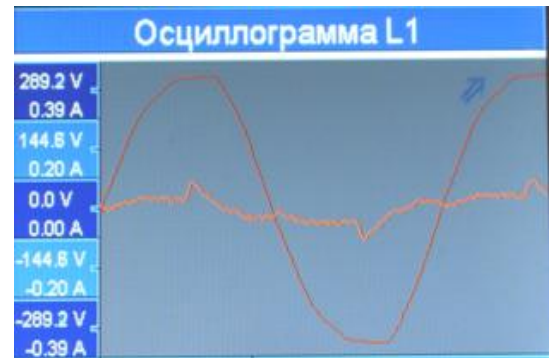
ნახ.3.11. სარეცხი მანქანისა და ელექტროგამათბობელის ერთდროული ჩართვა: ა- ომპიუტერის გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ - დენის ჰარმონიკები; დ.- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

3.5.2. ტელევიზორისა და კომპიუტერის ერთდროული ჩართვა.

ტელევიზორის და კომპიუტერის ერთდროული ჩართვის ექსპერიმენტული მონაცემები წარმოდგენილია ნახ. 3.12.-ზე

UMG512-4200-2410					
	Напряжение	Ток	Акт. мощность	Реакт.мощ.	PF1
L1-N	222 V	0.03 A	0.01 kW	+ 0.00 kvar	0.88
L2-N	0.00 V	0.00 A	0.00 kW	+ 0.00 kvar	1.00
L3-N	0.00 V	0.00 A	0.00 kW	+ 0.00 kvar	1.00
L4-N	0.00 V	0.00 A	0.00 kW	+ 0.00 kvar	1.00
L1..L3	50.0 Hz	0.03 A	0.01 kW	+ 0.00 kvar	0.87
Цифр. выходы			Цифр. входы		

ა)



ბ)



გ)



დ)

ნახ. 3.12. ტელევიზორისა და კომპიუტერის ერთდროული ჩართვა: ა- გასაზომი მნიშვნელობების ინდიკაცია; ბ- ძაბვისა და დენის მრუდები; გ - დენის ჰარმონიკები; დ- ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა.

როგორც ნახ.3.12-დან ჩანს, ჯამური დენის მრუდი დარჩა დამახინჯებული, რაც მოსალოდნელი იყო, რადგანაც ორივე ელექტრომომხმარებელი არის დენის მრუდის დამახინჯების წყარო. მხოლოდ ტელევიზორის ჩართვისას დენის მრუდის ჰარმონიულმა შემადგენლობამ მოიმატა, ხოლო მარტო კომპიუტერის ჩართვისას დენის მრუდის ჰარმონიული შემადგენლობა შემცირდა. მხოლოდ კომპიუტერის შემთხვევაში დენსა და ძაბვას შორის კუთხე იყო -144° , ანუ ჰქონდა ტევადური ხასიათი, ხოლო მარტო ტელევიზორის შემთხვევაში კი დენსა და ძაბვას შორის კუთხე იყო 8° , ე.ი. ჰქონდა ინდუქციური ხასიათი. ორივე

ხელსაწყოს ერთდროული ჩართვისას დენსა და ძაბვას შორის კუთხე გახდა -28° და ქსელს მიეცა ტევადური ხასიათი.

3.5.3. 28 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური და 300 ვტ ვარვარა ნათურა

სურ.3.13-ა,ბ,გ-ზე წარმოდენილია შუქდიოდის პარამეტრები, ხოლო და სურ.დ,ე,ვ-ზე პარამეტრები ელექტრულ 28 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური ნტურისა და და 300 ვტ სიმძლავრის ვარვარა ნათურის შემთხვევაში. ნათურის სიმძლავრეებს შორის ასეთი დიდი განსხვავება აღებული იქნა იმიტომ რომ გვენახა ასეთი დიდი სიმძლავრის ვარვარა ნათურა მოახერხებდა თუ არა მასზე თითქმის ათჯერ მცირე სიმძლავრის ნათურის მახასიათებლის შთანთქმას.

ნახ.3.13.ა და ნახ.3.13.დ-ს ურთიერთშედარება გვაძლევს, რომ 300 ვტ სიმძლავრის ვარვარა ნათურამ ვერ შესძლო გაესწორებინა დენის მრუდის ფორმა. ჯამური დენის მრუდიც არის არასინუსოიდური და იგივე ე.წ. “კბილებით,” რაც მას ჰქონდა მხოლოდ შუქდიოდური ნათურის ჩართვის შემთხვევაში. ვარვარა ნათურამ 180° -ით შეცვალა დენის მრუდი და დაამთხვია ძაბვის მრუდს, რაც კარგად ჩანს ნახ.3.13.გ და ნახ 3.13.ვ-ს ურთიერთშედარებიდან.

დენის ჰარმონიული მდგენელების შედარება შესაძლებელია ნახ.3.13.ბ და ნახ. 3.13.ე-ს შედარებიდან. ვარვარა ნათურის პარალელურად ჩართვით, შუქდიოდურ ნათურასთან შემცირდა ჰარმონიკების დონეებ, თუმცა შემადგენლობა თითქმის არ შეცვლილა.

ამ სურათების შედარებისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ხელსაწყოს მიერ ისინი გაზომილია სხვადასხვა მასშტაბში. მაგალითად, მე-5 ჰარმონიკის მნიშვნელობა შუქდიოდური ნათურის შემთხვევაში ტოლია 90 მა-ის, ჯამური დენის შემთხვევაშიც მნიშვნელობა დაახლოებით იგივეა. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აქტიური წინაღობის ჩართვა დენის დამახინჯების წყაროს პარალელურად ვერ ცვლის დამახინჯების წყაროს

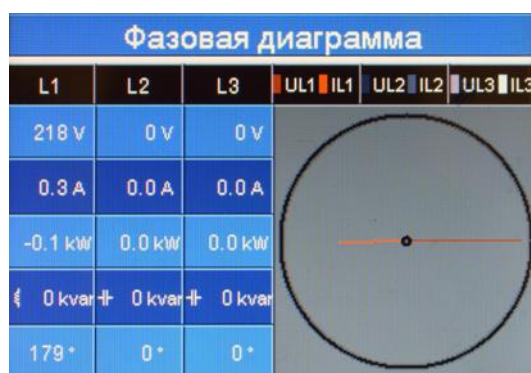
ჰარმონიულ შემადგენლობას. მას შეუძლია შეცვალოს მხოლოდ დამახინჯების წყაროს დენის ფაზა და დაამთხვიოს ძაბვის ფაზას.



ა)



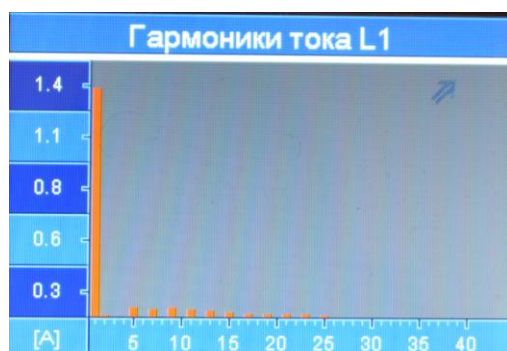
ბ)



გ)



დ)



ე)



ვ)

ნახ. 3.13. 28 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდული ნათურისა და 300 ვტ სიმძლავრის ვარვარა ნათურის ერთდროული ჩართვა: ა- დენისა და ძაბვის მრუდები 28 ვტ. სიმძლავრის შუქდიოდის ჩართვისას; ბ- შუქდიოდული ნათურის ჰარმონიული შემადგენლობა; გ - შუქდიოდული ნათურის ძაბვისა და დენის ფაზური დიაგრამა დ.- დენისა და ძაბვის მრუდები ორივე ელექტრომომხმარებლის ერთდროული ჩართვისას; ე) ჯამური დენის ჰარმონიული შემადგენლობა; ვ) ძაბვისა და ჯამური დენის ფაზური დიაგრამა.

3.6. დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის განსაზღვრა საცხოვრებელი ბინისა და საზოგადოებრივი შენობის ელექტრულ შემყვანზე

ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროებს გარე ელექტრულ ქსელზე წარმოადგენს ემისიის დენები, რომელიც მიედინება ელექტრული ენერჯის მიმღებიდან ტრანსფორმატორისაკენ. ძირითადი სიხშირის დენებისათვის ელექტრომიმღებები წარმოადგენს ელექტროენერჯის მომხმარებლებს, ხოლო დენის მაღალსიხშირული მდგენელებისათვის ელექტრომიმღებები წარმოადგენს გენერატორებს, გარე ელექტრული ქსელი და ტრანსფორმატორი კი - მიმღებებს.

ელექტრულ ქსელზე დამახინჯების წყაროების გავლენის შეფასებისათვის მნიშვნელოვანია საცხოვრებელი ბინის ან საზოგადოებრივი შენობის ელექტრულ შემყვანზე განისაზღვროს ემისიის დენების მნიშვნელობები.

ელექტროხელსაწყოების მიერ მაღალსიხშირული ჰარმონიკების გენერაციის პროცესი, მათი შეჯამება, ემისიის დენის ფორმირება, რომელიც ხდება შენობის შიგნით, მოცემული შეფასების დროს მნიშვნელოვანი არ არის. ამიტომ ამ გამოკვლევებში 0,4 კვ ელექტრულ ქსელში დამახინჯების წყაროებად საჭიროა ჩაითვალოს ბინის ან საზოგადოებრივი შენობის ელექტრული შემყვანი.

ბინის ან საზოგადოებრივი შენობის ელექტრულ შემყვანზე არასინუსოიდურობის პარამეტრების გაზომვა საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ძაბვისა და დენის ჰარმონიული შემადგენლობა და ამ პარამეტრების დღე-ღამური ცვლილება.

ექსპერიმენტის ჩატარების დროს საზომი საშუალება ჩართული იყო ბინის ელექტრულ შემყვანზე.

3.7. ელექტროხელსაწყოების ჯგუფი, რომელიც ფორმირებას უწევს დატვირთვის დილის მაქსიმუმს

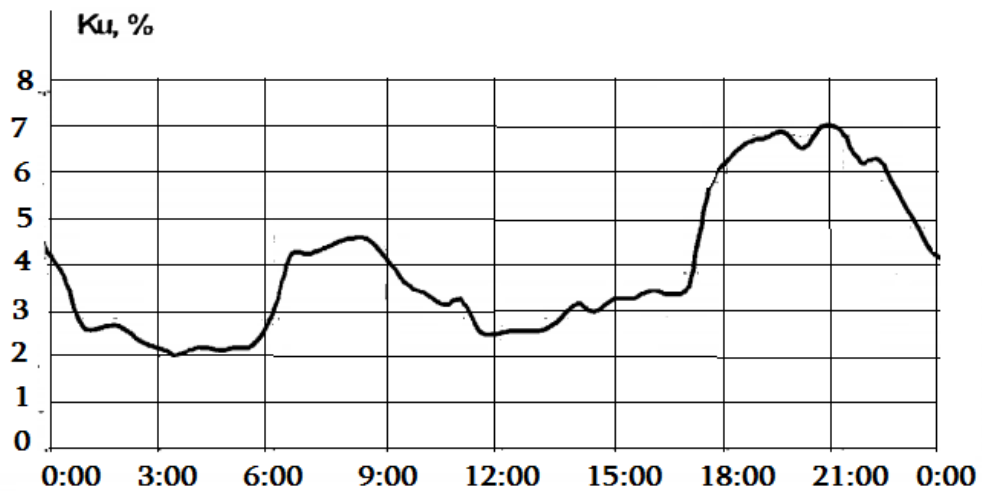
საცხოვრებელი სახლის დატვირთვის დილის მაქსიმუმისათვის დამახასიათებელია ყველა იმ ელექტროხელსაწყოს ერთობლივი მუშაობა, რომლებიც ფორმირებას უწევს დატვირთვის დამის მინიმუმს (ესენია ხანგრძლივი გამოყენების ელექტროხელსაწყოები - მაცივრები, საყინულეები, ტელევიზორები და სხვა). ასევე ჩართულია ელექტრული განათება. ეს შეიძლება იყოს ვარვარების ნათურები, რომელთაც გააჩნიათ ელექტრომომხმარების წრფივი მახასიათებელი ან ენერგოდამზოგი ნათურები, რომელთაც გააჩნიათ ელექტრომომხმარების არაწრფივი მახასიათებლები ან სინათლის სხვადასხვა წყაროს ერთობლივი მუშაობა. საჭმლის მოსამზადებელი ელექტროხელსაწყოები, ისეთები როგორცაა ელექტრომადუღარა, მიკროტალღური ღუმელი, ტოსტერი და სამეურნეო დანიშნულების ელექტროხელსაწყოები, მაგალითად უთო, ელექტროსაპარსი, ფენი, და სხვა. დატვირთვის დილის მაქსიმუმში მონაწილეობენ ასევე კულტურულ-საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოები. დილის საათებში მუშაობს ტელევიზორი, რადიო, მაგნიტოფონი და სხვა.

3.8. საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გამოკვლევა

საცხოვრებელი სახლის შემყვანზე არასინუსოიდურობის პარამეტრების გაზომვა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ძაბვისა და დენის მრუდების ჰარმონიული შემადგენლობა და ამ პარამეტრების დღედამური ცვლილება.

საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე, რომელიც ჩართულია კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო დატვირთვის ელექტრულ ქსელში გამორთული ელექტროხელსაწყოების პირობებში

დარეგისტრირებული იქნა ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების ცვლილება.



ნახ. 3.14. საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემცვანზე ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დღელამური ცვლილების გრაფიკი

ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების ცვლილების გრაფიკი წარმოდგენილია ნახ.314–ზე, მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვის პერიოდებში (ცხრილი 3.2).

ცხრილი 3.2. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დღელამური ცვლილების მნიშვნელობები

ელექტრომომხარების პერიოდი	ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი, %
დილის მაქსიმუმი	4,76
დღის მინიმუმი	3,32
სადამოს მაქსიმუმი	7,19
სადამოს მინიმუმი	2,83

ცხრილი 3.2–დან ჩანს, რომ დატვირთვის კვანძებში კომუნალურ–საყოფაცხოვრებო ელექტრომომხარების გაზრდით დატვირთვის მაქსიმუმის პერიოდში, ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობა იზრდება, ხოლო ელექტრომომხარების შემცირებით პირიქით მცირდება. ასეთი კანონზომიერება მოწმობს

საცხოვრებელი სახლის ელექტრომიმღებების გავლენას მთელი ელექტრომაგნიტური ქსელის ელექტრომაგნიტურ გარემოებაზე. დატვირთვის საყოფაცხოვრებო კვანძების რიცხვისა და სიმძლავრის გაზრდით დენის მაღალსიხშირული ემისიის დონე იზრდება, რასაც მივყავართ ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის მნიშვნელოვან დამახინჯებასთან.

დატვირთვის დღისა და ღამის მინიმუმის დროს ძაბვის არასინუსოიდური ფორმა შეიძლება აიხსნას იმით, რომ სატრანსფორმატორო ქვესადგურზე დატვირთვის შემცირების დროს, დაუტვირთავი ტრანსფორმატორი თავისი ფერომაგნიტური თვისებების გამო ელექტრომიმარაგების ქსელში იძენს არაწრფივი ელემენტის თვისებებს და თვითონ წარმოადგენს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროს.

ვითვალისწინებთ, რომ სახლის შიგნით ელექტრომაგნიტური გარემოება იცვლება ჩართული ელექტროხელსაწყოების შემადგენლობის მიხედვით, 0,4 კვ ძაბვის ქსელში დენისა და ძაბვის მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროდ შეიძლება ჩაითვალოს საცხოვრებელი სახლის ელექტრული შემყვანი. საცხოვრებელი სახლის შემყვანზე არასინუსოიდურობის განსაზღვრა და დღეღამის განმავლობაში მათი ცვლილების ხასიათი მოცემული დისერტაციის კვლევის ძირითადი ამოცანაა.

კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო მომხმარებლების ელექტრულ ქსელებში ჩატარებულმა ელექტროენერგიის ხარისხის კონტროლმა გვიჩვენა, რომ საცხოვრებელი სახლის შემყვანებზე დენის არასინუსოიდურობის ცვლილების ხასიათს აქვს განსაზღვრული ხასიათი.

საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე დენის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები დატვირთვის მაქსიმუმისა და მინიმუმის პერიოდებში წარმოდგენილია ცხრილი 3.3-ში.

ცხრილი 3.3. საცხოვრებელი სახლის ელექტრულ შემყვანზე დენის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები დატვირთვის მაქსიმუმისა და მინიმუმის პერიოდებში

ელექტრომომხარების პერიოდი	Ki, %	Ki(3), %	Ki(5), %	Ki(7), %	Ki(9), %
დილის მაქსიმუმი	10,60	7,45	6,28	3,27	1,58
დღის მინიმუმი	8,7	6,30	5,03	2,65	1,22
სადამოს მაქსიმუმი	14,70	9,79	9,63	3,99	1,74
ღამის მინიმუმი	7,66	5,70	3,94	2,61	1,31

3.9. საზოგადოებრივი შენობების ელექტრულ შემყვანებზე დენისა და ძაბვის მრუდების გამოკვლევა

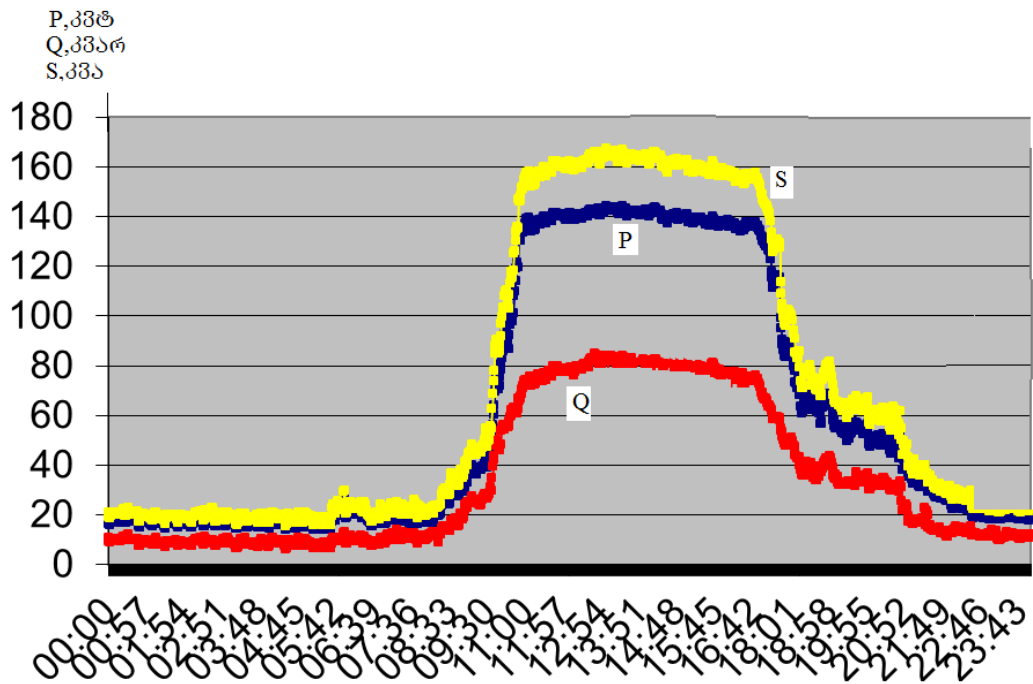
საზოგადოებრივ შენობებში გამოყენებული ელექტროხელსაწყოების შემადგენლობაში შედის მრავალი ხელსაწყო მოხმარების არაწრფივი მახასიათებლით, ისეთები როგორცაა კლიმატ-კონტროლები, კომპიუტერები, შუქდიოდური ნათურები და სხვა.

საზოგადოებრივი შენობის მაგალითად ავიღეთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ადმინისტრაციული შენობა. რომლის დატვირთვის მახასიათებელი ამოღებულია სისტემა SCADA-ს მონაცემებიდან და წარმოდგენილია სურ.3.15–ზე.

როგორც სურ.3.15-დან ჩანს, საზოგადოებრივი მომხმარებლების დატვირთვის გრაფიკებს მკვეთრი მაქსიმუმები არ გააჩნიათ. გამოსასვლელ დღეებსა და შრომითი კანონმდებლობით დადგენილ არასამუშაო საათებში მათი გრაფიკი არის სწორხაზოვანი.

საზოგადოებრივი შენობების დღელამური მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვის პერიოდებს აქვთ განსაკუთრებული ხასიათი. დრო 00:00 საათიდან 8:30 საათამდე და 22:00 საათიდან 00:00 საათამდე პერიოდი შეიძლება მივაკუთვნოთ მინიმალური დატვირთვის პერიოდს. 8:30 საათიდან 9:30 საათის პერიოდში ელექტრომომხარება იზრდება, მაგარამ ეს პერიოდი არ შეიძლება მივაკუთვნოთ მაქსიმალური დატვირთვის პერიოდს. 9:30 საათიდან 18:00 საათამდე პერიოდის

განმავლობაში საზოგადოებრივ მომხმარებლებს გააჩნიათ მაქსიმალური მოხმარება; 18:00 საათიდან 22:00 საათამდე პერიოდში ელექტრომომხმარება მცირდება მაგრამ იგი არ შეიძლება მივაკუთვნოთ მინიმალური მოხმარების პერიოდს, რომელიც იწყება 22:00 საათიდან.



სურ.3.15. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ადმინისტრაციული კორპუსის დატვირთვის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.

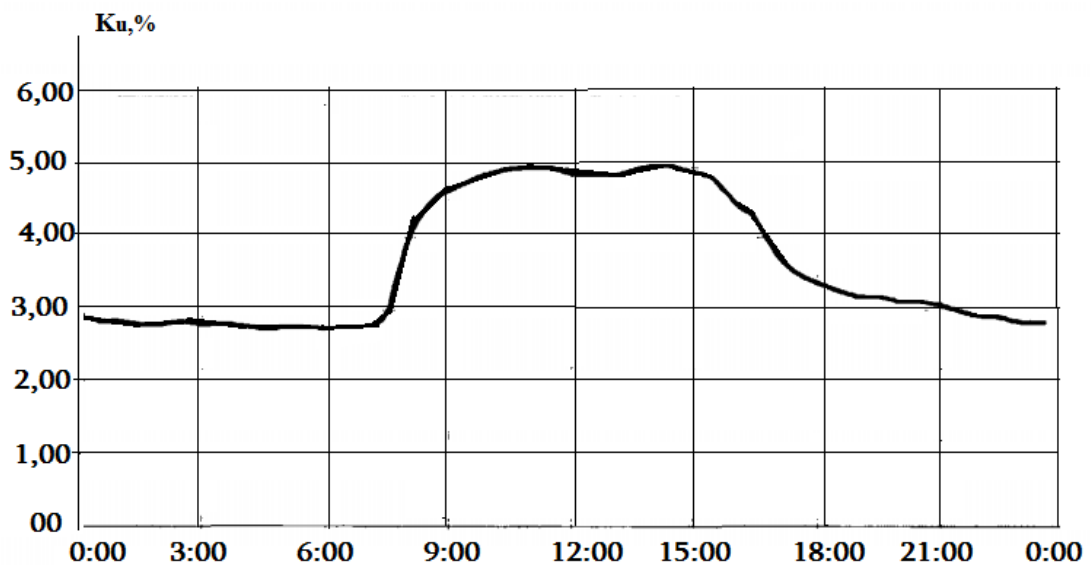
საზოგადოებრივი დატვირთვის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლის ჩატარებამ საშუალება მოგვცა გაგვესაზღვრა ძაბვის სინუსოიდური მრუდის დამახინჯების ცვლილების საშუალო დღე-ღამური ხასიათი. ასევე იყო განსაზღვრული ძაბვის არასინუსოიდურობის დამოკიდებულება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ადმინისტრაციული შენობის მიერ მოხმარებულ სიმძლავრეზე.

ძაბვის მრუდის არასინუსოიდურობის საშუალო დღე-ღამური ცვლილების ხასიათი დაფიქსირებული იქნა დაბალი ძაბვის იმ სალტეზე, რომელიც კვებავს ადმინისტრაციულ კორპუსს. ძაბვის მრუდის

სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის გაზომვის შედეგები წარმოდგენილია ნახ.3.16-ზე.

წარმოდგენილი ნახ.3.15 და ნახ. 3.16-დან ჩანს საზოგადოებრივი შენობების შემყვანზე პროპორციული დამოკიდებულება ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტსა და მოხმარებლების მიერ მოხმარებულ სიმძლავრეს შორის. ასეთი დამოკიდებულება მოწმობს იმას, რომ ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროებს წარმოადგენს საზოგადოებრივ შენობებში გამოყენებული ელექტროხელსაწყოები.

წინა დაკვირვებებიდან გამომდინარე, გამოტანილი იყო დასკვნა სახლის შიგნით რთული ელექტრომაგნიტურ გარემოებების შესახებ. აღნიშნული ფაქტი სრულიად სამართლიანია საზოგადოებრივი შენობებისთვისაც.



სურ.3.16. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტრულ შემყვანზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დღელამური ცვლილების გრაფიკი

მაშასადამე, გარე ელექტრული წრედის ძაბვისა და დენის მრუდების არასინუსოიდურობაზე საზოგადოებრივი მოხმარებლის გავლენის განსაზღვრისათვის დამახინჯების წყაროდ შეიძლება ჩავთვალოთ

საზოგადოებრივი შენობის ელექტრული შემყვანი. დამახინჯების წყაროს პარამეტრების განსაზღვრისათვის გაზომილი მნიშვნელობებიდან აღებული იქნა ის კოეფიციენტები, რომლებიც განსაზღვრავს დენის არასინუსოიდურობას მე-9 ჰარმონიკის ჩათვლით, რადგან მე-9 ჰარმონიკის ზემოთ მათი მნიშვნელობები იმდენად მცირეა, რომ გავლენას ვერ ახდენენ დენის სინუსოიდის დამახინჯებაზე.

საზოგადოებრივი შენობების ელექტრომომხმარების მაქსიმუმისა და მინიმუმის მახასიათებელ პერიოდებში დენის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილი 3.4- ში.

ცხრილი 3.4. საზოგადოებრივი შენობების ელექტრომომხმარების მახასიათებელ პერიოდებში დენის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები

ელექტრომომხმარების პერიოდი	Ki, %	Ki(3), %	Ki(5), %	Ki(7), %	Ki(9), %
დილის მაქსიმუმი	14,19	10,52	8,14	3,34	1,85
დღის მაქსიმუმი	11,52	9,41	5,95	2,63	1,61
საღამოს მინიმუმი	8,33	7,61	3,04	1,83	1,72
ღამის მინიმუმი	9,32	7,92	3,53	2,01	1,97

დარეგისტრირებული მახასიათებლებიდან ელექტრულ ქსელზე ყველაზე უფრო ნეგატიურ გავლენას ახდენს ისეთი ელექტროხელსაწყოები, რომელსაც გააჩნია კვების იმპულსური ბლოკები. ასეთი ხელსაწყოებია: ტელევიზორი, კომპიუტერი და სხვა. სატელევიზიო მიმღებები ქსელში გენერირებენ მე-3, მე-5, მე-7 და მე-9 კენტი რიგის მაღალსიხშირულ დენებს. დენების დანარჩენ ჰარმონიულ მდგენელებს აქვთ ისეთი სიდიდეები, რომელთაც არა აქვს არსებითი მნიშვნელობა.

თავი IV. 0,4 კვ ქსელში ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯებით გამოწვეული სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშება

4.1. მუშაობის არასინუსოიდურ რეჟიმებში ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების განსაზღვრის ალგორითმი

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მუშაობის არასინუსოიდურ რეჟიმებში ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების განსაზღვრისათვის შედგენილია ალგორითმი, რომელიც მოიცავს შემდეგ ძირითად ეტაპებს:

- 1) მოქმედი ელექტრული ქსელების სტატისტიკურ გამოკვლევა
- 2) გაზომვების ჩატარებისათვის მომზადება;
- 3) გაზომვების ჩატარება;
- 4) მიღებული შედეგების დამუშავება და ანალიზი;
- 5) მათემატიკური მოდელის შექმნა კვლევის შედეგების მიხედვით;
- 6) ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშება.

თითოეული ეტაპის შესრულება ხასიათდება თავისებურებებით. ეს თავისებურებებია:

1. მოქმედი ელექტრული ქსელების გამოკვლევა;

მოქმედი ელექტრული ქსელების გამოკვლევა მოიაზრებს კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორის ელექტრომომარაგების ელექტროგადაცემის ხაზების შესრულების კონსტრუქციული თავისებურებების განსაზღვრას, 10/0,4 კვ სატრანსფორმატორო ქვესადგურების ტიპისა და სიმძლავრის, გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზების რაოდენობისა და სიგრძის, სადენების მარკისა და კვეთის მოკვლევას, მკვებავი სატრანსფორმატორო ქვესადგურზე აბონენტების რაოდენობის განსაზღვრას.

2. ელექტრული ქსელების მახასიათებლის განსაზღვრა;

უნდა განისაზღვროს ელექტრული ქსელების მახასიათებლები, რომელშიც ტარდება გამოკვლევები - სქემის პარამეტრები, დატვირთვის შემადგენლობა და მუშაობის რეჟიმები.

3. ინსტრუმენტალური და ანალიზური მეთოდებით არასინუსოიდურობის წყაროს გამოვლენა;

არასინუსოიდურობის წყაროს ინსტრუმენტალური მეთოდით გამოკვლევა მოიაზრებს იმ ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვას, რომელიც ახასიათებს ძაბვისა და დენის მრუდის არასინუსოიდურ ფორმას. ასევე, ის მოაზრებს მიღებული შედეგების ანალიზსაც, რომელიც წარმოდგენილი უნდა იყოს ცხრილის, გრაფიკების, სპექტრების ან ჰისტოგრამების სახით. დამახინჯების წყაროს განსაზღვრის ანალიზური მეთოდი დაფუძნებულია არაწრფივი დატვირთვის მქონე ელექტრომომხმარებლების შემადგენლობისა და მუშაობის რეჟიმების ანალიზზე.

4. ელექტრული ქსელის კვანძების შერჩევა;

უნდა შეირჩეს ელექტრული ქსელის კვანძები, სადაც ჩატარდება გაზომვები და განისაზღვროს გაზომვის ხანგრძლივობა.

5. ელექტრული ქსელის ყველა საჭირო კვანძში გაზომვების ჩატარება;

ელექტრული ქსელის ყველა საჭირო კვანძში უნდა ჩატარდეს ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლის საჭირო გაზომვები და განისაზღვროს დენის უმაღლესი ჰარმონიკების მნიშვნელობები.

6. გაზომვის შედეგების დამუშავება;

7. შესაბამის საოპერაციო გარემოში მათემატიკური მოდელის შექმნა.

მათემატიკური მოდელის პარამეტრები განსაზღვრული უნდა იყოს ჩატარებული კვლევის შედეგების მიხედვით. თითოეული ჰარმონიული მდგენელისათვის უნდა შედგეს ჩანაცვლების სქემა. შესრულდეს დენის უმაღლესი ჰარმონიკების გავრცელების დროს მახასიათებელი დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშება.

8. ელექტროენერგიის დამატებითი დანაკარგების გაანგარიშება.

ქსელის ელემენტებში სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგების განსაზღვრა და ელექტროენერგიის დამატებითი დანაკარგების განსაზღვრა.

9. ანგარიშის შედეგების დამუშავება.

4.2. დამატებითი დანაკარგების შეფასებისათვის ამოცანის დასმა და საწყისი მონაცემები

არასინუსოიდურ რეჟიმებში სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების შეფასებისათვის კვლევის ობიექტებს წარმოადგენს ელექტრული ქსელის ცალკეული ელემენტები. ძაბვისა და დენის მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროები მოპოვებულია საკვლევ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვის შედეგების მიხედვით.

ასეთი გაზომვის შედეგები, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილის ან გრაფიკული სახით, საშუალებას იძლევა შევადგინოთ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების ცვლილების ზოგადი კანონზომიერებანი და გამოვავლინოთ სისტემის ის ფრაგმენტები, რომელშიც სინუსოიდურობის დამახინჯება მნიშვნელოვანი იქნება, და აქედან გამომდინარე, დამატებითი დანაკარგებიც იქნება არსებითი

არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის რეჟიმების დროს, რეჟიმების გაანგარიშებებში, არაწრფივი დატვირთვა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ჩანაცვლების სქემის ორი ელემენტით: ძაბვის წყაროთი და დენის წყაროთი.

შემყვანზე არასინუსოიდური ძაბვის დროს, წრფივ დატვირთვაში, დამატებითი დანაკარგების შეფასებისათვის, საჭიროა ვისარგებლოთ ჩანაცვლების სქემით ძაბვის წყაროთი, ხოლო იმ შემთხვევაში, თუ კვლევის ობიექტს წარმოადგენს არაწრფივი დატვირთვის მქონე სისტემა, მაშინ დატვირთვა წარმოდგენილი უნდა იქნეს დენის წყაროს სახით. დასაწყისში გამოითვლება დენები, რომელიც წარმოიშვება დენის მუდმივი მდგენელით, შემდეგ - პირველი ჰარმონიკით გენერირებული დენები, შემდეგ მეორე ჰარმონიკით და ა.შ.

ზედდების პრინციპის თანახმად, სქემის ნებისმიერ შტოში დენის მყისა მნიშვნელობა ტოლია დენის ცალკეული ჰარმონიკების მყისა მნიშვნელობათა ჯამის. ანგარიში წარმოებს თითოეული ჰარმონიკისთვის

ცალცალკე. ამასთანავე, დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების ჩანაცვლების სქემაში დენის წყაროები წარმოადგენს გენერატორებს, ხაზის ელემენტები და ტრანსფორმატორი კი - დატვირთვას.

ჩანაცვლების სქემის შედგენის დროს ქსელის პასიური ელემენტების პარამეტრების აღრიცხვის თავისებურება მდგომარეობს ზედაპირული და სიახლოვის ეფექტების მხედველობაში მიღების საჭიროებაში.

ზედაპირული ეფექტი ვლინდება აქტიური წინაღობისა და ჰარმონიკის რიგის დამოკიდებულებიდან გამომდინარე. ჰარმონიკის n სიხშირეზე აქტიური წინაღობის მნიშვნელობა მეტია ელემენტის აქტიურ წინაღობაზე $n^{1/2}$ -ჯერ. ინდუქციური წინაღობა იზრდება სიხშირის პირდაპირპროპორციულად, ამიტომ n ჰარმონიკის სიხშირეზე ინდუქციური წინაღობა n - ჯერ მეტია, ხოლო ტევადური წინაღობის შემთხვევაში კი პირიქით, n - ჯერ ნაკლებია.

საკვლევი ქსელის ფარგლებში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვების ჩატარება საშუალებას იძლევა ჩამოვყალიბოთ მახასიათებელი რეჟიმების სრული ჩამონათვალი, რომელთაგან თითოეულისათვის არასინუსოიდური ძაბვებისა და დენების მიერ გამოწვეული დამატებითი დანაკარგები შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივად.

ამ შემთხვევაში მახასიათებელ რეჟიმში მუშაობისას ქსელის ყველა ელემენტში სიმძლავრის ჯამური დამატებითი დანაკარგები გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta P_{n\Sigma} = \sum_{n=2}^n I_n^2 \cdot r_n$$

სადაც r_n - არის დენის მოცემული ჰარმონიული მდგენელის ელემენტის წინაღობა.

ამგვარად, ელექტრულ ქსელში სიმძლავრის საერთო დანაკარგი შეადგენს:

$$\Delta P = I_1^2 \cdot r_1 + \sum_{n=2}^n I_n^2 \cdot r_n$$

ელექტროენერჯის დანაკარგები დამატებითი დანაკარგების გათვალისწინებით შეადგენს:

$$\Delta W_{\Sigma} = \sum_{n=1}^k R_n \cdot \int_0^T I_n^2(t) dt \approx \sum_{n=1}^k R_n \cdot \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I_{n,j}^2$$

სადაც $I_n(t)$ - არის სრული დენი ელემენტში ყველა ჰარმონიკის გათვალისწინებით დროის t მომენტში.

Δt - არის დროის ინტერვალი გაზომვის თანმიმდევრობებს შორის, თუ ეს გაზომვები ხორციელდებოდა დისკრეტულად და თანაბრად დროის საკმაოდ მცირე შუალედებში

0,4 კვ ძაბვის ხაზებში სიახლოვის ეფექტი ვერ ახდენს საგრძნობ გავლენას ელექტროენერჯის დანაკარგებზე.

4.3. სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგები

საზოგადოებრივი მომხმარებლების მკვებავ 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში

0,4 კვ ძაბვის საზოგადოებრივი მომხმარებლების მკვებავი ელექტრული ქსელი თავისი ძირითადი პარამეტრების მიხედვით მსგავსია საცხოვრებელი სახლების მკვებავი ელექტრული ქსელისა. ის ასევე სრულდება - სამფაზა ოთხსადენიანი. საზოგადოებრივი მომხმარებლის მაგალითად ჩვენ ვიხილავთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ადმინისტრაციულ კორპუსს. სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ტრანსფორმატორს აქვს დამცავი დამიწება, რომლის წინააღმდეგობის მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს 4 ომს. ნულოვანი სადენი დამიწებულია, რომლის წინააღმდეგობა არ აღემატება 30 ომს. ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძე 40 მ-ია. ტრანსფორმატორის მარკა და

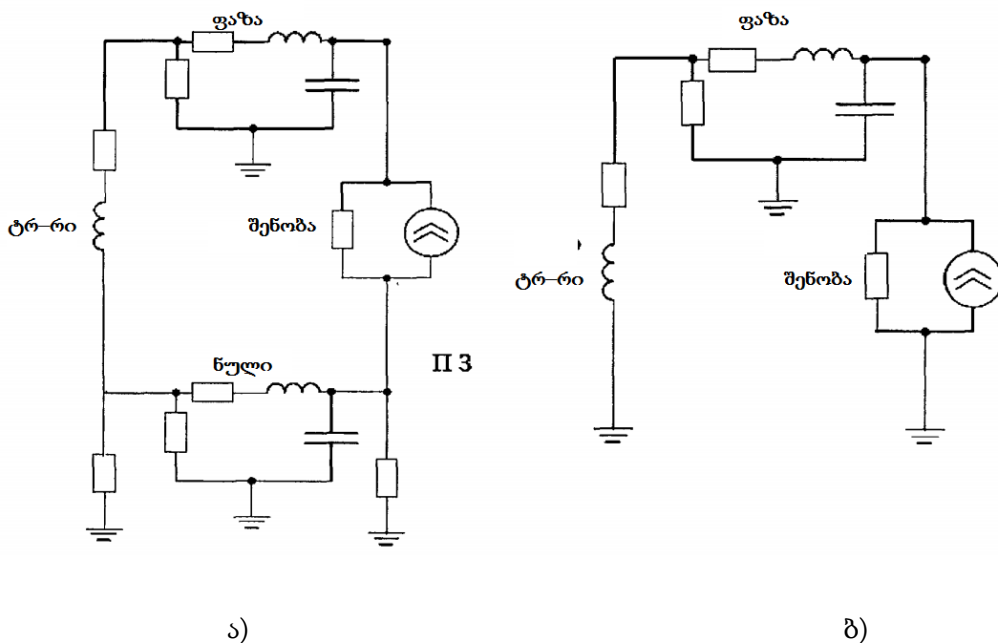
სიმძლავრეა TM-630/10/0,4, გამავალი ხაზების რამდენობაა -1, სადენის მარკა და კვეთია A-120.

სააზოგადოებრივი მომხმარებლების მიერ მოხმარებული სიმძლავრე შეიძლება იყოს სხვადასხვა, მას განაპირობებს სააზოგადოებრივი მომხმარებლის კატეგორია

სააზოგადოებრივი მომხმარებლების მკვებავ ელექტროქსელებში დენისა და ძაბვების არასინუსოიდურ წყაროებს წარმოადგენს შენობის შიგნით განთავსებული ელექტროხელსაწყოები. ასეთ ქსელებში დენებისა და ძაბვების სინუსოიდურობის დამახინჯების ელექტროხელსაწყოების ჩამონათვალი დაიყვანება მუშა და მორიგე ელექტროგანათებად და მუშა დანიშნულების ელექტროხელსაწყოებამდე (კონდიციონერები, კომპიუტერები, სკანერები, ფაქსენი, პრინტერები, ქსეროქსები და სხვა).

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ადმინისტრაციული შენობის დღედამური მოხმარების გრაფიკი წარმოდგენილია სურ.3.16-ზე.

ელექტრული ქსელის ერთფაზა ჩანაცვლების სქემა წარმოდგენილია სურ. 4.1-ზე



სურ.4.1. სააზოგადოებრივი დატვირთვის მკვებავი ელექტრული ქსელის ერთფაზა ჩანაცვლების სქემა უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების გავრცელებისათვის: ა-სამის ჯერადი; ბ-სამის არა ჯერადი

ადმინისტრაციული შენობის მკვებავ ელექტრულ ქსელში დამახინჯების წყაროდ შეიძლება განვიხილოთ ადმინისტრაციული კორპუსის ელექტრული შემყვანი. ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ დენის უმაღლეს ჰარმონიულ მდგენელებში ყველაზე არსებითია მე-3, მე-5, მე-7, მე-9, მე-15 და 21-ე რიგის ჰარმონიკები.

ადმინისტრაციული კორპუსის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე დატვირთვის მაქსიმუმის პერიოდში შეადგენს 140 კვტ-ს.

ცხრილი 4.1-ში მოცემულია ძირითადი სიხშირის დენით გამოწვეული ელექტროენერჯის დღეღამური დანაკარგები, ხოლო ცხრილი 4.2-ში კი ელექტროენერჯის დღეღამური დანაკარგები, რომელიც უმაღლესი რიგის დენის ჰარმონიკებითაა გამოწვეული.

ცხრილი 4.1. ძირითადი სიხშირის დენისაგან გამოწვეული ელექტროენერჯის დღეღამური დანაკარგები

ელექტრული ქსელის ელემენტი	ელექტროენერჯის დანაკარგი, კვტ.სთ
ფაზური სადენი	146
ტრანსფორმატორი	141
მთელი ქსელი	287

ცხრილი 4.2. უმაღლესი რიგის დენის ჰარმონიკებისაგან გამოწვეული ელექტროენერჯის დღეღამური დანაკარგები

ელექტრული ქსელის ელემენტი	ელექტროენერჯის დანაკარგი, კვტ.სთ
ფაზური სადენი	10,2
ნულოვანი სადენი	26
ტრანსფორმატორი	5,3
ჩამიწების მოწყობილობა	35,8
მთელი ქსელი	77,1

ცხრილი 4.3. საზოგადოებრივი მომხმარებლის მკვებავი ელექტრული ქსელების ელექტროენერჯის დღედამური დანაკარგები

მაჩვენებელი	დანაკარგების მნიშვნელობა, კვტ.სთ	წილი მთლიანი დანაკარგებიდან, %
ელექტროენერჯის საერთო დანაკარგები	364,1	100
ელექტროენერჯის დანაკარგები ძირითად სიხშირეზე	287	79
დენის მე-3 ჰარმონიკით გამოწვეული დანაკარგები	54,6	15
დენის მე-5 ჰარმონიკით გამოწვეული დანაკარგები	0,8	0,22
დენის მე-7 ჰარმონიკით გამოწვეული დანაკარგები	0,14	0,04
დენის მე-9 ჰარმონიკით გამოწვეული დანაკარგები	13,8	3,8
დენის მე-15 ჰარმონიკით გამოწვეული დანაკარგები	4,73	1,3
დენის 21-ე ჰარმონიკით გამოწვეული დანაკარგები	2,33	0,64

4.4. მიღებული შედეგების ანალიზი

0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ დამატებითი დანაკარგების წილი, რომელიც გამოწვეულია ძაბვებისა და დენების არასინუსოიდურობით მნიშვნელოვანია და აღწევს საერთო დანაკარგების 20 %-ს. დამატებითი ტექნიკური დანაკარგების ძირითადი წილი გამოწვეულია ქსელში ნულოვანი თანმიმდევრობის დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების გადინებით (სამის ჯერადი ჰარმონიკებით).

ნულოვანი თანმიმდევრობის ჰარმონიკებისაგან გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები შეინიშნება ელექტრული ქსელის ყველა

ელემენტზე– ტრანსფორმატო–რის სალტებზე, საჰაერო ხაზების ფაზურ და ნულოვან სადენებზე, ტრანსფორმატორის ნეიტრალის ჩამიწებაში. ყველაზე მნიშვნელოვანი დანაკარგები შეინიშნება საზოგადოებრივი შენობების ქსელებში. ეს აიხსნება იმით, რომ საზოგადოებრივ შენობებში არის დიდი რაოდენობის არაწრფივი მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოები.

0,4 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელების ელემენტებზე ძაბვის ვარდნები, რომლებიც გამოწვეულია მასში მაღალსიხშირული დენების გადინებით, იწვევს ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებას ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტისა და n–ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის მიხედვით.

მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხი გამოდის ГОСТ 32144-2013 –ის მოთხოვნებიდან.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოში ენერგოდამზოგ ტექნოლოგიებზე მასიურ გადასვლასთან დაკავშირებით, (სახელდობრ სინათლის ენერგოდამზოგ წყაროებზე) ელექტროენერჯის მოხმარება მცირდება, მაგრამ, ამასთანავე, არაწრფივი მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოების მიერ ელექტრომოხმარება იზრდება. მასთან ერთად იზრდება ელექტროენერჯის დამატებითი დანაკარგების წილი, რომელიც გამოწვეულია ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობით. შედეგად უარესდება ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების მნიშვნელობები.

მოქმედ ელექტრულ ქსელებში დამატებითი ტექნიკური დანაკარგები, რომელიც გამოწვეულია ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობით განმარტებულია როგორც კომერციული დანაკარგები, რაც არასწორია. სადისერტაციო სამუშაოში ჩატარებული ანალიზი საშუალებას იძლევა დავამტკიცოთ, რომ დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელებით გამოწვეული დანაკარგები არის ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების განუყოფელი ნაწილი.

ჯერ კიდევ ელექტრული ქსელების პროექტირების ეტაპზე საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს, არა მხოლოდ ელექტროენერჯის ისეთი

ხარისხის მაჩვენებლების გავლენა, როგორცაა ძაბვის გადახრა და დატვირთვის არასიმეტრიულობა, არამედ ის მაჩვენებლებიც რომლებიც განსაზღვრავენ ძაბვის არასინუსოიდურობას.

არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების არსებობას 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში მივყავართ არ მხოლოდ ელექტროენერჯის დანაკარგების გაზრდისაკენ , არამედ მთელი ქსელის მუშაობის საიმედოობის შემცირებისაკენაც.

ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი, ელექტრული ქსელების მუშაობის საიმედოობა და ენერგოდაზოგვა ურთიერთდაკავშირებული პრობლემებია და ცალ- ცალკე ეს საკითხები არ შეიძლება გადაწყვეტილი იქნეს.

მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის მუდმივი ან პერიოდული კონტროლი უკვე წარმოადგენს არა სარეკომენდაციო, არამედ საჭირო ღონისძიებას 0,4 კვ ძაბვის ქსელების საიმედო და ეფექტური მუშაობისათვის.

თავი V. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე და მათი ნორმირება.

5.1. ზოგადი ცნობები

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება წარმოიქმნება ელექტრული დენის ნებისმიერი წყაროდან ენერჯის გამოსხივების შედეგად. ეს არის პერიოდული, სივრცეში ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველი, რომელშიც ცვლადი ელექტრული და მაგნიტური ველები ერთმანეთთან მჭიდროდ არიან დაკავშირებული და ელექტრული ველის ნებისმიერი ცვლილება იწვევს მაგნიტური ველის ცვლილებას და პირიქით.

ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანის ორგანიზმზე გავლენის პრობლემა როგორც დასახლებული გარემოს ფაქტორი იძენს უფრო და უფრო დიდ მნიშვნელობას, რადგან ყოველწლიურად იზრდება გამოსხივების წყაროების რაოდენობა და სიმძლავრე. ელექტრომაგნიტური ველი მათი დონისა და სიხშირის დიაპაზონისაგან დამოუკიდებლად ექვემდებარება სანიტარულ – ეპიდემიოლოგიურ ნორმირებას.

ელექტრომაგნიტური ველის ხანგრძლივი მოქმედების მექანიზმი, განსაკუთრებით მცირე ინტენსიური გამოსხივებით ჯერ კიდევ საბოლოოდ შესწავლილი არ არის. ყველაზე მეტად შესწავლილია სანტიმეტრული დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ტალღები. ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია, რომ ისინი განაპირობებენ გამოხატულ ბიოლოგიურ ეფექტებს: მომატებულ ტემპერატურას, ცენტრალური ნერვული სისტემის დაზიანებას, მორფოლოგიურ ცვლილებებს ორგანიზმში, აქტიურობის შემცირებას და სხვა.

ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე, დამუშავებული იქნა სიხშირესა და ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებული ელექტრომაგნიტური ენერჯის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომელიც დაედო საფუძვლად სანიტარულ ნორმებსა და წესებს.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ნორმირებულ პარამეტრებად ჰიგიენური ნორმატივებით ითვლება ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები.

ცხრილი 5.1. ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გარეშე ადამიანის სამრეწველო სიხშირის ელექტრულ ველში ყოფნის დასაშვები დრო დღეღამის განმავლობაში

ელექტრული ველის დაძაბულობა, კვ/მ	ველში ყოფნის დასაშვები ხანგრძლივობა დღეღამის განმავლობაში, წთ
5–მდე ჩათვლით	480
6	380
7	308
8	255
9	213
10	180
11	153
12	130
13	110
14	94
15	80
16	68
17	56
18	47
19	38
20	30
20–ის ზემოთ 25–მდე	10
25–ზემოთ	დაუშვებელია

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ნორმირებულ მაჩვენებლებს წარმოადგენს [1]:

- სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დამაბულობა (კვ/მ);
- სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობა (ა/მ) ან მაგნიტური ველის ინდუქცია (მკტლ)

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დასაშვები დონე მოყვანილია სანიტარულ ნორმებში, რომელიც დამტკიცებულია რუსეთის სახელმწიფო სანიტარული ზედამხედველობის მიერ 1996 წელს [2].

ცხრილი 5.1-ში მოყვანილია ამ ნორმატიული დოკუმენტის თანახმად ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გარეშე ადამიანის სამრეწველო სიხშირის ელექტრულ ველში ყოფნის დასაშვები დრო დღედამის განმავლობაში.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, 2003 წლამდე, ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმებით რეგლამენტირებული იყო ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა მხოლოდ ელექტრული ველის დამაბულობის გავლენის ზონაში და იგნორირებული იყო მაგნიტური ველის გავლენის ზონაში ყოფნის ხანგრძლივობა. სიტუაცია კარდინალურად შეიცვალა ახალი ნორმატიული დოკუმენტების[3] შემოღების შემდეგ, სადაც გამოყენებულია ერთიანი მიდგომა, რომელიც ზღუდავს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობას ელექტრული ან მაგნიტური ველის ზემოქმედების ქვეშ, მისი მომატებული დონის არსებობის დროს.

ამ ნორმების თანახმად, ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ცალკე ელექტრული და ცალკე მაგნიტური ველებისათვის.

ელექტრული ველის დამაბულობისათვის ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა, ანუ ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობა განისაზღვრება შემდეგნაირად[3]:

- სამუშაო ადგილზე 5 კვ/მ-მდე ელექტრული ველის დამაბულობის დროს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა შეზღუდული არ არის;

- 5 კვ/მ-დან 20 კვ/მ-მდე ჩათვლით ელექტრული ველის დაძაბულობის ზონაში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა გამოითვლება ფორმულით:

$$T_{\text{ჯლ}} = \frac{50}{E} - 2 \quad (3.1)$$

სადაც E- ელექტრული ველის დაძაბულობაა ადამიანის ყოფნის ადგილზე.

- 20 კვ/მ-დან 25 კვ/მ-მდე ჩათვლით დიაპაზონში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა შეადგენს 10 წთ-ს.
- 25 კვ/მ-ზე ზემოთ ელექტრული ველის დაძაბულობის დროს დაცვის საშუალებების გამოყენების გარეშე ადამიანის ყოფნა დაუშვებელია.

ელექტრულ ველში ყოფნის დროის ხანგრძლივობასთან ერთად ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმებით რეგლამენტირებულია ადამიანის მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობაც.

ცხრილი 5.2-ში მოყვანილია სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ზღვრულად დასაშვები დონე საერთო (მთელ სხეულზე) და ლოკალური (კიდურებზე) ზემოქმედების დროს.

ცხრილი 5.2. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ზღვრულად დასაშვები დონე საერთო (მთელ სხეულზე) და ლოკალური (კიდურებზე) ზემოქმედების დროს

სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები (ა/მ)/ მკტლ		ყოფნის ხანგრძლივობა, სთ
ლოკალური	საერთო	
6400/8000	1600/2000	1 სთ-ზე ნაკლები
3200/4000	800/1000	2
1600/2000	400/500	4
800/1000	80/100	8

საერთაშორისო რეკომენდაციების თანახმად (ჩვენი ჯერ კიდევ დამუშავებული არ არის) დღეღამეში 2 საათამდე დასხივების დროისათვის

სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის უსაფრთხო დონე შეადგენს 500 მკტლ.

გვესაჭიროება თუ არა ჩვენი ნორმები, როდესაც არსებობს სხვა ქვეყნების მიერ მიღებული რეგულაციები? ამ კითხვაზე პასუხი ცალსაად დადებითია. უსაფრთხო დასხივების ნორმატივები წარმოადგენს სოციალურ ფაქტორს. თუ ეს ნორმატივები რეგულირდება სახელმწიფოს კანონმდებლობით და მისი შესრულების აუცილებლობას უზრუნველყოფს კანონი, მაშინ მოქალაქეს აქვს უფლება მიმართოს სასამართლოს და შეიტანოს სარჩელი იმ ორგანიზაციის წინააღმდეგ, რომლის ბრალეულობითაც ის სხივდება. ეს ფაქტორი ნეგატიურად მოქმედებს ორგანიზაციების ფინანსურ მხარეზე. ამიტომ, დასავლეთის ქვეყნებსა და განსაკუთრებით აშშ-ში არსებული ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები ასჯერ და ათასჯერ აღემატება რეალურად უსაფრთხო ნორმებს. ასეთ პირობებში დასხივებული ადამიანი ამერიკული კანონების თანახმად ვერ იჩივლებს სასამართლოში, რადგან იქ მიღებული კანონმდებლობით, ზღვრულად დასაშვები დონეების თანახმად ყველაფერი წესრიგში იქნება. ადამიანს ასევე არ შეუძლია იჩივლოს, თუ მასზე იმოქმედებს დასაშვებზე მეტი ინტენსიურობის დასხივება, რადგან დადგენილი ზღვრულად დასაშვები დონეები ატარებს არა აუცილებელ, არამედ სარეკომენდაციო ხასიათს. მხოლოდ ერთ შტატში არის დამტკიცებული ზღვრულად დასაშვები დონეები და ისიც 1000-ჯერ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ რეალურ დონეს.

საერთაშორისო ჰიგიენური რეკომენდაციები ადგენს მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობას 100 მკტლ, მაშინ როცა 0,2 მკტლ მეტი დამაბულობის მაგნიტურ ველში შეინიშნება ავთვისებიანი სიმსივნის განვითარების რისკი.

შვედი მეცნიერების მიერ დადგენილი იქნა, რომ ადამიანისათვის უსაფრთხოა 0,2–0,3 მკტლ მაგნიტური ველის დამაბულობის დონე. მათ მიერ მიღებული ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის დონე - 0,2 მკტლ, ყველაზე მეტად მისაღებია.

მისასაღმებელია, რომ შვედეთის ყველა ნორმატივი და რეკომენდაცია ამჟამად ჩართულია ევროპის ეკონომიური თანამშობლობის დოკუმენტებში.

5.2. საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების ელექტრომაგნიტური გამოსხივება

ყველა საყოფაცხოვრებო ხელსაწყო, რომელიც მუშაობს ელექტრული დენის გამოყენებით, თავის გარშემო ქმნის ელექტრომაგნიტურ ველს. ტელევიზორები, მაცივრები, უთოები, მტვერსასრუტები, კომპიუტერები და პროგრესის სხვა მიღწევები წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს. მეცნიერების მტკიცებით, ელექტრომაგნიტურმა გამოსხივებამ შეიძლება ადამიანის ორგანიზმზე გამოიწვიოს ნეგატიური გავლენა. ელექტრომაგნიტური ველები საშიშია უპირველესად იმიტომ, რომ ადამიანი ვერ შეიგრძნობს მის ზემოქმედებას ისე, როგორც შეიგრძნობს, მაგალითად, სინათლეს, ხმას, და ა.შ. ამიტომ ადამიანს არ შეუძლია ადეკვატურად განსაზღვროს მისი ინტენსივობა და საფრთხის ხარისხი.

ჩვენი ორგანიზმი ძალიან მგრძობიარეა ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მიმართ, ამასთანავე, როგორც თანამედროვე გამოკვლევები გვიჩვენებს, მათი ზემოქმედებით ყველაზე მეტად ზიანდება ტვინი, გული, ასევე ადამიანის ენდოკრინოლოგიური, იმუნური და სასქესო სისტემები.



ნახ.5.1. მრავალფუნქციური უნივერსალური საზომი სამკომპონენტო ხელსაწყო BE-METP-ის საერთო ხედი

ჩვენს მიერ საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნა თანამედროვე მრავალფუნქციური უნივერსალური საზომი სამკომპონენტო ხელსაწყო BE-METP-ი, რომლის საერთო ხედი წარმოდგენილია ნახ.5.1-ზე. იგი შედგება ელექტრული და მაგნიტური ველების პარამეტრების საზომი ორი მოდიფიკაციის საზომისაგან "50Гц", "AT-004" და მათი რადიოარხებით მართვის ბლოკისაგან „НТМ-ТЕРМИНАЛ“.

გაზომვის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილი 5.3-ში.

ცხრილი.5.3. საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების მაგნიტური ველის დაძაბულობები

ხელსაწყო	მაგნიტური ველის დაძაბულობა, მკტლ		
	3 სმ დაშორებით	30 სმ დაშორებით	1 მ-ით დაშორებით
ფენი	6–2000	0,01–7	< 0,01–0,3
ელექტროსაპარსი	15–1500	0,08–9	< 0,01–0,3
მტვერსასრუტი	200–800	2–20	< 0,13
ლუმინესცენციური ნათურა	40–400	0,5–2	0,13–0,1
მიკროტალღური ღუმელი	73–200	4–8	0,1–0,15
ტელევიზორი	2,5–50	0,04–1,2	< 0,01–0,15
სარეცხი მანქანა	0,8–50	0,15–2,0	< 0,01–0,15
უთო	8–30	0,15–0,3	<0,01–0,025
კომპიუტერი	0,5–30	0,01	0,005–0,01
ვენტილიატორი	2–30	0,03–0,04	0,01–0,35
მაცივარი	0,5–17	0,01–0,25	< 0,01

როგორც გაზომვის შედეგებიდან ჩანს, საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოებიდან 30 სმ – 1 მ–ის დაშორებით მაგნიტური ველის დამაბულობა დიდი არ არის და ითვლებოდა, რომ ასეთი სუსტი დამაბულობის ველს არ შეუძლია ზიანი მიაყენოს ადამიანის ჯანმრთელობას. მაგრამ ეს მთლად ასეც არ არის.

გასული საუკუნის 70–იანი წლების ბოლოდან მსოფლიოს ათობით ქვეყანაში მიმდინარეობდა გამოკვლევები და მეცნიერების მიერ გამოვლენილი იქნა სხვადასხვა დაავადებების კავშირი ელექტრომაგნიტურ დასხივებასთან. მაგალითად, შვედეთში 1992 წლისათვის დასრულებული იქნა დაკვირვებები 500 000 ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობაზე, რომლებიც ცხოვრობდნენ სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის მომატებული დამაბულობის პირობებში. შედეგები აღმოჩნდა არადამაიმედებელი.

სტატისტიკამ აჩვენა, რომ მაგნიტური ველის ინდუქციის გაზრდა 0,1 მკტლ–დან 4 მკტლ–მდე რამდენჯერმე ზრდიდა ბავშვებში ლეიკემიის განვითარების რისკს. თუ ინდუქციის მნიშვნელობა შეადგენდა 0,3 მკტლ და მეტს, ონკოლოგიური დაავადებების შემთვევებს ადგილი ჰქონდა ორჯერ უფრო ხშირად.

ამ მონაცემების საფუძველზე, შვედმა მეცნიერებმა შემოიტანეს დაბალი სიხშირის მაგნიტური ველის ჰიგიენური ნორმატივი 0,2 მკტლ. ანალოგიური შედეგები მიღებული იქნა აშშ–ში, კანადაში, საფრანგეთში, დანიაში და ფინეთში, აქედან გამომდინარე, დღეისათვის მრავალ ქვეყანაში დაბალი სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის უსაფრთხო დონედ მიღებულია 0,2 მკტლ.

სამწუხაროდ, ჩვენს ქვეყანაში ნორმატიული დოკუმენტები ამ საკითხთან დაკავშირებით არ არის მიღებული და შესაბამისად, გონივრული იქნება, თუ ქალაქების განაშენიანების, დაპროექტების, ბინების დაგეგმარების და ასევე საყოფაცხოვრებო ტექნიკის მოხმარების დროს ვიხელმძღვანელებთ მაგნიტური ველის დამაბულობის 0,2 მკტლ დონით.

დასკვნები

1. თანამედროვე საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივ შენობებს თავისი ელექტრომიმღებების შემადგენლობაში გააჩნია არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმღებები. დატვირთვის ასეთი კვანძები წარმოადგენს მოქმედ ელექტრულ ქსელებში ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს.

2. 0,4 კვ ელექტრულ ქსელებში ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებას მივყავართ მრავალ უარყოფით შედეგამდე, მათ შორის, იწვევენ ელექტრული ქსელის ელემენტებში სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

3. დადგენილია, რომ საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტრული ენერჯის ხარისხის კონტროლისა და ანალიზის მეთოდურ მითითებებში მოცემული პოტენციურად დამამახინჯებელი მომხმარებლების გამოვლენის ხერხი არ ითვალისწინებს მაღალი რიგის ჰარმონიკების მიერ მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვების აღძვრის შესაძლებლობას თვით მცირე სიმძლავრის არაწრფივი მომხმარებლის მუშაობის დროსაც კი მომხმარებლის გარე ქსელში რეზონანსის შემთხვევაში.

4. მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფების ჯანმრთელობის დაცვის უზრუნველყოფისათვის, სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მოსახლეობაზე ზემოქმედება, როგორც საწარმოო, ასევე არასაწარმოო პირობებში, მოითხოვს აუცილებელ სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიურ რეგლამენტაციას.

5. ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრულ წილს, რომელსაც მიეკუთვნება ტექნოლოგიური, ინსტრუმენტალური და კომერციული დანაკარგები, შეადგენს ელექტროენერჯის დანაკარგები, რომელიც გამოწვეულია ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებით.

6. დადგენილია, რომ ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებზე დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობის გავლენის გაანგარიშების ყველაზე უფრო ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს იმ ჩანაცვლების სქემის გაანგარიშება, სადაც დამამახინჯებელი დატვირთვები წარმოადგენილია n-ური ჰარმონიკის დენის წყაროებით, ხოლო ქსელის პარამეტრები გაანგარიშებულია ზედაპირული ეფექტის გათვალისწინებით.

7. კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო სექტორის დატვირთვის თანამედროვე კვანძებს თავის შემადგენლობაში გააჩნია არაწრფივი მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოები, რომელიც წარმოადგენს მოქმედ ელექტრულ ქსელებში დენისა და ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს.

8. დატვირთვის თანამედროვე კვანძებში არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოების მოხმარების წილი შეადგენს ელექტროენერჯის საერთო მოხმარების 60-70 %-ს.

9. დარეგისტრირებული მახასიათებლებიდან ელექტრულ ქსელზე ყველაზე უფრო ნეგატიურ გავლენას ახდენს ისეთი ელექტროხელსაწყოები, რომელსაც გააჩნია კვების იმპულსური ბლოკები. ასეთი ხელსაწყოებია: ტელევიზორი, კომპიუტერი და სხვა. სატელევიზიო მიმღებები ქსელში გენერირებს მე-3, მე-5, მე-7 და მე-9 კენტი რიგის მაღალსიხშირულ დენებს.

10. მაღალსიხშირული დენების ემისიის ძირითადი წილი მოდის მე-3, მე-5, მე-7, მე-9, მე-15, 21-ე რიგის ჰარმონიკებზე.

11. საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოები თავიანთ გარშემო ქმნის ელექტრომაგნიტურ ველს, მაგრამ მათგან 1 მეტრის დაშორებით დაძაბულობის დონე ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხოა.

12. ქალაქების განაშენიანების დაპროექტების, ბინების დაგეგმარების და ასევე საყოფაცხოვრებო ტექნიკის გამოყენების დროს უნდა ვიხელმძღვანელოთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის 0,2 მკვტლ დონით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Суднова В.В. оценка влияния электроприемников потребителя на качество электрической энергии в точке общего присоединения. „Промышленная энергетика“, 2003, №5, С.43-45.
2. Метрология электрических измерений в электроэнергетике. Докл.науч.-техн.конф.2002 г. Под общ.ред.Я.Т. Загорского.-М.:Изд-во НС ЭНАС, 2002.-144 с.
3. Метрология электрических измерений в электроэнергетике. Докл.науч.-техн.семинаров конф.1998-2001 г. Под общ.ред.Я.Т. Загорского, М.: Изд-во НС ЭНАС, 488 с.
4. ГОСТ 32144-2003. Электрическая энергия.совместимость электрических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения.
5. Анчарова Т.В., Бодрухина С.С., Цырук С.А., Янченко С.А. Оценка влияния высших гармонических составляющих напряжения и тока от бытовых электроприемников на питающую сеть. “Промышленная энергетика,” 2002, № 9.
6. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. М.: дека-XXI , 2008, 336 с.
7. Карташев И.И., Насыров Р.Р., Олексюк Б.М., Симуткин М.Г., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. Исследование влияния источников высших гармоник на качество электроэнергии в электроэнергетических системах 220-500 кВ. “Электричество” , 2013, №1.
8. Железко Ю.С., Живов С.А. Применение скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии. “Промышленная энергетика” , 1990, № 11.
9. Никифорова В.Н., Лушнова А.Н. Метод определения фактического вклада субъекта, имеющего искажающие электроприемники, обуславливающие несоответствие показателей качества электроэнергии. “Технологии электромагнитной совместимости”, 2002, №1(4).
10. Амелькина Н. А., Бодрухина С. С., Цырук С. А. Определение фактического вклада несимметричных потребителей в искажение качества электроэнергии в точке общего присоединения. “Электрика” , 2005, № 4.

11. Гамазин С. И., Петрович В. А., Никифорова В. Н. Определение фактического вклада потребителя в искажение параметров качества электрической энергии. "Промышленная энергетика", 2003, № 1.
12. Веников В. А., Рыжов Ю. П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. Учеб. пособие, для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985, 272 с.
13. Васютинский С. Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. Л.: «Энергия», 1970, 248 с.
14. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2007, 701 с.
15. Коровкин Н. В., Лысенко Г. С. Технология локализации источников помех в энергосистемах. Известия РАН. Энергетика, 2013, №2.
16. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. - М.: Энергоатомиздат, 2000, 331 с.
17. Васютинский С. Б. Вопросы Теории и расчета трансформаторов. Л.: «Энергия», 1970, 248 с.
18. Тарнижевский М. В. Электрооборудование жилищно-коммунального хозяйства. М.: Стройиздат, 1987
19. Харченко В.Н. Электроустановки индивидуальных жилых домов. справ. М. ЗАО "Энергосервис", 2004, 490 с.
20. Аррилага Дж., Бредли Д. Гармоники в электрических системах. Пер. с англ. - М. Энергоатомиздат, 1990, 320 с.
11. Нейман Л. Р., Демирчан К. С. Теоретические основы электротехники. М. Изд-во Энергия, 1966, 407 с.
22. Григорьев О. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кв. Новости электротехники. 2002, № 6 (18).
23. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М. Изд-во НС ЭНАС, 2007, 304 с.
24. IEEE Std 519-1992 IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power systems, 1992.
25. РД 153-34.0-15.502-2002. Методические указания по контролю и анализу

качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : в 2 ч. М. : Энергосервис, 2003, Ч. 1-2.

26. Juutilainen J., Huuskonen H., Komulainen H. Increased resorptions in CBA mice exposed to low-frequency magnetic fields: an attempt to replicate earlier observations. *Bioelectromagnetics*. 1997. Vol. 18. P. 410-417.

27. Juutilainen J., Matilainen P., Saarikoski S., Laara E., Suonio S. Early pregnancy loss and exposure to 50-Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1993. Vol. 14.-P. 229-236.

28. Григорьев Ю. Г., Григорьев О. А., Степанов В. С., Пальцев Ю. П. Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения М., 1997, 91 с.

29. Григорьев Ю. Г. Отдаленные последствия биологического действия электромагнитных полей. *Радиоэкология*. 2000, Т. 40, №2, С. 217-225.

30. Думанский Ю. Д. и др. Гигиеническое нормирование ЭМП в условиях быта. *Гигиена и санитария*, 1984, № 10, С. 20-23.

31. Думанский Ю. Д., Прохватило Е. В. Электромагнитное поле промышленной частоты как фактор окружающей среды и его гигиеническая регламентация. *Гигиена и санитария*. 1979, № 5, С. 72-74.

32. მუსელიანი თ., გურგენიძე მ., მუსელიანი გ. ძაბვის დამახინჯებაზე მომხმარებელთა სიმპლავრის მიხედვით გავლენის შეფასება. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის - "ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები" - მოხსენებების კრებული. 25 ოქტომბერი 2018, ქუთაისი, გვ.29-32.

33. Г.В. Зевеке, П.А.Ионкин и др. Основы теории цепей. учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989, 444 с.

34. შარიქაძე დ. საქართველოს ენერგოსისტემაში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის (სეკ-ის) სტანდარტების მოთხოვნებთან შესაბამისობის გამოკვლევა. დისერტაცია. თბილისი, 2016 წ. გვ.153.

35. Железко Ю. С, Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005, 280 с.: ил.

36. Железко, Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. М.: Энергоатомиздат, 1989, 176 с.
37. გურგენიძე მ. სიმძლავრისა და ენერჯის დანაკარგები დენებისა და ძაბვების მრუდების სინუსოიდური და არასინუსოიდური ფორმების დროს. „ინტელექტუალი“, 2018, №36, გვ.135–138.
38. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. М.: энергоатомиздат, 1989, 176 с.
39. Кисель О. Б., Чернопяттов Н. И. экспериментальное определение параметров нулевой последовательности трехфазных трансформаторов. Электротехника. 1967, №12, С.38-39.
40. Тарнижевский М. В., Афанасьева Е.И. Электрооборудование жилищно-коммунального хозяйства. Справочник. М.: Стройиздат, 1987.-368 с.
41. Железко Ю. С. Влияние потребителя на качество электроэнергии в сети и технические условия на его присоединение. Промышленная энергетика. 1991, № 8, С.19-23.
42. Equipment producing harmonics and conditions governing their connection to mains power supply. Electra, 1989, № 123.
43. Blommaert J., de vre R., kniel R. Analysis of harmonics in low voltage distribution networks caused by television receivers. Int.Conf. Electricity Distribucion, part 1.London. 1977. P.8-12.
44. Шидловский А. К., Невский В. А., Капличный Н. Н. Стабилизация параметров электрической энергии в электрических сетях. Киев: Наук. думка, 1989, 312 с.
45. მუსელიანი თ., გურგენიძე მ. ძაბვისა და დენის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების წყაროების მქონე 0,4 კვ ძაბვის ქსელების გაანგარიშების მეთოდიკა. „ საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“-GEN, 2018, № 3(18). გვ. 32-37.
46. ГОСТ IEC 61000-4-30-2017. Межгосударственный стандарт. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-30. Методы испытаний и измерений. Методы измерения качества электрической энергии.

47. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ // Новости Электротехники. 2002–2003, № 6(18) – 1(19).
48. Резонансные явления в электроустановках зданий как фактор снижения качества электроэнергии // Новости ЭлектроТехники. 2003, № 6(24).
49. The effect of modern compact fluorescent light on voltage distortion. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, № 3, July 1993.
50. Harmonics from Compact Fluorescent Lamps. IEEE Transactions on industry applications, vol. 29, № 3, May/June 1993.
51. A NEMA Lighting Systems Division Document Power Quality Implications Of Compact Fluorescent Lamps In Residences. <http://www.nema.org/stds/LSD8.cfm>.
52. მუსელიანი თ. , გურგენიძე მ. , მუსელიანი გ., ლებანიძე-ასათიანი . ნ. შუქდიოდური ნათურები და მათი ჰარმონიული სპექტრი. „ენერჯია.“ 2019, №1(89), გვ.40–45
53. ГОСТ 12.1.002-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах
54. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.
55. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях"
56. СанПиН 2.2.4.3359-96. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
57. ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях.