

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ირმა ქათამაძე

თანამედროვე განათების საშუალებების ენერგოდაზოგვისა და ელექტროენერჯის  
ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2015 წელი

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ქათამაძე ირმას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „თანამედროვე განათების საშუალებების ენერგოდაზოგვისა და ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის გამოკვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ.მუსელიანი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015

ავტორი: ქათამაძე ირმა

დასახელება: თანამედროვე განათების საშუალებების ენერგოდაზოგვისა და ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის გამოკვლევა

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

ინდივიდუალური პროცენტების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთმოყვანილი 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 დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

მოცემულ ეტაპზე ენერგოდაზოგვის პრობლემა ერთ-ერთი აქტუალურია ენერგეტიკისა და მთელი სახალხო მეურნეობის განვითარებისათვის. რადგან დაზოგილი ენერგია ერთი რიგით იაფია ახლად მოპოვებულზე.

პირდაპირ ეკონომიას წარმოადგენს არა მხოლოდ ელექტროენერჯის დაზოგვა, არამედ ენერგოდაზოგი ნათურების მუშაობის ხანგრძლივობა. ენერგოდაზოგვის დარგში ტექნიკური საშუალებებისა და ღონისძიებების ანალიზისათვის, დამუშავებისა და დანერგვისათვის საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ელექტროენერჯის დანაკარგების ყველა მდგენელი და მათი წარმოშობის მიზეზები, სახელდობრ, ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა.

ელექტრომომარაგებაში ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა პირველ რიგში დაკავშირებულია არაწრფივი დატვირთვის მქონე საყოფაცხოვრებო ელექტრომიმღებების რაოდენობისა და დადგმული სიმძლავრის გაზრდასთან.

ასეთი დატვირთვების დენის მრუდის ფორმა ძლიერ განსხვავდება სტანდარტული სინუსოიდური ფორმისაგან და შეიცავს უმაღლესი ჰარმონიკების სპექტრს, რაც უარყოფითად მოქმედებს მკვებავი ქსელის პარამეტრებზე, ელექტროენერჯის ხარისხზე და სხვა ელექტრომიმღებების მუშაობის პირობებზე.

შუქტექნიკაში ნახევარგამტარული ტექნოლოგიების დანერგვით დაიწყო ახალი შუქდიოდური სინათლის წყაროების განვითარება, რომლებიც ხასიათდება არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრონულ გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურით. ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემა განპირობებულია დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების მომხმარებლის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობაზე მზარდი გავლენით.

სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები, სადაც პირველ რიგში წარმოდგენილია ზოგადი ცნობები განათების სისტემების შესახებ. არსებობს განათების სხვადასხვაგვარი სისტემების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება დანიშნულებით, ფუნქციონირების პრინციპით, ტექნიკური მახასიათებლებითა და ეფექტურობით. მოყვანილია ყველაზე უფრო გავრცელებული განათების სისტემების მოკლე აღწერა.

ლიტერატურული მასალის ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ვარვარა ნათურებისა და სხვა დაბალეფექტური სანათების შეცვლა წარმოადგენს ბაზისურ ენერგოდაზოგ ღონისძიებას.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების ენერგოდაზოგი ნათურებით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდოლოგიას.

ბაზარზე დიდი რაოდენობის სხვადასხვა სახის მაღალეფექტური ნათურების არსებობა ქმნის დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების

ენერგოდამზოგით შეცვლის შეფასების მეთოდის დამუშავების საჭიროებას, რომელიც მოგვცემს საშუალებას შევაფასოთ როგორც ნატურალური დადებითი ეფექტი, ასევე ფინანსური. წარმოდგენილია ძირითადი პირობები, რომლებიც შესრულებული უნდა იქნას სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდის დამუშავებისას.

ნაშრომის მესამე თავში წარმოდგენილია დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირების, დამახინჯების სიმძლავრეებისა და მათი ანალიზი საკითხები.

უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული აქტუალობა შეიძინა ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემამ დაბალი ძაბვის ელექტრულ ქსელებში. ეს პირველ რიგში თანამედროვე ელექტრომომარაგების სისტემებში გამოწვეულია ისეთი თანამედროვე ფართოდ გავრცელებული ელექტრომიმღებების მიერ, რომლებიც ცხადად და არსებითად ამახინჯებენ ქსელის ძაბვას.

წარმოდგენილია არაწრფივი დატვირთვის მქონე დაბალი ძაბვის ქსელის მოდელი, რომელიც ცნობილი მოდელებისაგან განსხვავებით, საშუალებას იძლევა ამ მოდელირებული ქსელის ნებისმიერ წერტილში ჩართული ელექტრომიმღებების მომჭერებზე განისაზღვროს დენებისა და ძაბვების მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების მნიშვნელობები. გაანგარიშებით მიღებული მნიშვნელობები საშუალებას იძლევა შევაფასოთ და შევადაროთ ერთმანეთს დენებისა და ძაბვების უმაღლესი ჰარმონიკების დონეები ქსელის ელემენტის ნებისმიერ განსახილველ ჩანაცვლების სქემაში ელექტრომიმღებების შედგენილობისა და მისი შესრულების სხვადასხვა ვარიანტის დროს.

ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე მიღებული იქნა ძაბვისა და დენის ფურიეს მწრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება, სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე, რაც საშუალებას იძლევა ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამებიდან ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების მიხედვით.

ნაშრომის მეოთხე თავში განხილულია განათების ქსელების რეჟიმების გაანგარიშების, მართვისა და მონიტორინგის საკითხები.

ქსელში არასინუსოიდურობის არსებობისას დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშების ალტერნატიულ მეთოდად შემოთავაზებულია ოთხპოლუსების თეორიაზე დამყარებული მეთოდი, რომელიც იძლევა საშუალებას რთული მმართველი მოწყობილობების მოდელირების ადგილზე გამოყენებული იქნას ე.წ. „შავი ყუთი“. ამ დროს საჭირო მონაცემებია შესავალი და გამოსავალი დენი და ძაბვა.

ასევე წარმოდგენილია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტის ელექტრომომარაგების სისტემებში დამონტაჟებული სისტემა SCADA, რომელიც ავტომატურ და უწყვეტ რეჟიმში აკონტროლებს ელექტროენერჯის თერთმეტ პარამეტრს.

ნაშრომის მეხუთე თავში წარმოდგენილია პრაქტიკული ექსპერიმენტების შედეგები სხვადასხვა სინათლის წყაროებისათვის. განისაზღვრა საყოფაცხოვრებო გამოყენების სხვადასხვა ნათურის ეკონომიური ეფექტიანობა და მწარმოებლის მიერ გაცხადებული მახასიათებლების რეალურთან შესაბამისობა.

წარმოდგენილია ასევე ქ. გორის გარე განათებისათვის შუქდიოდური ნათურების პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი, რომლის საექსპერტო დასკვნა გაკეთებული იქნა დისერტანტისა და მისი ხელმძღვანელის, პროფ. თ.მუსელიანის მიერ, რომელმაც მოიტანა მნიშვნელოვანი ენერგოეფექტი.

## Summary

At the given stage, the problem of energy conservation is one of the urgent problems of the development of power industry and national economy as a whole, since saved energy is by more than an order cheaper than newly-generated one.

Direct saving consists not only in the electric power saving, but it also includes useful life of energy-saving light bulbs. To analyze, develop and apply technical equipment and activities in the field of energy conservation, it is necessary to take account of all components of electric power losses as well as their causes, particularly, the current and voltage unsmoothness.

The current and voltage unsmoothness in energy supply, first of all is associated with the number of the domestic electrical receivers having non-linear loads and with the increase of the installed capacity.

Such a current waveform significantly is very different from the standard sinusoidal shape and comprises the spectrum of higher harmonics that negatively impacts on the power system parameters, electric power quality and operating conditions of other electrical receivers.

Since the introduction of semiconductor technologies in lighting engineering there was started the development of light-emitting diode light sources, which are characterized by the electronic starting-regulating equipment with non-linear volt-ampere characteristics. The problem of electric power quality is conditioned by the influence of current higher harmonics components on the operation of energy supply systems of customer.

Chapter 1 of dissertation dwells on the results of literature review, which first of all contains the general data on the lighting systems. There are numerous different lighting systems, which differ from one another by their purpose, functioning principle, technical characteristics and efficiency. There is given brief description of the most common lighting systems.

Based on the analysis of data of literature review, it has been determined that replacement of incandescent light bulbs and other low-efficient lamps is a basic energy-saving measure.

Chapter 2 deals with the methodology for assessment of the efficiency of replacing the low-efficient lamps and light bulbs by the energy-saving bulbs.

The presence of the excessive various high-efficient light bulbs in the market causes the necessity of developing the methodology for assessment of the efficiency of replacing the low-efficient lamps and light bulbs by the energy-saving bulbs, which will enable us to assess both the natural positive effect and financial effect as well. There are shown the basic conditions, which must be fulfilled when developing the methodology for assessment of the efficiency of replacing the lamps and light bulbs by the energy-saving bulbs.

Chapter 3 describes the modes of networks with low-voltage non-linear loads, distortion powers and the issues of their analysis.

In recent years, the problem of electric power quality in the low-voltage electrical circuits has become of essential importance. In the modern energy sup-

ply systems, this is caused, first of all, by those modern widely applied electrical receivers, which clearly and essentially distort supply-line voltage.

There is described the model of low-voltage network, which in contrast to the well-known models, allows determining the distortion magnitudes of harmonicity of the current and voltage curves on the clamps of the electrical receivers switched on in any point of this simulated network. The calculated magnitudes allow assessing and comparing the levels of current and voltage higher harmonics in any considering equivalent circuit under of the network component with various versions of the composition of the electrical receivers and its performing.

Based on electric circuit theory, there has been obtained the equation for calculating the power distortion on the basis of the results of dividing the current and voltage into the Fourier series without pre-determination of total active and reactive powers that allows for determining the distortion power in the electric circuit in accordance with the results of dividing into the Fourier series directly from the current and voltage oscilloscope displays.

Chapter 4 of the rserach dwells on the issues of calculation, control and monitoring of the modes of lighting networks.

If the network has unsinusoidality, as an alternative method for calculating the steady-state modes there is proposed the method based on the quadropole theory, which allows for using the so-called “black box” at the place of modeling the complex controlling device. At that moment, the required data are the input and output current and voltage.

There is also presented the SCADA system installed in the power supply systems of Georgian Technical University, which controls eleven parameters of the electric energy in the automatic and continuous mode.

Chapter 5 shows the results of practical experiment for the lifgt sources. There have been determined economic efficiency of various domestic-purpose light bulbs and conformity of characteristics declared by manufacturer to the real ones.

There is also shown the example of a practical use of LED bulbs for exterior lighting, the expert judgement on which is made by the author of this dissretation and her scientific adviser Professor T. Museliani, and which has had a significant effect.



## ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.1. სხვადასხვა სახის ვარვარა ნათურების გამოყენების არე
- ცხრილი 1.2. სხვადასხვა ტიპის ნათურების მახასიათებლები და ეფექტურობა
- ცხრილი 1.3. სხვადასხვა ტიპის ნათურების კუთრი ღირებულებითი მახასიათებლები 2015 წლის 1 იანვრისათვის
- ცხრილი 2.1. სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგი ნათურებით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდის დამუშავების პირობები
- ცხრილი 2.2. სანათებისა და ნათურების შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდის ღონისძიებები
- ცხრილი 2.3. მეთოდის მიერ შემოთავაზებული საინვესტიციო პროექტის ეფექტურობის შეფასების საბაზო პრინციპები
- ცხრილი 2.4. ვარვარა ნათურების კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით შეცვლის შედეგად მიღებული ეფექტიანობის შეფასება
- ცხრილი 5.1. სხვადასხვა ნათურების სიმძლავრეთა გაზომვის შედეგები
- ცხრილი 5.2. ქ. გორის ქუჩების განათებისა და შენობა-ნაგებობების მინათებისათვის გამოყენებული ნათურების პარამეტრები და მახასიათებლები
- ცხრილი 5.3. ტექნიკური დავალების მიხედვით კონკრეტული არსებული სანათის შემცვლელი შუქდიოდური სანათებისადმი წაყენებული პირველადი მოთხოვნები
- ცხრილი 5.4. ქუჩის განათებისა და შენობა-ნაგებობების მინათების არსებული სანათები და მათი შემცვლელი სანათების ტიპები, სიმძლავრეები და სინათლის ნაკადი

## ნახაზების ნუსხა

- ნახ.1.1.ვარვარა ნათურა
- ნახ.1.2. აირგანმუხტვის ნათურები
- ნახ.1.3. გოგირდიანი ნათურის კონსტრუქცია
- ნახ.1.4. სხვადასხვა სახის შუქდიოდური ნათურები
- ნახ.3.1. დაბალი ძაბვის სამფაზე ქსელის ჩანაცვლების სქემა
- ნახ.3.2. დაბალი ძაბვის ქსელის გაშლილი ჩანაცვლების სქემა
- ნახ.3.3. ჩანაცვლების სქემა უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით
- ნახ.3.4. შერეული ელექტრული წრედი
- ნახ.4.1. იტალიის ქალაქ პარმას პარკის განათება შუქდიოდური სანათებით
- ნახ.4.2. განათების მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა
- ნახ.4.3. კვების ნახევარგამტარული წყაროს სტრუქტურული სქემა
- ნახ.4.4. ოთხპოლუსების კასკადური შეერთების სქემა
- ნახ.4.5. ჯგუფური ხაზის ჩანაცვლების სქემა
- ნახ.4.6. დრაივერის ჩანაცვლების სქემა
- ნახ.4.7. მკვებავი ქსელის დენის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკი
- ნახ.4.8. ДНaT-150 სანათის ანალოგი 90 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური სანათის დენის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკი
- ნახ.4.9. ეკაას-ის სტრუქტურა
- ნახ.4.10. SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურული კომპონენტები
- ნახ.4.11. SCADA სისტემის ძირითადი ფუნქციონალური კომპონენტები
- ნახ.4.12. ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემის ფუნქციონირების პრინციპი
- ნახ.4.13. პროგრამირებადი ციფრული მოწყობილობები
- ნახ.4.14. N14 მოწყობილობის სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა
- ნახ.5.1. კვების ძაბვის გრაფიკი
- ნახ.5.2. ნათურის დენის გრაფიკი, ამპერი
- ნახ.3. კვების ძაბვის ჰარმონიული სპექტრი, %
- ნახ.5.4. ნათურის დენის ჰარმონიული სპექტრი, %
- ნახ.5.5. კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები

- ნახ.5.6. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ის ფირმის ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამა
- ნახ.5.7. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ს ფირმის ნათურის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე
- ნახ.5.8. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ს ფირმის ნათურის რეაქტიული სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე
- ნახ.5.9. ნათურების მუშა ზედაპირის განათებულობის მრუდები
- ნახ.5.10. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათურაში გამავალი დენის მრუდის ოსცილოგრამა
- ნახ.5.11. ძაბვის ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი
- ნახ.5.12. დენის ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი
- ნახ.5.13. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დამოკიდებულება კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მიერ მოხმარებულ სიმძლავრეზე
- ნახ.5.14. სინათლის ძალის წრიული სახის განაწილების მრუდი;
- ნახ.5.15. სინათლის ძალის წრიული სახის განაწილების მრუდის მქონე სანათის მიერ მიღებული განათებულობა
- ნახ.5.16. III (ფართო) ტიპის სინათლის ძალის განაწილების მრუდი
- ნახ.5.17. III (ფართო) ტიპის სინათლის ძალის განაწილების მრუდის მქონე სანათის მიერ მიღებული განათებულობა

## შინაარსი

შესავალი-----	14
თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა-----	23
1.1. ზოგადი ცნობები განათების სისტემების შესახებ-----	23
1.2. ვარვარა ნათურები-----	26
1.3. აირგანმუხტვის ნათურები-----	29
1.4. გოგირდიანი ნათურები-----	32
1.5. შუქდიოდური ნათურები-----	33
თავი II. დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგი ნათურებით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდოლოგია -----	38
თავი III. დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟი- მების მოდელირება, დამახინჯების სიმძლავრეები და მათი ანალიზი ----	51
3.1. დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირება -----	51
3.2. დამახინჯების სიმძლავრე და სიმძლავრის დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში -----	57
3.3. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრა ძაბვისა და დენის მრუდე- ბის ფურცელს მჭკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე -----	64
თავი IV. განათების ქსელების რეჟიმების გაანგარიშება, მართვა და მონი- ტორინგი -----	71
4.1. ზოგადი ცნობები -----	71
4.2. განათების მართვის სქემები -----	75
4.3. ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა „SCADA“-ს გამოყენება; ელექტროენერჯის ხარისხის კვლევის საქმეში -----	87
4.4. SCADA სისტემის გამოყენება ელექტროენერგეტიკაში -----	89
4.5. SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურა -----	90
4.6. პროგრამული უზრუნველყოფა -----	92
4.7. SCADA სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობები -----	93
4.8. ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემის აღწერა -----	95

თავი V. ექსპერიმენტული ნაწილი -----	100
5.1. ზოგადი ცნობები -----	100
5.2. კომპაქტურ ლუმინესცენციური ნათურების მახასიათებლების გამოკვლევა -----	106
5.3. შუქდიოდური სანათების პრაქტიკული გამოყენება გარე განათებისათ- ვის საქართველოში -----	117
5.3.1. შერჩეული შუქდიოდური სანათების შუქტექნიკური მონაცემები --	124
5.3.2. ეკონომიური გაანგარიშება -----	126
დასკვნები -----	130
ლიტერატურა -----	132

## შესავალი

**სამუშაოს აქტუალობა.** ეროვნული უსაფრთხოების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოება, რომელსაც შესწევს უნარი საგანგებო პირობებში მოქალაქეები და მთლიანად სახელმწიფო დაიცვას ყველა სახის ენერჯისა და ენერგორესურსების დეფიციტის საშიშროებისაგან და უზრუნველყოს ქვეყნის საკმარისი და საიმედო ენერგომომარაგება, რომელიც საჭიროა მდგრადი ეკონომიკის მყარი განვითარებისა და მოსახლეობის კომფორტული პირობების დაკმაყოფილებისათვის

იმ განვითარებულ ქვეყნების რიცხვი, რომელთაც გააჩნიათ ქვეყნის რეალური შესაძლებლობები საკუთარი საშუალებებით უზრუნველყონ ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოება, არც თუ ისე დიდია. მათ რიცხვს მიეკუთვნება საქართველოც, რომლის ჰიდროელექტროსადგურებში წარმოებული ელექტრული ენერჯია საკმარისი არ არის, ხოლო თბოელექტროსადგურისათვის საჭირო საწვავი საბაზრო ფასებით შემოაქვს საზღვარგარეთიდან. ამიტომ მოცემულ ეტაპზე ენერგოდაზოგვის პრობლემა ერთ-ერთი აქტუალურია ენერგეტიკისა და მთელი სახალხო მეურნეობის განვითარებისათვის. რადგან დაზოგილი ენერჯია ერთი რიგით იაფია ახლად მოპოვებულზე.

თბოელექტროსადგურები, სადაც ნავთობპროდუქტების, ბუნებრივი აირისა და ნახშირის დაწვის შედეგად მიიღება ელექტრული ენერჯია, წარმოადგენენ ნახშირმჟავა გაზის გამოყოფის ძირითად (80 %-მდე) წყაროებს.

თბოელექტროსადგურებში წარმოებული ელექტრული ენერჯის მოხმარების ზრდა გარდაუვალად იწვევს ატმოსფეროში ნახშირმჟავა გაზის კონცენტრაციის გაზრდას, რაც სპეციალისტთა მტკიცებით თავის მხრივ იწვევს დედამიწის ტემპერატურის გაზრდას.

გაეროს მონაცემებით ჰაერში ნახშირმჟავა გაზის კონცენტრაცია უკანასკნელი ორი საუკუნის განმავლობაში გაიზარდა 30 %-ით და 2007

წლის მონაცემებით მსოფლიო მასშტაბით ნახშირორჟანგის ყოველწლიურმა გამონაბოლქვმა შეადგინა 44 გიგატონა. ამიტომ კლიმატის ცვლილების შესახებ გაეროს მიერ მიღებული იქნა ჩარჩო ხელშეკრულება, სადაც ნათქვამია: კლიმატის ცვლილებასთან ბრძოლის ჩარჩოებში ადამიანის მიერ გარემოზე ზემოქმედება მინიმუმამდე უნდა იქნას დაყვანილი. შემცირდეს ატმოსფეროში ნახშირმჟავა გაზის გამონაბოლქვი ან გაუმჯობესდეს მათი შთანთქმის საშუალებები.

საზღვარგარეთელი სპეციალისტ-ეკოლოგების რეალური გათვლებით ელექტროენერგეტიკულ სექტორში ენერგოეფექტურობის გაზრდით ნახშირმჟავა გაზის გამონაბოლქვის შემცირების პოტენციური მსოფლიოში შეადგენს 2 გიგა ტონას, ხოლო განახლებადი ენერგეტიკის დანერგვით – 15 გიგა ტონას.

2008 წლის ივლისში იაპონიაში „დიდი რვიანის“ სამიტზე ლიდერი ქვეყნები შეთანხმდნენ 2030 წლისათვის ატმოსფეროში ნახშირმჟავა გაზის გამონაბოლქვი შემცირდეს 50 %-ით და თავიდან ავიცილოთ ატმოსფეროს გლობალური გაჭუჭყიანება. კაცობრიობის მოთხოვნა განათების მიმართ მუდმივად იზრდება. მზარდი ენერგომოხმარება მოითხოვს ელექტროსადგურების რაოდენობის გაზრდას, ენერგოგადამტანების ახალი საბადოების დამუშავებასა და წარმოების მზარდი ნარჩენების შემდგომ უტილიზაციას. ყოველივე ამას მივყავართ ბუნებრივი რესურსების ხარჯვასთან და გარემოს გაჭუჭყიანებასთან.

უკანასკნელ ათწლეულებში ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოდაზოგვისა და ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების საკითხებს.

ენერგოდაზოგვა ანუ ჩვენს შემთხვევაში ელექტროენერჯის ეკონომია ეს არის სამართლებრივი, ორგანიზაციული, სამეცნიერო, საწარმოო, ტექნიკური და ეკონომიური ზომების რეალიზაცია, რომელიც მიმართულია სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეფექტურ (რაციონალურ) გამოყენებაზე და სამეურნეო ბრუნვაში ენერჯის განახლებადი

წყაროების ჩარევაზე [1]. ამიტომ ენერგოდაზოგვის თემა ასევე აქტუალურია თანამედროვე საბაზრო ეკონომიკის პირობებთან დაკავშირებით. მრავალი მომხმარებელი ეჯახება ენერგოგადამტანებზე ტარიფების ამადლებას. საქმის ასეთი მდგომარეობა დარტყმის ქვეშ აყენებს არამხოლოდ მრავალი საწარმოს გაერთიანებას, არამედ ართულებს თითოეული ოჯახისა და თითოეული ადამიანის ფინანსურ მდგომარეობას.

ენერგოდაზოგვა - ბუნებრივი რესურსების შენახვის მნიშვნელოვანი ამოცანაა. ამჟამად უფრო არსებითია საყოფაცხოვრებო ენერგოდაზოგვა, ასევე ენერგოდაზოგვა საცხოვრებელ-კომუნალური მეურნეობის სფეროში. მის განხორციელებას ხელს უშლის ტარიფების ზრდა ელექტროენერგიაზე, აგრეთვე, საცხოვრებელ-კომუნალური მეურნეობის დაწესებულებებში ენერგოდაზოგვი პროგრამების რეალიზაციის საშუალებებისა და ენერგოდაზოგვის მასიური საყოფაცხოვრებო კულტურის არქონა.

პირდაპირ ეკონომიას წარმოადგენს არამხოლოდ ელექტროენერგიის დაზოგვა, არამედ ენერგოდაზოგვი ნათურების მუშაობის ხანგრძლივობა. ზოგიერთი სპეციალისტი თვლის, რომ ეკონომია სასარგებლოა ბიუჯეტისთვის, მაგრამ არა თვალებისა და გამომყენებლის ზოგადი ჯანმრთელობისათვის (ვერცხლისწყლის ორთქლის არსებობა, სპეციალური უტილიზაცია, გამოსხივების სპექტრი - ლუმინესცენციური სინათლე არამხოლოდ საშიში არამედ მომწამლავიც არის).

ძალიან წინააღმდეგობრივი დავები ლუმინესცენციური ნათურების გამოსხივების ადამიანზე ზემოქმედებს შესახებ ჯერ კიდევ არ დასრულებულა. კანონზომიერად წარმოიშვება კითხვები სინათლის ალტერნატიული წყაროების შესახებ, რომელთაც გააჩნიათ უნარი დააკმაყოფილონ მზარდი მოთხოვნა განათებულობაზე. ამ მიმართულებით სახელმწიფო პროგრამების ჩარჩოებში დაკავებულნი არიან მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში: აშშ-ში, ჩინეთში, იაპონიაში, კორეაში, ტაივანზე.

წარმოების ეფექტიანობაზე, ელექტროენერგიის განაწილებასა და მოხმარებაზე გავლენას ახდენს მრავალი ისეთი ფაქტორი, როგორცაა



ქსელების კონსტრუქციული შესრულება, ტექნიკური აღჭურვილობა და ექსპლუატაციის ხარისხი.

ენერგოდაზოგვის დარგში ტექნიკური საშუალებებისა და ღონისძიებების ანალიზისათვის, დამუშავებისა და დანერგვისათვის საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ელექტროენერჯის დანაკარგების ყველა მდგენელი და მათი წარმოშობის მიზეზები.

საერთო დანიშნულების ელექტრულ ქსელებში დანაკარგების ძირითადი მიზეზები ცნობილია და გამოკვლეულია.

უკანასკნელ ხანებში თანამედროვე მრავალფუნქციური საზომი საშუალებების, ელექტრული რეჟიმების მაჩვენებლებისა და ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების გამოჩენისა და გავრცელების გამო შესაძლებელია იმ დამატებითი ფაქტორების ღრმა ანალიზი და აღრიცხვა, რომელთა შეფასება ადრე ძალიან ძნელი ან სულაც შეუძლებელი იყო.

დამატებითი და ნაკლებად გამოკვლეული ფაქტორების რიცხვს მიეკუთვნება ელექტროენერჯის დაბალი ხარისხი და სახელდობრ, ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა.

ელექტრომომარაგებაში ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა პირველ რიგში დაკავშირებულია არაწრფივი დატვირთვის მქონე საყოფაცხოვრებო ელექტრომიმღებების რაოდენობისა და დადგმული სიმძლავრის გაზრდასთან.

საქმე იმაშია, რომ გასული საუკუნის 80-იან წლებამდე ელექტრული ენერჯის ძირითადი მომხმარებლები იყვნენ წრფივი დატვირთვის მქონე მომხმარებლები: ვარვარა ნათურები, ასინქრონული ძრავები, გამახურებელი ღუმელები და სხვა. სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესთან დაკავშირებით ელექტროტექნიკის დარგში გამოჩნდა ახალი ელექტრული დატვირთვები, რომელთა კვება ხორციელდება მრავალგვარი ტირისტორული გარდამქმნელებითა და არაწრფივი ელემენტებით, რომელთა რიცხვი წლითიწლობით იზრდება. არაწრფივ (იმპულსურ) დატვირთვებს მიეკუთვნება: პერსონალური კომპიუტერები, ტელევიზორები, უწყვეტი

კვების ბლოკები (UPS), აირგანმუხტვის ნათურები, ტირისტორული რეგულატორები, კონდიციონერები, მიკროტალღური ღუმელები და მრავალი სხვა [2].

ასეთი დატვირთვების დენის მრუდის ფორმა ძლიერ განსხვავდება სტანდარტული სინუსოიდური ფორმისაგან და შეიცავს უმაღლესი ჰარმონიკების სპექტრს, რაც უარყოფითად მოქმედებს მკვებავი ქსელის პარამეტრებზე, ელექტროენერჯის ხარისხზე და სხვა ელექტრომიმდებების მუშაობის პირობებზე.

ასეთივე სიტუაციაა განათების ელექტრულ ქსელებშიც. ხდება ძველი ვარვარა ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით, რომელთა მიერ ელექტროენერჯის მოხმარება 4-ჯერ ნაკლებია ვიდრე ვარვარა ნათურისა, ასევე პროექტირდება განათების ახალი სისტემები კომპლექტური ლუმინესცენციური და ლუმინესცენციური ნათურების გამოყენებით.

ელექტროენერჯის ეკონომიისა და ატმოსფეროში ნახშირმჟავა გაზის გამონახობის შემცირების საჭიროების მიზნით, 2009 წლის 1 სექტემბრის 2005/32/ დირექტივის შესაბამისად ევროკავშირში ძალაში შევიდა ვარვარა ნათურების წარმოების ეტაპობრივი აკრძალვა. 2009 წელს 1 სექტემბრიდან ევროპაში აკრძალა 100 ვტ და ზემოთ ნათურები, ხოლო მათი ყველა მარაგი ამოღებული იქნა მაღაზიების თაროებიდან. განათების სისტემაში ენერგოდამზოგ ტექნოლოგიებზე გადასვლის მთელი პროგრამა გათვლილი იყო 2012 წლამდე. 2010 წელს აკრძალა 75 ვტ და ზემოთ ნათურები, 2011 წელს - 60 ვტ-იანი ნათურები, ხოლო 2012 წლის 1 სექტემბრისათვის აკრძალა მცირე სიმძლავრის (40-25 ვტ) ნათურების წარმოება და იმპორტი. ამით ევროკავშირი ბრძოლას უცხადებს გლობალურ დათბობას.

ენერგოდამზოგვის მსგავსი სტრატეგია საშუალებას იძლევა ევროკავშირის ქვეყნების ერთ საშუალო ოჯახში წელიწადში დაიზოგოს 50 - 160 ევრო. ევროკავშირის მასშტაბით ეს შეადგენს 5-10 მლრდ ევროს.

საქართველო მიისწრაფვის გახდეს ევროპის ნაწილი. ნელა მაგრამ მორჩილად მოჰყავს თავისი კანონმდებლობა ევროპულ ნორმებთან შესაბამისობაში.

ვარვარა ნათურების გაყიდვის აკრძალვის კანონი 2009 წლის ოქტომბრიდან მიიღო ახალმა ზელანდიამ. აშშ-ში ტრადიციული ვარვარა ნათურების ენერგოდამზოგი ნათურებით შეცვლის კანონს ამერიკის პრეზიდენტმა (ჯორჯ ბუშმა) ხელი მოაწერა ჯერ კიდევ 2007 წლის დეკემბერში. ეს კანონი ითვალისწინებდა, რომ შვიდი წლის განმავლობაში ვარვარა ნათურების მიერ ელექტროენერჯის მოხმარება შემცირდება ერთი მესამედით. 2012 წლისათვის ხმარებიდან ამოღებული იქნა 100 ვტ-იანი ნათურები, 2013 წლისათვის–75 ვატიანი, 2014 წლისათვის–60 და 40 ვტ-იანი.

ვარვარა ნათურების მაგიერ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების გამოყენებას უახლოეს მომავალში დიდი პერსპექტივები გააჩნია უკრაინაში. ყველა კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებში ლუმინესცენციური ნათურებისაგან განსხვავებით გამოიყენება ელექტრონული ბალასტები, რომელთა დენის მრუდი უფრო ბევრად განსხვავდება სინუსოიდისაგან, ვიდრე ლუმინესცენციურ ნათურებში. პირველ რიგში ეს განპირობებულია თვით კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების ბალასტის მცირე ზომებით, ასევე მათი ღირებულების შემცირებით, რაც დაკავშირებულია ისეთი ელემენტების უქონლობით, რომლებიც აახლოებს დენის მრუდს სინუსოიდის ფორმასთან.

მეცნიერთა მიერ ძირითადი კვლევები მიმართული იყო სხვადასხვა სახის ელექტრომიმდებების ელექტრული ქსელის კვანძებში ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის შეფასებისაკენ. ჩატარებულ სამუშაოებში გამოკვლეულია ელექტროენერჯის ხარისხის შემცირების დროს ელექტრული ქსელების მუშაობის რეჟიმები და შედგენილია სხვადასხვა დატვირთვებისა და ელემენტების მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევა პროექტირების სტადიაზე განსაზღვრული

სიზუსტით შეფასდეს ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები, ასევე შემუშავებული იქნას ელექტროენერჯის ხარისხის გაუმჯობესების ღონისძიებები.

[3,4] გამოკვლევების თანახმად, ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი ჰარმონიკების მიერ გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგები შეადგენს სინუსოიდური ძაბვის დროს გამოწვეული დანაკარგების 9 %-ს.

ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებით გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების შესახებ სპეციალისტთა აზრი სხვადასხვაა, მაგრამ ავტორების უმეტესობა აღნიშნავს, რომ ამ დანაკარგების მნიშვნელობა არსებითია და მათი უგულვებელყოფა დაუშვებელია [5,6,7].

შუქტექნიკაში ნახევარგამტარული ტექნოლოგიების დანერგვით დაიწყო ახალი შუქდიოდური სინათლის წყაროების განვითარება, რომლებიც ხასიათდება არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრონულ გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურით. ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემა განპირობებულია დენის უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელების მომხმარებლის ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობაზე მზარდი გავლენით.

გარე განათების ელექტრული ქსელებისათვის არ არსებობს ნორმატიული ბაზა, რომელიც იქნებოდა პროექტირებისა და შუქდიოდური სანათების ექსპლუატაციის მოთხოვნების მარეგლამენტირებელი. ამასთანავე არსებობს ქუჩის განათების 0,4 კვ ძაბვის მიერთების წერტილში ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმირებული ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომლებიც შესაბამისად შეადგენენ 8,0 % და 12,0 %. 0,4 კვ ქსელებისათვის ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი ნორმირებულია თითოეული ჰარმონიკისათვის (სტანდარტით დადგენილია ნორმები მე-40 რიგის ჰარმონიკის ჩათვლით).

სინათლის წყაროებიდან დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების მომხმარებლის ელექტროდანადგარების მუშაობაზე ზემოქმედების საკითხი მეტად აქტუალურია, 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში დენის უმაღლესი ჰარმონიკები დატვირთვის კვანძებში იწვევენ ძაბვის მკვეთრ ნახტომებს დასაშვებზე მეტად, ტექნოლოგიური მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლას, მოწყობილობის სწრაფ დაძველებას, ელექტროენერგიის აღრიცხვის ხელსაწყოების გაზომვის ცდომილების გაზრდას, მატერიალურ დანახარჯებს, არღვევენ გარემოს ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას და იწვევენ ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის დამატებით დანაკარგებს.

**სამუშაოს მიზანს** წარმოადგენს თანამედროვე განათების საშუალებების, როგორც უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების წყაროს გამოკვლევა და ამ ჰარმონიკების მიერ ელექტრულ ქსელში წარმოშობილი დამახინჯების სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგების განსაზღვრა.

**საკვლევ ობიექტად** შერჩეული იქნა როგორც წრფივი, ასევე არაწრფივი მახასიათებლების მქონე სანათი საშუალებები, რომლებზეც ექსპერიმენტული სამუშაოები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სატრანსფორმატორო ქვესადგურში SCADA სისტემის გამოყენებით.

**კვლევის მეთოდები.** სადისერტაციო სამუშაოს შესასრულებლად გამოყენებული იქნა შემდეგი მეთოდები: ოთხპოლუსებისა და გრძელი ხაზების თეორია ელექტროტექნიკიდან, ელემენტების მიხედვით გაანგარიშების, ჰარმონიკების ანალიზი ფურიეს მწკრივის გამოყენებით, საშუალო დატვირთვის, მატრიცული და სტატისტიკური მეთოდები.

**სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს:** საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამონტაჟებული SCADA სისტემის გამოყენებით თანამედროვე განათების სისტემის დატვირთვით გამოწვეული დამახინჯების სიმძლავრისა და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერგიის დანაკარგების დონის განსაზღვრა.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა.** სადისერტაციო სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა შემდეგში მდგომარეობს:

1. წარმოდგენილია თანამედროვე განათების სისტემების დატვირთვით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების გაანგარიშების, ანალიზისა და ნორმირების პრობლემები და მათი პრაქტიკულად გადაწყვეტის გზები.
2. SCADA სისტემის საარქივო მონაცემების მიხედვით ნებისმიერ დროს შესაძლებელია განისაზღვროს დამახინჯების სიმძლავრეები, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ ელექტროენერჯის დანაკარგებზე.

**სამუშაოს აპრობაცია.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა მე-2 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 2013 წელს.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავალისა და 5 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 136 გვერდზე. შეიცავს 39 ნახაზს, 11 ცხრილს და 56 დასახელების ლიტერატურას.

## თავი I.ლიტერატურული მიმოხილვა

### 1.1 ზოგადი ცნობები განათების სისტემების შესახებ.

მიუხედავად იმისა, რომ საცხოვრებელი შენობების განათების დანადგარების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის წილი შედარებით მცირეა, მაინც ელექტროენერჯის მოხმარების შემცირების პოტენციალი განსაკუთრებით დიდია. ეს განპირობებულია იმით, რომ საცხოვრებელი ადგილების განათებისათვის ძირითადად გამოიყენებენ ტრადიციულ ვარვარა ნათურებს. მათი წილი საცხოვრებელი ბინების განათებაში 90 %-ზე მეტია. ასევე ორგანიზაციებსა და ყოფა-ცხოვრებაში განათების სისტემებში ძირითადად გამოიყენება დაბალეფექტური და ტექნიკურად მოძველებული სანათები და ნათურები, რომლებიც მოიხმარენ ელექტროენერჯის დიდ რაოდენობას. ეს იწვევს არა მარტო მოხმარებული ელექტროენერჯის დიდ ხარჯებს, არამედ დაბალი ხარისხის განათებულობის გამო იწვევს არახელსაყრელ ზემოქმედებას პერსონალის მუშაობის ხარისხზე.

ვარვარა ნათურებისა და სხვა დაბალეფექტური სანათების შეცვლა წარმოადგენს ბაზისურ ენერგოდამზოგ ღონისძიებას. მაგრამ განათების სისტემის დაბალი ენერგეტიკული ეფექტურობა განპირობებულია ასევე სანათების არარაციონალური გამოყენებით.

ამიტომ სწორად არის დასმული საკითხი რომ ტრადიციული ვარვარა ნათურებიდან გადავიდეთ სინათლის ეფექტურ წყაროებზე და უპირველეს ყოვლისა, კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებზე E 27 ცოკოლით, რომლითაც შესაძლებელია ვარვარა ნათურის პირდაპირი შეცვლა.

ქვემოთ წარმოდგენილია კომპლექსური ინტეგრირებული მეთოდიკა, რომელსაც გააჩნია უნარი უზრუნველყოს შიგა და გარე განათების სისტემებისათვის ენერგოდამზოგი ღონისძიებების ჩატარების ეფექტურობის ხარისხიანი შეფასება.

სტანდარტიზაციის საერთაშორისო კომიტეტის „ენერგეტიკული მენეჯმენტის“-ს ტექნიკურმა კომიტეტმა 2011 წლის ივლისში მიიღო მნიშ-

ვნელოვანი დოკუმენტი – საერთაშორისო სტანდარტი ისო 50001:2011 „ენერგეტიკული მენეჯმენტის სისტემა. მოთხოვნები და გამოყენების სახელმძღვანელო“ [8].

ამ სტანდარტმა მოახდინა ენერგეტიკული მენეჯმენტის სისტემის აგებისა და ენერგეტიკული ეფექტურობის (შემდგომში ფინანსური დანახარჯების შემცირების) დახვეწისათვის საჭირო პროცესებისა და სისტემების შექმნის რეკომენდაციებისა და პრინციპის: დაგეგმვა-მოქმედება-შემოწმება-ზემოქმედება-ს (PDCA) საფუძველზე ენერჯის სისტემატური მართვის გზით გარემოზე ნეგატიური გავლენების შემცირების საერთაშორისო გამოცდილების ინტეგრირება.

საერთაშორისო ისო 50001:2011 სტანდარტის (MC) შესაბამისად თითოეულმა ორგანიზაციამ უნდა ჩაატაროს მოხმარებული ენერგეტიკული რესურსების ეფექტურ გამოყენებაზე სისტემური ანალიზი. ამ ანალიზის შედეგად უნდა გამოვლინდეს ორგანიზაციის ნაკლებად ეფექტური სისტემები და პროცესები, რომელთათვისაც პირველ რიგში დამუშავებული უნდა იქნას ორგანიზაციულ-მმართველობითი გადაწყვეტილებანი, რომლებიც შემდგომში უნდა იქნას რეალიზებული.

ენერგოდაზოგვა გულისხმობს ღონისძიებათა კომპლექსს, რომელიც მიმართულია მათი გამოყენებისას შესაბამისი სასარგებლო ეფექტის შენარჩუნების დროს გამოყენებული ენერგეტიკული რესურსების მოცულობის შემცირებისაკენ. განსაზღვრული უნდა იქნეს კრიტერიუმები, რომელთა თანახმად უნდა დადგინდეს იმ ორგანიზაციების ჩამონათვალი, რომლებმაც უნდა ჩაატარონ პირველი აუცილებელი კომპლექსური ენერგეტიკული გამოკვლევა – ენერგოაუდიტი.

ენერგეტიკული აუდიტი წარმოადგენს გამოყენებული ენერგორესურსების შესახებ ობიექტური მონაცემების მიღების, ასევე დაწესებულებაში ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლებისა და ენერგოდაზოგვის პოტენციალის განსაზღვრისა და ენერგეტიკული ეფექტურობის ამაღლების მაღალეფექტურ ინსტრუმენტს. მისი შედეგები ახდენენ დემონსტრირებას,



რომ მთელი რიგი ორგანიზაციებისათვის ერთ-ერთი დაბალეფექტური სისტემა არის განათების სისტემა, რომელიც, როგორც წესი, რეალიზებულია ტრადიციული ვარვარა ნათურების გამოყენებით.

მაგალითად მოსკოვის სტატისტიკური გამოკვლევებით ელექტროენერჯის დანახარჯები განათებაზე შემდეგია: საცხოვრებელ სექტორში მთელი მოხმარებული ელექტროენერჯის 10 %-ია [9], საშუალოდ ჰიპერმარკეტებში-დაახლოებით 2000 000 კვტ.სთ წელიწადში, ამ დროს განათებაზე დანახარჯები შეადგენს მთელი მოხმარებული ელექტროენერჯის საერთო ღირებულების 38 %-ს [10].

მოყვანილი მონაცემები მოწმობს ექსპლუატაციაში მყოფი განათების სისტემების ენერგოდაზოგვის მაღალ პოტენციალზე.

არსებობს მრავალი საკმაოდ მარტივი ხერხი, რომელთაც დიდი კაპიტალდაბანდების გარეშე შეუძლიათ აამაღლონ განათების ხარისხი და შეამცირონ ენერგო-მოხმარება.:

- ნათურების გაწმენდა მტვრისაგან (ზრდის სიკაშკაშეს 10-15 %-ით);
- კედლების შეღებვა თეთრი ფერით (თეთრი კედელი აირეკლავს სხივების 80 %-ს, რაც მნიშვნელოვნად დაზოგავს ელექტროენერჯიას;
- ხელოვნური განათების გამოყენებისათვის პირობების შექმნა:
- სათავსოს აღჭურვა იაფი შუქრეგულატორებით;

მაგრამ მოცემული მეთოდები განხორციელებადია მხოლოდ საცხოვრებელ სახლებსა და პატარა შენობებში, სადაც ნათურების მცირე რაოდენობაა, რაც არ შეიძლება ვთქვათ მსხვილ დაწესებულებებზე.

ამჟამად არსებობს განათების სხვადასხვაგვარი სისტემების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან, დანიშნულებით, ფუნქციონირების პრინციპით, ტექნიკური მახასიათებლებითა და ეფექტურობით. ქვემოთ მოყვანილია ყველაზე უფრო გავრცელებული განათების სისტემების მოკლე აღწერა.

## 1.2 ვარვარა ნათურები

ვარვარა ნათურებში (ნახ.1.1.ა) გამოყენებულია გამტარში (სხეულში) დენის გავლის შედეგად გამტარის გახურების ეფექტი (დენის სითბური მოქმედება). დენის ჩართვის შემდეგ გამტარის ვარვარების ტემპერატურა უეცრად იზრდება.

გახურებული სპირალი (ნახ.1.1.ბ) გამოასხივებს ელექტრომაგნიტურ თბურ გამოსხივებას. ხილული გამოსხივების მისაღებად საჭიროა, რომ ტემპერატურა იყოს რამდენიმე ათასი გრადუსი. რაც უფრო ნაკლებია ტემპერატურა, მით ნაკლებია ხილული სინათლის წილი და მით უფრო წითელი გვეჩვენება გამოსხივება [11]. ვარვარა ნათურები ძირითადად განკუთვნილია საერთო, ადგილობრივი და დეკორატიული განათებისათვის.



ა)



ბ)

ნახ.1.1.ა-ვარვარა ნათურა; ბ- გახურებული სპირალი

სხვადასხვა სახის ვარვარა ნათურების გამოყენების არე მოცემულია ცხრილი 1.1-ში.

ცხრილი 1.1. სხვადასხვა სახის ვარვარა ნათურების გამოყენების არე.

ვარვარა ნათურის ტიპი	დანიშნულება
ადგილობრივი განათება	ხელის (გადასატანი) სანათები, ასევე საწარმოო შენობებში ადგილობრივი განათების სანათები
ილუმინაციური	სხვადასხვა ტიპის ილუმინაციური დანადგარებისათვის
სარკული	ლოკალური ადგილობრივი განათებისათვის
სასიგნალო	მცირე სიმძავრის ნათურები, რომლებიც გათვლილია სხვადასხვა შუქსასიგნალო ხელსაწყოებისათვის (იმფორმაციის ვიზუალური ასახვის სასუალებებში) ხანგრძლივ რეჟიმში სამუშაოდ
სატრანსპორტო	სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებებისათვის
პროექტორების	გააჩნიათ დიდ სიმძლავრე (10 კვტ-მდე) და მაღალი შუქგაცემა. გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების სინათლის ხელსაწყოებში.
ოპტიკური ხელსაწყოებისათვის	გამოიყენება სხვადასხვა ხელსაწყოებში (საზომი, სამედიცინო ტექნიკა და სხვა)

ვარვარა ნათურების მარგი ქმედების კოეფიციენტი დამოკიდებულია სპირალის გახურების ტემპერატურაზე. ტემპერატურის მომატებით მარგი ქმედების კოეფიციენტი იზრდება, მაგრამ ამ დროს მცირდება მისი მუშაობის ხანგრძლივობის ვადა. ძაბვის მომატების დროს იზრდება

სიკაშკაშე, მაგრამ ამავე დროს მუშაობის ხანგრძლივობა მცირდება 95 %-ით [12].

ვარვარა ნათურის უპირატესობაა:

- დაბალი ღირებულება (ცხრილი 1.3)
- მცირე ზომები;
- სხვადასხვა ძაბვაზე მასიური წარმოებისათვის მოწესრიგება;
- ნებისმიერი სახის დენზე მუშაობის შესაძლებლობა;
- სუფთა აქტიური წინაღობა და მაღალი სიმძლავრის კოეფიციენტი ( $\cos\varphi=1$ );
- სწრაფი გასვლა მუშა რეჟიმზე;
- არ საჭიროებს გამშვ-მარეგულირებელ აპარატურას;
- არ გააჩნია ტოქსიკური კომპონენტები და როგორც შედეგი არ საჭიროებს შეკრებასა და უტილიზაციას;
- ცვლად დენზე მუშაობისას არა აქვს ციმციმი და გუგუნო;
- აქვს უწყვეტი, სასიამოვნო და ჩვეული გამოსხივების სპექტრი;
- გარემოს დაბალი და მაღალი ტემპერატურისა და კონდენსატის მიმართ მდგრადობა.

ძირითადი უარყოფითი მხარეები:

- დაბალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი (5-15 %);
- დაბალი შუქგაცემა (ცხრილი 1.2);
- მუშაობის მცირე ხანგრძლივობა (ცხრილი 1.2);
- სიმყიფე, დარტყმისა და ვიბრაციის მიმართ მგრძობიარობა;
- მომატებული ძაბვის დროს შუქგაცემისა და მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირება:

- ხანძარსაშიშია და მოითხოვს სანათების თერმომდგრად არმატურას (ჩართვიდან 30 წუთის შემდეგ ვარვარა ნათურის გარე ზედაპირის ტემპერატურა სიმძლავრიდან გამომდინარე აღწევს შემდეგ მნიშვნელობებს: 25 ვტ-იანი - 100°C; 40 ვტ-იანი - 145°C; 75 ვტ-იანი - 250°C; 100 ვტ-იანი - 290°C; 250 ვტ-იანი - 330°C [12]).

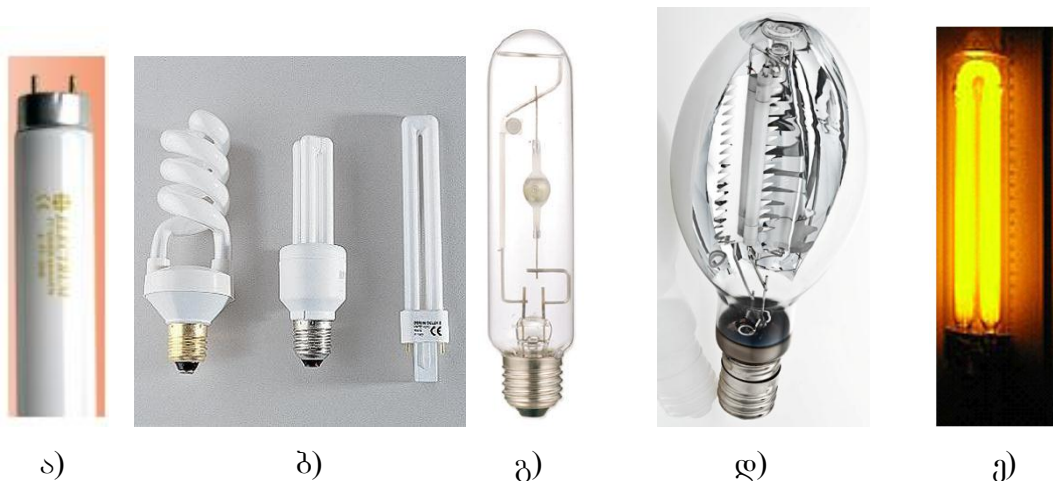
### 1.3 აირგანმუხტვის ნათურები

მოცემული ნათურები ხასიათდება ხანგრძლივი მუშაობის ვადით, მაღალი ნომინალური ეფექტურობითა და მუშაობის დროს მათი სტაბილიზაციისათვის დამატებითი ელექტრონული მოწყობილობების საჭიროებით.

აირი, რომლითაც ავსებულია აირგანმუხტვის ნათურა ელექტრული ძაბვის მოქმედებით უნდა იყოს იონიზირებული, რათა შეიძინოს საჭირო ელექტროგამტარობა.

როგორც წესი, აირგანმუხტვის ნათურების (ნახ.1.2) გაშვებისათვის მოითხოვება უფრო მაღალი ძაბვა ვიდრე განმუხტვის შესანარჩუნებლად. ამისათვის გამოიყენება სპეციალური სტარტერები და სხვა ანთების მოწყობილობანი. გარდა ამისა ნათურის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა ბალასტური დატვირთვა, რომელიც უზრუნველყოფს ნათურის ელექტრული მახასიათებლების სტაბილურობას. სტარტერისა და ბალასტის შერწყმა ქმნის გამშვ-მარეგულირებელ აპარატს.

განმუხტვის ტემპერატურამ შეიძლება მიაღწიოს კელვინის 1000 გრადუსზე მეტს ( $800-900^{\circ}\text{C}$ ) –ს.



**ნახ.1.2. აირგანმუხტვის ნათურები: ა-ლუმინესცენციური; ბ-კომპაქტური ლუმინესცენციური; გ-მეტალოჰალოგენის; დ-მაღალი წნევის ნატრიუმის; ე-დაბალი წნევის ნატრიუმის.**

აირგანმუხტვის ნათურების კონკრეტულ სახეებს ხშირად უწოდებენ მათში გამოყენებული აირის მიხედვით - ნეონის, არგონის, ქსენონის, კრიპ-

ტონის, ნატრიუმის, ვერცხლისწყლის, მეტალოჰალოგენის. ყველაზე უფრო ხშირად გვხვდება აირგანმუხტვის ნათურების შემდეგი სახესხვაობები:

- ლუმინესცენციური ნათურები (ნახ.1.2.ა);
- კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები (ნახ.1.2.ბ);
- მეტალოჰალოგენის ნათურები (ნახ.1.2.გ);
- მაღალი წნევის ნატრიუმის ნათურები (ნახ.1.2.დ);
- დაბალი წნევის ნატრიუმის ნათურები (ნახ.1.2.ე).

ღია სივრცის განათებულობის დაბალი დონით საერთო პროექტორული განათებისათვის სინათლის ყველაზე უფრო ეფექტური წყაროა მაღალი წნევის მეტალოჰალოგენისა და ნატრიუმის ნათურები. ისინი ითვლებიან გარე განათებისათვის ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ეკონომიურ სინათლის წყაროდ და გამოიყენებიან ქუჩების, მოედნების, ავტოსადგომების, გვირაბებისა და მაღალი სამრეწველო შენობების განათებისათვის.

სამუშაო ადგილების ადგილობრივი განათებისათვის, რეკლამებისათვის, ფასადების მინათებისათვის ეფექტური გამოყენება ჰპოვეს კომპაქტურმა ლუმინესცენციურმა ნათურებმა (ნახ.1.2.ბ). მათი ძირითადი უპირატესობებია:

- მაღალი შუქგაცემა: ქსელიდან მოთხოვნილი ერთნაირი სიმძლავრის შემთხვევაში კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის სინათლის ნაკადი 4-6 –ჯერ აღემატება ვარვარა ნათურისას, რაც იძლევა ელექტროენერჯის 75-80 %-ის ეკონომიას;
- მუშაობის ხანგრძლივი ვადა (ცხრილი 1.2);
- სხვა აირგანმუხტვის ნათურებთან შედარებით გახურების დაბალი ტემპერატურა;
- ცივი გაშვება (მყისიერი ჩართვა ციმციმის გარეშე) და თანაბარი ნათება;
- კოლბაში სინათლის თანაბარი განაწილება;
- ფერადი გადაცემის მაღალი ინდექსი (განათების საერთაშორისო კომისიის თანახმად ეს არის პარამეტრი, რომელიც ახასიათებს მოცემული სინათლის

წყაროთი განათების დროს სხეულის ბუნებრივი ფერის ამ სხეულის ხილულ (მოჩვენებით) ფერთან შესაბამისობის დონეს) (ცხრილი 1.2);

- ძირითადი უარყოფითი მხარეები:

- მაღალი ღირებულება (ცხრილი 1.3);

- მათი სტაბილური მუშაობისათვის დამატებითი ელექტრონული მოწყობილობის საჭიროება;

- საგარანტიო პირობებით დადგენილი ჩართვებს შორის ინტერვალი უნდა იყოს ორ წუთზე მეტი;

- კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები, რომლებიც ირთვებიან მყისიერად (კათოდის წინასწარი გახურების გარეშე) თითოეული ჩართვისას კარგავენ თავისი მუშაობის ხანგრძლივობის მნიშვნელოვან ნაწილს [13]. შედეგად მათი გამოყენება ხშირი ჩართვა-გამორთვის ადგილებში რეკომენდირებული არ არის;

- საყოფაცხოვრებო დანიშნულების კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების ანთება გარანტირებული არ არის გარემოს უარყოფითი ტემპერატურისა და კვების ძაბვის 10 %-ით შემცირების დროს;

- მომატებული ტენიანობა და კონდენსატის მოხვედრა იწვევს ელექტრონული გამშვი- მარეგულირებელი აპარატურის სქემის გარღვევას, სადაც ანთების ძაბვა აღწევს 1000 ვ-მდე [14];

- კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის კოლბაში მოთავსებულია ვერცხლისწყლის ორთქლი, რომელიც მწყობრიდან გამოსული ნათურების მოწესრიგებული უტილიზაციის დროსაც კი ჯანმრთელობისათვის საფრთხეს წარმოადგენს [13];

- მომწამლავი ვერცხლისწყლის ორთქლის შემცველობის ( 3-5 მგ) გამო საჭიროა მისი უტილიზაცია [15];

- კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის უმეტესობას აქვს ენერგომომხმარების დაბალი ხარისხი, რომელიც ხასიათდება დაბალი სიმძლავრის კოეფიციენტით, დაახლოებით 50 % [13];

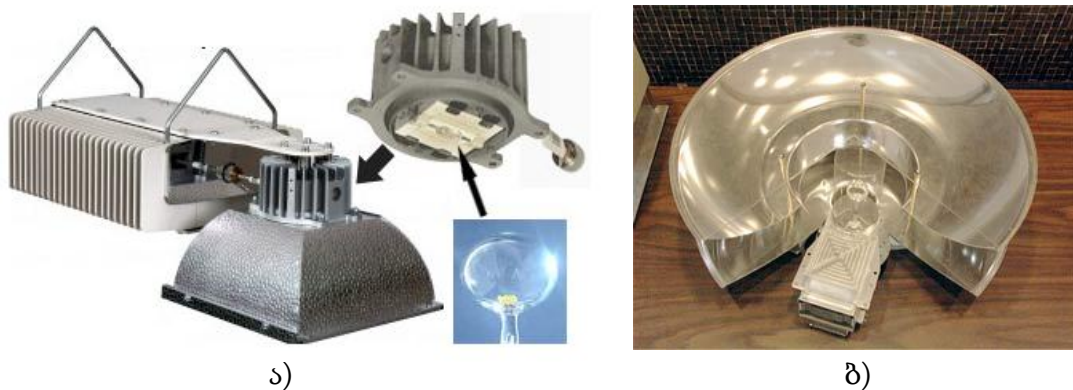
- იწვევს ქსელის ძაბვის ფორმის დამახინჯებას, რასაც მივყავართ ელექტროენერჯის გადაცემის დროს დამატებით დანაკარგებამდე [13].

#### 1.4 გოგირდიანი ნათურები

გოგირდიანი ნათურა წარმოადგენს უელექტროდო, მთელი სპექტრის მქონე მაღალეფექტურ გამანათებელ მოწყობილობას, რომელშიც სინათლის წყაროს წარმოადგენს გოგირდის პლაზმა და რომელიც ხურდება ინერტული აირის ატმოსფეროში მიკროტალღური გამოსხივებით. გოგირდის პლაზმა გამოასხივებს მძლავრ სინათლეს მზის სინათლესთან ახლო სპექტრში, თითქმის ულტრაიისფერის გარეშე.

უელექტროდო განმუხტვის გამოყენება გულისხმობს ისეთი აუცილებელი ელემენტების გამოყენებას, როგორებიცაა: ნათურა კოლბით, ზემადალი სიხშირის გენერატორი და ელექტროდინამიური სისტემა.

გოგირდიანი ნათურები გამოიყენება დიდი მოედნების, ვაგზალთა ინტერიერების, სამხედრო, სამედიცინო, სარკინიგზო ნაგებობებისა და სასოფლო-სამეურნეო ობიექტების, ჩრდილოეთისა და სამხრეთის ტერიტორიების (სადაც შეზღუდულია დღეღამის დღის ინტერვალი) განათებისათვის [16].



ნახ.1.3-ზე წარმოდგენილია გოგირდიანი ნათურის კონსტრუქცია (ა) და გოგირდიანი ნათურა ამრეკლით (ბ).

გოგირდიანი ნათურების უპირატესობებია:

- ნათურის მუშაობის დიდი ხანგრძლივობა (ცხრილი 1.2);



- მომატებული შუქგაცემა (ცხრილი 1.2);
  - გახურების დრო მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე სხვა ტიპის აირ-განმუხტვის ნათურების;
  - არ გააჩნია ციმციმი;
  - მცირე გაბარიტები და თანაბარი სიკაშკაშე;
  - ნათურა ავსებულია ეკოლოგიურად სუფთა მასალებით: გოგირდი-თა და არგონით;
  - სინათლის ძალის რეგულირების შესაძლებლობა.
- ძირითადი უარყოფითი მხარეები:
- კონსტრუქციის სირთულე;
  - მაღალი ღირებულება (ცხრილი 1.3);
  - სინათლის ნაკადი მაქსიმალური სიდიდის 80 %-ს აღწევს ჩართვიდან 20 წმ-ის შემდეგ; ნათურის განმეორებითი ჩართვა შესაძლებელია გამორთვიდან 5 წუთის შემდეგ;
  - სანთურას კოლბის მაღალი ტემპერატურა მოითხოვს მაღალხარისხიანი კვარცის მინის გამოყენებასა და მტვერისაგან დაცვას.

## 1.5. შუქდიოდური ნათურები

შუქდიოდური ნათურა წარმოადგენს ნახევარგამტარულ ხელსაწყოს ელექტრონულ-ხვრელური გადასასვლელით ან მეტალ-ნახევარგამტარის კონტაქტით, რომელიც ქმნის ოპტიკურ გამოსხივებას მასში დენის გავლის დროს.

განათების შუქდიოდურმა ტექნოლოგიებმა ელექტროენერჯის ეფექტურად ხარჯვისა და კონსტრუქციის სიმარტივის წყალობით ფართო გამოყენება ჰპოვეს სანათებში, პროექტორებში, შუქდიოდურ ლენტებში, დეკორატიულ შუქტექნიკასა და განსაკუთრებით კომპაქტურ სანათ ხელსაწყოებში (მაგალითად, ხელის ფანარებში). შუქდიოდური სანათი ხელსაწყოები იყოფა ქუჩისა და ინტერიერის ხელსაწყოებად. ამჟამად მათ გამოიყენებენ შენობების, ქუჩების, საწარმოო და საოფისე შენობების, სარეკლამო კონ-

სტრუქციების, ფანტანების, გვირაბებისა და ხიდების, სახლის ინტერიერისა და ავეჯის, ავტომობილების გასანათებლად.

ნახ.1.4-ზე წარმოდგენილია სხვადასხვა სახის შუქდიოდური ნათურები



**ნახ.1.4. სხვადასხვა სახის შუქდიოდური ნათურები**

**შუქდიოდური ნათურების უპირატესობებია:**

- მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი;
- მცირე ზომები, მუშაობის დიდი ხანგრძლივობის ვადა (ცხრილი 1.2);
- მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და ვიბრომედეგობა;
- მაღალი ელექტრო და სახანძრო უსაფრთხოება;
- დაბალი ტემპერატურის მიმართ არამგრძობიარობა;
- შუქფილტრების გამოყენების გარეშე სხვადასხვა სპექტრალური მახასიათებლების მიღების შესაძლებლობა;
- უმნიშვნელო ულტრაიისფერი და ინფრაწითელი გამოსხივება;
- უმნიშვნელო სითბოს გამოყოფა;
- მომწამლავი მდგენელების არქონა, რაც გამორიცხავს ექსპლუატაციისას მოწამლვას [17];

**ძირითადი უარყოფითი მხარეებია:**

- მაღალი ფასი (ცხრილი 1.3) [17];

- შუქდიოდის კვების ძაბვა მნიშვნელოვნად დაბალია ვიდრე ჩვეულებრივი ვარვარა ნათურის, ამიტომ შუქდიოდებს აერთებენ მომდევრობით ან გამოიყენებენ ძაბვის გარდამქმნელებს;

- დაბალი ზღვრული ტემპერატურა: მძლავრი გამანათებელი შუქდიოდები გაციებისათვის მოითხოვენ გარე რადიატორს, რადგანაც გამოყოფილ სითბოსა და მათ ზომას შორის აქვთ არახელსაყრელი დამოკიდებულება;

- შუქდიოდების სპექტრი განსხვავებულია მზის სპექტრისაგან;

- 220-240 ვ. ძაბვის პირობებში მუშაობის ხანგრძლივობის რეალური ვადა აღმოჩნდა დაახლოები 50 000 საათი და არა 100 000 საათი, როგორც აცხადებდნენ მწარმოებლები [18].

ენერგოდამზოგი განათების განვითარების პროგრამის ჩარჩოებში მოსალოდნელია ქალაქების განათების საქმეში შუქდიოდური ტექნოლოგიების მძაფრი განვითარება, რადგანაც შუქდიოდების საფუძველზე შექმნილ სანათებს სხვა სახის სანათებთან შედარებით აქვთ მინიმალური ენერგომოხმარება და სხვა უპირატესობები.

ცხრილი 1.2. სხვადასხვა ტიპის ნათურების მახასიათებლები და ეფექტურობა						
ნათურის ტიპი	ოპტიკური სპექტრი	ნომინალური ეფექტურობა ლმ/ვტ	მუშაობის ხანგრძლივობა, სთ	ფერის ტემპერატურა, K	ფერი	ფერის გადაცემის ინდექსი
ვარვარა	უწყვეტი	12-17	1000-2500	2700	თეთრი-თბილი (მოყვითალო)	100
ჰალოგენური	უწყვეტი	16-23	3000-6000	3200	თეთრი-თბილი	100

					(მოყვითალო)	
ლუმინეს- ცენციური	ლუმინოფო რის	52-100	8000- 2000	2700- 5000	თეთრი მწვანე ელფერით	15-85
მეტალო- ჰალოგენური	კვაზიუწყვე ტი	50-115	6000- 20000	3000- 4500	თეთრი ცივი	65-93
მაღალ წნევის ნატრი- უმის	ფართო ზოლი	55-140	10000- 40000	1800- 2200	მოვარდისფრო -ნარინჯიფერი	0-70
დაბალი წნევის ნატრი- უმის	წვრილი ზოლი	100-200	18000- 20000	1800	ყვითელი, ფერთა გადაცემა არ არის	0
გოგირ- დიანი	უწყვეტი	80-110	15000- 20000	6000	მკრთალი- მწვანე	79
შუქდი- ოდი	მონოქრომა ტულთან ახლო	10-200	დაახლ. 50000	2700- 10000	თეთრი (ცივი,დღის, თბილი) წითელი, ყვითელი, ლურჯი, მწვანე	70-90

**ცხრილი 1.3. სხვადასხვა ტიპის ნათურების კუთრი ღირებულებითი  
მახასიათებლები 2015 წლის 1 იანვრისათვის**

ნათურის ტიპი	1 ლმ/ვტ კუთრი ღირებულება, ლარი/ლმ/ვტ	1 ვტ სიმძლავრის კუთრი ღირებულება, ლარი/ვტ	1 ლმ განათებულ-ლობის კუთრი ღირებულება, ლარი/ლმ
ვარვარა	0,03	0,0066	0,0006
ჰალოგენური	0,061	0,013	0,0006
ლუმინესცენციური	0,103	0,456	0,0086
მეტალოჰალოგენური	0,54	0,165	0,0018
მაღალ წნევის ნატრიუმის	0,11	0,0744	0,0006
დაბალი წნევის ნატრიუმის	0,94	1,433	0,0144
გოგირდიანი	26,25	2,88	0,036
შუქდიოდები	1,86	4,78	0,053

დიდი ხნის განმავლობაში შუქდიოდების ფართო გავრცელება შეჩერებული იყო ყვითელი და თეთრი ფერისათვის შესაფერი მძლავრი კრისტალების მაღალი ფასის გამო, ამასთანავე ამჟამად განათებაში შუქდიოდების გამოყენება ძალიან მომგებიანი, მიუხედავად ნათურების მაღალი ფასისა.

ახლო მომავალში შუქდიოდური ნათურები ფართოდ იქნება გამოყენებული განათების საქმეში და განათების სისტემაში შეადგენენ მნიშვნელოვან ნაწილს. ამასთან ერთად მოითხოვება სერიოზული გამოკვლევები, თუ რა გავლენას ახდენენ ეს სანათი ხელსაწყოები ქსელის ელექტროენერჯის ხარისხსა და ელექტრომაგნიტური თავსებადობის საკითხებზე [19].

**თავი II. დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების  
ენერგოდამზოგი ნათურებით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების  
მეთოდика.**

ბაზარზე დიდი რაოდენობის სხვადასხვა სახის მაღალეფექტური ნათურების არსებობა ქმნის დაბალეფექტური სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის შეფასების მეთოდის დამუშავების საჭიროებას, რომელიც მოგვცემს საშუალებას შევაფასოთ როგორც ნატურალური დადებითი ეფექტი, ასევე ფინანსური. ცხრილი 2.1-ში წარმოდგენილია ძირითადი პირობები, რომლებიც უნდა შესრულდეს სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდის დამუშავებისას.

**ცხრილი 2.1. სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგი ნათურებით  
შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდის დამუშავების პირობები.**

#	პირობა
1	სხვადასხვა საპროექტო ორგანიზაციების მიერ დამუშავებული სანათებისა და ნათურების შეცვლის ეფექტურობის მაჩვენებლების ჩამონათვალისა და ტერმინოლოგიის, ასევე მათი განსაზღვრის მიმართ მიდგომების უნიფიკაცია.
2	იმ მოთხოვნების სისტემატიზაცია და უნიფიკაცია, რომლებიც წაყენება წინა-საპროექტო და საპროექტო მასალებს სანათებისა და ნათურების შეცვლის ეფექტურობის გაანგარიშების განხილვისას, ასევე ამ გაანგარიშების ჩატარებისათვის საწყისი მონაცემების შემადგენლობას, შინაარსსა და სისრულეს.
3	იმ საანგარიშო მექანიზმის რაციონალიზაცია, რომელიც გამოიყენება ეფექტურობის მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის და ამ საანგარიშო მექანიზმის საერთაშორისო პრაქტიკაში მიღებულ ნორმატიულ მოთხოვნებთან და საანგარიშო ფორმებთან შესაბამისობაში მოყვანა.

1	2
4	ცალკეულ ენერგოდამზოვი ღონისძიების შემადგენლობაში დამუშავებული ტექნიკური, ორგანიზაციული და ფინანსური ვარიანტების ეკონომიური შედარებისათვის მოთხოვნების დადგენა.
5	ცალკეული სახის იმ ენერგოდამზოვი ღონისძიებების თავისებურებების აღრიცხვა, რომლებიც განაპირობებენ ეფექტურობის შეფასების არასტანდარტული მეთოდების გამოყენებას.

მოცემული პირობების შესრულება, იძლევა საშუალებას შეიქმნას განათების სისტემებთან დაკავშირებული ჩასატარებელი ენერგოდამზოვი ღონისძიებების ეფექტურობის შეფასების ერთიანი სტანდარტიზირებული მიდგომა.

მეთოდიკა სტრუქტურირებული უნდა იყოს იყოს იმ ორგანიზაციულ-მმართველობით, ტექნიკურ და ეკონომიურ ღონისძიებებზე, რომლებიც წარმოდგენილია ცხრილი 2.2.-ში.

**ცხრილი 2.2. სანათებისა და ნათურების შეცვლის ეფექტურობის შეფასების მეთოდიკის ღონისძიებები.**

#	ღონისძიება	ღონისძიების ტიპი
1	განათების სისტემის ჩატარებული აუდიტის შედეგების ანალიზი	ორგანიზაციულ - მმართველობითი
2	მიმდინარე სიტუაციის აღწერა და ანალიზი	ორგანიზაციულ - მმართველობითი
3	სანათებისა და ნათურების ენერგო-ეფექტურით შეცვლის მიზნებისა და ამოცანების განსაზღვრა	ორგანიზაციულ - მმართველობითი
4	ღონისძიების რეალიზაციის სცენარის აღწერა	ორგანიზაციულ - მმართველობითი
5	ტექნიკური გადაწყვეტის დასაბუთება და არჩევა	ორგანიზაციულ - მმართველობითი

1	2	3
6	შერჩეული მოწყობილობების მახასიათებლებისა და ტექნიკური გადაწყვეტის არჩევა	ორგანიზაციულ - ტექნიკური
7	ლონისძიების ღირებულების შეფასება	ორგანიზაციულ - მმართველობითი
8	ლონისძიების ეფექტიანობისა და შედეგიანობის შეფასება	ორგანიზაციულ - ეკონომიური

მსოფლიო პრაქტიკაში საინვესტიციო პროექტების ეკონომიური შეფასებისათვის გამოიყენება მსოფლიო ბანკისა და სამრეწველო განვითარების გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის (UNIDO) მეთოდოლოგია. ამ რეკომენდაციის მეთოდოლოგიურ საფუძველს წარმოადგენს პროექტის მიერ გენერირებული ფულის ნაკადის მოდელირება (იხ. ცხრილი 2.3.) [20].

**ცხრილი 2.3.. მეთოდოლოგიის მიერ შემოთავაზებული საინვესტიციო პროექტის ეფექტურობის შეფასების საბაზო პრინციპები.**

№	პრინციპი
1	პროექტის განხილვა მთელი მისი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში – დაწყებული წინასაინვესტიციო გამოკვლევების ჩატარებიდან პროექტის დამთავრებამდე.
2	სხვადასხვა პროექტების პირობებისა შედარება
3	ალტერნატიული ვარიანტების შედარების დროს ეფექტური პროექტის განსაზღვრა.
4	მომავალი ხარჯებისა და შენატანების აღრიცხვა, რომლებიც დაკავშირებულია მხოლოდ პროექტის დამუშავებასა და რეალიზაციასთან
5	მთელი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში პროექტის განხორციელების დროს და მის გარეშე შედარების ჩატარება
6	პროექტის მომზადებისა და რეალიზაციის სხვადასხვა სტადიაზე მისი ეფექტურობის განსაზღვრა.



თითოეულ ღონისძიებას აქვს საბაზო ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთება, რომელიც მოიცავს: ამოცანის დასმას, მიმდინარე სიტუაციის აღწერასა და შემოთავაზებულ ორგანიზაციულ გადაწყვეტას, პროექტის ხარჯვითი და შემოსავლითი ნაწილების გაანგარიშებას, ღონისძიების რეალიზაციის შესახებ დასკვნებს. ყველა საჭირო მონაცემი მიღებული უნდა იქნეს დაწესებულების საწარმო-ტექნიკურ და ეკონომიურ განყოფილებებში, საამქროებისა და სამსახურების უფროსებთან.

იმ საშუალებების გამოყენების ეფექტურობის შეფასება, რომლებიც მიმართულია ენერგოდამზოგი ღონისძიებების რეალიზაციაზე უმჯობესია ვაწარმოთ შემდეგი მაჩვენებლების საფუძველზე:

- გამოსყიდვის მარტივი და ინტეგრალური ვადა;
- სუფთა დისკონტირებული შემოსავალი (NPV), იგი გვიჩვენებს ფულადი საშუალებების სიდიდეს, რომელსაც ინვესტორი ელოდება პროექტიდან მას შემდეგ, რაც ფულადი შემოსავლები გამოისყიდიან საწყის საინვესტიციო დანახარჯებსა და პერიოდულ ფულად გასავლებს, რაც დაკავშირებულია პროექტის განხორციელებასთან;
- შემოსავლების შინაგანი შემოსავლები.

მეთოდის კომპლექსურობა მდგომარეობს იმაში, რომ იგი ახდენს საბაზო ენერგოდამზოგი ღონისძიებების ერთობლიობაში მოყვანას, რომელთაც გააჩნიათ უნარი განათების საჭიროებისათვის ელექტროენერჯის მოხმარების შემცირებისა და სანათების მუშაობის ხანგრძლივობის არსებითად გაზრდის ხარჯზე აამაღლონ მთლიანად ორგანიზაციის ენერგოეფექტურობა.

თითოეული ტიპის ობიექტისა და გარემოს მნიშვნელოვანი ამოცანაა უზრუნველყოს ოპტიმალური განათებულობის დონე და სინათლის სპექტრალური შედგენილობა.

არაადეკვატურმა განათებამ შეიძლება მიგვიყვანოს არა მარტო ელექტროენერჯის დანაკარგებთან, არამედ პერსონალის ჯანმრთელობისა და

ფსიქოლოგიური მდგომარეობის ნეგატიურ ეფექტებამდე, რომლებიც მოიცავს თავის ტკივილს, სტრესსა და მომატებულ სისხლის წნევას.

გარდა ამისა ათინათებისა და ზედმეტი განათებულობის შედეგად შეიძლება შემცირდეს შრომის ნაყოფიერება. დამტკიცებულია, რომ არასწორად დაპროექტებულმა ხელოვნურმა განათებამ შეიძლება გამოიწვიოს მთელი რიგი დაავადებები.

არსებობს სხვადასხვა მეთოდები, რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი ობიექტის განათებასთან დაკავშირებული ენერგომოხმარების მინიმიზაციისათვის. მოცემული მეთოდები შეიძლება კლასიფიცირებულნი იქნას შემდეგნაირად:

- მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება ახალი ან არსებული ობიექტის გადაპროექტირების (რეინჟინერინგის) დროს;
- მეთოდები, რომლებიც გამოიყენებიან არსებული ობიექტის ენერგოეფექტურობის ამაღლების დროს სანათი ხელსაწყოების (ნათურების) შეცვლის გზით.

ჩვენ ამ სამუშაოში განვიხილავთ მხოლოდ მეორე მეთოდს.

სანათებისა და ნათურების შეცვლა ხორციელდება იმ პრინციპით, რომ ვარვარა ნათურის ენერგოდამზოგი ნათურით შეცვლის დროს უზრუნველყოფილი იქნეს ვარვარა ნათურის მიერ შექმნილი E განათებულობის დონე, ანუ ნათურის შეცვლის აუცილებელი პირობაა:

$$E_{62} = E_{61} \quad (2.1)$$

განათებულობა E პირდაპირპროპორციულია სინათლის I ძალისა. გასანათებელი ზედაპირიდან სინათლის წყაროს მოშორებით ზედაპირის განათებულობა მცირდება და განათებულობა უკუპროპორციულია დაშორების კვადრატისა. როცა სინათლის სხივები ეცემა ზედაპირის მიმართ დახრილად, მაშინ განათებულობა მცირდება სხივების დაცემის კუთხის კოსინუსის პროპორციულად. შემთხვევაში წერტილოვანი წყაროს განათებულობას განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$E = \frac{1}{r_2} \cos \alpha, \text{ ლქ} \quad (2.2)$$

თუ ენერგოდამზოგი ნათურის დაყენება ხორციელდება იმავე წერტილში, რომელშიც იყო დაყენებული შესაცვლელი ნათურა (ანუ  $r$  და  $\alpha$  პარამეტრები, იმ წერტილის მიმართ, რომელშიც განათებულობა შენარჩუნებული უნდა იქნეს იმავე დონეზე, არ იცვლებიან) მაშინ (2.2)-ის გათვალისწინებით ნათურების ეკვივალენტური განათებულობით შეცვლის პირობა შემდეგია:

$$I_{62} = I_{61} \quad (2.3)$$

სინათლის ძალა  $I$  – ეს არის გამოსხივების  $\Phi$  ნაკადის რაოდენობრივი სიდიდე, რომელიც მოდის ერთეულოვან სხეულოვან კუთხეზე მისი გავრცელების საზღვრებში.

თუ სინათლის ნაკადი წერტილოვანი წყაროს მიერ თანაბრად გამოსხივდება ყველა მიმართულებით, მაშინ წერტილოვანი წყაროს სინათლის ძალა ნებისმიერი მიმართულებით ტოლია:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}, \text{ კდ} \quad I = \frac{\Phi}{4\pi}, \text{ კდ} \quad (2.4)$$

ამგვარად, (თუ ნათურების სინათლის ნაკადი ყველა მიმართულებით თანაბრად არის განაწილებული) ნათურების ეკვივალენტური განათებულობით შეცვლის პირობა შემდეგია:

$$\Phi_{62. \text{ სასპ.}} = \Phi_{61} \quad (2.5)$$

ნათურის სინათლის  $\Phi_{62. \text{ სასპ.}}$  ნაკადის მნიშვნელობა მიეკუთვნება ნათურის საპასპორტო მონაცემებს (სინათლის ნაკადის მოცემული მნიშვნელობა ასევე შეიძლება ვიპოვოთ, თუ ცნობილია ნათურის აქტიური სიმძლავრე  $P$ , შესაბამისი სიმძლავრის ნათურის ტექნიკურ მონაცემებში სინათლის ნაკადის მნიშვნელობის მოძებნის გზით).

ამგვარად, ვარვარა ნათურის ენერგოდამზოგი ნათურით შეცვლისათვის საჭიროა შევირჩიოთ ენერგოდამზოგი ნათურებიდან (აირგანმუხტვის, გოგირდიანი, შუქდიოდური) ერთ-ერთი, რომლის სინათლის ნაკადის საპასპორტო მონაცემი ტოლი იქნება ვარვარა ნათურის (2.5) პირობა).

ამ დროს საჭიროა დადასტურება, რომ ენერგოდამზოგი ნათურა შეესაბამება (არსებული მოთხოვნებით საწარმოო გარემოს, სამუშაო

პირობებს, მათ რიცხვში სტანდარტებისა და სანიტარული ნორმების მოთხოვნებს) კვების ძაბვის  $U$ , ფერის ტემპერატურის  $T$ , ნათურის მიერ გამოსხივებულ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძეს  $\lambda$ , ფერთა გადაცემის ინდექსის  $R_a$ , ნათურის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის  $\tau_{\text{ს.დ.}}$ , ნათურის დაცვის ხარისხს  $IP$ , ნათურის ცოკოლის ტიპის კრიტერიუმებსა და სხვა პირობებს. ნაჩვენები შემოწმების განხორციელებისათვის ასევე შესაძლებელია გამოყენებული ნათურის პარამეტრების შედარება ანალოგიური პარამეტრების ენერგოდამზოგ ნათურებთან, რომლითაც საწყისი ნათურა შესაძლებელია შეიცვალოს.

შეცვლისათვის ამ დროს აირჩევა ენერგოდამზოგი ნათურა სინათლის ნაკადის მარაგით:

$$\Phi_{62} \geq k_{\text{მარაგ.}} \cdot \Phi_{62. \text{ პასპ.}} \quad (2.6)$$

არჩეული ნათურისათვის განისაზღვრება ნათურის მიერ მოხმარებული აქტიური სიმძლავრის  $P_{62}$  მნიშვნელობა.

ნათურის ჩართვის საშუალო ხანგრძლივობა წელიწადში განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\tau_{\text{ჩ.ბ.}} = K_{\text{ჩ.ბ.}} \cdot 8760 \quad (2.7)$$

ამის შემდეგ ხდება განსახილველი ტიპების ნათურების შეცვლის საჭიროების განსაზღვრა საექსპლუატაციო ვადის გასვლის შედეგად

მწობრიდან გამოსვლის შემდეგ  $\tau_1$  და  $\tau_2$ :

$$\tau_1 = \frac{\tau_{\text{ჩ.ბ.}}}{\tau_{61}} - \text{ჯერ წელიწადში} \quad (2.8)$$

$$\tau_2 = \frac{\tau_{\text{ჩ.ბ.}}}{\tau_{62}} - \text{ჯერ წელიწადში} \quad (2.9)$$

ვარვარა ნათურისა და მისი შემცვლელი ენერგოდამზოგი ნათურის მიერ წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია:

$$W_{61} = \frac{P_{61} \cdot \tau_{\text{ჩ.ბ.}}}{1000}, \text{ კვტ. სთ} \quad (2.10)$$

$$W_{62} = \frac{P_{62} \cdot \tau_{\text{ჩ.ბ.}}}{1000}, \text{ კვტ. სთ} \quad (2.11)$$

საერთო შემთხვევისათვის, როცა შეცვლას ექვემდებარება  $n$  ერთნირი ტიპისა და ერთნაირი მახასიათებლების მქონე ვარვარა ნათურები იმავე

რაოდენობის ერთნირი ტიპისა და ერთნაირი მახასიათებლების მქონე ენერგოდამზოგი ნათურებით, მაშინ ელექტროენერგიის წლიური მოხმარება ვარვარა და ენერგოდამზოგი ნათურებით გაიანგარიშება ფორმულებით:

$$W_{\text{კომპლ.51}} = \frac{n \cdot P_{51} \cdot \tau_{\text{ნ.ბ}}}{1000}, \text{ კვტ. სთ} \quad (2.12)$$

$$W_{\text{კომპლ.52}} = \frac{n \cdot P_{52} \cdot \tau_{\text{ნ.ბ}}}{1000}, \text{ კვტ. სთ} \quad (2.13)$$

ვარვარა ნათურების (ნათურების კომპლექტის) ენერგოდამზოგი ნათურებით (ნათურების კომპლექტით) შეცვლის მიზანშეწონილობის შემდგომი დასაბუთებისათვის გამოიყენება „სანათებისა და ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის ეფექტურობის შეფასების” მეთოდიკა, რომელშიც გამოიყენება ზემოთაღწერილი გაანგარიშებისას მიღებული შემდეგი სიდიდეები:

- ღონისძიების მიღებამდე ვარვარა ნათურის ან ნათურების კომპლექტის მიერ წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია  $W_{51}$  ან  $W_{\text{კომპლ.51}}$ .
- ღონისძიების მიღების შემდეგ ენერგოდამზოგი ნათურის ან ნათურების კომპლექტის მიერ წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია  $W_{52}$  ან  $W_{\text{კომპლ.52}}$ .

ვარვარა ნათურის ან ნათურების კომპლექტის ენერგოდამზოგი ნათურით ან ნათურების კომპლექტით შეცვლის შედეგად შემცირდება მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე, და შედეგად შემცირდება ელექტროენერგიის წლიური მოხმარება:

$$\Delta P = P_{51} - P_{52}, \text{ ვტ} \quad (2.14)$$

$$\Delta P_{\text{კომპლ}} = n(P_{51} - P_{52}), \text{ ვტ} \quad (2.15)$$

$$\Delta W = W_{51} - W_{52} = \frac{(P_{51} - P_{52}) \cdot \tau_{\text{ნ.ბ}}}{1000}, \text{ კვტ. სთ} \quad (2.16)$$

$$\Delta W_{\text{კომპლ}} = n(P_{51} - P_{52}) = \frac{n(P_{51} - P_{52}) \cdot \tau_{\text{ნ.ბ}}}{1000}, \text{ კვტ. სთ} \quad (2.17)$$

ვარვარა ნათურის ან ნათურების კომპლექტის ენერგოდამზოგი ნათურით ან ნათურების კომპლექტით შეცვლის ეკონომიური დასაბუთების დროს ელექტროენერგიის ეკონომიის გარდა საჭიროა გათვალისწინებული

იქნას ეკონომია, რომელიც დაკავშირებულია ენერგოდამზოგი ნათურის უმტყუნო მუშაობის დიდ საშუალო დროსთან  $\tau_{51}$  და ვარვარა ნათურის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროსთან  $\tau_{52}$  შედარებით. ეკონომია ამ დროს შედგება ძველი ნიმუშის ნათურების იმ ღირებულებისაგან, რომლებიც მოგვიწევდა შეგვეძინა იმ პერიოდში სანამ იმუშავებდა ახალი ნიმუშის მხოლოდ ერთი ნათურა დიდი რესურსით.

ნათურების შეცვლის ეკონომიური ეფექტურობის ჯამური შეფასებისას, საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ასევე ის დანახარჯები, რომლებიც დაკავშირებულია სამუშაო რესურსების ამოწურვის შემდეგ ენერგოდამზოგი ნათურების უტილიზაციასთან.

დროის განსახილველი პერიოდის განმავლობაში ფინანსური ეკონომიის  $\Delta S$  გაანგარიშება, მიმდინარე წლის ელექტროენერგიის  $T$  ტარიფიდან და ზემოთ ჩამოთვლილი პირობებიდან გამომდინარე, ხორციელდება შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta S = [\Delta W_{კომპლ} \cdot T \cdot n \cdot \tau \cdot C_{51} \cdot H - n \cdot \tau_1 \cdot (C_{51} + K_{უ}) \cdot H] \cdot N - 3, \text{ ლარი} \quad (2.18),$$

სადაც,  $NN$  – განსახილველი წლების რაოდენობა;

$z$  – ტარიფების ზრდა  $N$  ელექტროენერგიაზე  $N$  წლის განმავლობაში;

$H$  – ინფლაციის მზარდი ინდექსი  $NN$  წლის განმავლობაში;

$C_{51}$  – შესაცვლელი ნათურის ღირებულება, ლარი;

$C_{52}$  – შესაცვლელი ნათურის ღირებულება, ლარი;

$K_{უ}$  – სანათების უტილიზაციის ღირებულება, ლარი;

$n$  – შესაცვლელი და ენერგოდამზოგი ნათურების რაოდენობა, ცალი.

$3 = n \cdot (C_{52} + K_{უ})$  – არსებული ნათურების ენერგოდამზოგით შეცვლის ხარჯები;

წლიური ფინანსური ეკონომიის განსაზღვრის დროს გამოსყიდვის უბრალო ვადა განისაზღვრება ფორმულით:  $N$

$$PBP_{უმრ} = 3 \cdot [\Delta W_{კომპლ} \cdot T + n \cdot \tau_2 \cdot C_{51}] \text{ წელი} \quad (2.19).$$

ქვემოთ მაგალითის სახით მოყვანილია 1000 ცალი, თითოეული 100 ვტ სიმძლავრის, ვარვარა ნათურების კომპაქტური ლუმინესცენციური

ნათურებით შეცვლის შედეგად მიღებული ეფექტურობის გაანგარიშების ალგორითმი.

1. განვსაზღვროთ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის  $P_{51}$  მნიშვნელობა (ცხრილი 2.4).
2. გამოსაყენებელი ნათურის საპასპორტო მონაცემებით  $P_{51}$  შესაბამისი სიმძლავრისათვის განისაზღვრება მოცემული ნათურის სინათლის ნაკადი (ცხრილი 2.4).
3. ხორციელდება (თუ მისაღებია) ვარვარა ნათურის მაგიერ დასაყენებელი ენერგოდამზოგი ნათურების ტიპების არჩევა, გამომდინარე იქიდან, რომ ენერგოდამზოგი ნათურა შეესაბამება (არსებული მოთხოვნილებით საწარმოო გარემოს, სამუშაო პირობებს, მათ რიცხვში სტანდარტებისა და სანიტარული ნორმების მოთხოვნებს) კვების ძაბვის  $U$ , ფერის ტემპერატურის  $T$ , ნათურის მიერ გამოსხივებულ ელექტრომაგნიტური ტალღის სიგრძეს  $\lambda$ , ფერთა გადაცემის ინდექსის  $R_a$ , ნათურის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის  $\tau_{ს.დ.}$ , ნათურის დაცვის ხარისხს  $IP$ , ნათურის ცოკოლის ტიპის კრიტერიუმებსა და სხვა პირობებს. გამარტივებულ ვარიანტში შესაძლებელია ახალი ნათურის მახასიათებლების:  $U_{52}$ ,  $T_{52}$ ,  $\lambda_{52}$ ,  $R_{a52}$ ,  $\tau_{ს.დ.52}$ ,  $IP_{52}$ , ცოკოლის ტიპისა და სხვა შესაბამისობა ან აღმატებულობა ძველი ნათურის ანალოგურ მახასიათებლებთან:  $U_{51}$ ,  $T_{51}$ ,  $\lambda_{51}$ ,  $R_{a51}$ ,  $\tau_{ს.დ.51}$ ,  $IP_{51}$ , ცოკოლის ტიპისა და სხვა.
4. (2.5) პირობიდან გამომდინარე ხორციელდება ენერგოდამზოგი ნათურების ვარიანტების შერჩევა, რომელიც იძლევა იგივე სინათლის ნაკადის  $\Phi_{52. ვახ.} = \Phi_{51}$  გენერირების საშუალებას. შერჩევის შემდეგ ენერგოდამზოგი ნათურის რამდენიმე ვარიანტის არსებობისას დაყენებისათვის უპირატესობა უნდა მიეცეს იმ ნათურას, რომელსაც გააჩნია დიდი ნომინალური ეფექტურობა  $K_{ნომ}$  და დიდი უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო  $\tau_{ს.დ}$  (ცხრილი 2.4).

5. შეცვლისათვის აირჩევა იმავე ტიპის ენერგოდამზოგი ნათურა სინათლის ნაკადის მარაგით. ნათურის შესაბამისი გენერირებული სინათლის ნაკადის მნიშვნელობა  $\Phi_{52}$ . განისაზღვრება შესაბამისი ტიპის ნათურის საპასპორტო მონაცემებით (ცხრილი 2.7) გამომდინარე (2.6) პირობიდან.

6. შერჩეული ნათურისათვის საპასპორტო მონაცემებით განისაზღვრება მოხმარებული აქტიური სიმძლავრე  $P_{52}$  (ცხრილი 2.4).

7. ქვედანაყოფის მონაცემების საფუძველზე  $K_{R,b}$ . მიხედვითა და (2.7) გამოსახულების გამოყენებით ხორციელდება წელიწადში ნათურის ჩართვის საშუალო ხანგრძლივობის გაანგარიშება. თუ მივიღებთ, რომ  $K_{R,b} = 0,5$ , მაშინ  $\tau_{R,b} = K_{R,b} \cdot 8760 = 0,5 \times 8760 = 4380$  სთ.

8. გამოვიყენებთ რა ადრე განსაზღვრულ პარამეტრებს, ვაწარმოებთ ნათურების შეცვლის საჭიროების განსაზღვრას საექსპლუატაციო ვადის გასვლის შედეგად მწობრიდან გამოსვლის შემდეგ  $\tau_1$  და  $\tau_2$ :

$$\tau_1 = \frac{\tau_{R,b}}{\tau_{51}} = 4380/1000 = 4,38 \approx 4 - \text{ჯერ წელიწადში}$$

$$\tau_2 = \frac{\tau_{R,b}}{\tau_{52}} = 4380/8000 \approx 0,5 - \text{ჯერ წელიწადში}$$

9. (2.10) და (2.11) ფორმულებით ვსაზღვრავთ  $W_{51}$  და  $W_{52}$ , ხოლო როცა შეცვლას ექვემდებარება  $n$  ერთნირი ტიპისა და ერთნირი მახასიათებლების მქონე ვარვარა ნათურები იმავე რაოდენობის ერთნირი ტიპისა და ერთნირი მახასიათებლების მქონე ენერგოდამზოგი ნათურებით, მაშინ ელექტროენერგიის წლიური მოხმარება ვარვარა და ენერგოდამზოგი ნათურებით გაიანგარიშება (2.12) და (2.13) ფორმულებით  $W_{\text{კომპლ.51}}$ , და  $W_{\text{კომპლ.52}}$  (ცხრილი 2.4).

10. (2.14) და (2.15) ფორმულებით ხორციელდება  $\Delta P$  და  $\Delta P_{\text{კომლ.}}$ -ის გაანგარიშება (ცხრილი 2.4), ხოლო (2.16) და (2.17) ფორმულებით ხორციელდება  $\Delta W$  და  $\Delta W_{\text{კომპლ}}$  გაანგარიშება (ცხრილი 2.4);

11. (2.18) და (2.19) ფორმულებით ხორციელდება  $N$  განსახილველი წლის განმავლობაში ფულადი  $\Delta S$  ეკონომიისა და გამოსყიდვის უბრალო ვადის  $PBP_{\text{უბრ}}$  გაანგარიშება (ცხრილი 2.4).



**ცხრილი 2.4. ვარვარა ნათურების კომპაქტური ლუმინესცენციური  
ნათურებით შეცვლის შედეგად მიღებული ეფექტიანობის შეფასება.**

ნათურის ტიპი	ვარვარა	კომპაქტური ლუმინესცენციური
რაოდენობა	1000	1000
ერთი ნათურის სიმძლავრე, კვტ	0,1	0,02
საერთო სიმძლავრე, კვტ	100	20
მოხმარებული სიმძლავრის შემცირება, კვტ	80	
სინათლის ნაკადი, ლუმენი	1200	1200
მუშაობის საშუალო ხანგრძლივობა, სთ	1000	8000
ერთი ცალის ფასი, ლარი	0,7	8,0
ნათურების მთლიანი ღირებულება, ლარი	700	64000
1 წელიწადში მოხმარებული ელექტროენერგიის რაოდენობა, კვტ.სთ	438000	87600
ელექტროენერგიის წლიური ეკონომია, კვტ.სთ	350400	
საერთო წლიური ეკონომია, ლარი (ტარიფი 0,16 ლარი/კვტ.სთ)	56064	
საერთო ეკონომია 2 წლის განმავლობაში, ლარი	112128	
გამოსყიდვის უბრალო ვადა, წელი	1,1	

განსახილველი დროის ინტერვალი 2 წელია. ინფლაციის ინდექსი  $z$  არ გამოყენებულა გაანგარიშების დროს, რადგან სავარაუდოდ ორგანიზაცია ნათურებს შეისყიდის მიმდინარე წელს.

მოცემული ღონისძიების დანერგვის შედეგად ეკონომიური ეფექტიანობის შეფასებისათვის ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში ინფლაციისა და ენერგორესურსებზე ტარიფის გათვალისწინებით გამოიყენება PBP დისკონტ, NPV და IRR.

გაკეთებული გაანგარიშების შედეგები დემონსტრირებენ განათების სისტემებში ენერგოდამზოგი ნათურების გამოყენების ეფექტურობას, ხოლო დამუშავებული მეთოდიკა საშუალებას იძლევა ხარისხიანად შევაფასოთ დაბალეფექტური ნათურების ენერგოდამზოგი ნათურებით შეცვლის ეფექტიანობის შეფასება.

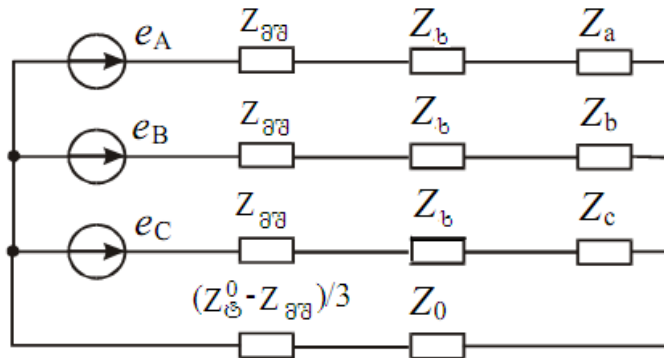
### თავი III. დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირება, დამახინჯების სიმპლავრები და მათი ანალიზი

#### 3.1. დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირება,

ელექტროენერჯის ხარისხის ამაღლებისა და კიდევ უფრო ზოგადი ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის პრობლემა მიეკუთვნება თანამედროვე ელექტროტექნიკის მნიშვნელოვან პრობლემებს. მათ გადაწყვეტაზე ბევრად არის დამოკიდებული ელექტრომომარაგების სისტემების სხვადასხვა დანიშნულების მომხმარებლების ელექტროენერჯის ეფექტურად გამოყენების ამაღლებისა და საიმედოობის უზრუნველყოფის პრობლემები. უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული აქტუალობა შეიძინა ელექტროენერჯის ხარისხის პრობლემამ დაბალი ძაბვის ელექტრულ ქსელებში. ეს პირველ რიგში თანამედროვე ელექტრომომარაგების სისტემებში გამოწვეულია ისეთი თანამედროვე ფართოდ გავრცელებული ელექტრომიმღებების მიერ, რომლებიც ცხადად და არსებითად ამახინჯებენ ქსელის ძაბვას. ასეთ ელექტრომიმღებებს მიეკუთვნება: შედუღების აპარატები, მმართველი ელექტროამძრავები, კომპიუტერული და სხვა ელექტრონული ტექნიკა. ამ მომხმარებლების მნიშვნელოვანი ნაწილი ქსელში გენერირებს უმაღლეს რიგის ჰარმონიკებს, რითაც სერიოზულად ამწვავებს ელექტროენერჯის ხარისხის სიტუაციას დაბალი ძაბვის ქსელებში [21].

დღეისათვის ცნობილია არაწრფივი დატვირთვის მქონე დაბალი ძაბვის ქსელების სხვადასხვა მათემატიკური მოდელი, რომლებიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს როგორც დენის ასევე ძაბვის სინუსოიდურობის დამახინჯება. ცნობილი მოდელებიდან ყველაზე უფრო მარტივი საშუალებაა განისაზღვროს ნაჩვენები დამახინჯებანი არაწრფივი დატვირთვის წილის სიდიდისა და მოდელირებული არაწრფივი მომხმარებლების პარამეტრების მიხედვით.

დაბალი ძაბვის ელექტრომომარაგების სქემა ძირითადად არის სამფაზა ნულოვანი გამტართით, ხოლო მომხმარებელთა უმეტესობა არის ერთფაზა. დაბალი ძაბვის ქსელების აგების თავისებურებიდან გამომდინარე მისი ჩანაცვლების სქემას აქვს ნახ.3.1-ზე წარმოდგენილი სახე.



ნახ.3.1. დაბალი ძაბვის სამფაზე ქსელის ჩანაცვლების სქემა

სადაც  $e_A, e_B, e_C$  – ემძების სამფაზა სიმეტრიული სისტემაა;  $Z_{გშ}, Z_0^0$  – მოკლედ შერთვისა და ტრანსფორმატორის ნულოვანი თანმიმდევრობის წინაღობებია;  $Z_0$  და  $Z_b$  ნულოვანი და ფაზური გამტარების წინაღობებია;  $Z_a, Z_b, Z_c$  – სამი ნებისმიერი სიდიდის დატვირთვის წინაღობაა, რომელთა ღვეშაც მოიაზრება ხსენებული დატვირთვის არაწრფივი ელემენტები.

წარმოდგენილი მოდელები დაბალი ძაბვის ავტონომიურ და გამანაწილებელ ქსელებში ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას იმ პირობის დროს, რომ დატვირთვა თავმოყრილია ერთ კვანძში.

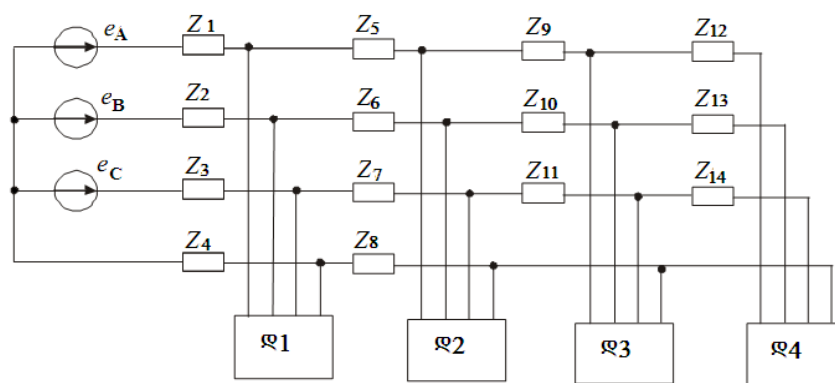
ამ დროს ქალაქის გამანაწილებელი ქსელებისათვის ასეთ დატვირთვას წარმოადგენს მსხვილი ობიექტის (შენობის, დაწესებულების) ყველა ელექტრომიმღების ეკვივალენტური დატვირთვა. ცხადია, რომ განხილული მოდელების დახმარების გარეშე შეუძლებელია განისაზღვროს ობიექტის შიდა ელექტრული ქსელის დენებისა და ძაბვების უმაღლესი ჰარმონიკებისა და შესაბამისად, ამ ქსელზე ჩართული მომხმარებლის მომჭერებზე დენებისა და ძაბვების მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების სიდიდე.

ამავე დროს ასეთი მოდელების უეჭველ უპირატესობას წარმოადგენს, მათი სიმარტივე და მიახლოებითი შეფასებითი გაანგარიშების ჩატარების შესაძლებლობა. მათ საფუძველზე უნდა დამუშავდეს შესაბამისი მეთოდები, რომელთაც შეუძლიათ ჰქონდეთ არსებითი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

შენობის ელექტრული ქსელის უფრო რთული მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებულია მისი ძირითადი ელემენტების პარამეტრები, საშუალებას იძლევა ცალკეული ელექტრომიმღების მომჭერებზე განისაზღვროს ძაბვებისა და დენების მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების მნიშვნელობები.

დაბალი ძაბვის ქსელების ჩანაცვლების დახვეწილი სქემა რთულდება დამატებით შენობის შიდა ელექტრული ქსელის ძირითადი ელემენტებისა და ელექტრომიმღების შესაბამისი ჯგუფების მხედველობაში მიღებით, რომლებიც ჩაირთვებიან მათ დამახასიათებელ დატვირთვის კვანძებში.

ასეთი ქსელის რეჟიმების მოდელირებისა და ანალიზის ჩატარებისათვის ოპტიმალურია ის ჩანაცვლების სქემა, რომელიც მხედველობაში იღებს ოთხ დამახასიათებელ დატვირთვის კვანძს: მთავარი გამანაწილებელ ფარს, გამანაწილებელ ფარს და ჯგუფური ქსელის ორ კვანძს (როზეტებს). ამასთან დაკავშირებით განხილული იქნა დაბალი ძაბვის ქსელის გამწვანებული ჩანაცვლების სქემა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.3.2-ზე.



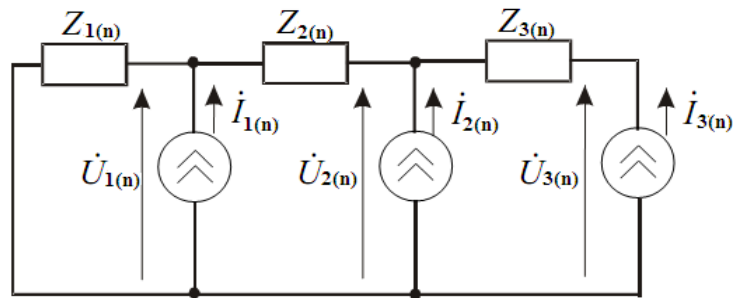
ნახ.3.2. დაბალი ძაბვის ქსელის გამწვანებული ჩანაცვლების სქემა

სადაც  $e_A, e_B, e_C$  – ემპ-ების სამფაზა სიმეტრიული სისტემაა;  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – გარე მკვებავი ქსელის ჯამური (ტრანსფორმატორი–ხაზი) გრძივი წინაღობებია;  $Z_5, Z_6, Z_7, Z_8$  – შენობის განათების ქსელის კაბელების ფაზური და ნულოვანი მარღვების წინაღობებია მთავარი გამანაწილებელი ფარიდან გამანაწილებელ ფარამდე;  $Z_9, Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}$  – ხაზის ცალკეული უბნის ჯამური (შესაბამისად ფაზა–ნული) წინაღობაა განათების ქსელის გამანაწილებელი ფარიდან კონკრეტულ ელექტრომიმღებამდე (ჯგუფური ქსელი); დ1– დატვირთვის ბლოკია, რომელშიც შედის შენობის ძალური დატვირთვა და ერთი გარდა ყველა გამანათებელი მილსადგამის დატვირთვა; დ2–დატვირთვის ბლოკია, რომელშიც შედის შენობის ერთი მილსადგამის მთლიანი დატვირთვა, გარდა ჯგუფური ქსელის ერთი ხაზის დატვირთვისა; დ3–ჯგუფური ქსელის ერთი ხაზის დატვირთვა, გარდა ელექტრომიმღებების ერთი ცალკეული ჯგუფის დატვირთვისა; დ4– ელექტრომიმღებების ერთი ცალკეული ჯგუფის დატვირთვა. დ1÷ დ4 დატვირთვის ბლოკები თავისი შემადგენლობის მიხედვით იდენტურია, რომლებშიც შედის სამი ერთფაზა დატვირთვა. ეს დატვირთვები თავის მხრივ შედგებიან ერთი წრფივი დატვირთვისა და ერთფაზა გამმართველი-საგან (კომპიუტერული ან სხვა ელექტრონული ტექნიკის იმპულსური კვების წყარო), რომელიც განიხილება როგორც დატვირთვის არაწრფივი მდგენელი. დატვირთვის ელემენტების შესაბამისი პარამეტრების ცვლილებით შეიძლება ვცვალოთ როგორც სიმძლავრე, ასევე ამ დატვირთვების წრფივი და არაწრფივი მდგენელების თანაფარდობა.

შედეგად, არაწრფივი დატვირთვის მქონე დაბალი ძაბვის ქსელის მოდელი, ცნობილი მოდელებისაგან განსხვავებით, საშუალებას იძლევა ამ მოდელირებული ქსელის ნებისმიერ წერტილში ჩართული ელექტრომიმღებების მომჭერებზე განისაზღვროს Dდენებისა და ძაბვების მრუდების სინუსოიდურობის დამახინჯების მნიშვნელობები. გაანგარიშებით მიღებული მნიშვნელობები საშუალებას იძლევა შევავასოთ და შევადაროთ ერთმანეთს დენებისა და ძაბვების უმაღლესი ჰარმონიკების

დონეები ქსელის ელემენტის ნებისმიერ განსახილველ ჩანაცვლების სქემაში ელექტრომიმღებების შედგენილობისა და მისი შესრულების სხვადასხვა ვარიანტის დროს.

ამასთანავე უნდა გავითვალისწინოთ ტრადიციული მოდელები, რომლებშიც არაწრფივი დატვირთვები მოცემულია უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით. ნახ.3.3-ზე მოცემულია ჩანაცვლების სქემა უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით ერთფაზა ვარიანტში, ქსელის ელემენტებისა და დატვირთვის სიმეტრიულობის დაშვების გათვალისწინებით, რომელიც შეესაბამება ნახ.3.2-ზე მოცემულ გაშლილ ჩანაცვლების სქემას.



ნახ.3.3. ჩანაცვლების სქემა უმაღლესი ჰარმონიკების დენის წყაროებით.

აქ  $I_1(n), I_2(n), I_3(n)$  – არის შენობის ძალური დატვირთვისა და ყველა განათების მილსადგარის  $n$ -ური ჰარმონიკის ფაზური დენები.  $U_1(n), U_2(n), U_3(n)$  - შესაბამისად,  $n$ -ური ჰარმონიკის ფაზური ძაბვებია შენობის მთავარ გამანაწილებელ ფარზე, განათების ქსელის გამანაწილებელ ფარზე და განსახილველი ჯგუფის მომჭერებზე.  $Z_1(n), Z_2(n), Z_3(n)$  - შესაბამისად,  $n$ -ური ჰარმონიკის ეკვივალენტური წინაღობებია: გარე მკვებავი ქსელის, მილსადგამის შესაბამისი უბნისა და ჯგუფური ქსელის.

ნახ.3.3-ზე წარმოდგენილი ჩანაცვლების სქემა შეიძლება აღიწეროს შემდეგი განტოლებათა სისტემით:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{1(n)} = -[i_{1(n)} + i_{2(n)} + i_{3(n)}]Z_{1(n)}; \quad (3.1) \\ \dot{U}_{2(n)} = \dot{U}_{1(n)} - [i_{2(n)} + i_{3(n)}]Z_{2(n)}; \quad (3.2) \\ \dot{U}_{3(n)} = \dot{U}_{2(n)} - i_{3(n)}Z_{3(n)}; \quad (3.3) \end{array} \right.$$

წარმოდგენილი გამოსახულების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს ჩანაცვლების სქემის ელემენტების გათვალისწინებით ელექტრული ქსელის ნებისმიერ დატვირთულ კვანძში განისაზღვროს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების მექანიზმი და მაფორმირებელი მდგენელები [22].

(3.1) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მთავარ გამანაწილებელ ფარზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯება განისაზღვრება მთელი შენობის არაწრფივი ელექტრომომხმარებლების დენების უმაღლესი ჰარმონიკებით გამოწვეული გარეშე მკვებავი ქსელის გრძივ წინაღობებზე ძაბვის ვარდნებით.

(3.2) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ გამანაწილებელ ფარზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯება განისაზღვრება მთავარ გამანაწილებელ ფარზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯებითა და განსახილველი დგარის არაწრფივი ელექტრომომხმარებლების დენების უმაღლესი ჰარმონიკებით გამოწვეული დგარის შესაბამის უბანზე გრძივ წინაღობებზე ძაბვის ვარდნებით.

(3.3) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ განსახილველი ჯგუფის ელექტრომიმღებების მომჭერებზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯება განისაზღვრება გამანაწილებელ ფარზე ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯებითა და ამ ჯგუფის ელექტრომომხმარებლების დენების უმაღლესი ჰარმონიკებით გამოწვეული ჯგუფური ქსელის შესაბამისი უბნის ხაზის გრძივ წინაღობებზე ძაბვის ვარდნებით.

მიღებული შედეგები იწვევენ დიდ ინტერესს არა მარტო თეორიული არამედ პრაქტიკული თვალსაზრისით. ფორმულირებული დებულებების მიხედვით შეიძლება ავაგოთ არაწრფივ ელექტრომიმღებებიანი



კონკრეტული დაბალვოლტიანი ქსელის ნებისმიერი კვანძის მათემატიკური მოდელი.

ამრიგად, გაშლილი ჩანაცვლების სქემის საფუძველზე შედგენილია დაბალი ძაბვის ქსელის მათემატიკური მოდელი სქემის ელემენტების გათვალისწინებით. რომლითაც ელექტრული ქსელის ნებისმიერ დატვირთულ კვანძში შეიძლება განისაზღვროს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების მექანიზმი.

### **3.2. დამახინჯების სიმძლავრე და სიმძლავრის დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში**

ელექტრულ ქსელებში დანაკარგების შემცირებისა და ელექტროენერგიის ხარისხის ამაღლების პრობლემა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ენერგოდაზოგვის თვალსაზრისით. მაქსიმალური აქტიური სიმძლავრის გადაცემა წარმოადგენს ელექტრული ქსელის გამოყენების მაჩვენებელს. ცნობილია, რომ იდეალურ შემთხვევაში საუკეთესო მომხმარებელია ის დატვირთვები, რომლებიც მოიხმარენ სუფთა სინუსოიდურ დენს. მაგრამ უკანასკნელ ხანებში საქართველოში ძლიერ გაიზარდა არაწრფივი მომხმარებლების (კომპიუტერები, კლიმატკონტროლები, UPS-ები, მძლავრი გამმართველები, რომლებიც გამოიყენებიან მეტალურგიულ მრეწველობასა და რკინიგზის ტრანსპორტზე, თანამედროვე აირგანმუხტვის ნათურები და სხვა) რიცხვი და სიმძლავრე, რომლებიც „აბინძურებენ“ ელექტრულ ქსელებს უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით და აუარესებენ ელექტროენერგიის ხარისხს [5], რაც უარყოფით გავლენას ახდენენ ელექტრომომარაგების სისტემებზე, ავტომატიკის, ტელემექანიკისა და კავშირგაბმულობის სისტემების მუშაობაზე, ამცირებენ ელექტრომოწყობილობის საიმედოობას და მუშაობის ხანგრძლივობის ვადას, იწვევენ დამატებით დანაკარგებს ტრანსფორმატორებში, ელექტრულ მანქანებსა და ელექტრულ ქსელებში [23].

ამიტომ თანამედროვე არაწფივი დატვირთვებს თან ახლავს სამრეწველო საწარმოთა ელექტრომომარაგების სისტემებში ძაბვის მრუდის დამახინჯების მნიშვნელოვანი გამოვლენა, რამაც განაპირობა ახალი სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემის - მკვებავ ქსელში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებისა და დატვირთვის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემის წარმოშობა.

ჩვენი მიზანია ერთი კონკრეტული ობიექტის მაგალითზე განისაზღვროს ქსელის სრულ სიმძლავრეში დამახინჯების სიმძლავრის წილი და მის მიერ გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები.

ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლების კურსიდან [24] ცნობილია, რომ თუ წრედის ელემენტზე მოქმედებს სინუსოიდური ძაბვა:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (3.4)$$

მაშინ მისი მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = U_m / \sqrt{2} \quad (3.5)$$

სინუსოიდური ძაბვის შემთხვევაში წრედის ელემენტში გამავალი დენის მყისა მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (3.6)$$

ხოლო ამ დენის მოქმედი მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = I_m / \sqrt{2} \quad (3.7)$$

ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობების ნამრავლი წარმოადგენს მყის სიმძლავრეს:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (3.8)$$

მყისი სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობას სრული პერიოდის განმავლობაში აქტიური სიმძლავრე ეწოდება და განისაზღვრება ფორმულით:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.9)$$

აქტიური P სიმძლავრის ქვეშ იგულისხმება ენერჯის ის რაოდენობა, რომელიც მოიხმარება მომხმარებლის მიერ დროის ერთეულში. აქტიური

სიმძლავრე განპირობებულია მხოლოდ დენის პირველი ჰარმონიკით, ასრულებს სასარგებლო მუშაობას და დაკავშირებულია ელექტრული ენერჯის სხვა სახის ენერჯიებად (მექანიკური, თბური, სინათლის და სხვა) გარდაქმნასთან.

გარდა აქტიური სიმძლავრისა, სინუსოიდური დენის წრედებში გვაქვს ასევე რეაქტიული სიმძლავრე  $Q$ , რომელიც ახასიათებს ენერჯის რხევის ინტენსივობას  $\omega$  კუთხური სიხშირით ამ ელემენტისა და წრედის დანარჩენი ელემენტების ელექტრომაგნიტურ ველს შორის. აქტიური სიმძლავრისაგან განსხვავებით რეაქტიული სიმძლავრე არ ასრულებს სასარგებლო მუშაობას, იგი გამოიყენება მხოლოდ ინდუქციურ მიმღებებში (მაგალითად, ელექტროძრავებში, ტრანსფორმატორებსა და სხვა) მაგნიტური ველისა და და ტევადურ მიმღებებში (მაგ. კონდენსატორებში) ელექტრული ველის შესაქმნელად და მუდმივად აკეთებს ცირკულაციას ელექტრული ენერჯის წყაროსა და მიმღებს შორის.

გარდა აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეებისა ცვლადი დენის წრედებში გვაქვს სრული სიმძლავრე, რომელიც გამოისახება ფორმულით:

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.10)$$

სრული სიმძლავრის ცნების ქვეშ იგულისხმება ყველა ის სიმძლავრე, რომელსაც მოიხმარს მომხმარებელი და შეიცავს, როგორც აქტიურ, ისე რეაქტიულ მდგენელს.

იმის განსასაზღვრავად, თუ რამდენად ეფექტურად გამოიყენება ელექტროენერჯის წყაროს სრული სიმძლავრე, ელექტროტექნიკაში შემოტანილია სიმძლავრის კოეფიციენტის  $\text{Cos } \varphi$ -ს ცნება, რომელიც განისაზღვრება აქტიური სიმძლავრის ფარდობით სრულ სიმძლავრესთან:

$$\text{Cos } \varphi = P/S \quad (3.11)$$

კავშირი აქტიურ  $P$  რეაქტიულ  $Q$  და სრულ  $S$  სიმძლავრეს შორის გამოისახება შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$P = S \cdot \text{Cos } \varphi = U \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \quad (3.12)$$

$$Q = S \cdot \text{Sin } \varphi = U \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \quad (3.13)$$

როცა ელექტრულ ქსელში:  $\text{Cos}\varphi = 1$ , მაშინ გვაქვს იდეალური შემთხვევა;  $\text{Cos}\varphi = 0,95$  – კარგია;  $\text{Cos}\varphi = 0,9$  – დამაკმაყოფილებელია;  $\text{Cos}\varphi = 0,8$  და ქვემოთ უარყოფითი მაჩვენებელია.

დავუშვათ, რომ წრედის რაიმე ელემენტზე მოდებულია არასინუსოიდური ძაბვა, რომლის მყისა მნიშვნელობა გამოისახება ფორმულით:  $u(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \alpha_1) + U_{2m} \sin 2(\omega t + \alpha_2) + U_{3m} \sin(3\omega t + \alpha_3) + \dots$

ხოლო მისი მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია [1]:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} \quad (3.14)$$

ამ ელემენტში გამავალი დენის მყისა მნიშვნელობა გამოისახება ფორმულით:

$$i(t) = I_{1m} \sin(\omega t + \alpha_1 - \varphi_1) + I_{2m} \sin(2\omega t + \alpha_2 - \varphi_2) + I_{3m} \sin(3\omega t + \alpha_3 - \varphi_3) + \dots \quad (3.15)$$

ხოლო მოქმედი მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (3.16)$$

სინუსოიდური დენის წრედების მსგავსად არასინუსოიდური დენის წრედებშიც მყისა სიმძლავრე განისაზღვრება (3.8) გამოსახულებით.

აქტიური სიმძლავრე განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos\varphi_1 + U_2 I_2 \cos\varphi_2 + U_3 I_3 \cos\varphi_3 + \dots \\ &= P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots \end{aligned} \quad (3.17)$$

(3.17) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ არასინუსოიდური დენის აქტიური სიმძლავრე ტოლია ცალკეული ჰარმონიკის აქტიურ სიმძლავრეთა ჯამის.

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (3.18)$$

არასინუსოიდური დენის რეაქტიული სიმძლავრე განისაზღვრება აქტიური სიმძლავრის ანალოგიურად, როგორც ცალკეული ჰარმონიკის რეაქტიულ სიმძლავრეთა ალგებრული ჯამი:

$$Q = U_1 I_1 \sin\varphi_1 + U_2 I_2 \sin\varphi_2 + U_3 I_3 \sin\varphi_3 + \dots = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \quad (3.19)$$

თუ სინუსოიდური დენის წრედებში ენერჯის რხევა წარმოებდა ერთი და იგივე  $\omega$  კუთხური სიხშირით, არასინუსოიდური დენის წრედებში ენერჯის რხევა წარმოებს სხვადასხვა სიხშირით.

სინუსოიდური დენის წრედებში სრულ სიმძლავრე განისაზღვრება ორი  $P$  და  $Q$  მდგენელებით (3.10). არასინუსოიდური დენის წრედებში მათ ემატება დამახინჯების სიმძლავრის  $T$  მდგენელი და სრული სიმძლავრე გამოისახება ფორმულით:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (3.20)$$

სადაც:  $Q$  – არის ძვრის რეაქტიული სიმძლავრე. იგი წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის ნაწილს, რომელიც ახასიათებს დენისა და ძაბვის ერთნაირი სიხშირის ჰარმონიკების ურთიერთქმედებით განპირობებულ პროცესებს.  $T$  – არის დამახინჯების სიმძლავრე. იგი წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის ნაწილს, რომელიც ახასიათებს დენისა და ძაბვის სხვადასხვა სიხშირის ჰარმონიკების ურთიერთქმედებით განპირობებულ პროცესებს;

დამახინჯების სიმძლავრე  $T$  განპირობებულია დატვირთვის არაწრფივობითა და ელექტრომოწყობილობის მიერ ქსელიდან დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების მოხმარებით.  $Q$  და  $T$  სიმძლავრეები გაედინებიან რა ელექტრული ქსელის ელემენტებში, იწვევენ მათში აქტიური სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს. დამახინჯების  $T$  სიმძლავრეს შეუძლია ასევე გამოიწვიოს ძაბვის დამახინჯება. გარდა ამისა ამ სიმძლავრეების გადადინებები ამცირებენ ელექტროგადაცემის ხაზისა და ტრანსფორმატორების გამტარუნარიანობას, რის გამოც იძულებულნი არიან გაზარდონ საკაბელო ხაზების კვეთი და შეცვალონ არსებული ტრანსფორმატორები მეტი ნომინალური სიმძლავრის მქონე ტრანსფორმატორებით [25].

ქსელის სრულ სიმძლავრეში დამახინჯების სიმძლავრის წილისა და მის მიერ გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრისათვის ჩვენს მიერ მაგალითის სახით ქვემოთ წარმოდგენილია ერთი კონკრეტული დღის საშუალო დღიური მონაცემების ამონაწერი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამონტაჟებული ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს საარქივო მონაცემებიდან. აღნიშნული მონაცემები ეკუთვნის როგორც ტევადური ხასიათის (კომპიუტერული ტექნიკისა

და კლიმატ-კონტროლების), ასევე ინდუქციური ხასიათის (ლიფტების ძრავებისა და ლუმინესცენციური ნათურების) რეაქტიული დატვირთვის მქონე ერთ-ერთ სასწავლო კორპუსს.

სისტემა SCADA-ს მონაცემებით:  $P = 36,95$  კვტ;  $Q = 1,01$  კვარ;  $S = 54,14$  კვა;  $\cos\varphi_2 = 0,68$ . ამ მონაცემებიდან ნათლად ჩანს, რომ ქსელში გვაქვს დამახინჯების სიმძლავრე. რაც მტკიცდება იმით, რომ არ კმაყოფილდება სინუსოიდური დენის შესაბამისი სრული სიმძლავრის (3.10) გამოსახულება:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{36,95^2 + 1,01^2} = 36,96 \neq 54,14 \text{ კვა}$$

დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე განისაზღვრება (3.20)

გამოსახულებიდან

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = \sqrt{54,14^2 - 36,95^2 - 1,01^2} = 39,56 \text{ კვა}$$

დამახინჯების სიმძლავრე აღემატება დენის პირველი ჰარმონიკის სრულ სიმძლავრეს [26].

მონაცემებიდან შეინიშნება ერთი მეტად საინტერესო ფაქტი. კერძოდ, მიუხედავად იმისა, რომ კორპუსში არის ინდუქციური და ტევადური ხასიათის რეაქტიული დატვირთვები და მათი ურთიერთკომპენსირების შედეგად რეაქტიული სიმძლავრე აქტიურ სიმძლავრესთან შედარებით მცირეა ( $Q=1,01$ კვარ) და ამ რეაქტიული დატვირთვის შესაბამისი სიმძლავრის კოეფიციენტი აღნიშნულ ქსელში უნდა იყოს ძალიან მაღალი:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{36,95}{36,96} \approx 1$$

მაგრამ დამახინჯების სიმძლავრის არსებობის გამო, სიმძლავრის კოეფიციენტი ძალიან დაბალია

$$\cos\varphi_2 = \frac{P}{S} = \frac{36,95}{54,14} = 0,68$$

განვსაზღვროთ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგების სიდიდე. თუ ქსელი დატვირთული იქნებოდა ისეთი ელექტროდანადგარებით, რომელთა  $\cos\varphi_1 = 1$ , მაშინ  $P = 36,95$  კვტ სიმძლავრის გადასაცემად  $U_n = 380$  ვ ქსელის ხაზური ძაბვის შემთხვევაში მოითხოვებოდა ფაზური აქტიური დენი

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3}U_b} = \frac{36950}{1,73 \cdot 380} = 56,2 \text{ ა} \quad (3.21)$$

როცა  $\cos\varphi_2=0,68$ , მაშინ იგივე აქტიური სიმძლავრის გადასაცემად (3.21) გამოსახულებაში მიღებული აქტიური დენის მნიშვნელობას დაემატება კიდევ რეაქტიული დენი. ამ შემთხვევაში სრული დენი ტოლი იქნება:

$$I = \frac{I_s}{\cos\varphi_2} = \frac{56,2}{0,68} = 82,6 \text{ ა} \quad (3.22)$$

ანუ დენის სიდიდე გაიზარდა 1,47-ჯერ. შედეგად იზრდება სიმძლავრის დანაკარგები.

მოცემულ შემთხვევაში რეაქტიული დენი ტოლი იქნება:

$$I_r = I \cdot \sin\varphi_2 = I \cdot \sqrt{(1 - \cos^2\varphi_2)} = 82,6 \cdot \sqrt{(1 - 0,68^2)} = 82,6 \cdot 0,73 = 60,3 \text{ ა} \quad (3.23)$$

ანუ რეაქტიული დენი აღემატება აქტიურ დენს.

შევაფასოთ სიმძლავრის დანაკარგები, რომლებიც შეიძლება არსებობდეს განხილული მაგალითების შემთხვევაში.

სამფაზა დანადგარებში სიმძლავრის საერთო დანაკარგები ტოლია:

დავუშვათ აქტიური სიმძლავრის საერთო დანაკარგები  $\Delta P_s \cdot \cos\varphi_1 = 1$ -ის დროს შეადგენს სრული სიმძლავრის 5%-ს, ანუ

$$\Delta P_s = 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 54,14 = 2,7 \text{ კვტ.}$$

ეს არის დანაკარგები, რომელიც გამოწვეულია დენის მხოლოდ აქტიური  $I_s$  მდგენელით, ანუ  $\Delta P_s = 2,7$  კვტ.

ვიპოვოთ დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელებით გამოწვეული დანაკარგები, როცა  $\cos\varphi_2 = 0,68$ . ამ შემთხვევაში სრული დენი ტოლია;

$$I = \frac{I_s}{\cos\varphi_2} = \frac{I_s}{0,68} = 1,47 I_s$$

დენის რეაქტიული მდგენელი ტოლია:

$$I_r = \sqrt{(I^2 - I_s^2)} = \sqrt{(1,47I_s)^2 - I_s^2} = I_s \sqrt{1,16} = 1,08I_s$$

დენის აქტიური მდგენელით გამოწვეული დანაკარგები  $\Delta P_s = 2,7$  კვტ იგივე დარჩება, ხოლო ქსელში სიმძლავრის საერთო დანაკარგები ტოლი იქნება:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 R = 3 \cdot (1,47 \cdot I_3)^2 R = 3 \cdot 2,16 \cdot I_3^2 \cdot R = 3 \cdot 2,16 \cdot \Delta P_3 = 6,48 \cdot 2,7 = 8,1 \text{ კვტ.}$$

ე.ი. მოცემულ ელექტრულ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგები გაიზარდა 3-ჯერ. შესაბამისად, ელექტროენერჯის დანაკარგებიც გაიზარდება 3-ჯერ.

მაგალითად, საშუალოდ დღეში 10 საათის განმავლობაში ელექტროენერჯის მოხმარებისას, თვის (30 დღის) განმავლობაში ელექტროენერჯის დანაკარგები შეადგენს:

როცა  $\Delta P_3 = 2,7$  კვტ-ს, ანუ  $\cos \varphi_1 = 1$ , მაშინ:

$$\Delta W_1 = 2,7 \times 10 \times 30 = 810 \text{ კვტ.სთ;}$$

როცა  $\Delta P = 8,1$  კვტ-ს, ანუ  $\cos \varphi_2 = 0,68$ , მაშინ

$$\Delta W_2 = 8,1 \times 10 \times 30 = 2430 \text{ კვტ.სთ;}$$

ამ რაოდენობის სიმძლავრის დანაკარგების შესაბამისი ელექტროენერჯის თვიური დანაკარგი 8-საათიანი სამუშაო 22 დღის განმავლობაში შეადგენს:

$$\Delta W = 8,1 \cdot 8 \cdot 22 = 1425,6 \text{ კვტ.სთ/თვეში}$$

ამ დანაკარგების ღირებულება სტუ-ში არსებული ამჟამინდელი ტარიფით ( $\tau = 0,1489$  ლარი /კვტ.სთ) თვეში შეადგენს:

$$C = \Delta W \cdot \tau = 1425,6 \cdot 0,1489 = 212,23 \text{ ლარი.}$$

ამგვარად, ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით დადასტურებული იქნა კონკრეტულ ობიექტის ელექტრულ ქსელებში დამახინჯების სიმძლავრის არსებობა. განსაზღვრული იქნა ამ დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის თვიური დანაკარგები მკვებავ ელექტრულ ქსელში.

### 3.3. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრა ძაბვისა და დენის

მრუდების ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე

ელექტროენერგეტიკაში ურთიერთანგარიშსწორების მიზნით ძალიან მნიშვნელოვანია როგორც სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის გაზომვა, ასევე ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზი.



ზოგადად ელექტროენერჯის ხარისხს შეაქვს ცდომილება გასაზომი სიმძლავრის სიდიდესა და საზომი ხელსაწყოების მუშაობაში. ამიტომ არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების დროს სიმძლავრეთა გაზომვის შემთხვევაში მხედველობაში უნდა მივიღოთ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების გავლენა აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეზე.

თუ ელექტრულ წრედზე მოდებულია აბცისთა ღერძის სიმეტრიული არასინუსოიდური ძაბვა, მაშინ ასეთი ძაბვა არ შეიცავს მუდმივ მდგენელს მისი მყისა მნიშვნელობა გამოსახება ფორმულით:

$$u(t) = U_{1m}\sin(\omega t + \alpha_1) + U_{2m}\sin(2\omega t + \alpha_2) + U_{3m}\sin(3\omega t + \alpha_3) + \dots \quad (3.24)$$

ხოლო წრედში გამავალი არასინუსოიდური დენის მყისა მნიშვნელობა იქნება:

$$i(t) = I_{1m}\sin(\omega t + \alpha_1 - \varphi_1) + I_{2m}\sin(2\omega t + \alpha_2 - \varphi_2) + I_{3m}\sin(3\omega t + \alpha_3 - \varphi_3) + \dots \quad (3.25)$$

ამ ჰარმონიკების ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობები ტოლი იქნება:

$$U = \sqrt{\sum_{k=1}^n U_k^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} \quad (3.26)$$

$$I = \sqrt{\sum_{k=1}^n I_k^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (3.27)$$

სადაც  $k$ - ჰარმონიკის ნომერია;  $U_k$  და  $I_k$  - ძაბვისა და დენის ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობებია.

მყისი სიმძლავრე  $p(t)$  განისაზღვრება როგორც ძაბვისა და დენის მყის მნიშვნელობათა ნამრავლი, ფორმულით:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (3.28)$$

სრული სიმძლავრე  $S$  განისაზღვრება ისევე როგორც სინუსოიდური რეჟიმის დროს - ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობათა ნამრავლით, ფორმულით:

$$S = U \cdot I \quad (3.29)$$

აქტიური სიმძლავრე განისაზღვრება, როგორც მუდმივი მდგენელითა და ცალკეული ჰარმონიკის აქტიურ სიმძლავრეთა ჯამით:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \quad (3.30)$$

ანალოგიურად, რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \quad (3.31)$$

სინუსოიდური დენის წრედების შემთხვევაში აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (3.32)$$

არასინუსოიდური დენის შემთხვევაში

$$S^2 > P^2 + Q^2 \quad (3.33)$$

ამის გამო არასინუსოიდური დენის თეორიაში შემოტანილია დამახინჯების სიმძლავრის  $T$  ცნება. ამ დროს სრული სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით [24]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (3.34)$$

სადაც  $P$  - აქტიური სიმძლავრეა,  $Q$  - რეაქტიული სიმძლავრე,  $T$  - დამახინჯების სიმძლავრე.

ამგვარად, არასინუსოიდური დენის ელექტრულ წრედებში სრული სიმძლავრე იხარჯება აქტიური, რეაქტიული და დამახინჯების სიმძლავრეების შექმნაზე. ცნობილია უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობის დროს აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების განსაზღვრის გამოსახულებები (3.30) და (3.31). ხოლო დამახინჯების სიმძლავრე ამ დროს განისაზღვრება (3.34) გამოსახულებიდან:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (3.35)$$

თუ (3.35) გამოსახულებაში  $S$ ,  $P$  და  $Q$  სიმძლავრეებს ჩავწერთ უმაღლესი ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობებით, მაშინ მივიღებთ გამოსახულებას დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრისათვის სრული, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე.

დამახინჯების სიმძლავრის მიმართ ასეთი მიდგომა ცნობილია, მაგრამ იგი გამოიყენება მხოლოდ კერძო შემთხვევაში დენისა და ძაბვის მოცემული ჰარმონიული შედგენილობის დროს [27].

ქვემოთ განხილულია ზოგად შემთხვევაში დამახინჯების  $T$  სიმძლავრისათვის ასეთივე ტიპის გამოსახულების გამოყვანის წესი.

დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობების მიხედვით გავი-  
ანგარიშებთ სრული სიმძლავრის კვადრატს [28]:

$$S^2 = (U * I)^2 = (\sum_{i=1}^n U_i^2) * (\sum_{i=1}^n I_i^2) = \sum_{i=1}^n (U_i I_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (U_i I_j)^2 \quad (3.36)$$

სადაც  $i$  და  $j$  ჰარმონიკების ნომერია,  $n$ - ჰარმონიკების რაოდენობა.

გავითვალისწინოთ, რომ წრედის აქტიური და რეაქტიული  
სიმძლავრე ტოლია თითოეული ჰარმონიკის აქტიურ და რეაქტიულ  
სიმძლავრეთა ჯამის, ვიპოვოთ ამ სიმძლავრეთა კვადრატების ჯამი:

$$\begin{aligned} P^2 + Q^2 &= (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_n)^2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots + Q_n)^2 = \\ &= P_1^2 + Q_1^2 + P_2^2 + Q_2^2 + P_3^2 + Q_3^2 + P_4^2 + Q_4^2 + \dots + P_n^2 + Q_n^2 + \\ &+ 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n (P_i P_j + Q_i Q_j) \end{aligned} \quad (3.37)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1; \quad P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2; \quad P_i = U_i I_i \cos \varphi_i; \quad P_j = U_j I_j \cos \varphi_j \quad \text{და...}$$

$$P_n = U_n I_n \cos \varphi_n;$$

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1; \quad Q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2; \quad Q_i = U_i I_i \sin \varphi_i; \quad Q_j = U_j I_j \sin \varphi_j \quad \text{და..}$$

$$Q_n = U_n I_n \sin \varphi_n,$$

მაშინ (3.37) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$P^2 + Q^2 = \sum_{i=1}^n (U_i * I_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (U_i I_i U_j I_j \cos \varphi_i \cos \varphi_j + U_i I_i U_j I_j \sin \varphi_i \sin \varphi_j) \quad (3.38)$$

(3.36) და (3.38) გამოსახულებები ჩავსვათ (3.35) გამოსახულების

კვადრატში, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} T^2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (U_i I_j)^2 - 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (U_i I_i U_j I_j \cos \varphi_i \cos \varphi_j + U_i I_i U_j I_j \sin \varphi_i \sin \varphi_j) = \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (U_i * I_j)^2 - 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (U_i I_i U_j I_j (\cos \varphi_i \cos \varphi_j + \sin \varphi_i \sin \varphi_j)) \end{aligned} \quad (3.39)$$

მაგრამ ტრიგონომეტრიის კურსიდან ცნობილია, რომ:

$$\cos \varphi_i \cos \varphi_j + \sin \varphi_i \sin \varphi_j = \cos (\varphi_i - \varphi_j) \quad (3.40)$$

(3.40) გამოსახულების გათვალისწინებით (3.39) მიიღებს სახეს:

$$T^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (U_i I_j)^2 - 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (U_i I_i U_j I_j \cos (\varphi_i - \varphi_j)) \quad (3.41)$$

შესაბამისი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ;

$$T^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n U_i I_j [U_i I_j - U_j I_i \cos(\varphi_i - \varphi_j)] + U_j I_i [U_j I_i - U_i I_j \cos(\varphi_i - \varphi_j)]$$

(3.42)

სადაც  $\varphi_i$  და  $\varphi_j$  დენისა და ძაბვის შესაბამისი ჰარმონიკების ფაზებია.

(3.49) გამოსახულებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ დამახინჯების სიმძლავრე, ფორმულით:

$$T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n U_i I_j [U_i I_j - U_j I_i \cos(\varphi_i - \varphi_j)] + U_j I_i [U_j I_i - U_i I_j \cos(\varphi_i - \varphi_j)]}$$

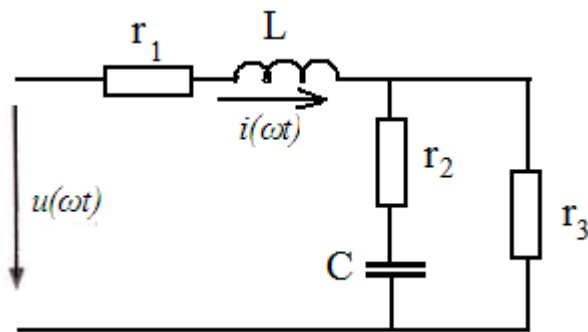
(3.43)

(3.43) გამოსახულების მართებულობის შემოწმებისათვის განვიხილოთ მაგალითი.

ნახ.3.4 -ზე გამოსახულ შერეულ ელექტრულ წრედზე მოქმედებს პერიოდული არასინუსოიდური ძაბვა:

$$u(t) = 101,9 \sin \omega t + 34 \sin 3\omega t + 20,4 \sin 5\omega t$$

წრედის პარამეტრებია:  $r_1=8$  ომი,  $r_2=7$  ომი,  $r_3=3$  ომი,  $L=0,016$  ჰნ,  $C = 400$  მკფ. განვსაზღვროთ წრედის დამახინჯების სიმძლავრე (3.35) და (3.43) გამოსახულებების მიხედვით და შევადაროთ ერთმანეთს.



ნახ.3.4. შერეული ელექტრული წრედი

ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობები ტოლია:

$$U = \sqrt{\frac{U_{1m}^2}{2} + \frac{U_{8m}^2}{2} + \frac{U_{5m}^2}{2}} = \sqrt{\frac{101,9^2}{2} + \frac{34^2}{2} + \frac{20,4^2}{2}} = 77,3 \text{ ვ}$$

$$I = \sqrt{\frac{I_{1m}^2}{2} + \frac{I_{8m}^2}{2} + \frac{I_{5m}^2}{2}} = \sqrt{\frac{8,93^2}{2} + \frac{1,9^2}{2} + \frac{0,73^2}{2}} = 6,48 \text{ ა}$$

განვსაზღვროთ ძაბვისა და დენის ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობები:

$$U_1 = \frac{U_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{101,9}{1,41} = 72,3 \text{ ვ}; \quad U_3 = \frac{U_{3m}}{\sqrt{2}} = \frac{34}{1,41} = 24,1 \text{ ვ}; \quad U_5 = \frac{U_{5m}}{\sqrt{2}} = \frac{20,4}{1,41} = 14,5 \text{ ვ}.$$

$$I_1 = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{8,93}{1,41} = 6,3 \text{ ა}; \quad I_3 = \frac{I_{3m}}{\sqrt{2}} = \frac{1,9}{1,41} = 1,35 \text{ ა}; \quad I_5 = \frac{I_{5m}}{\sqrt{2}} = \frac{0,73}{1,41} = 0,518 \text{ ა}.$$

განვსაზღვროთ ძვრის კუთხეები ძაბვისა და დენის ერთნაირი რიგის ჰარმონიკებს შორის:

$$\varphi_1 = \psi_{u1} - \psi_{i1} = 0 - 23,7^\circ = 23,7^\circ; \quad \varphi_3 = \psi_{u3} - \psi_{i3} = 0 - 55,5^\circ = 55,5^\circ;$$

$$\varphi_5 = \psi_{u5} - \psi_{i5} = 0 - (-68^\circ) = 68^\circ$$

წრედის სრული სიმძლავრე ტოლია:

$$S = U \cdot I = 77,3 \cdot 6,48 = 500,9 \text{ ვ}\cdot\text{ა}.$$

გამოვიყენოთ, ჰარმონიკების აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა გამოსახულებები:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1; \quad P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2; \quad P_i = U_i I_i \cos \varphi_i; \quad P_j = U_j I_j \cos \varphi_j$$

$$\text{და } P_n = U_n I_n \cos \varphi_n;$$

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1; \quad Q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2; \quad Q_i = U_i I_i \sin \varphi_i; \quad Q_j = U_j I_j \sin \varphi_j$$

$$\text{და } Q_n = U_n I_n \sin \varphi_n$$

განვსაზღვროთ წრედის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები.

წრედის აქტიური სიმძლავრე ტოლია:

$$P = P_1 + P_3 + P_5 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 + U_5 I_5 \cos \varphi_5 = 72,3 \cdot 6,3 \cdot \cos 23,7^\circ + \\ + 24,1 \cdot 1,35 \cdot \cos 55,5^\circ + 14,5 \cdot 0,518 \cdot \cos 68^\circ = 437,7 \text{ ვტ}$$

წრედის რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია:

$$Q = Q_1 + Q_3 + Q_5 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_3 I_3 \sin \varphi_3 + U_5 I_5 \sin \varphi_5 = 72,3 \cdot 6,3 \cdot \sin 23,7^\circ + \\ + 24,1 \cdot 1,35 \cdot \sin 55,5^\circ + 14,5 \cdot 0,518 \cdot \sin 68^\circ = 216,4 \text{ ვარ}$$

(3.35) გამოსახულებით განსაზღვრული დამახინჯების სიმძლავრე ტოლია:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = \sqrt{500,9^2 - 437,7^2 - 216,4^2} = 111,76 \text{ ვ}\cdot\text{ა} \quad (3.44)$$

გავიანგარიშოთ წრედის დამახინჯების სიმძლავრე (3.43) გამოსახულების მიხედვით:

$$T = \sqrt{\begin{aligned} &U_1 I_3 [U_1 I_3 - U_3 I_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3)] + U_3 I_1 [U_3 I_1 - U_1 I_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_3)] + \\ &U_1 I_5 [U_1 I_5 - U_5 I_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_5)] + U_5 I_1 [U_5 I_1 - U_1 I_5 \cos(\varphi_1 - \varphi_5)] + \\ &U_3 I_5 [U_3 I_5 - U_5 I_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_5)] + U_5 I_3 [U_5 I_3 - U_3 I_5 \cos(\varphi_3 - \varphi_5)] \end{aligned}}$$

$$\begin{aligned}
& \sqrt{72,3 \cdot 1,35 [72,3 \cdot 1,35 - 24,1 \cdot 6,3 \cos(23,7^\circ - 55,5^\circ)] +} \\
& \sqrt{24,1 \cdot 6,3 [24,1 \cdot 6,3 - 72,3 \cdot 1,35 \cos(23,7^\circ - 55,5^\circ)] +} \\
= & \sqrt{+ 72,3 \cdot 0,518 [72,3 \cdot 0,518 - 14,5 \cdot 6,3 \cos(23,7^\circ - 68^\circ)] +} \\
& \sqrt{24,1 \cdot 0,518 [24,1 \cdot 0,518 - 14,5 \cdot 1,35 \cos(55,5^\circ - 68^\circ)] +} \\
& \sqrt{14,5 \cdot 1,35 [14,5 \cdot 1,35 - 24,1 \cdot 0,518 \cos(55,5^\circ - 68^\circ)]} \\
= & \sqrt{(-3040) + 10487 + (-1047,2) + 5892 + (-82,5) + 147} = \sqrt{12356,3} = 111,16 \text{ ვ.ა.}
\end{aligned}$$

როგორც გაანგარიშებებმა გვიჩვენა [29] დამახინჯების სიმძლავრე, რომელიც განსაზღვრულია სრული, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მიხედვით (3.35 გამოსახულება) ტოლია 111,76 ვ.ა-ის, ხოლო დამახინჯების სიმძლავრე, რომელიც განსაზღვრულია პირდაპირ ძაბვისა და დენის ფურიეს მწკრივად განაშლის მიხედვით, სრული, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე (3.43 გამოსახულება), ტოლია 111,16 ვ.ა-ის. შედეგების ასეთი სიახლოვე გვაძლევს (3.43) გამოსახულების უტყუარად ცნობის საშუალებას.

ამრიგად, ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე მიღებული იქნა ძაბვისა და დენის ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება, სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე, რაც საშუალებას იძლევა ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამებიდან ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების მიხედვით.

(3.43) გამოსახულების უპირატესობა (3.35)-თან შედარებით არის ის, რომ იგი იძლევა ელექტრულ წრედში მიმდინარე პროცესების ანალიზის ჩატარების საშუალებას. მაგალითად, (3.43) გამოსახულებიდან ცხადად ჩანს, რომ დამახინჯების სიმძლავრე ნულის ტოლია იმ შემთხვევაში, როცა დენისა და ძაბვის ჰარმონიკების საწყისი ფაზები ერთმანეთის ტოლია  $\varphi_i = \varphi_j$  და ასევე იმ შემთხვევაშიც, როცა ძაბვისა და დენის ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობების ფარდობა ტოლია:  $\frac{U_i}{I_j} = \frac{U_j}{I_i}$ .

## თავი IV. განათების ქსელების რეჟიმების გაანგარიშება, მართვა და მონიტორინგი

### 4.1. ზოგადი ცნობები

გარე განათების დანადგარები ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია. ისინი ბევრად უზრუნველყოფენ ავტოტრანსპორტისა და ფეხით მოსიარულეთა მოძრაობის უსაფრთხოებას, ქუჩებისა და მოედნების სივრცეში ადამიანების მხედველობით ორიენტაციას, ასევე ღამის საათებში დასახლებული პუნქტის გარეგან სახეს.

ამჟამად მრეწველობის ნებისმიერი დარგის ტექნიკური დონე განისაზღვრება მასში გამოყენებული ელექტრონიკის რაოდენობით. ელექტრონული გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურისა და განათების მართვის სისტემების შექმნის წყალობით დაიწყო ელექტრონიკის ფართო დანერგვა განათებაში, რამაც მიგვიყვანა სანათი ხელსაწყოების პარამეტრების, განათების ხარისხის სწრაფ გაუმჯობესებასთან და ელექტროენერჯის ეკონომიასთან. ქალაქის განათებაში მსგავსი მოწყობილობები გამოიყენება გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის სახით ლუმინესცენციურ და განსაკუთრებთ კომპაქტურ ლუმინესცენციურ, ნატრიუმთან, გოგირდიან და შუქდიოდურ ნათურებში. მსგავსი დანერგვა განპირობებულია იმით, რომ ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი სინათლის წყაროები საჭიროებენ არა სტანდარტულ 220 ვ ძაბვას, არამედ სპეციალურად გარდაქმნილს.

ნახევარგამტარული ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად ცხადი გახდა, რომ გარე განათებაში ელექტროენერჯის ხარჯის შემცირება შესაძლებელია არა მხოლოდ განათების დანადგარებში სინათლის წყაროების ნაწილობრივი ან მთლიანი გამორთვით, არამედ უფრო მაღალეფექტური სინათლის წყაროებისა და რაციონალური შუქგანაწილების მქონე სანათების დანერგვის გზითაც.

ასეთ მოთხოვნებს მაქსიმალურად შეესაბამებიან შუქდიოდური სანათები. მყარტანიანი ნახევარგამტარული სინათლის წყაროები შუქტექ-

ნიკაში, როგორც განათების ხელსაწყოების კლასი, სულ ახლახან შევიდნენ. მათი ბაზარზე გამოჩენა დაემთხვა ახალი ათასწლეულის დადგომას.

უკანასკნელ ათწლეულებში სინათლის შუქდიოდური წყაროების მწარმოებლებმა მიაღწიეს მნიშვნელოვან წარმატებებს, რის შედეგადაც ამჟამად ჩვეულებრივი ვარვარა ნათურის შეცვლა შუქდიოდური სანათით არ განეკუთვნება ფანტასტიკის სფეროს. შუქდიოდური სანათების ძირითადი უპირატესობები მდგომარეობს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში (დაახლოებით 70 000 სთ) შუქტექნიკური მახასიათებლების შენარჩუნებაში, ექსპლუატაციაში უმიზეზობაში, მინიატურობაში და ანალოგიური სინათლის წყაროების სხვა მაჩვენებლების შენარჩუნებისათვის დაბალ მოხმარებულ სიმძლავრეში.

თანამედროვე შუქდიოდური სინათლის გაცემა მჭიდროდ მიუახლოვდა 100 ლმ/ვტ ნიშნულს, რაც საშუალებას იძლევა კონკურენცია გაუწიოს ისეთ მოწინავე სინათლის წყაროებს, როგორებიცაა კომპაქტური ლუმინესცენციური და DHaT ტიპის ნათურები.

დაწყებული 2007 წლიდან რუსეთში მთელმა რიგმა კომპანიებმა სახელმწიფო უნიტარულ დაწესებულება „მოსსვეტ“-თან ერთად დაიწყეს შუქდიოდური სანათების დამუშავება ქუჩის განათებისათვის. ამ დარგში წამყვანმა კომპანიამ „პროსოფტმა“ 2007 წლის ბოლოს განახორციელა შუქდიოდური სანათების მიწოდება მიწისქვეშა გადასასვლელებში დასაყენებლად.

საცდელი ექსპლუატაციის პროცესში DBY-25 ტიპის შუქდიოდურ სანათებზე, რომლებიც დამზადებულია Cree Xlamp ტიპის მძლავრი შუქდიოდების ბაზაზე, მუშაობაში არ იყო გამოვლენილი სერიოზული ნაკლოვანებები და შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ მსგავსი შუქდიოდური სანათები შეიძლება გამოყენებული იქნას ქალაქის განათებისათვის. შემდეგი ნაბიჯია ქუჩის იმ სანათების პირდაპირი გამოცვლა, რომლებიც გამოყენებულია გზებისა და ტროტუარების განათებისათვის 6-8 მ-ის საყრდენების გამოყენებით. მოსკოვის ტერიტორიაზე დღეისათვის მსგავსი



მიზნებისათვის ძირითადად გამოყენებულია DHaT-150 და DHaT-250 ტიპის ნათურები. ამავე დროს არსებულ შუქდიოდურ ანალოგებს მაქსიმალურ რეჟიმში გააჩნიათ შესაბამისად 90 და 120 ვტ.

ქუჩის ნათურებიანი სანათების შუქდიოდურით შეცვლის მაგალითები უკვე არსებობს. ყველაზე უფრო ცნობილი პროექტი „შუქდიოდური ქალაქი“ (LED CITY) აშშ-ში [30], რომელშიც განზრახულია ჩრდილო კაროლინის შტატის დედაქალაქ როლის მთლიანი გადაყვანა შუქდიოდურ განათებაზე. მსგავსი ფართომასშტაბიანი პროექტების შესახებ მსოფლიოში ჯერჯერობით გაცხადებული არ არის, მაგრამ არსებობს ქუჩის განათებაში ნათურებიანი სანათების შუქდიოდურით ლოკალური შეცვლის მცირე პროექტები. ნახ.4.1-ზე ნაჩვენებია იტალიის ქალაქ პარმის პარკის შუქდიოდური ნათურებით განათების ფოტოგრაფია. აქ დაყენებული შუქდიოდური სანათების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ოპტიკური სისტემა, რომელიც იძლევა საშუალებას მიღებული იქნას ქუჩის სანათებისათვის სტანდარტით მოთხოვნილი სინათლის ძალის მრუდი.

შუქდიოდური სანათები დაყენებულია 4 მ-ის სიმაღლეზე, მათ შორის დაშორება შეადგენს 24 მ-ს. ამ სანათებით უზრუნველყოფილი განათებულობის საშუალო დონე შეადგენს დაახლოებით 10 ლუქსს 0,57 არაერთგვაროვნობის დროს. ეს სანათები მოიხმარენ 20 ვტ სიმძლავრეს და აქვთ ბუნებრივი განათებულობის დონის მიხედვით სინათლის ნაკადის ცვლილების უნარი, რაც იძლევა საშუალებას არსებითად შევამციროთ ელექტროენერგიის მოხმარება.



ნახ.4.1. იტალიის ქალაქ პარმას პარკის განათება შუქდიოდური სანათებით

სანათი ხელსაწყოების ეკონომიურობის უზრუნველყოფა მათი ეფექტიანობის უზრუნველყოფის მეორე მნიშვნელოვანი პრობლემაა. არსებითი მნიშვნელობა აქვს დასაპროექტებელი სანათი დანადგარების მაჩვენებლების მიღებული ერთიანობის უზრუნველსაყოფად, სხვადასხვა საინჟინრო მეთოდებისა და ხერხების გამოყენებას. სახელდობრ, ბუნებრივი განათებულობის დონის (ან ქუჩის განათების მართვის ინტელექტუალური სისტემის გამოყენების) მიხედვით სანათი ხელსაწყოების ჩართვა/გამორთვა.

ამ დროს მნიშვნელოვანია ვაწარმოთ გარე განათების დანადგარების, ქუჩის სივრცისა და საზოგადოებრივი დასვენების ზონების განათების, მაღაზიათა ვიტრინების განათებისა და სხვადასხვა ფუნქციონალური დანიშნულების სანათი მოწყობილობების ჩათვლით ერთობლივი გავლენის აღრიცხვა, მთლიანად ქალაქის სინათლის გარემოს ფორმირებაზე.

ამგვარად, განათების მართვის სისტემების მოდერნიზაციამ უნდა შეასრულოს შემდეგი ფუნქციები:

- სინათლის წყაროს დომინირების ხარჯზე ცუდი ამინდის, ღრუბლიანობისა და დაბნელების დროს უზრუნველყოს მუდმივი განათებულობა;

- ერთი სახის სანათი ხელსაწყოთი სხვადასხვა წერტილებში უფრო მისაღები განათებულობის მისაღებად უზრუნველყოს ავტომატური რეგულირების შესაძლებლობა.

- გაითვალისწინოს ადამიანების დასწრება და ავტოტრანსპორტის ნაკადის ინტენსივობა და ღამის გარკვეულ საათებში გამორთოს ის სანათები, რომელთა განლაგება პრინციპულ გავლენას არ ახდენს განათებულობის საერთო და უსაფრთხოების დონეზე.

- გაითვალისწინოს დღე-ღამის, წლის, კვირის დრო და მოახდინოს თითოეული წყაროს სინათლის ნაკადის ინდივიდუალური რეგულირება.

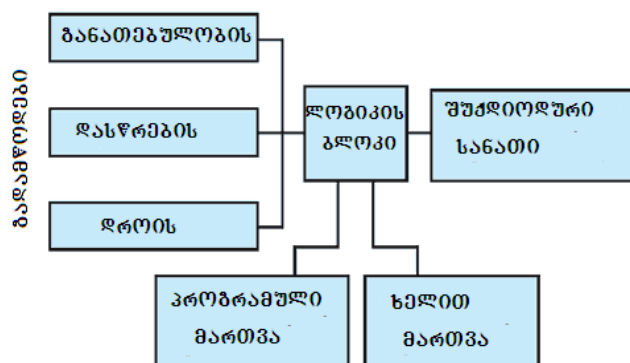
ნახ.4.2-ზე წმოდგენილია განათების მართვის სისტემების სტუქტურული სქემა. მრავალი ფირმა (Osram, Philips, Tridonic, Helvar, ЭНЭФ და სხვა.) სხვადასხვა სინათლის წყაროების მქონე სანათი

დანადგარებისათვის აწარმოებენ მზა განათების მართვის სისტემებს. განათების მართვის სისტემაში სინათლის ნაკადის რეგულირება უნდა მოხდეს როგორც ავტომატურად – განათების, დასწრებისა და დროის გადამწოდებიდან, ასევე ხელით (უშუალოდ მომუშავის მიერ).

#### 4.2. განათების მართვის სქემები

ჟურნალში „Светотехника“ (1997. № 1) დაწვრილებით არის აღწერილი განათების მართვის სისტემის ტიპური სქემა [31]. მისი ელემენტების უნიფიკაციისა და ერთი მწარმოებლის გადამწოდების მიერ მეორე მწარმოებლის ელემენტების „გაგებისათვის“ ევროპულმა ფირმებმა დაამუშავეს და დანერგეს მთელი რიგი სტანდარტები, რომლებიც აქტიურად გამოიყენებიან რუსეთშიც. ამჟამად განათების დარგში ყველაზე უფრო ხშირად გამოიყენებულ სტანდარტებს წარმოადგენენ LON, EIB და KNX. ქუჩის განათების მართვის ინტელექტუალური სისტემების შექმნის დროს შეიძლება ვისარგებლოთ ნებისმიერი ზემოთნაჩვენები სისტემით, ან უპირატესობა მივანიჭოთ იმ სისტემას, რომელიც დამუშავებულია დრაივერებისა და შუქდიოდური სანათების მწარმოებლების მიერ.

ანალოგიური მართვის სისტემებში ხელით მართვის ბრძანებები ან განათებულობის, დასწრებისა და დროის გადამწოდების სიგნალები მიეწოდება კვების ნახევარგამტარული ბლოკის მმართველ შესასვლელზე 0-10 ვ დიაპაზონის მუდმივი ძაბვის სახით, რაც იწვევს ნათურების სინათლის ნაკადის შესაბამის ცვლილებას.



ნახ.4.2. განათების მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა.

განათებულობის გადამწოდად შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი სინათლის მგრძნობიარე ხელსაწყო. ჩვეულებრივ ეს არის ფოტოდiodი ან ფოტორეზისტორი. მათ შეუძლიათ ბუნებრივი განათებულობის დონის მიხედვით ცვალონ ნათურების ნაკადი ისე, რომ განათებულობა დარჩეს მუდმივი. განათების დონის დაყენება ხდება გადამწოდების დაყენებისას. გაუმჯობესებული ხელსაწყოები გარდა განათებულობის გადამწოდებისა შეიცავენ ასევე დასწრების გადამწოდებსაც.

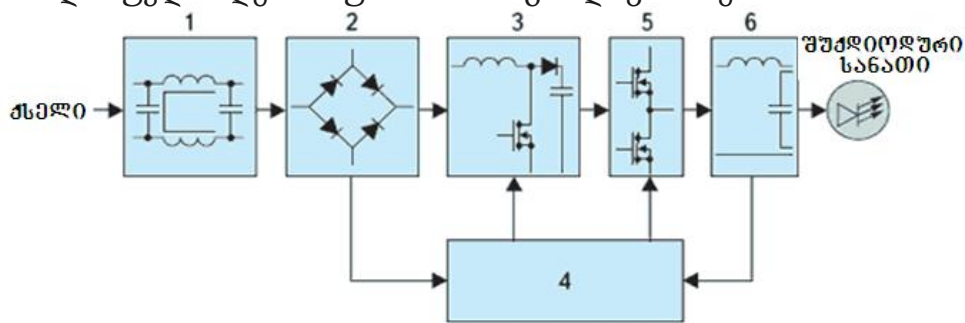
მაშასადამე, არსებობს შესაძლებლობა სანათი ხელსაწყოების ნაწილი ჩაირთოს ღამის საათებში ადამიანების გარეშე. პროგრამული მართვის შემთხვევაში ოპერატიული გადართვები ხორციელდება ტაიმერის საშუალებით დროითი პროგრამის შესაბამისად, რომელიც განსაზღვრულია წლის თითოეული დღისათვის.

ხელით მართვა, როგორც წესი, ხორციელდება დისტანციურად ცენტრალური სადისპეტჩერო პუნქტიდან ინფრაწითელი გამოსხივების მქონე პულტების საშუალებით. ანალოგიური სისტემებისაგან განსხვავებით, ციფრული მართვა ნებისმიერი სტანდარტის მიხედვით იძლევა პროგრამული განათებულობის რეალიზებისა და შუქდიოდური სანათების მისამართების მიხედვით მართვის განხორციელების საშუალებას. ამ დროს მმართველი დრაივერები მეხსიერებაში ინახავენ ნათურების სიმძლავრის მოცემულ დონეს და განმეორებითი ჩართვის შემთხვევაში მაშინვე რთავენ ნათურებს ამ დონის სიმძლავრით. გარდა ამისა სისტემას შეუძლია მმართველ ბლოკებს გადასცეს დაზიანებული ნათურების, ჩაურთველი გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის, მკვებავი ქსელის სადენის გაწყვეტის შესახებ სიგნალები [32].

ამჟამად კვების ნახევარგამტარული ბლოკის ასორტიმენტი ითვლის მრავალ ათეულ ტიპს, რომლებიც განსხვავდებიან მათზე ჩართული ნათურების რაოდენობითა და სიმძლავრით, სინათლის ნაკადის რეგულირების შესაძლებლობითა და შეუძლებლობით, ჩართვის ხასიათით, შესაძლო ავარიული სიტუაციებისაგან აპარატისა და ელექტროქსელის

დაცვის ფუნქციით. ყოველივე ამ მრავალსახეობის მიუხედავად, წამყვანი მსოფლიო მწარმოებლების მიერ დამუშავებული თანამედროვე დრავერების სქემური გადაწყვეტა თითქმის ერთნაირია.

კონსტრუქციულად შუქდიოდური სანათი შედგება ორი ბლოკისაგან – სინათლის გამოსხივებელი ნაწილი და კვების ნახევარგამტარული ბლოკი, რომელსაც დრავერი ანუ მმართველი ელემენტი ეწოდება. ნახ.4.3-ზე ნაჩვენებია თანამედროვე კვების ნახევარგამტარული ბლოკის სტრუქტურული სქემა, რომელიც შეიცავს ყველა ძირითად კვანძს. ფაქტიურად კვების ნახევარგამტარული ბლოკის სქემებს შორის განხვავება ძირითადად მდგომარეობს მმართველი კასკადის პრინციპულ სქემასა და მაღალსიხშირული დაბრკოლებების დამხშობი ფილტრის ტიპში, რადგანაც დანარჩენი კვანძები ამჟამად იმდენად არის დამუშავებული, რომ პრაქტიკულად უნიფიცირებულია. ამ დროს დრავერების ელექტროტექნიკური შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად აღემატება ჩვეულებრივი გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის შესაძლებლობებს [33]. მაგალითად, დრავერს აქვს უნარი ძაბვის მნიშვნელოვანი რხევების დროს 70-150 %-ის ფარგლებში (154-330 ვ) შუქდიოდების წყობაზე შეინარჩუნოს ძაბვისა და დენის მოთხოვნილი პარამეტრები. ამ დროს ძაბვის გადახრა 220 ვ-დან არავითარ გავლენას არ ახდენს დრავერისა და შუქდიოდების მუშაობის ხანგრძლივობაზე.



ნახ.3. კვების ნახევარგამტარული წყაროს სტრუქტურული სქემა: 1- მაღალსიხშირული დაბრკოლებების ჩამხშობი შესასვლელი ფილტრი, 2- გამმართველი, 3- ელექტრული ქსელიდან მოხმარებული დენის ფორმის კორექტორი, 4- მმართველი კასკადი, 5- სიმძლავრის მაძლიერებელი, 6- გამოსასვლელი კასკადი.

მაშასადამე, შუქდიოდების ბაზაზე ახლადშექმნილი სანათების რეკონსტრუქციისა და დაპროექტების დროს წარმოიშობა შესაძლებლობა გვერდი ავუაროთ ელექტროდანადგარების მოწყობის წესებში ნაჩვენებ ძაბვის გადახრის დასაშვებ ზღვარს ( $\pm 5\% U_n$ ). ეს ნიშნავს, რომ ქუჩის განათების ქსელის დაპროექტების დროს იხსნება მთავარი შემზღვეველი ფაქტორი – შემოწმება ძაბვის ვარდნის მიხედვით. ჩნდება შესაძლებლობა შეიქმნას მნიშვნელოვნად დიდი სიგრძის განათების ქსელები, ხოლო ქალაქის არსებული ქსელების მოდერნიზაციის დროს უბრალოდ რამდენიმე არსებული ხაზი მიმდევრობით გავაერთიანოთ.

განათების ქსელის ჯგუფური ხაზების საშუალო სიგრძის გაზრდა ფართომასშტაბიან პერსპექტივებს ქმნის ქალაქის განათების ქსელის აშენების კონცეფციის ცვლილებისათვის. სატრანსფორმატორო ქვესადგურების სიმძლავრის შენარჩუნების დროს მნიშვნელოვნად იზრდება მათი დაფარვის ფართობი. ეს ნიშნავს, რომ ჩნდება შესაძლებლობა ქალაქის განათების ქსელის ექსპლუატაციიდან გამოვიყვანოთ არსებული სატრანსფორმატორო ქვესადგურებისა და გამანაწილებელი პუნქტების დაახლოებით მესამედი.

ამასთანავე ელექტროტექნიკის თვალსაზრისით ასეთი სისტემების შექმნის დროს ძირითად სირთულეს წარმოადგენს არსებული რაიონის მკვებავ ქსელში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის გაანგარიშება, რადგან ერთი მხრივ, შუქდიოდური სანათების კვების ნახევარგამტარული ბლოკები გენერირებენ დენის ჰარმონიულ მდგენელებს და ასევე მეორე მხრივ თვით მკვებავ ქსელში შეიძლება იყოს არასინუსოიდური დენი.

გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის მიერ დენის ელექტრულ წრედებში შექმნილი მაღალსიხშირული დაბრკოლებების ჩახშობისათვის გამოიყენებენ ჩვეულებრივ ან ორმაგ II-სებრ ფილტრებს, რომლებიც შედგება რამდენიმე მჰნ ინდუქციურობებისა და 1000 ნფ-მდე ტევადობებისაგან. როგორც წესი, დამატებით ამავე მიზნისათვის რამდენიმე ნფ ტევადობა ჩაირთვება ერთ-ერთ მკვებავ სადენსა (ჩვეულებრივ

ნეიტრალსა) და ჩამიწების სადენს შორის. გამმართველად გამოიყენება ნებისმიერი სტანდარტული ბოგური სქემა, რომელიც გათვლილია შესაბამის დენსა და ძაბვაზე, მოხმარებული დენის ფორმის კორექციისათვის გამოიყენება საკმაოდ მძლავრი ველით მართული ტრანზისტორები, რომლებიც იმართებიან დენის ფორმის მაკორექტირებელი სპეციალური მოწყობილობებით.

სხვადასხვა ფორმის კვების ნახევარგამტარული ბლოკების ელექტრული პარამეტრები პრაქტიკულად ერთნაირია: მ.ქ.კ. - 86-94 %; სიმძლავრის კოეფიციენტი - როგორც წესი  $\geq 0,95$  და უმრავლეს შემთხვევაში დამოკიდებულია გამოყენებულ ტევადურ ელემენტებზე; ქსელური კვების ნახევარგამტარული ბლოკები ნორმალურად მუშაობენ 80-360 ვ ძაბვის დიაპაზონში და პრაქტიკულად ყველას შეუძლია მუშაობა მუდმივი ძაბვის ქსელებიდან 170-340 ვ ფარგლებში; მოხმარებულ დენში ჰარმონიკების შემცველობა ჩვეულებრივ არ აღემატება 15 %-ს.

დენის სინუსოიდური მრუდის დამახინჯების არეში მწარმოებლების ორიენტაცია მიმართულია არასინუსოიდურობის საერთო კოეფიციენტზე. ეს ფაქტორი გვიჩვენებს დენის რეალური ფორმის გადახრას იდეალური სინუსოიდისაგან და იზომება პროცენტებში.

შეფასების მსგავსი სისტემის უარყოფითი მხარეა მიდგომის ზოგადობა და დენის თითოეული ჰარმონიკის მიხედვით შეფასების შეუძლებლობა. რუსეთში არსებობს სტანდარტი [34] „ერთ ფაზაში არაუმეტეს 16 ა მოხმარებული დენის მქონე ტექნიკური საშუალებების დენის ჰარმონიული მდგენელების ემისია“. ამ დოკუმენტში აღწერილია თითოეული ჰარმონიკის დასაშვები ზღვარი 2 კვც სიხშირემდე, რომელთა გადამეტებაც დაუშვებელია. ასეთი მიდგომა იძლევა საშუალებას უფრო ზუსტად შევაფასოთ საცდელი ხელსაწყო, ანუ ზუსტად ვუჩვენოთ მწარმოებელს შემდგომი დამუშავების მიმართულება. შუქდიოდური სანათების დანერგვის დაწყებასთან ერთად აღმოჩნდა, რომ კვების ნახევარგამტარულ წყაროებს გააჩნიათ მუშა დენის მდგენელების მომატება უმაღლესი ჰარ-

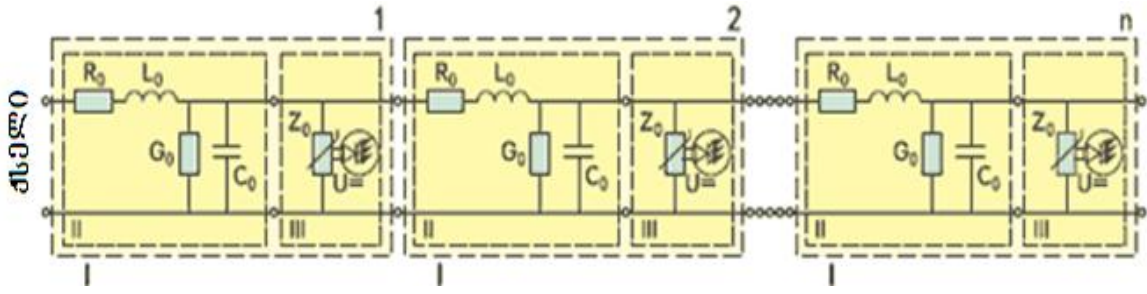
მონიკების არეში. ამასთან დაკავშირებით წარმოიშვა სანათი დანადგარების წინასწარი გაანგარიშების საჭიროება მთელი ჰარმონიული მწკრივის მიხედვით მასში დენის დამახინჯებული ფორმის არსებობის თვალსაზრისით.

ამჟამად არსებობს ელექტროტექნიკის სხვადასხვა დარგში გამოყენებული ხაზების გაანგარიშების რამდენიმე თეორია. ეს არის ანტენების თეორია რადიოტექნიკაში, გრძელი ხაზებისა და კირხჰოფის თეორია – ელექტროტექნიკაში. აქ აღწერილი მეთოდები ითვალისწინებენ არასინუსოიდური რეჟიმების გაანგარიშების შესაძლებლობას, მაგრამ ამასთანავე მსგავსი გაანგარიშებები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებითაც კი რთულია, რადგან ისინი დაკავშირებულია ქსელის ზუსტი ანალოგის მოდელირებასა და ჩანაცვლების სქემის საფუძველზე შედგენილი რთული დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნასთან. ამ მეთოდების უარყოფითი მხარეა ასევე ის, რომ ისინი მოუქნელია, რადგან მოითხოვენ თითოეული ხაზის მოდელირებისას ინდივიდუალურ მიდგომას [35].

ქსელში არასინუსოიდურობის არსებობისას დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშების ალტერნატიულ მეთოდად შემოთავაზებულია განხილული იქნას ოთხპოლუსების თეორიაზე დამყარებული მეთოდი. მოცემული მეთოდი იძლევა საშუალებას რთული მმართველი მოწყობილობების მოდელირების ადგილზე გამოყენებული იქნას ე.წ. „შავი ყუთი“. ამ დროს საჭირო მონაცემებია შესავალი და გამოსავალი დენი და ძაბვა.

ასეთ შემთხვევაში ქუჩის განათების ქსელი შეიძლება წარმოვადგინოთ ტიპური ოთხპოლუსების კასკადურ შეერთებად. კასკადების რაოდენობა ტოლია ჯგუფში შუქდიოდური სანათების რაოდენობისა. ასეთი ოთხპოლუსის შემადგენლობაში შედის ჯგუფური ქსელის ნაწილი (რომლის სიგრძე ტოლია ორ ელექტრომიმდებს შორის დაშორების) და შუქდიოდური სანათი დრაივერით. ამ დროს ეს ორი შემადგენელი ნაწილი შეიძლება ჩაითვალოს ცალკეულ ოთხპოლუსებად და გაანალიზდეს შესაბამისად ცალცალკე (ნახ.4.4) [36].

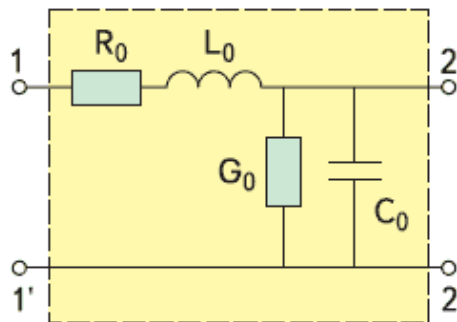




ნახ.4.4. ოთხპოლუსების კასკადური შერთების სქემა; I- ტიპიური ოთხპოლუსა; II-ქსელის ოთხპოლუსა; III- შუქდიოდური სანათის ოთხპოლუსა

ნებისმიერი ოთხპოლუსა შეიძლება აღიწეროს A- კოეფიციენტების მატრიცით. A- მატრიცის პარამეტრები შეიძლება განსაზღვრული იქნას, როგორც გაანგარიშების გზით, საკვლევი ობიექტის ჩანაცვლების სქემიდან გამომდინარე, ასევე ცდის საფუძველზე.

ნახ.4.5-ზე წარმოდგენილია სანათი მოწყობილობის ჯგუფური ხაზის ჩანაცვლების სქემა. ეს სქემა უფრო სრულყოფილია და საზოგადოდ მიღებულია მსგავსი შემთხვევებისათვის. სქემის პარამეტრები შეიძლება განგარიშებული იყოს ძირითადი სიხშირისათვის, მაგრამ მაშასადამე ისინი ემორჩილებიან განსაზღვრას სიხშირეთა მთელ მწკრივზე.



ნახ.4.5. ჯგუფური ხაზის ჩანაცვლების სქემა

გრძელი ხაზებისათვის საანგარიშო პარამეტრები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

ინდუქციურობა ხაზის ერთეულ სიგრძეზე (მკჰნ/მ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$L_1 = 0,4 \ln(d/r)$$

ტევადობა ხაზის ერთეულ სიგრძეზე (პფ/მ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_1 = 27,8 \varepsilon_r / \ln(d/r) = 27,8 \varepsilon_r / \ln(d/r) \times 10^{-12} \text{ ფ/მ}$$

წინალობა ხაზის ერთეულ სიგრძეზე (ომი/მ) (სპილენძისათვის, რომლის  $\delta = 5,80 \times 10^7$  სიმ/მ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_1 = (8,32 / r_{\text{მა}}) \times \sqrt{f_{\text{მგ}}} \times 10^{-6}$$

გამტარობა ხაზის ერთეულ სიგრძეზე (სიმ/მ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$G_1 = \omega \times C_1 \times \text{tg} \delta$$

სადაც  $\varepsilon_r$  – ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა;  $\delta$  – დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხე;  $r$ - სადენის ძარღვის რადიუსი;  $d$ - დაშორება სადენებს შორის.

ნახ.4.5-ზე წარმოდგენილი ჯგუფური ხაზის ჩანაცვლების სქემის A- მატრიცას აქვს სახე:

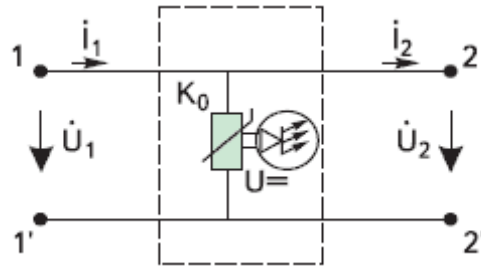
$$\begin{bmatrix} 1 + (r_0 + kl_0)(g_0 + kc_0) & r_0 + kl_0 \\ g_0 + kc_0 & 1 \end{bmatrix}$$

დრაივერის ელექტრული სქემა წარმოადგენს რთულ კომპლესს, რომელიც მოიცავს როგორც ტევადობას, ინდუქციურობასა და აქტიურ წინალობას, ასევე სხვადასხვა სახეობის ნახევარგამტარულ ელემენტებს. ასეთ ოთხპოლუსას აქტიური ეწოდება.

აქტიური ოთხპოლუსა – ეს არის წრფივი ოთხპოლუსა, რომელიც შეიცავს ენერჯის წყაროებს, რომელთა წყალობითაც გამოსავალ გახსნილ მომჭერებზე ჩნდება ძაბვა.

ნახევარგამტარული ტექნიკის ფართოდ დანერგვასთან დაკავშირებით აქტიური ოთხპოლუსას ცნებაში შეიძინება ასევე სხვა აზრიც. კერძოდ, აქტიური ოთხპოლუსა ისეთი ოთხპოლუსაა, რომლის გამოსასვლელზეც გამოსავალი სიმძლავრე აღემატება (შეიძლება აღემატებოდეს) შესასვლელზე აქტიურ წინალობას. ეს ეფექტი მიიღწევა მის შემად-

გენლობაში ისეთი ელემენტების არსებობით როგორებიცაა: ოპერაციული მამლიერებლები, ტრანზისტორები, ელექტრონული ნათურები და სხვა. იმისათვის რომ ერთმანეთისაგან განასხვავონ აქტიური ოთხპოლუსას ეს ორი კლასი, მიღებულია აქტიურ ოთხპოლუსას, რომელიც არ აძლიერებს სიმძლავრეს ეწოდოს აქტიური ავტონომიური, ხოლო რომელიც აძლიერებს- „აქტიური არავტონომიური“.



ნახ.4.6. დრაივერის ჩანაცვლების სქემა

ნახ.4.6-ზე წარმოდგენილი დრაივერის ჩანაცვლების სქემისათვის A – მატრიცას აქვს სახე:

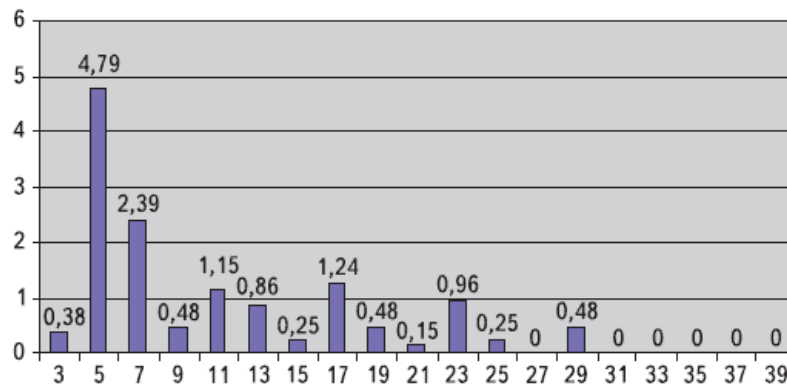
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ K_0 & 1 \end{bmatrix}$$

კვების ნახევარგამტარული წყაროების ჩანაცვლების სქემის შედგენა მისი განშტოებული სტრუქტურის გამო შეუძლებელია. ამასთანავე ვეყრდნობით, რა დენის ჰარმონიულ შემადგენლობას, შეიძლება შევადგინოთ ამ ხელსაწყოს ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. მოსკოვის ენერჯეტის ინსტიტუტში ელექტრომომარაგების კათედრაზე რეალიზებულია პროგრამული პროდუქტი REARX, რომელიც ეყრდნობა რა მწარმოებლის მიერ საწყის მონაცემებს, იძლევა ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ზუსტ, ნამდვილ მრუდს.

განგარიშების მთელი სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ მუშა დენი გამოსავალ მომჭერებზე, ანუ A-მატრიცის პარამეტრები, დამოკი-

დებულა თითოეული ოთხპოლუსას გამოსავალ ძაბვაზე [35]. ამგვარად, ქსელის გაანგარიშება საჭიროა ვაწარმოთ ოთხპოლუსების მიმდევრობით შეერთების გზით, დაწყებული მათი ქსელთან მიერთების წერტილიდან, თითოეული შემდგომი ელემენტის შემავალი (და გამომავალი) პირობების განსაზღვრისათვის. სანათი დანადგარების ყველა ელემენტის მიერთების შემდეგ შეიძლება ვაწარმოთ დენის არასინუსოიდურობის გაანგარიშება ქსელთან მიერთების წერტილში.

მოცემული მეთოდი ასევე იძლევა თვით მკვებავი დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების გათვალისწინებით ქსელების გაანგარიშების საშუალებას [36, 37, 38]. ნახ.4.7-ზე მოყვანილია დენის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკი.



**ნახ.4.7. მკვებავი ქსელის დენის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკი.**

ანალოგიური ჰარმონიული მწკრივები შეინიშნება სხვა ობიექტებზე გაზომვებისას. ნახ.4.8-ზე წარმოდგენილია 90 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური სანათების ჰარმონიული მდგენელების ემისიის სპექტრი. ამ სანათის მახასიათებელი  $\Delta H\alpha T-150$  სანათის მახასიათებლების ანალოგიურია. მონაცემები წარმოდგენილია ძირითადი სიხშირის დენის პროცენტებში.

ქსელის შუქდიოდური სანათების ასეთ ჯგუფთან ერთობლივი მუშაობისას შესაძლებელია სიტუაცია, რომლის დროსაც ამა თუ იმ ჰარმონიკის დენების შეჯამებისას ჯამური დენი აჭარბებს დასაშვებ

მნიშვნელობას. ელექტრომომარაგების სისტემებზე უმაღლესი ჰარმონიკების ზემოქმედების ფორმებს წარმოადგენენ:

- ჰარმონიკების დენებისა და ძაბვების გაზრდა მიმდევრობითი და პარალელური რეზონანსების შედეგად;

- ელექტროენერჯის გადაცემისა და გამოყენების პროცესების ეფექტურობის შემცირება;

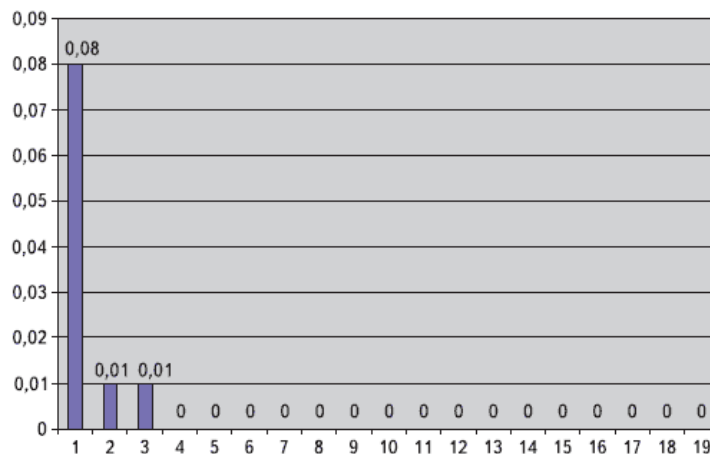
- სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირება;

- ელექტროდანადგარების მოთხოვნილი სიმძლავრის გაზრდა;

- ელექტრომოწყობილობის იზოლაციის დაძველება და ამის შედეგად მუშაობის ხანგრძლივობის შემცირება;

ავტომატური ამომრთველებისა და დამცავი გამორთვის მოწყობილობის ცრუ ამუშავება.

საშტატო რეჟიმში ქსელის მუშაობისათვის საჭიროა ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დასაშვები მნიშვნელობიდან მოთხოვნების დაცვა.



**ნახ.4.8. DHaT-150 სანათის ანალოგი 90 ვტ სიმძლავრის შუქდიოდური სანათის დენის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკი.**

ამგვარად, ზემოთ აღწერილი მეთოდის გამოყენებით ჩნდება საკვლევ ქსელში დენის არასინუსოიდურობის არეში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის გაანგარიშების შესაძლებლობა.

პრაქტიკულ გამოყენებაში ეს ნიშნავს, რომ ვეერდნობით რა მხოლოდ მწარმოებლის მიერ წარმოდგენილ მონაცემებს, შესაძლებელია ინდივიდუალურად თითოეული კვების ნახევარგამტარული წყაროსათვის გამოყენებული მოწყობილობის მთელი სპექტრიდან გავიანგარიშოთ ერთ ჯგუფში შუქდიოდური სანათების მაქსიმალური რაოდენობა. აღწერილი მეთოდი იძლევა საშუალებას მსგავსი გაანგარიშება ვაწარმოოთ რეალური ქსელების უმეტესი ფაქტორების მაქსიმალური გათვალისწინებით. წარმოდგენილი მასალების საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

- ნახევარგამტარული გარდამქნელების დანერგვა ქალაქების ქუჩის განათებაში სინათლის შუქდიოდური სანათების დახმარებით საჭიროა მთლიანად ქალაქის იერსახის გაუმჯობესების, ენერგორესურსებისა და ფულადი სახსრების ეკონომიის მიზნით;

- თანამედროვე ქუჩის განათების დანადგარების მუშაობისას უნდა გავითვალისწინოთ მრავალი ფაქტორი.

- ელექტრომაგნიტური თავსებადობის არეში შეთანხმებული მუშაობის უზრუნველყოფას რეალური ქსელის თანამედროვე აპარატურისათვის მიყვავართ ნახევარგამტარული გარდამქმნელი მოწყობილობის მუშაობის ხარისხის სპეციფიკურ მოთხოვნებთან;

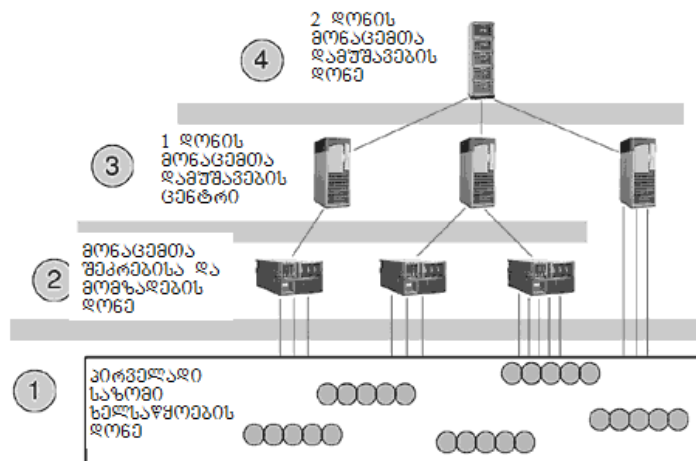
- არასინუსოიდურობის არეში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის გაანგარიშება შეიძლება განხორციელდეს აღწერილი მეთოდის დახმარებით, სადაც გათვალისწინებული უნდა იქნას მკვებავი ქსელის არასინუსოიდურობის მაჩვენებლები.

ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარე ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარებას საქართველოში უდიდესი ეკონომიური და ეკოლოგიური მნიშვნელობა აქვს. ამიტომ ჩვენს ქვეყანაში უპირველესად უნდა მოხდეს ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვა განათებაში.

### 4.3. ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა „SCADA“ -ს გამოყენება ელექტროენერჯის ხარისხის კვლევის საქმეში

ენერგორესურსებით თანამედროვე ცივილიზებული ვაჭრობა დაფუძნებულია ავტომატიზებულ ენერგოაღრიცხვაზე, რომელსაც მინიმუმამდე დაჰყავს ადამიანის ჩარევა გაზომვის, მონაცემთა აღებისა და დამუშავების პროცესში და უზრუნველყოფს ზუსტ, ოპერატიულ და მოქნილ, სხვადასხვა სატარიფო სისტემასთან ადაპტირებულ აღრიცხვას, როგორც ელექტროენერჯის მიმწოდებლის, ასევე მომხმარებლის მხრიდან. ამ მიზნით როგორც მიმწოდებელი, ასევე მომხმარებელი თავიანთ ობიექტებზე ქმნიან ენერგორესურსების კონტროლისა და აღრიცხვის ავტომატიზებულ სისტემებს – ეკაას, რომლის სტრუქტურაში ზოგად შემთხვევაში შეიძლება გამოვყოთ ოთხი დონე (ნახ.4.9);

- პირველი დონე – მოიცავს პირველად საზომ ხელსაწყოებს ტელემეტრული ან ციფრული გამოსასვლელით, რომლებიც ახორციელებენ პარამეტრების (სიმძლავრის, მოხმარებული ენერჯისა და სხვათა) გაზომვას უწყვეტი ან მინიმალური ინტერვალებით აღრიცხვის წერტილებში (მაგ.ფიდერებზე).



### 4.9. ეკაას-ის სტრუქტურა

- მეორე დონე – მონაცემთა შეკრებისა და მომზადების მოწყობილობები, სპეციალიზებული საზომი სისტემები ან მრავალფუნქციური პროგრამული გარდამქმნელები ენერგოაღრიცხვის ჩაშენებული პროგრამულ-

ლი უზრუნველყოფით, რომლებიც ახორციელებენ მოცემულ ციკლში დღე-ღამის განმავლობაში გაზომილი მონაცემების დაგროვებას, დამუშავებასა და ამ მონაცემების ზედა დონეზე გადაცემას.

- მესამე დონე - პერსონალური კომპიუტერი ან მონაცემთა შეკრებისა და დამუშავების ცენტრის სერვერი სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელიც ახორციელებს მეორე დონიდან ინფორმაციის მიღებას, ამ ინფორმაციის დამუშავებას როგორც აღრიცხვის წერტილების, ასევე ჯგუფების (დაწესებულებების ობიექტების) მიხედვით, ახდენს აღრიცხვის მონაცემების დოკუმენტირებას და ასახვას ისეთი სახით, რომ მოსახერხებელი იყოს ანალიზისა და ოპერატიული პერსონალისათვის გადაწყვეტილების მისაღებად;

- მეოთხე დონე - მონაცემთა შეკრებისა და დამუშავების ცენტრის სერვერი სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის მიღებას პერსონალური კომპიუტერიდან ან ცენტრის სერვერთა ჯგუფიდან, ახდენს მათ დოკუმენტირებას და მონაცემთა ასახვას ისეთი სახით, რომ მოხერხებული იყოს ოპერატიული პერსონალისათვის ანალიზისა და გადაწყვეტილების მისაღებად, ხელშეკრულებათა გასაფორმებლად ელექტროენერჯის მიწოდებისა და საფასურის გადახდის დოკუმენტების გასაფორმებლად.

ეკაას - ის ყველა დონე ერთმანეთთან დაკავშირებულია კავშირის არხებით.

მსოფლიო გამოცდილება აჩვენებს, რომ ენერგომოხმარების კომპიუტერული სისტემის გამოყენებით მიიღწევა საშუალოდ ელექტროენერჯის წლიური მოხმარების 15-30 % ეკონომია, ხოლო მასზე დახარჯული თანხა ანაზღაურდება 2-3 კვარტლის განმავლობაში.

ყველა თანამედროვე საწარმოსათვის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაციისა და მართვის სისტემის შექმნა, რომელიც უწყვეტად გააკონტროლებს ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობას და ამოახდენს მის მართვას.



ასეთ სისტემას წარმოადგენს დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA (Supervisory Control And Acquisition) - ეს არის პროგრამული პაკეტი, რომელიც გამოიყენება რეალურ დროში ობიექტის მონიტორინგის ან მართვისათვის ინფორმაციის შეკრების, დამუშავების, ასახვისა და არქივირების სისტემის დამუშავების ან მუშაობის უზრუნველყოფისათვის. SCADA შეიძლება იყოს ეკასი-ს, სამეცნიერი ექსპერიმენტის, რაიმე პროცესის ავტომატიზაციისა და სხვათა შემადგენელი ნაწილი. მოცემული პროგრამული უზრუნველყოფა დაყენებულია კომპიუტერზე და ობიექტთან დასაკავშირებლად გამოყენებულია შეყვანა-გამოყვანის დრაივერები. დისპეტჩერული მართვის სისტემებზე იგება მსხვილი ავტომატიზებული სისტემები და საწარმოები ენერგეტიკაში და სხვა სტრუქტურებში [39].

#### **4.4. SCADA სისტემის გამოყენება ელექტროენერგეტიკაში**

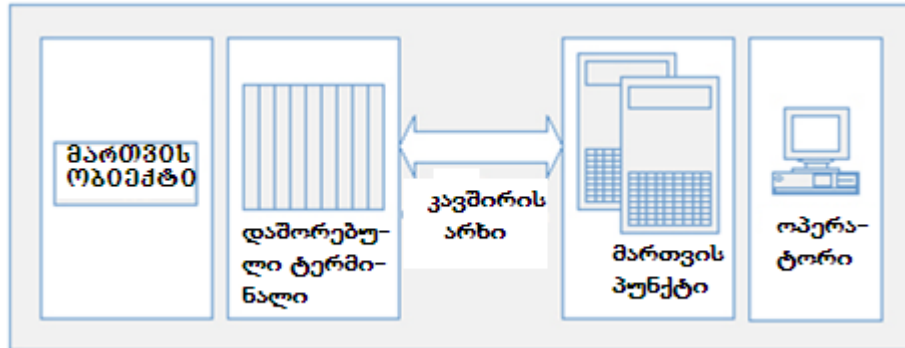
დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA ელექტროენერგეტიკის დარგში ძირითადად გამოიყენება შემდეგი საკითხების კონტროლისა და მართვის საქმეში:

- ელექტროენერჯის გადაცემისა და განაწილების მართვა;
- ელექტროენერჯის წარმოების მართვა;
- სამრეწველო საწარმოების ელექტრომომარაგების მართვა;
- ელექტროენერჯის პარამეტრების კონტროლი;
- სამრეწველო საწარმოებისა და დაწესებულებების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის აღრიცხვის კონტროლი;
- ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლი;

სისტემა SCADA-ს სტრუქტურა და ფუნქციონალური შესაძლებლობები საშუალებას იძლევა იგი გამოყენებული იქნას როგორც ენერგოდამზოგი ნათურების მახასიათებლების, ასევე ელექტროენერჯის ხარისხის კვლევის საქმეში.

#### 4.5. SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურა

ყველა თანამედროვე SCADA სისტემა შეიცავს სამ სტრუქტურულ ერთეულს (ნახ.4.10.):



ნახ.4.10. SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურული კომპონენტები.

დაშორებული ტერმინალი, რომელიც ახორციელებს ამოცანების დამუშავებას (მართვას) დროის რეალურ რეჟიმში. დაშორებული ტერმინალის რეალიზაციის სპექტრი ფართოა, დაწყებული მონაცემთა მარტივი მიმღებებიდან, რომლებიც ახორციელებენ მონაცემთა ამოკითხვას დაშორებული ობიექტიდან, დამთავრებული მრავალპროცესორული სპეციალიზირებული გამომთვლელი კომპლექსებით, რომლებიც მუშაობენ მკაცრად განსაზღვრულ დროის რეჟიმში. დაშორებული ტერმინალის კონკრეტული რეალიზაცია განპირობებულია მისი კონკრეტული გამოყენებით.

მართვის დისპეტჩერული პუნქტი ანუ მთავარი ტერმინალი, რომელიც ახორციელებს მაღალი დონის მართვასა და მონაცემთა დამუშავებას „რბილი“ რეალური დროის რეჟიმში. მთავარი ტერმინალის ერთ-ერთი ძირითადი ფუნქციაა სამომხმარებლო ინტერფეისის შექმნა ადამიან-ოპერატორსა და სისტემას შორის. კონკრეტული სისტემიდან გამომდინარე შეიძლება რეალიზებული იყოს როგორც ერთ კომპიუტერზე, რომელსაც გააჩნია კავშირის არხებთან მიერთების დამატებითი მოწყობილობები, ასევე დიდ გამომთვლელ კომპლექსებზე და ლოკალურ ქსელში გაერთიანებულ რამდენიმე კომპიუტერსა და სერვერზე.

კომუნიკაციური სისტემა (კავშირის არხი), რომელიც აუცილებელია დაშორებული ობიექტიდან მონაცემთა მიღებისათვის და მართვის სიგნალების გადაცემისათვის [40].

SCADA სისტემა ძირითადად შეიცავს შემდეგ ქვესისტემებს:

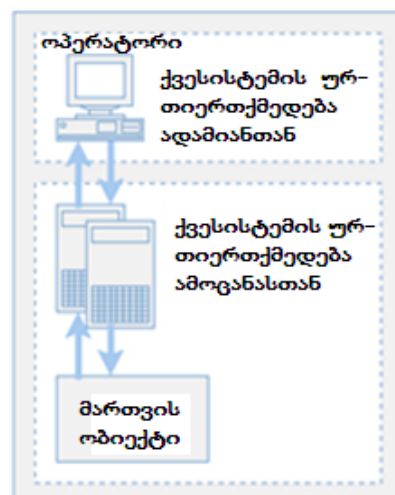
- სამომხმარებლო ინტერფეისი – ეს არის ინსტრუმენტი, რომელიც იძლევა მონაცემებს პროცესის მიმდინარეობის შესახებ. ამ ინსტრუმენტის მეშვეობით ადამიანი – ოპერატორი აკონტროლებს და მართავს პროცესს.

- დისპეტჩერული სისტემა ანუ მთავარი ტერმინალი აგროვებს ინფორმაციას პროცესის მიმდინარეობის შესახებ და გადასცემს ბრძანებებს.

- დაშორებული ტერმინალი, რომელიც მიერთებულია პროცესის მიმღებ-გადამცემებთან. გარდაქმნის გადაცემიდან მოსულ სიგნალს ციფრულ კოდში და გადასცემს მონაცემებს დისპეტჩერულ სისტემას;

- პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერი გამოიყენება როგორც სავსე მოწყობილობა თავისი ეკონომიურობის, უნივერსალობისა და მოქნილობის გამო;

- კომუნიკაციური ინფრასტრუქტურა, დისპეტჩერული სისტემისა და დაშორებული ტერმინალის დასაკავშირებლად.



ნახ.4.11. SCADA სისტემის ძირითადი ფუნქციონალური კომპონენტები.

SCADA სისტემაში არსებობს დაშორებული ობიექტის მართვის ორი ტიპი: ავტომატური და ოპერატორის მიერ ინიცირებული სისტემები. ასევე

გამოყოფენ დისპეტჩერული მართვის სისტემების ოთხ ძირითად ფუნქციონალურ კომპონენტს (ნახ.4.11): ადამიანი ოპერატორი; კომპიუტერის ურთიერთქმედება ადამიანთან; კომპიუტერის ურთიერთქმედება ამოცანასთან (ობიექტთან) და ამოცანა.

#### 4.6. პროგრამული უზრუნველყოფა

SCADA სისტემა უზრუნველყოფილია პროგრამული გარსით Trace Mode. იგი განკუთვნილია ენერგობიექტების, გამოყენებითი ინტელექტუალური სისტემების, ენერგოსაადრიცხვო სისტემების და სხვა საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციისათვის.

- Trace Mode-თი შექმნილი ავტომატიზაციის სისტემის მასშტაბი შეიძლება იყოს სხვადასხვა - დაწყებული ავტონომიურად მომუშავე მმართველი კონტროლერებიდან და დამთავრებული ტერიტორიულად განაწილებული მართვის სისტემებით, რომლებშიც შეიძლება გაერთიანებული იყოს რამდენიმე ათეული კომპიუტერი და სამუშაო ადგილი. მათ შორის ინფორმაციის გაცვლა შეიძლება ვაწარმოოთ სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალებებით: ლოკალური კომპიუტერული ქსელი, ინტერნეტი, მიმდევრობითი სალტეები RS-232/485 ინტერფეისის საფუძველზე, გამოყოფილი და კომპუტირებადი სატელეფონო ხაზები, რადიოარხი და GSM ქსელი.

- Trace Mode-ს გააჩნა ჩაშენებული დრაივერები, რომლებიც ორი ათასზე მეტი სახის შეტანა/გამოტანის მოწყობილობათა მხარდაჭერას უზრუნველყოფს. ეს მოწყობილობები შეიძლება იყოს პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები, შეტანა/გამოტანის პლატები და სხვა [41].

- Trace Mode-თი შექმნილი სისტემები შეიძლება იყოს როგორც ინფორმაციულ-გამზომი (მონიტორინგის), ასევე მმართველი. მოთხოვნებიდან გამომდინარე ასეთი სისტემების არქიტექტურა შეიძლება იყოს როგორც ცენტრალიზებული, ისე განაწილებული.

- განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა სისტემებს, რომლებიც იყენებენ პროგრამირებად კონტროლერებს. ამ დროს Trace Mode იყენებს საინფორმაციო და მათემატიკური უზრუნველყოფის ერთიან ინსტრუმენტს, ავტომატიზაციის სისტემის იერარქიის როგორც ზედა, ასევე ქვედა დონეებისათვის. ზედა დონეს წარმოადგენენ ავტომატიზირებული სამუშაო ადგილები, ხოლო ქვედა დონეს – კონტროლერები.

- Trace Mode-თი სისტემის შექმნის დროს შეიძლება გამოყენებულ იქნას ავტოშექმნის ტექნოლოგია, რომელიც ამცირებს ხელით შესასრულებელი სამუშაოების მოცულობას და შესაბამისად შეცდომების რაოდენობას.

-Trace Mode-თი შექმნილი პროგრამული პროდუქტის მახასიათებლები, მისი საიმედოობა, საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ის მრეწველობის ისეთ დარგებში, როგორცაა ნავთობქიმიკა, მეტალურგია, ენერგეტიკა, მანქანათმშენებლობა, კომუნალური მეურნეობა, კვების მრეწველობა, ტრანსპორტი. Trace Mode-თი შექმნილი პროგრამული პროდუქტი ასევე შეიძლება გამოვიყენოთ სამეცნიერო კვლევებისათვის [42].

ყველა თადამედროვე SCADA სისტემა უნდა პასუხობდეს მოთხოვნებს სისტემის საიმედოობის, მართვის უსაფრთხოების, სიზუსტისა და უნივერსალურობის მხრივ, რათა ეფექტურად იქნას გადაწყვეტილი ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაციის ამოცანები.

SCADA სისტემის მახასიათებლები და გამოყენების უნივერსალურობა განაპირობებს მის აქტიურ გამოყენებას მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში. ამ სისტემების გამოყენა ასევე შესაძლებელია სამეცნიერო კვლევებისათვის.

#### **4.7. SCADA სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობები**

იმ მოთხოვნების გამო, რომლებიც წაყენებათ SCADA სისტემებს, მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობების სპექტრი განსაზღვრული და რეალიზებულია ყველა პროგრამულ პაკეტში. ჩამოვთვალოთ ძირითადი საშუალებები და შესაძლებლობები, რომლებიც ახასიათებთ ყველა SCADA

სისტემას და განსხვავდებიან მხოლოდ ტექნიკური რეალიზაციის თავისებურებებით:

ავტომატიზირებული დამუშავება, რომელიც იძლევა პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნის საშუალებას რეალური პროგრამირების გარეშე;

- დაბალი დონის მოწყობილობებიდან მონაცემთა პირველადი ამოკითხვის საშუალებები;

- ავარიული სიტუაციების შესახებ სიგნალების რეგისტრაციისა და მართვის საშუალებები;

- მონაცემთა შენახვის საშუალებები მათი ხელმეორედ დამუშავების შესაძლებლობებით;

- პირველადი მონაცემების დამუშავების საშუალებები;

- ინფორმაციის ვიზუალიზაციის საშუალებები გრაფიკების, ჰისტოგრამებისა და სხვა ობიექტების სახით;

- მუშაობის შესაძლებლობა პარამეტრების ნაკრებთან, როგორც ერთიან, მთლიან მონაცემთან [43];

უნდა აღინიშნოს, რომ ავტომატიზირებული სისტემების პროექტირების ტექნოლოგია სხვადასხვა SCADA სისტემების საფუძველზე მსგავსია და მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

- ავტომატიზაციის სისტემის მთლიანი არქიტექტურის დამუშავება. ამ ეტაპზე განისაზღვრება ავტომატიზაციის ყოველი კვანძის ფუნქციონალური დანიშნულება.

- ყოველი კვანძის მართვისთვის განკუთვნილი სამომხმარებლო სისტემის შექმნა. ამ ეტაპზე სპეციალისტი ავტომატიზირებული პროცესების დარგში ახდენს ალგორითმების მინიჭებას ყოველი კვანძისთვის. ამ ალგორითმების ერთობლიობა იძლევა ავტომატიზაციის ამოცანების გადაწყვეტის საშუალებას.

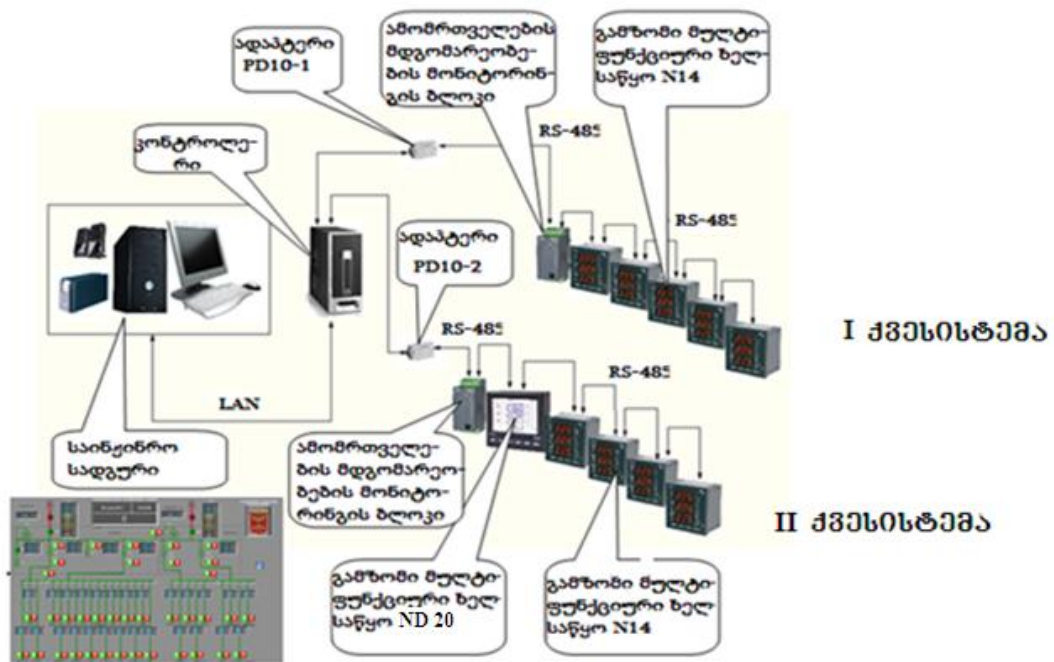
- გამოყენებითი სისტემის პარამეტრების მოყვანა შესაბამისობაში იმ მონაცემებთან, რომელსაც ცვლიან ქვედა დონის მოწყობილობები გარე სამყაროსთან.

- შექმნილი გამოყენებითი პროგრამის გამართვა ემულაციისა და რეალურ რეჟიმებში.

SCADA სისტემების ზემოთმოყვანილი შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ პროგრამული უზრუნველყოფის ფასს, შექმნისა და დახარჯული თანხის ამოღების დროის ხანგრძლივობას.

#### 4.8. ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემის აღწერა

ზემოთ განხილული პროგრამული პროდუქტის Trace Mode -ს ბაზაზე მუშავდება ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემა SCADA, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.4.12-ზე.



ნახ.4.12. ელექტრომომარაგების მონიტორინგის სისტემის ფუნქციონირების პრინციპი

მონიტორინგის სისტემა უზრუნველყოფს ელექტროგომომარაგების ქსელის შემომავალ და გამავალ წერტილებში ელექტრული პარამეტრების გაზომვას, ეკრანზე ასახვასა და შენახვა რეალურ დროში (მონიტორინგი). აგრეთვე ამომრთველების და გამთიშველების მდგომარეობის ფიქსირებასა და შენახვას რეალურ დროში.

მონიტორინგის სისტემა მოიცავს ორ ქვესისტემას, კონტროლერსა და საინჟინრო სადგურს. ქვესისტემები საკუთარი სამრეწველო ქსელით RS-485 ინტერფეისისა და MODBUS RTU პროტოკოლის ბაზაზე PD10 ადაპტერების გავლით უკავშირდებიან კონტროლერს, რომელიც თავის მხრივ LAN ქსელის მეშვეობით დაკავშირებულია საინჟინრო სადგურთან.

ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვა და მათი რიცხვითი მნიშვნელობების მიღება ხორციელდება მოწყობილობით N14 (ნახ.4.13.ა).



ა)



ბ)

**ნახ.4.13. პროგრამირებადი ციფრული მოწყობილობები: ა- N14; ბ- ND20**

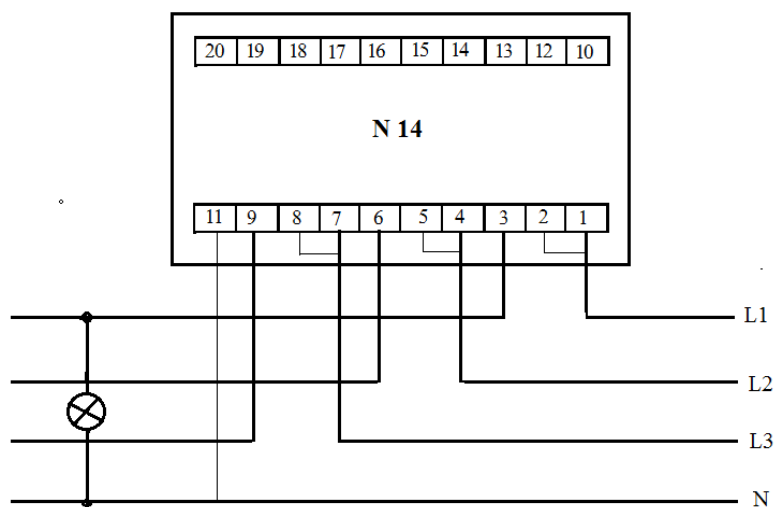
ეს მოწყობილობა ქსელში ირთვება როგორც პირდაპირ, ასევე დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორების გამოყენებით და განკუთვნილია როგორც ერთფაზა, ასევე სამფაზა ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვის, ასახვისა და ციფრული გადაცემისთვის. ელექტროქსელის პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების ფიქსაცია ხორციელდება N14-ის ჩაშენებულ, 16 და 32 თანრიგ რეგისტრებში. თითოეული პარამეტრის მნიშვნელობა შეიძლება გადავცეთ მთავარ სისტემას RS-485 ინტერფეისის გამოყენებით MODBUS პროტოკოლით. მოცემული მოწყობილობის სამუშაო ძაბვაა 85–250 ვოლტი.



გამოკვლევების ჩატარებისათვის ჩვენს მიერ აღებული იქნა ერთი ასეთი მოწყობილობა, რომელიც განკუთვნილია 1ა-მდე დატვირთვის პირდაპირი ჩართვისათვის.

ამ მოწყობილობის სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა წარმოდგენილია ნახ.4.14-ზე.

თითოეული ნათურის გამოკვლევების ჩატარების პროცესში ჩვენ გამოვიყენეთ ფაზა-ნულში ნათურების ჩართვის სქემა. სადაც დავადგინეთ თითოეული ტიპის ნათურის მიერ მოხმარებული აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები, სიმძლავრის კოეფიციენტი. ამ ნათურების დატვირთვით გამოწვეული დამახინჯების სიმძლავრეები. გამოვიკვლიეთ სხვადასხვა ტიპის ნათურების ქსელში ერთდროულად ჩართვის შემთხვევაში ჯამური დამახინჯების სიმძლავრისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობების ცვლილების ხასიათი.



**ნახ.4.14. N14 მოწყობილობის სამფაზა ოთხსადენიან ქსელში ჩართვის სქემა**

გაზომვის სისტემაში მაღალი ძაბვის მხარეზე პარამეტრების გასაზომად გამოიყენება მოწყობილობა ND20 (ნახ.4.13.ბ). ეს მოწყობილობა ასევე განკუთვნილია სამფაზა ელექტროქსელის პარამეტრების გაზომვის, ასახ-

ვისა და ციფრული გადაცემისათვის. მას ახასიათებს შემდეგი უპირატესობები N14-თან შედარებით:

- მაღალი სიზუსტე;
- დენისა და ძაბვის ჰარმონიკების, THD გაზომვის შესაძლებლობა;

მოწყობილობა ND20-ის საშუალებით შესაძლებელია ძალოვანი ელექტრული მოწყობილობების და სისტემების მუშაობის კონტროლი და ოპტიმიზაცია.

ადაპტერი PD10-ში ჩაშენებულია სიგნალების მიმღები (RXD) და გადამცემი (TXD). მათი მეშვეობით ხორციელდება მონაცემთა მიღება და გადაცემა RS-485 ინტერფეისის მეშვეობით.

კონტროლერს წარმოადგენს მცირე ზომის სისტემური ბლოკს. მასზე დაყენებულია Windows ოპერაციული სისტემის შემცირებული ვარიანტი. სისტემაში შემავალი მოწყობილობები PD10 ადაპტერების მეშვეობით უკავშირდებიან კონტროლერის USB პორტებს.

საინჟინრო სადგური წარმოადგენს პერსონალური კომპიუტერის აუდიოსისტემისა და უწყვეტი კვების წყაროს (UPS) ერთობლიობას. პერსონალურ კომპიუტერზე დაყენებულია პროგრამული პაკეტი Trace Mode. საინჟინრო სადგურსა და კონტროლერს შორის კავშირი განხორციელებულია LAN ქსელის მეშვეობით.

პერსონალური კომპიუტერის ფუნქცია არის:

- ინფორმაციის გაცვლა მოწყობილობებთან;
- პერსონალური კომპიუტერის მონიტორზე ინფორმაციის გამოტანა ელექტრული პარამეტრების, ამომრთველების მდგომარეობების შესახებ რეალური დროის რეჟიმში;
- ამომრთველების და გამთიშველების ვირტუალური მართვა ვირტუალური დილაკების საშუალებით;
- საადრიცხვო ჟურნალის წარმოების შესაძლებლობა;
- ხმოვანი გამაფრთხილებელი სიგნალების გაცემა;

- გამაფრთხილებელი სიგნალებისათვის ზღვრული დანაყენების მართვის შესაძლებლობა;
- პარამეტრების დაგროვება მონაცემთა ბაზაში;
- მონაცემთა ბაზის პერსონალის მიერ დათვალიერების შესაძლებლობა ამორჩეულ დროით ჭრილში;
- საარქივო მონაცემების მობილურ მატარებელზე გადატანის შესაძლებლობა.

გაზომვის წერტილებში ხდება ხაზური და ფაზური ძაბვების, დენების, სიმძლავრეების, სიხშირისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის პარამეტრების კონტროლი. ბლოკების რაოდენობა აირჩევა საკონტროლო წერილების მიხედვით.

საკონტროლო წერტილები შერჩეულია ისე, რომ შესაძლებელი იყოს მიღებული და გაცემული სიმძლავრეების და ენერგიების დაბალანსება.

მონიტორინგის სისტემა ღია სისტემაა და ექვემდებარება განვითარებას. მომავალში სისტემის განვითარება შესაძლებელია განხორციელდეს მასში სხვა ენერგომომხმარებლების ჩართვით. შესაძლებელია აგრეთვე მონიტორინგის სისტემის ფუნქციური გაფართოება ელექტრომომარაგების სისტემის კომპიუტერული მართვის მიზნით.

მონაცემთა არქივაცია ხორციელდება SQL Server მონაცემთა ბაზის სახით. არქივის დასათვალიერებლად გამოყენებულია MS Access-ის ფორმები.

არქივში ინახება სისტემის მონიტორინგის ფუნქციით განსაზღვრული ყველა პარამეტრი. შესაძლებელია არქივის დათვალიერება და გადატანა სხვა კომპიუტერზე იგივე პროგრამული უზრუნველყოფით დათვალიერების მიზნით.

არქივის დათვალიერება არ აჩერებს პროგრამის მონიტორინგის რეჟიმში მუშაობას და იგი აგრძელებს პარამეტრების მოგროვებას და შენახვას.

არქივი საშუალებას იძლევა დავათვალიეროთ ელექტრული პარამეტრები, ამომრთველების და გამთიშველების მდგომარეობები.

## თავი V. ექსპერიმენტული ნაწილი

### 5.1. ზოგადი ცნობები

წინამდებარე თავში გთავაზობთ პრაქტიკული ექსპერიმენტების შედეგებს სხვადასხვა სინათლის წყაროებისათვის. ექსპერიმენტის მიზანია განისაზღვროს საყოფაცხოვრებო გამოყენების სხვადასხვა ნათურის ეკონომიური ეფექტიანობა და მწარმოებლის მიერ გაცხადებული მახასიათებლების რეალურთან შესაბამისობა. ასევე სხვადასხვა ნათურებისათვის ჩატარებულია ცდების სერიები მოხმარებული სიმძლავრისა და სინათლის ნაკადის განსაზღვრის მიზნით.

ამჟამად ყოფა-ცხოვრებაში გამოიყენება 4 ტიპის ნათურა:

1. ჩვეულებრივი ვარვარა ნათურები - რომელშიც ვარვარა სხეული მოთავსებულია გამჭირვალე ვაკუუმურ ჭურჭელში და მასში ელექტრული დენის გავლის გამო ხურდება მაღალ ტემპერატურამდე. რის შედეგადაც გამოასხივებს ფართო სპექტრალურ დიაპაზონში, მათ რიცხვში ხილულ სინათლეს. ვარვარა სხეულად ამჟამად ძირითადად გამოიყენება ვოლფრამის სპირალი.
2. ჰალოგენური ნათურები - იგივე ვარვარა ნათურებია, რომლის ბალონში დამატებულია ბუფერული აირი ჰალოგენების ბრომის ან იოდის ორთქლი.
3. კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები - წარმოადგენენ აირგანმუხტვის სინათლის წყაროებს, რომლებშიც ხილული სინათლე გამოსხივდება ძირითადად ლუმინოფორით, რომელიც თავის მხრივ ანათებს განმუხტვის ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედებით; თვითონ განმუხტვაც გამოასხივებს ხილულ სინათლეს, მაგრამ უმნიშვნელოდ.
4. შუქდიოდური ნათურები - რომლებიც სინათლის წყაროდ გამოიყენებენ შუქდიოდებს - ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებს ელექტრონულ-ხვრელური გადასასვლელით, რომლებიც მათში დენის გატარების დროს ქმნიან ოპტიკურ გამოსხივებას.

მიუხედავად იმისა, რომ საცხოვრებელი სახლების განათების დანადგარების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის წილი შედარებით მცირეა, ენერგომოხმარების შემცირების პოტენციალი ამ სექტორში განსაკუთრებით დიდია. ეს განპირობებულია იმით, რომ საქართველოში საცხოვრებელი სახლების განათებისათვის ძირითადად გამოიყენება ტრადიციული, დაბალი შუქგაცემის მქონე ვარვარა ნათურები. მათი წილი ახლოა 100 %-თან. ამიტომ სწორად და დროულად იქნა დასმული ტრადიციული სანათებიდან უფრო ეფექტურ სინათლის წყაროებზე, უპირველესად ინტეგრირებული გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის მქონე კომპაქტურ ლუმინესცენციურ და შუქდიოდურ სანათებზე გადასვლის საკითხი. მათ გააჩნიათ E 14, E 27 და E 40 ტიპის ცოკოლები, რომლებიც იძლევიან ვარვარა ნათურის პირდაპირ შეცვლის საშუალებას.

კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებზე ფართოდ გადასვლის ეფექტურობა ერთი შეხედვით სრულიად ცხადია. რადგან მათ დაახლოებით 5-6-ჯერ მეტი სინათლის გაცემა და 5-10-ჯერ მეტი მუშაობის ხანგრძლივობის ვადა, ვიდრე ვარვარა ნათურების. მაგრამ ახლო განხილვის დროს ყველაფერი ასე მარტივად არ არის ამ ნათურებს გააჩნიათ მთელი რიგი სერიოზული ნაკლოვანებები.

ცნობილია, რომ ისინი წარმოადგენენ ქსელში არასინუსოიდურობის მძლავრ წყაროებს [44,45]. არაწრფივობის ძალით მათი მახასიათებლების არაწრფივობის ძალითა და ფუნქციონირების თავისებურებებით ისინი გენერირებენ ქსელში მესამე და სხვა მთელ რიგ კენტი რიგის დენისა და შესაბამისად ძაბვის ჰარმონიკებს რომელთა სავარაუდო ფორმები წარმოდგენილია (ნახ.5.1÷ნახ.5.4)-ზე, რასაც მივყავართ მთელ რიგ სერიოზულ ნეგატიურ შედეგებამდე, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, თუ ასეთი ნათურების წილი ქსელის საერთო მოხმარებაში მნიშვნელოვანია:

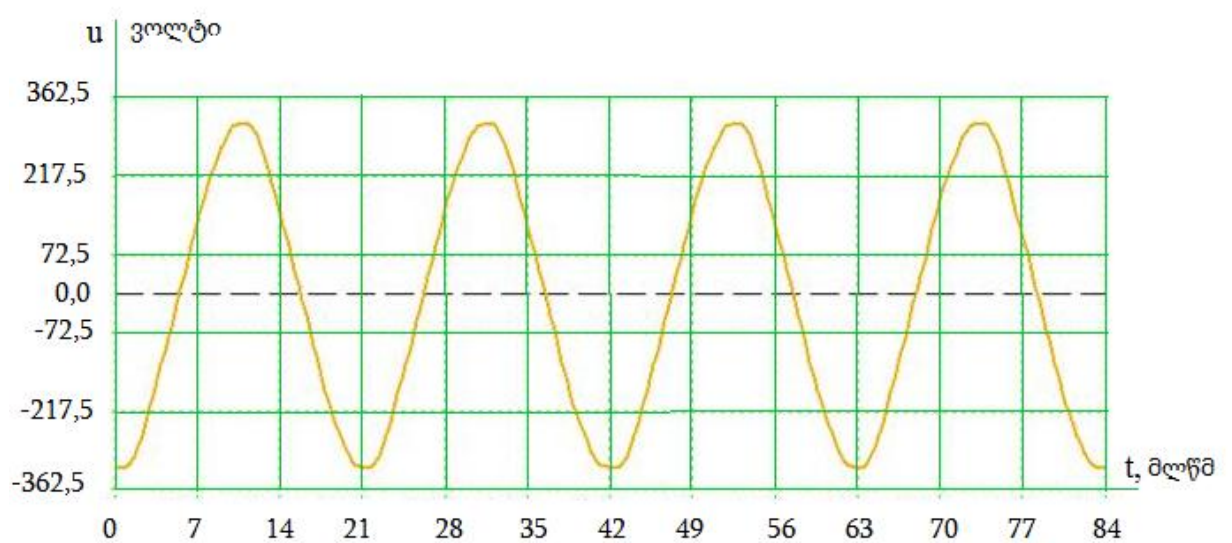
1. დენის ჰარმონიული მდგენელების მე-3 და კენტი ჰარმონიკები ერთმანეთს არ აკომპენსირებენ, რასაც ადგილი აქვს ძირითადი ჰარმონიკისათვის, და იწვევს მკვებავი კაბელების ნულოვანი ძარღვის

მნიშვნელოვან დენურ გადატვირთვებს. ამას მივყავართ ამ ძარღვის დაზიანებამდე და გაწვამდე. დამატებით წარმოიშვება პრობლემები ქვესადგურების ძალურ ტრანსფორმატორებში;

2. საცხოვრებელი კორპუსების ქსელებში ჰარმონიკების არსებობის გამო ხდება ნულოვანი გამტარის მნიშვნელოვანი გადატვირთვა. ამის შედეგად ხდება ნულოვანი გამტარის საკონტაქტო შეერთების დაზიანება, რაც იწვევს ელექტრომიმდებებზე ძაბვის აწევას 220-დან 380 ვ-მდე, დაშედეგად ელექტროსაყოფაცხოვრებო და ელექტრონული ხელსაწყოების დაზიანებასა და ხანძრის გაჩენას;

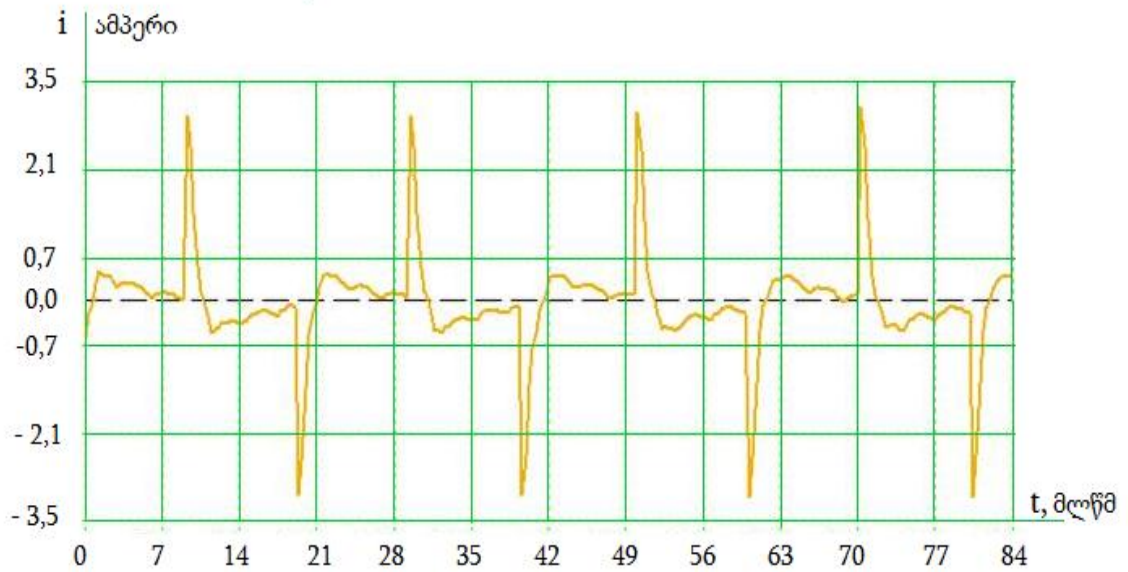
3. წარმოიქმნება ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებები, რომლებიც ელექტროსაყოფაცხოვრებო და ელექტრონული ხელსაწყოების ნორმალური მუშაობისათვის ქმნიან პრობლემებს;

4. დამატებითი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გამო მავნე ზემოქმედებას ახდენენ ადამიანის ორგანიზმზე;



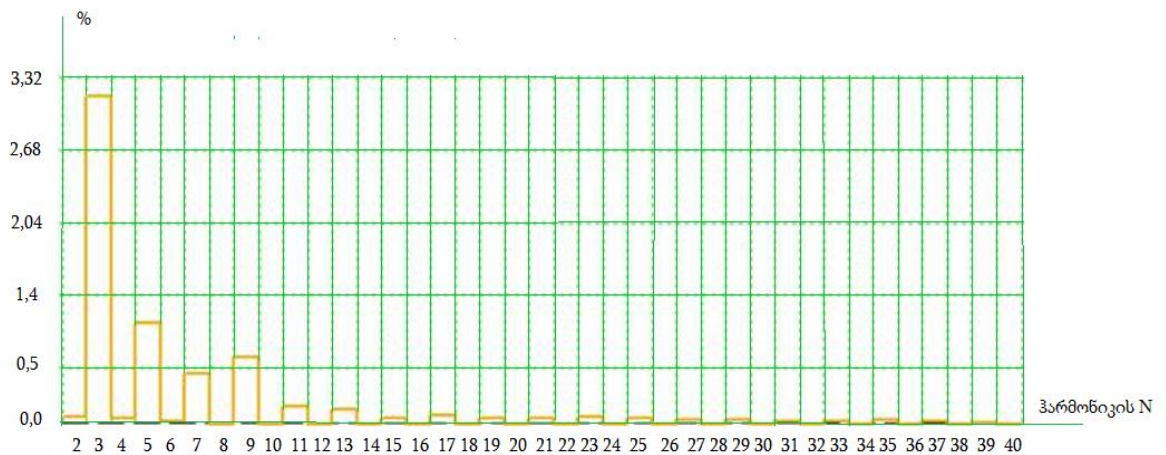
ნახ.5.1. კვების ძაბვის გრაფიკი.

მეორე მხრივ, კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებს, რომელთაც აქვთ იაფი ელექტრონული გამშვი აპარატურა, გააჩნიათ 100 ჰც სიხშირის სინათლის ნაკადის პულსაცია. ეს იწვევს თვალის დაღლასა და ორგანიზმის საერთო დაქანცვას.



ნახ.5.2. ნათურის დენის გრაფიკი, ამპერი

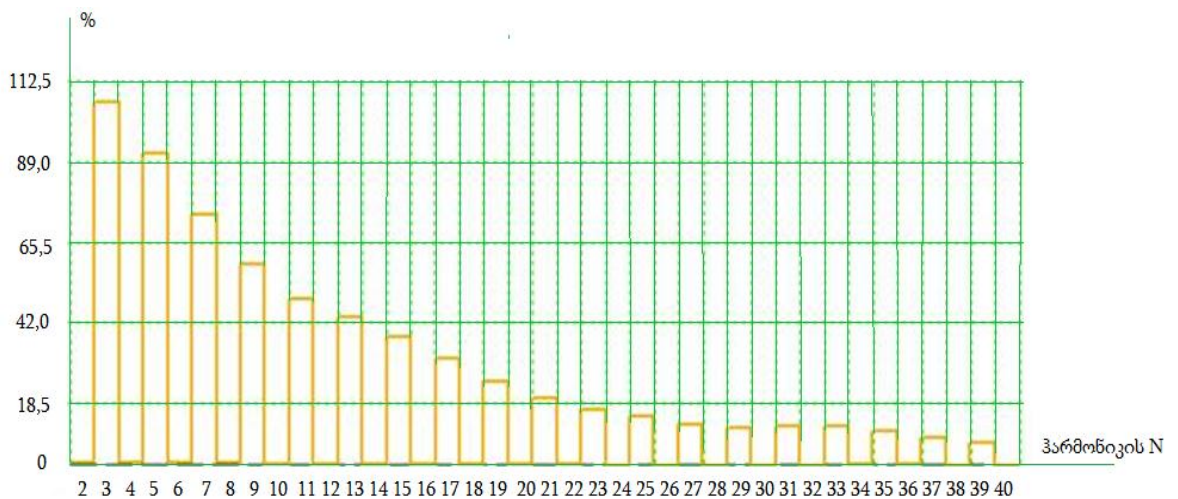
მესამე - უმეტესი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების პარამეტრები და მახასიათებლები დამოკიდებულია ჩართვის სიხშირეზე. ხშირი ჩართვა-გამორთვა ნეგატიურად აისახება ნათურის მუშაობის ხანგრძლივობის ვადაზე და დროთა განმავლობაში ეცემა სინათლის ნაკადი.



ნახ.3. კვების ძაბვის ჰარმონიული სპექტრი, %

მეოთხე - საცხოვრებელი ინტერიერისათვის განკუთვნილი სანათების უმეტესი ნაწილი კონსტრუირებულია ვარვარა ნათურებისათვის სამუშაოდ, რომელთაც, როგორც წესი, გააჩნიათ სივრცეში სინათლის

ნაკადის განაწილების უნარი. რაც არსებითად განსხვავდება კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების სინათლის ნაკადის განაწილებისაგან. ამიტომ ვარვარა ნათურების პირდაპირმა შეცვლამ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით შეიძლება მიგვიყვანოს სინათლის ნაკადის გაუთვალისწინებელ დანაკარგებამდე, შენობაში სიკაშკაშის შესამჩნევ ცვლილებამდე და მხედველობის დისკომფორტამდე [46,47]. გარდა ამისა განათებულობის კომფორტულობა ბევრად არის დამოკიდებული სინათლის წყაროს გამოსხივების სპექტრზე, ხოლო ვარვარა და კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებს აქვთ გამოსხივების სრულიად განსხვავებული სპექტრები. ამიტომ ფერთა მახასიათებლებისა და სინათლის განაწილების მიხედვით განსხვავება კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებს აძლევს პერსპექტივას ერთმნიშვნელოვნად შეცვალონ ვარვარა ნათურები.



ნახ.5.4. ნათურის დენის ჰარმონიული სპექტრი,%

უნდა აღინიშნოს კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების კიდევ ერთი თავისებურება - სინათლის ნაკადი შეიძლება დამოკიდებული იყოს ნათურის მუშა მდგომარეობაზე და გარემოს ტემპერატურაზე.

კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებში ვერცხლისწყლის არსებობა მოთხოვს მის აუცილებელ უტილიზაციას.

ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი ჰარმონიკების დონის შემცირება წარმოადგენს ელექტრული ენერჯის ხარისხის პრობლემის ნაწილს.



რა თქმა უნდა ზემოთ ნაჩვენები მრავალი პრობლემა ტექნიკურად შეიძლება გადაწყვეტილი იქნეს როგორც თვით ნათურის, ასევე მისი გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის კონსტრუქციული პარამეტრების ცვლილებით. ელექტრონული გამშვი-მარეგულირებელი აპარატურის უფრო რთული სქემოტექნიკური გადაწყვეტის შემთხვევაში, კერძოდ სიმძლავრის კოეფიციენტის აქტიური კორექტორის არსებობისას, შესაძლებელია მნიშვნელოვნად შემცირდეს უმაღლესი ჰარმონიკების შემცველობა [45,47,48], გამოირიცხოს სინათლის ნაკადის პულსაცია, ასევე პრაქტიკულად გამოირიცხოს სინათლის ნაკადსა და ნათურის მუშაობის ხანგრძლივობაზე ჩართვის სიხშირის გავლენა. მაგრამ ამ დროს ასეთი ნათურის ღირებულება თითქმის ორჯერ ზრდება, მისი კონსტრუქცია რთულდება, ხოლო საიმედოობა მცირდება. თანამედროვე ტექნოლოგიური შესაძლებლობის დროს ასეთი მოდერნიზებული ნათურის საშუალო ღირებულება დაახლოებით 25-50 ლარია. მაგრამ როგორც პრაქტიკული გამოცდილება გვიჩვენებს ასეთი ნათურების გამოყენება ეკონომიურად ეფექტურია, თუ მათი ღირებულება არ აღემატება 12-13 ლარს.

ზემოთ ნაჩვენები ტექნიკური ხარვეზების გამო დასავლეთ ევროპაში არსებითად უარი თქვეს სიმძლავრის უკორექტორო კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების ფართო გამოყენებაზე და გადავიდნენ კორექტორიან მოდერნიზებულ კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებზე. რა თქმა უნდა ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენებენ კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებს კორექტორის გარეშე, მაგრამ მხოლოდ მაშინ, როცა ეს ტექნოლოგიურად დასაშვებია (მაგალითად არასაცხოვრებელ შენობებში) და თუ საერთო დატვირთვაში მათი წილი მცირეა და ისინი არსებით გავლენას ვერ ახდენენ მკვებავ ქსელზე.

ჩვენს ქვეყანაში ასეთ კორექტორიანი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები გაყიდვაში არ არის. იაფფასიანი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მასიურად დანერგვის გამო რაღაც დროის შემდეგ გვექნება ზემოთ ხსენებული პრობლემების მთელი სპექტრი - მასიურად

გამოვა მწყობრიდან ძალური კაბელები და სხვა ელექტრომოწყობილობები, მოხდება ელექტრონული მოწყობილობების მასიური მტყუნებანი წარმოშობილი დაბრკოლებების გამო, მოხდება ადამიანის ჯანმრთელობის გაუარესება და სხვა.

ამასთანავე არსებობს ენერგოდაზოგვის მოცემული ამოცანების ოპტიმალური გადაწყვეტის შესაძლებლობა. მაგალითად, შუქდიოდური ნათურების გამოყენება.

ამჟამად ყველგან ტარდება განათების დანადგარების ენერგოეკონომიურობის ამაღლების ღონისძიებები. განათების ტექნიკაში, განსაკუთრებით საყოფაცხოვრებო განათების სფეროში ენერგოდაზოგვის ერთ-ერთ გზას წარმოადგენს შუქდიოდური ნათურების გამოყენება, რომელთა დანიშნულებაა პირდაპირ შეცვალონ ვარვარა ნათურები. შუქდიოდური ნათურების წარმოების მოცულობა და ნომენკლატურა ყოველწლიურად იზრდება. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მოცემული ნათურების ექსპლუატაციისათვის არ მოითხოვება სანათი დანადგარების ახალი ელექტრული ინფრასტრუქტურა და როგორც შედეგი, ახალი ენერგოეკონომიური სინათლის წყაროების დანერგვის დროს არ მოითხოვება ახალი კაპიტალური დანახარჯები.

კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მასიური გამოყენების შესახებ გადაწყვეტილების მიღება ისე, რომ არ განვიხილოთ ალტერნატიული ვარიანტები თითოეულ დარგში მათი გამოყენების შესახებ მიგვაჩნია ნაჩქარევად, ტექნიკურად და ეკონომიურად დაუსაბუთებლად.

## **5.2. კომპაქტურ ლუმინესცენციური ნათურების მახასიათებლების**

### **გამოკვლევა**

კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მახასიათებლებისა და ელექტროენერგიის ხარისხის გამოკვლევის მიზნით ჩვენს მიერ კვლევები ჩატარებული იქნა როგორც სხვადასხვა ფირმების მიერ წარმოებულ ცალკეულ ნათურებზე, ასევე ნათურების ჯგუფზე. საკვლევ ობიექტად

შერჩეული იქნა ქვემოთ ჩამოთვლილი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები (ნახ.5.5): Navigator (სიმძლავრით 11, 15, 20 ვტ), Toshiba (25 ვტ), Volpe (20 ვტ), Ecola (20 ვტ) IEK (11 ვტ) Uniel (9 ვტ), Feron (11 ვტ)



**ნახ.5.5. კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები: ა- Navigator; ბ- Toshiba; გ-Volpe; დ-Ecola; ე- IEK; ვ- Uniel; ზ- Feron ფორმის.**

ცხრილი 5.1-ში მოყვანილია სხვადასხვა სიმძლავრის ნათურების გაზომვის შედეგები, რომლებიც შესრულებულია სისტემა SCADA-ს გამოყენებით.

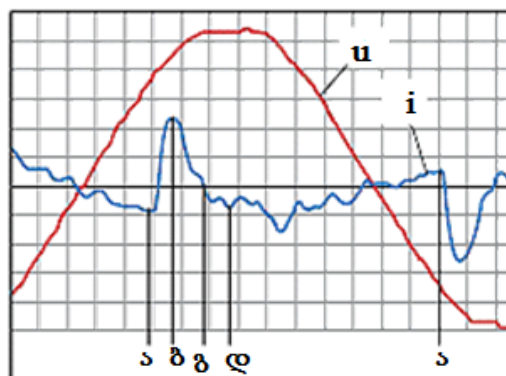
**ცხრილი 5.1. სხვადასხვა ნათურების სიმძლავრეთა გაზომვის შედეგები**

N	ნათურის ტიპი და მწარმოებელი ქვეყანა	საპასპორტო სიმძლავრე, P <sub>ნომ.</sub> ვტ	გაზომილი სიმძლავრე, ვტ	ნომინალური სიმძლავრის %
1	Navigator (ჩინეთი)	20	12	60
2	Toshiba (იაპონია)	25	20	80
3	Volpe	20	17	85
1	2	3	4	5
4	Ecola	20	16	80
5	IEK	11	9	82
6	Uniel	9	8	88
7	Feron	11	8	72
8	Navigator (20ვტ)+	20+25+9 = 54	50	92 %

Toshiba (25 ვტ) + Uniel 99 ვტ)	ვტ		
-----------------------------------	----	--	--

გაზომვებმა გვიჩვენეს შთამბეჭდავი შედეგები. ამ გაზომვების თანახმად ცალკე აღებული კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურა მოიხმარს უფრო ნაკლებ ელექტრო-ენერგიას, ვიდრე ნაჩვენებია მწარმოებლის მიერ, ანუ ვარვარა ნათურასთან შედარებით მოიხმარს არა 5-ჯერ არამედ 6-8-ჯერ ნაკლებ აქტიურ ელექტროენერგიას. ამავე დროს გაზომვებში მონაწილე ნათურების რაოდენობისა და სახესხვაობების გაზრდით იზრდება არა მარტო საერთო გაზომილი სიმძლავრე, არამედ თითქოსდა თითოეული ნათურის სიმძლავრეც.

ამ პარადოქსალური მოვლენის ახსნა შეიძლება ნახ.5.14-ზე წარმოდგენილი ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამიდან, როგორც ლიტერატურიდან [44] ცნობილია, ცალკე აღებული კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის დენი ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული არასინუსოიდურობით. ნახ.5.6-ზე [44]-დან მოყვანილია ნათურის დენის ოსცილოგრამის ერთი ნახევარპერიოდი. მრუდის ფორმა მხოლოდ ცალკეულად მოგვაგონებს სინუსოიდს. ამ დროს ნათურის დენი შეიცავს მე-2, მე-3, მე-5 და ა.შ. ჰარმონიკების მნიშველოვან პროცენტს. ეს ჰარმონიკები ახდენენ გავლენას ხელსაწყოთა ჩვენებებზე მოხმარებული ელექტროენერგიისა და სიმძლავრის სიდიდის შემცირების მხარეს.



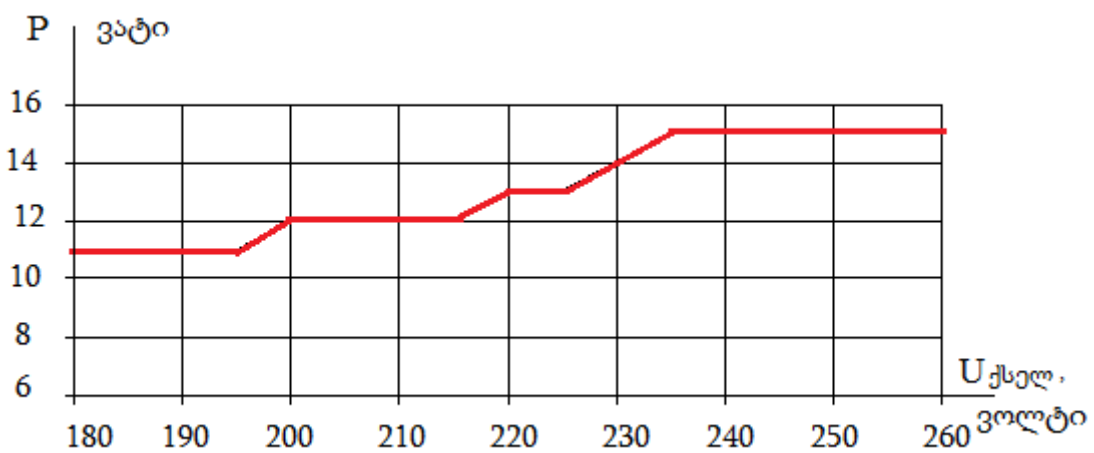
ნახ.5.6. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ის ფირმის ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამა

ნახ.5.6 ოსცილოგრამაზე შეიძლება გამოვყოთ უბნები: სადაც ხდება აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარების ზრდა („ა-ბ“ უბანი), სადაც ხდება რეაქტიული ენერჯის გაცემა და აქტიური სიმძლავრის მოხმარების ნულამდე შემცირება („ბ-გ-დ“ უბანი). „ა-ბ“ უბანზე ქსელიდან ერთდროულად ხდება კვების ბლოკის კონდენსატორის დამუხტვა და კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის დატვირთვის კვება. „ბ-გ-დ“ უბანზე დამუხტული კონდენსატორი ქსელის მიმართ იქცევა ისე როგორც ტევადობა - აქ დენის ვექტორი წინ უსწრებს ძაბვის ვექტორს. ძაბვა კონდენსატორზე რაღაც დროის განმავლობაში აღმოჩნდება ქსელის ძაბვაზე მეტი და ქსელიდან მოხმარებული დენი ეცემა ნულამდე. დაწყებული ამ უბნიდან კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის დატვირთვა (მაღალ-სიხშირული გარდამქმნელი) ენერჯიას იღებს კონდენსატორიდან იმ მომენტამდე, სანამ ძაბვა მასზე გახდება მზარდ ქსელის ძაბვაზე ნაკლები (წერტილი „ა“ შემდგომ ნახევარპერიოდში) [49].

უბანი „დ-ა“ მრიცხველისათვის წარმოადგენს დამამუხრუჭებელს, რადგან ამ უბანზე დენისა და ძბვის ვექტორები მიმართულია ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ. ამით შეიძლება აიხსნას მრიცხველის ჩვენების შემცირება. ამასთანავე სურათი თანდათანობით იცვლება გაზომვებში მონაწილე კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების რაოდენობის გაზრდით. ასე მაგალითად, თუ ცალკეული ნათურის გაზომილი სიმძლავრე შეადგენს საპასპორტო მონაცემის 60 %-ს, მაშინ ნათურების ჯგუფურად გაზომილი სიმძლავრე უახლოვდება მათი ნომინალური საპასპორტო სიმძლავრეების ჯამს. შედეგად ჯამური დენის მრუდი შეიძლება აღმოჩნდეს არა ისეთი დამახინჯებული, როგორც ცალკეული კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის შემთხვევაში.

ასევე გამოკვლეული იქნა ნათურების აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის, მუშა ზედაპირის განათებულობების დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე და ნათურის დენის სპექტრალური შემადგენლობა.

ნახ.5.7-ზე წარმოდგენილია 15 ვტ სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათურის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე. კვლევის შედეგიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ამ ნათურის აქტიური სიმძლავრე 220 ვ ძაბვის დროს არ შეესაბამება მწარმოებლის მიერ გამოცხადებულ ნომინალურ სიმძლავრეს, კერძოდ, იგი არის არა 15 არამედ 13 ვატი. ანალოგიური შედეგები იქნა მიღებული დანარჩენი ნათურების გამოკვლევებისას. მწარმოებლის მიერ გამოცხადებული სიმძლავრიდან გადახრა მერყეობდა  $\pm (1\div 6)$  ვტ-ის ფარგლებში.



ნახ.5.7. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ს ფირმის ნათურის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე

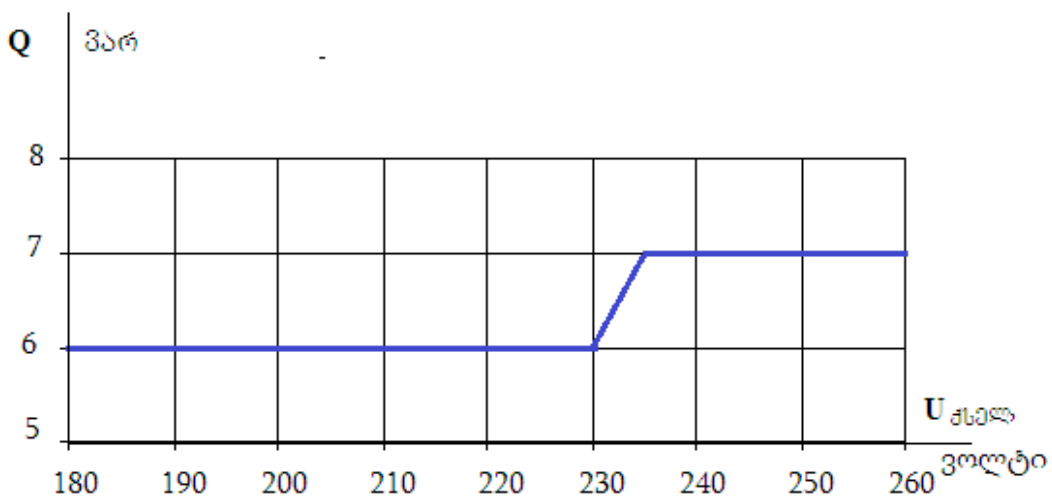
აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მიღებული შედეგებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურებზე ნაჩვენებია არა აქტიური სიმძლავრე არამედ სრული სიმძლავრე 220 ვ ძაბვის დროს. ნახ.5.7-ზე და ნახ.5.8-ზე ნაჩვენები შედეგების მიხედვით 15 ვტ სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათური-სათვის 220 ვ ძაბვის დროს სრული სიმძლავრე ტოლია:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{13^2 + 6^2} = 14,34 \text{ ვა}$$

მიღებული შედეგებიდან ასევე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები მუშაობენ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციის რეჟიმში. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე 220 ვ ძაბვის დროს მწარმოებლისა და ნათურის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების

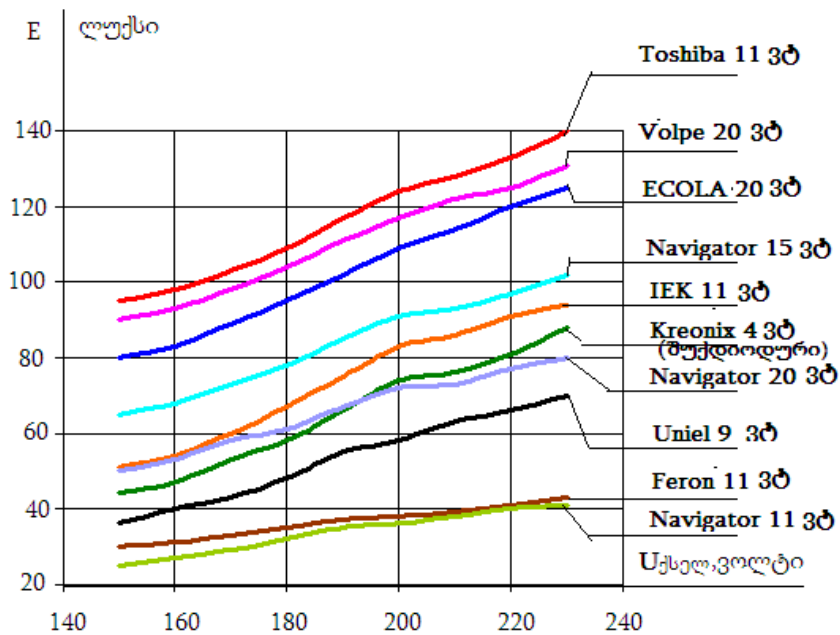
მიხედვით შეადგენს მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის (33÷50) %-ს. ამასთან დაკავშირებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ენერგოდამზოგი ნათურების გამოყენებას რეაქტიული სიმძლავრის განაწილებულ წყაროდ, მაქსიმალურად მიახლოებული რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებლისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს:

- განიტვირთოს მკვებავი ქსელი რეაქტიული სიმძლავრისაგან;
- შევამციროთ ქსელში ძაბვის ვარდნები, ასევე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები საკაბელო ხაზებსა და ტრანსფორმატორებში.
- გავზარდოთ საკაბელო ხაზებისა და ტრანსფორმატორების გამტარუნარიანობა.



**ნახ.5.8. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator-ს ფირმის ნათურის რეაქტიული სიმძლავრის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვაზე**

აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ძაბვაზე დამოკიდებულების გამოკვლევის შემდეგ ჩატარებული იქნა კვლევითი სამუშაოები მუშა ზედაპირის განათებულობის დასადგენად. კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ნახ.5.9-ზე.



ნახ.5.9.ნათურების მუშა ზედაპირის განათებულობის მრუდები.

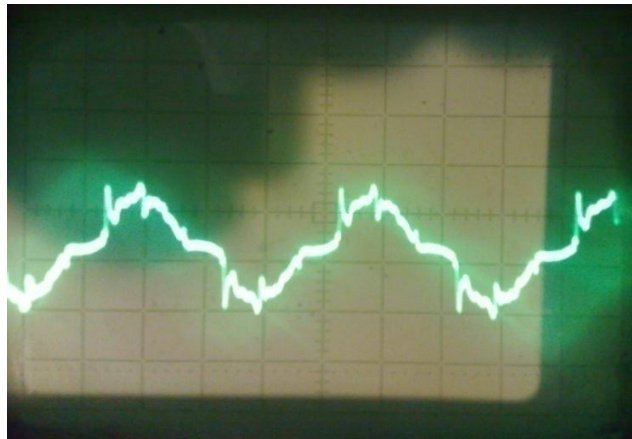
როგორც ნახ.5.9-დან ჩანს, რომ ერთი და იგივე ნომინალური სიმძლავრის კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურის მიერ მუშა ზედაპირის განათებულობა ერთმანეთისაგან განსხვავებულია და დამოკიდებულია მწარმოებელზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ მაგალითად ერთი და იგივე 20 ვტ სიმძლავრის შემთხვევაში ყველაზე კარგი განათებულობა აქვს Volpe-ს ფირმის ნათურას, რომლის განათებულობა 1,5-ჯერ აღემატება იმავე სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათურის განათებულობას. საპასპორტო მონაცემების მიხედვით ორივე ფირმის 20 ვტ სიმძლავრის ნათურის განათებულობა ეკვივალენტურია 100 ვტ ვარვარა ნათურის განათებულობის. Volpe-ს ფირმის ნათურა, როგორც ინტერნეტიდან ცნობილია, გადიან მკაცრ ტესტირებას გაცხადებული სასაქონლო მახასიათებლების შესაბამისობაზე და აკმაყოფილებს საპასპორტო მონაცემებს. უცნობია მათი მწარმოებელი ქვეყანა, ხოლო Navigator -ის ფირმის ნათურების მწარმოებელი ქვეყანა ჩინეთია და ამ ფირმის ნათურები ვერ აკმაყოფილებენ საპასპორტო მონაცემებს.



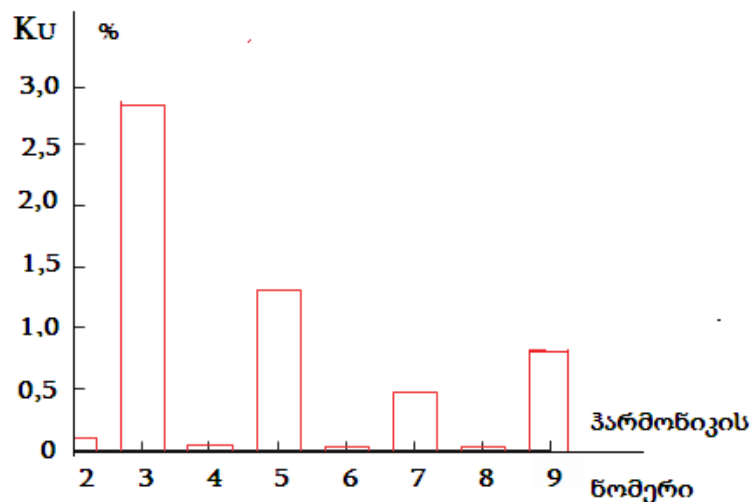
ნახ.5.9-ზე შედარებისათვის წარმოდგენილია 4 ვტ სიმძლავრის Kreonix ფირმის შუქდიოდური ნათურის განათებულობა, რომელიც აღმატება 20 ვტ-იანი Navigator -ის, 11 ვატიანი Feron -ის და 9 ვტ-იანი Uniel-ის ფირმის ნათურების განათებულობას.

ნახ.5.10-ზე წარმოდგენილია 15 ვტ სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათურაში გამავალი დენის მრუდის ოსცილოგრამა, რომლის ფორმა არსებითად განსხვავდება სინუსოიდისაგან.



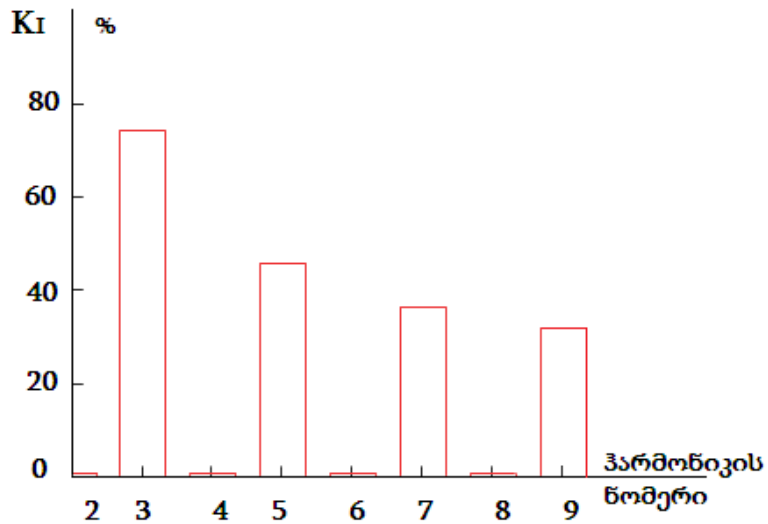
ნახ.5.10. 15 ვტ სიმძლავრის Navigator -ის ფირმის ნათურაში გამავალი დენის მრუდის ოსცილოგრამა.

ნახ.5.11-ზე წარმოდგენილია ჰარმონიკის ნომრების მიხედვით ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის  $K_u$ -ს განაწილება პირველი ჰარმონიკის %-ში.



ნახ.5.11. ძაბვის ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი

ნახ.5.12-ზე წარმოდგენილია ჰარმონიკის ნომრების მიხედვით დენის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის  $K_I$  -ს განაწილება პირველი ჰარმონიკის %-ში.

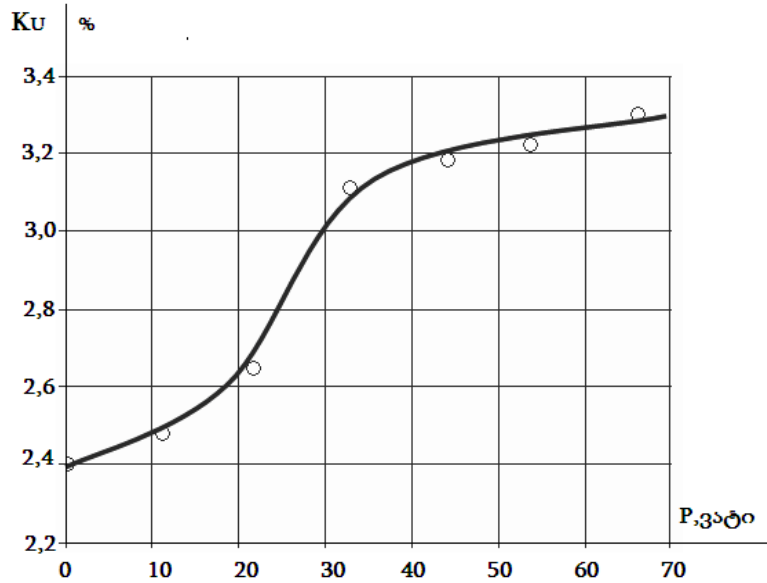


ნახ.5.12. დენის ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი

მიღებული შედეგების თანახმად ძაბვისა და დენის ჰარმონიულ მდგენელებში სჭარბობს კენტი რიგის ჰარმონიკები. განსაკუთრებით დამახინჯებულია დენის მრუდი. მესამე ჰარმონიკის სიდიდე აღწევს დენის პირველი ჰარმონიკის 74 %-ს. მე-5, მე-7 და მე-9 ჰარმონიკებს ასევე გააჩნიათ არსებითი მნიშვნელობები და აღწევენ დენის პირველი ჰარმონიკის (35÷50) %-ს. ძაბვის მესამე ჰარმონიკის სიდიდე 0,38 კვ ქსელში არ აღემატება ნორმალურად დასაშვებ მნიშვნელობას - 5 %-ს. მაგრამ ტენდეცია იწვევს საშიშროებას.

ნახ.5.13-ზე წარმოდგენილია ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დამოკიდებულება კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მიერ მოხმარებულ სიმძლავრეზე.

როგორც ნახ.5.13-დან ჩანს, კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მიერ აქტიური სიმძლავრის მოხმარების უმნიშვნელო გაზრდაც კი იწვევს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის გაზრდას.



**ნახ.5.13. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის დამოკიდებულება კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მიერ მოხმარებულ სიმძლავრეზე.**

საშიშროებას წარმოადგენს ის, რომ სამფაზა ქსელებში ფაზური დენების მოქმედ მნიშვნელობებში უდიდეს წილს შეადგენენ სამის ჯერადი ჰარმონიკები, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ დაძრულნი არიან  $360^\circ$ -ით, ანუ ფაზით ერთმანეთს ემთხვევიან, ქმნიან ნულოვანი თანმიმდევრობის სისტემას და იკრიბებიან ნეიტრალურ სადენში, რის გამოც ნეიტრალში გამავალმა საერთო დენმა შეიძლება გადააჭარბოს ფაზურ დენებს და გამოიწვიოს ნეიტრალური სადენის გადატვირთვა. ამიტომ წარმოიშვება მათი კვეთის გაზრდის საჭიროება. არასინუსოიდური დენის გავლის შედეგად შესაძლებელია ასევე გამტარებისა და კაბელების იზოლაციის დაძველების დაჩქარება ზედაპირული და სიახლოვის ეფექტების შედეგად კაბელების ძარღვების გარე ზედაპირის გახურების გამო.

ვარგარა ნათურების შეცვლამ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით წარმოშვა ორი პრობლემა: კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების უტილიზაციისა და მათი გამოყენების ეკონომიურად მიზანშეწონილობის პრობლემა.

კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები, ჩვეულებრივი ლუმინესცენციური ნათურების მსგავსად შეიცავენ ვერცხლისწყალს, ვერცხლისწყლის ამაღლამს და ზოგიერთ შემთხვევაში ვერცხლისწყლის ტოქსიკურ ნაერთებს. ერთი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურა შეიცავს 3-5 მილიგრამ ვერცხლისწყალს.

არსებობს საკითხის ეკონომიური მხარე. ვარვარა ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით მნიშვნელოვნად ამცირებს ელექტროენერჯის მოხმარებას და შესაბამისად ელექტროენერჯის გადასახადს. მაგრამ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები მნიშვნელოვნად ძვირია ვარვარა ნათურებზე. წარმოიშვება საკითხი კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების გამოსყიდვის ვადის შესახებ. 2014 წლის მონაცემების მიხედვით თუ შევიძენთ 20 ვტ სიმძლავრის კომპაქტურ ლუმინესცენციურ ნათურას, რომლის ღირებულებაა 8 ლარი და შევადარებთ ანალოგიური სინათლის ნაკადის მქონე 80 ვტ სიმძლავრის ვარვარების ნათურას, ხოლო ელექტრო-ენერჯის ტარიფი მოსახლეობისათვის შეადგენს 0,18 ლარი/კვტ.სთ, მაშინ მივიღებთ შემდეგ შედეგებს:

- თუ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურა უწყვეტად იქნება ჩართული

დღე-ღამის განმავლობაში, მაშინ მისი გამოსყიდვის ვადა შეადგენს 31 დღე;

- თუ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურა ჩართული იქნება დღე-ღამის განმავლობაში 4 საათი, მაშინ მისი გამოსყიდვის ვადა შეადგენს ნახევარ წელს;

- მხოლოდ ზაფხულში აგარაკზე ცხოვრების დროს (საშუალოდ წელიწადში 60 დღე) და დღე-ღამეში 8 საათის განმავლობაში განათების ჩართვის შემთხვევაში გამოსყიდვის ვადა შეადგენს 1,5 წელიწადს;

- ავტოფარეხებში, ბოსტნეულის საწყობებსა და სხვა იშვიათად გამოსაყენებელ სათავსოებში სადაც დღეღამეში საშუალოდ განათება ჩართულია 15 წთ, გამოსყიდვის ვადა შეადგენს 8 წელს.

ჩატარებული გაანგარიშებებიდან ჩანს, რომ მოსახლეობისათვის ლუმინესცენციური ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით უმრავლეს შემთხვევაში ეკონომიურად არამომგებიანია. ასევე არამომგებიანია მათი გამოყენება ისეთ საწარმოო შენობებში, სადაც განათების ჩართვა იშვიათად ხდება. მოსახლეობის ეკონომიური დაინტერესება მოხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების ღირებულება მკვეთრად შემცირდება. ეს კი მოხდება ნათურების წარმოების გაფართოებით.

ამგვარად, ვარვარა ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით ეკონომიურად ყოველთვის გამართლებული არ არის. ენერგოდამზოგ ნათურებად კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების გამოყენების ზრდამ შეიძლება მიგვიყვანოს ელექტრომომარაგების საიმედოობის სერიოზულ პრობლემებამდე. ამასთან დაკავშირებით ენერგომომარაგებელმა ორგანიზაციებმა საჭიროა გაითვალისწინონ ჰარმონიკების დონის შემცირების ღონისძიებები. სამეცნიერო სფეროში აქტუალურია საყოფაცხოვრებო ელექტრომიმღებების ელექტროენერჯის ხარისხზე გავლენის გამოკვლევა როგორც უშუალოდ მოხმარების წერტილში, ასევე ამ მოხმარებლების მიერ ელექტრომომარაგების საქალაქო სისტემებში შეტანილი დამახინჯების გამოკვლევა.

ყურადსაღებია კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურების მიერ ენერჯის მოხმარების რეჟიმების თავისებურება

### **5.3. შუქდიოდური სანათების პრაქტიკული გამოყენება გარე განათებისათვის საქართველოში.**

გარე განათების სრულ მოდერნიზაციას შუქდიოდური სანათების ბაზაზე საქართველოში პირველად შეუდგა გორის მუნიციპალიტეტი. 2013 წლის 25 დეკემბერს მათ წერილით მიმართეს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტთან არსებულ ენერგეტიკული დანადგარების ტექნიკური დიაგნოსტიკისა და

ენერგოეფექტურობის სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრის ხელმძღვანელს პროფესორ თენგიზ მუსელიანს და მოითხოვდნენ კომპეტენტური სპეციალისტის დასკვნას ქ. გორის გარე განათების სისტემის მოდერნიზაციის მიზანშეწონილობის შესახებ.

იმის გათვალისწინებით, რომ გარე განათების მოდერნიზაცია შუქდიოდური სანათებით არ განხორციელებულა საქართველოს არცერთ რეგიონში და შესაბამისად, ვერ ვხელმძღვანელობთ დამკვიდრებული პრაქტიკით, ამიტომ საჭირო შეიქნა საკითხის ღრმად შესწავლა და საზღვარგარეთის ქვეყნების პრაქტიკული გამოცდილების ანალიზი და დანერგვა.

პროფესორ თენგიზ მუსელიანის მიერ, საკითხის შესწავლის მიზნით, მოთხოვნილი იქნა შემდეგი მასალები: 1. ტექნიკური დავალება; 2. დეფექტური აქტი ქ. გორის ქუჩების განათების მოდერნიზაციის პროგრამით სანათების შეცვლაზე; 3. ქ. გორში შენობებისა და ნაგებობების დეკორატიული მინათების მოდერნიზაციის პროგრამით სანათების შეცვლაზე. 4. მართვის კარადების განაწილება; 5. ქ. გორის ქუჩების კატეგორიები; 6. გარე განათების მართვის ავტომატიზირებული სისტემის დანერგვის სავარაუდო ხარჯთაღრიცხვა.

პროფესორ თენგიზ მუსელიანთან ერთად დავსახეთ სამუშაო გეგმა და ამ გეგმის მიხედვით შევუდექით სამუშაოს შესრულებას.

წარმოდგენილი მასალებიდან, პირველ რიგში დამუშავებული იქნა ტექნიკური დავალების მოთხოვნები, კერძოდ, შესწავლილი იქნა სამუშაოს შედგენილობა და შინაარსი, მოთხოვნები დასამონტაჟებელ მოწყობილობებზე. ქუჩის საფარის განათებულობის დონის ნორმირებული მაჩვენებლები ქუჩის ტიპების მიხედვით. ქ. გორში არის სამი: A, B და C კატეგორიის ქუჩები.

A კატეგორიის ქუჩა-ეს არის მაგისტრალური და საერთო-საქალაქო დანიშნულების ქუჩები, რომელთა სიკაშკაშე ნორმის მიხედვით უნდა იყოს 0,8-1,6 კდ/მ<sup>2</sup>, ხოლო განათებულობა 15-20 ლუქსი.

B კატეგორიის ქუჩა-ეს არის რაიონული დანიშნულების მაგისტრალური და ქუჩები, რომელთა სიკაშკაშე ნორმის მიხედვით უნდა იყოს 0,4-1,0 კდ/მ<sup>2</sup>, ხოლო განათებულობა 10-15 ლუქსი;

C კატეგორიის ქუჩა-ეს არის ადგილობრივი დანიშნულების გზები და ქუჩები, რომელთა სიკაშკაშე ნორმის მიხედვით უნდა იყოს 0,2-0,4 კდ/მ<sup>2</sup>, ხოლო განათებულობა 4-6 ლუქსი.

წარმოდგენილი მასალების ანალიზიდან გამოჩნდა, რომ ქ. გორში ქუჩების განათებისთვის ძირითადად გამოყენებული იყო ნატრიუმის ნათურები ДHaT-70, ДПЛ-125, ДHaT-150, ДHaT-250 და 65-75 ვტ სიმძლავრის კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები, ხოლო შენობა-ნაგებობების მინათებისთვის გამოყენებული იყო ДHaT-70, ДПЛ-400, ДHaT-150, ДPB-500 და 36 ვტ სიმძლავრის კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურები.

პირველ რიგში დავადგინეთ ამ ნათურების პარამეტრები და მახასიათებლები [50,51], რომლებიც წარმოდგენილია ცხრილი 5.2-ში. ამასთან, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ [52]: ДПЛ, ДHaT ნათურებიანი სანათები ამრეკლსა და დამცავ ხუფში წარმოქმნილი დანაკარგების გამო გამოასხივებენ 25-40%-ით ნაკლებ სინათლის ნაკადს. შუქდიოდურ სანათებს კი გააჩნიათ უნარი უზრუნველყონ მაქსიმალურად იდეალურად მიმართული სინათლის ნაკადი.

ДПЛ, ДHaT ნათურებიანი სანათების მიერ მოხმარებული სიმძლავრე, გამშვ-მარეგულირებელ აპარატურაში არსებული დანაკარგების გამო, ნათურებზე ნაჩვენებ სიმძლავრეზე 15-20%-ით მეტია.

ცხრილი 5.2-ის მე-4 სვეტში ნაჩვენებია არსებული სანათების მიერ რეალურად მოთხოვნილი სიმძლავრეები, ხოლო მე-6 სვეტში წარმოდგენილია იმავე განათებულობის შენარჩუნებისთვის საჭირო არსებული სანათების შემცველი შუქდიოდური სანათების სინათლის ნაკადის დასაშვები მნიშვნელობები.

**ცხრილი 5.2. ქ. გორის ქუჩების განათებისა და შენობა-ნაგებობების  
მინათებისთვის გამოყენებული ნათურების პარამეტრები და  
მახასიათებლები.**

N	სანათის ტიპი	სინათლის ნაკადი, ლმ	მოთხოვნილი სიმძლავრე, ვტ	მუშაობის ხანგრძლივობა, სთ	შემცვლელი შუქდიოდური სანათის სინათლის საჭირო ნაკადი, ლმ
1	ДHaT-70	6000	84	10000	3600-4500
2	ДPЛ-125	6250	140	10000	3700-4700
3	ДHaT- 150	14000	170	10000	8400-10500
4	ДHaT- 250	24000	290	10000	14400-18000
5	ДPЛ-400	20000	450	5000	12000-16000
6	ДPВ-500	12225	510	3000	7400-9200
7	კლნ-65 (ეკო)	4800	65	10000	2880-3600
8	კლნ-75 (ეკო)	5550	75	10000	3400-4200
9	კლნ-36 (ეკო)	2900	36	10000	1800-2200

წარმოდგენილი ტექნიკური დავალების მიხედვით შევისწავლეთ შუქ-დიოდური სანათებისადმი საერთო ძირითადი და თითოეული კონკრეტული არსებული სანათის შემცვლელი შუქდიოდური სანათისადმი წაყენებული მოთხოვნები.

საერთო ძირითად მოთხოვნებს წარმოადგენენ:



1. კვების წყაროს სიხშირე-50 $\pm$ 5%;
2. კვების წყაროს ძაბვა-160-260ვ;
3. მუშაობის ხანგრძლივობა-70 000 საათზე მეტი, მუშაობის ვადა  $\geq 5$  წლისა;
4. ნათურის მტვერისაგან და ტენისაგან დაცვის დონე-IP65;
5. ფერის ტემპერატურა 4000-5000K;
6. ფერის გადაცემის ინდექსი (Ra) $\geq$ 75;
7. ელექტროდენით დარტყმისაგან დაცვის მოთხოვნა არა უდაბლეს I კატეგორიისა.

თითოეული კონკრეტული არსებული სანათის შემცვლელი შუქდიოდური სანათისადმი წაყენებული პირველადი მოთხოვნები წარმოდგენილია ცხრილი 5.3-ში.

**ცხრილი 5.3. ტექნიკური დავალების მიხედვით კონკრეტული სანათის შემცვლელი შუქდიოდური სანათებისადმი წაყენებული პირველადი მოთხოვნები.**

N	არსებული სანათი	შემცვლელი შუქდიოდური სანათის პარამეტრები		რაოდენობა
		სიმძლავრე არაუმეტეს, ვტ	სინათლის ნაკადი არანაკლებ ,ლმ	
<b>ქუჩის განათება</b>				
1	ეკო 65	30	3100	1118
2	ეკო 75	40	4000	1073
3	ДHaT-70	65	4500	59
4	ДРЛ-125	90	4700	10
5	ДHaT-150	105	10500	269
6	ДHaT-250	105	10000	371
7	ДHaT-250	135	13500	348
8	ДHaT-250	220	18000	12

<b>სულ ქუჩის განათება</b>				<b>3632</b>
<b>შენობისა და ნაგებობების დეკორატიული მინათება</b>				
1	ეკო-36	30	1800-2200	32
2	ДHaT -70	65	3600-5400	92
3	ДHaT-150	105	8400-19500	489
4	ДРЛ -400	135	12000-16000	103
5	ДРВ-500	105	7400-9200	14
<b>სულ დეკორატიული მინათება</b>				<b>730</b>
<b>სულ სანათების რაოდენობა</b>				<b>4320</b>

როცა საქმე ეხება ისეთ სპეციფიკურ პროდუქტს, როგორც შუქდიოდური სანათებია, ძნელია მისი არჩევა, რადგან პროდუქტი ისეთი ახალია, რომ მხოლოდ ამ სანათების გამოყენების პრაქტიკული გამოცდილება და შუქდიოდების საფუძველზე სანათი ხელსაწყოების კონსტრუირების გამოცდილება თუ დაგვეხმარება.

მსოფლიოში შუქდიოდების მწარმოებელია: აშშ, გერმანია, იაპონია, სამხრეთ კორეა და ჩინეთი. შედარებისთვის მოითხოვება მუშაობის რეჟიმის დამატებითი პარამეტრები: შუქდიოდის მუშაობის რეჟიმი, მუშაობის ხანგრძლივობა, დეგრადაციული მახასიათებლები (სინათლის ნაკადის თანდათანობითი შემცირება) და მწარმოებელი ფირმის დასახელება. თუ შუქდიოდური სანათების მწარმოებელი არ ამჟღავნებს სანათების სრულ მახასიათებლებს, მაშინ ასეთი სანათებისგან თავი უნდა შევიკავოთ.

წარმოდგენილი ტექნიკური დავალების მოთხოვნების მიხედვით ინტერნეტიდან მოძიებული იქნა ისეთი შუქდიოდური სანათები, რომელთა საპასპორტო მონაცემები სრულად იქნებოდა წარმოდგენილი.

ქუჩის განათებისა და შენობა-ნაგებობების არსებული შემცველი შესაბამისი შუქდიოდური სანათები ნაპოვნი იქნა საიტზე: [53], აღნიშნულ სანათებს გააჩნიათ სერთიფიკატებიც.

ცხრილი 5.4-ში წარმოდგენილია ქუჩის განათებისა და შენობა-ნაგებობების მინათების არსებული სანათები და მათი შემცვლელი სანათების ტიპები რაოდენობის, სიმძლავრეებისა და ტექნიკური დავალების მიხედვით სინათლის ნაკადის ჩვენებით.

**ცხრილი 5.4. ქუჩის განათებისა და შენობა-ნაგებობების მინათების არსებული სანათები და მათი შემცვლელი სანათების ტიპები, სიმძლავრეების და სინათლის ნაკადი**

N	არსებული სანათები				შემცვლელი შუქდიოდური სანათები				
	სანათის ტიპი	რაოდენობა	სიმძლავრე, ვტ	ჯამური სიმძლავრე, ვტ	სინათლის ტიპი	რაოდენობა	სიმძლავრე, ვტ	ჯამური სიმძლავრე, ვტ	სინათლის ნაკადი, ლმ
<b>ქუჩის განათება</b>									
1	ეკო 65	1002	65	65,13	OCR26	1118	26	29,07	3100
2	ეკო 75	1073	75	80,48	OCR36	1073	36	38,63	4
3	ДHaT-70	44	84	3,7	OCR54	59	54	3,78	6600
4	ДРЛ - 125	10	140	1,4					
5	ДHaT-150	269	170	45,73	OCR96	651	96	62,5	10200
6	ДHaT-250	1234	290	357,86	OCR96	371	96	35,62	10200
7	ДHaT-250				OCR130	348	130	45,24	13800
8	ДHaT-250				OCR215	12	215	2,58	25800
	სულ	3632		554,3		3632		217,42	

	ქუჩის განათებ ა								
<b>შენობის მინათება</b>									
1	ეკო -36	32	36	1,152	OCR26	32	26	0,83	3100
2	ДHaT-70	92	84	7,728	OCR54	92	54	4,97	5700
3	ДHaT- 150	489	170	83,13	OCR80	489	80	39,12	8700
4	ДРЛ - 400	103	450	46,35	OCR110	103	110	11,33	12400
5	ДРВ-500	14	510	7,14	OCR75	14	75	1,05	8700
	სულ მინათებ ა	730		145,5		730		57,30	
	სულ	4362		699,8		4362		274,72	

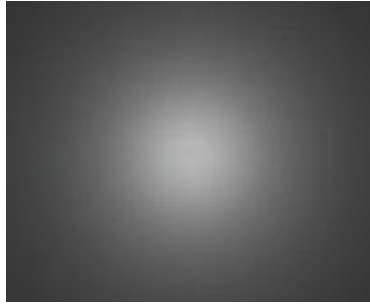
როგორც ცხრილი 5.4-დან ჩანს, მხოლოდ სანათების შეცვლით ქუჩების განათებისა და შენობის მინათებისთვის ამჟამად მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე 699,8 კვტ-დან მცირდება 274,72 კვტ-მდე, ანუ 61%-ით, შესაბამისად მოხმარებული აქტიური ენერჯიაც მცირდება 61%-ით.

შუქდიოდური სანათების გამოყენებისას მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის შემცირებასთან ერთად მცირდება დატვირთვის დანაკარგები ტრანსფორმატორებსა და გადაცემის ხაზებში.

### 5.3.1. შერჩეული შუქდიოდური სანათების შუქტექნიკური მონაცემები

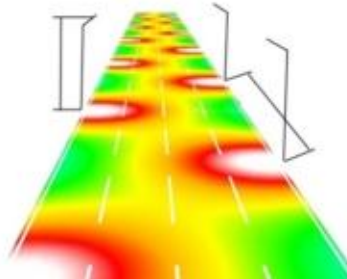
გარდა ზემოთმოყვანილი შუქტექნიკური მონაცემებისა, განათების საქმეში დიდი მნიშვნელობა აქვს სანათის სინათლის ძალის განაწილების მრუდს.

სტანდარტის [54] მიხედვით არსებობს სინათლის ძალის განაწილების შვიდი ტიპი



**ნახ. 5.14. სინათლის ძალის წრიული სახის განაწილების მრუდი**

თუ სინათლის ძალის განაწილების მრუდს აქვს წრიული სახე (ნახ.5.14.), მაშინ იგი ვერ მოგვცემს გზის თანაბარ განათებულობას. საყრდენის ძირში მიიღება ნათელი ლაქა, ხოლო დანარჩენი ბნელი იქნება (5.15).



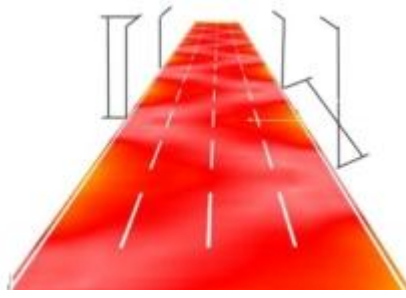
**ნახ.5.15. სინათლის ძალის წრიული სახის განაწილების მრუდის მქონე სანათის მიერ მიღებული განათებულობა**

ამიტომ სამშენებლო ნორმებისა და წესების [55] მიხედვით ავტომაგისტრალებისა და ქუჩებისათვის კატეგორიების მიხედვით გამოიყენება.

II (ნახევრად ფართო) ან III (ფართო) ტიპის სინათლის ძალის განაწილების მრუდის (5.16) მქონე სანათები. აღნიშნული ტიპის სანათები უზრუნველყოფენ ქუჩის თანაბარ განათებულობას (ნახ.5.17)



**ნახ. 5.16. III(ფართო)ტიპის სინათლის ძალის განაწილების მრუდი**



**ნახ.5.17. III (ფართო) ტიპის სინათლის ძალის განაწილების მრუდის მქონე  
სანათის მიერ მიღებული განათებულობა**

თავის მხრივ სინათლის ნაკადის განაწილების მიხედვით სანათები იყოფა ხუთ ჯგუფად. ქუჩის განათებისათვის გამოყენებული შუქდიოდური სანათები უნდა მიეკუთვნებოდეს II ტიპის სანათებს, რომელთა მიერ გამოსხივებული სინათლის 80% მიმართულია ქვედა ნახევარსფეროსკენ. რითაც აღსანიშნავია, რომ ღამის განათება ხელს არ შეუშლის მაცხოვრებლებს.

ქვემოთ მოცემულია შერჩეული შუქდიოდური სანათების ძირითადი პარამეტრები და მახასიათებლები:

1. კვების წყაროს ძაბვა-160-260 ვ;
2. კვების წყაროს სიხშირე-50 ჰც;
3. შუქნაწილების კლასი GOCT 17677-82-ს მიხედვით – II ტიპის;
4. სინათლის ძალის მრუდის ტიპი GOCT 17677-82 –ს მიხედვით – III ტიპის;
5. სანათების დაცვის ხარისხი IP65 (ნესტისგან დაცული);
6. ფერის ტემპერატურა 4900-5100K;
7. ფერის გადაცემის ინდექსი  $Ra = 75$ ;
8. სანათების მუშაობის ხანგრძლივობის ვადა - არანაკლებ 15 წელი;
9. შუქდიოდების რესურსი - არანაკლებ 80 000 სთ;
10. ელექტრული დენით დაზიანებისაგან დაცვის კლასი - 1.

**5.3.2. ეკონომიური გაანგარიშება**

როგორც ავღნიშნეთ, ქ. გორის ქუჩების განათებისთვის არსებული სანათების ჯამური აქტიური სიმძლავრეა 699,72კვტ, ხოლო მათი შემცველი შუქდიოდური სანათებისა - 274,72კვტ. სანათების ჩართვის ხან-

გრძლივობა წელიწადში მიღებულია 4380 სთ-ის ტოლად ( $T_{R.b.} = 8760/2 = 4380$  სთ). ამ დროის განმავლობაში არსებული სანათების მიერ წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს:  $W_1 = 699,8 \times 4380 = 3\,065\,124$  კვტ.სთ.

გარდა მოხმარებული ელექტროენერგიისა უნდა დაემატოს ელექტროენერგიის დანაკარგები ტრანსფორმატორსა და გადაცემის ხაზებში დაახლოებით 3% და დანაკარგების ჩათვლით მოხმარებული ელექტროენერგია ტოლი იქნება:

$$W_1' = 3\,065\,124 \times 1,03 = 3\,157\,078 \text{ კვტ.სთ.}$$

ხოლო შუქდიოდური სანათების მიერ წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია იმავე ჩართვის ხანგრძლივობის შემთხვევაში შეადგენს:

$$W_2 = 274,72 \times 4380 = 1\,203\,274 \text{ კვტ.სთ.}$$

მოხმარებული ელექტროენერგია

მოხმარებული ელექტროენერგია დანაკარგების ჩათვლით ტოლი იქნება:

$$W_2' = 1\,203\,274 \times 1,03 = 1\,239\,372 \text{ კვტ.სთ.}$$

დაზოგვილი წლიური ელექტროენერგია შეადგენს:

$$\Delta W = W_1' - W_2' = 3\,157\,078 - 1\,239\,372 = 1\,917\,706 \text{ კვტ.სთ.}$$

თანხით  $1\,917\,706 \times 0,16 = 306\,833$  ლარი.

დეფექტური აქტის მიხედვით ქ. გორის ქუჩის განათების მოდერნიზაციის ხარჯმა შეადგინა 1333423 ლარი. ანუ აღნიშნული ხარჯი მხოლოდ ელექტროენერგიის დაზოგვის შედეგად იმ შემთხვევისთვის, როცა შუქდიოდური სანათები მოიხმარენ მაქსიმალურ სიმძლავრეს, ანაზღაურდება  $1333423/306833=4,3$  წელიწადში, მაგრამ მოდერნიზაციაში გათვალისწინებულია ქუჩის (გარე) განათების მართვის ავტომატიზირებული სისტემის შექმნა, რომლის დანიშნულება არის ქუჩის (გარე) განათების ქსელების ენერგოეფექტიანი მართვა მუშაობის სადღეღამისო რეჟიმში წინასწარ შედგენილი სცენარის მიხედვით, რაც უზრუნველყოფს მოთხოვნილი სიმძლავრისა და შესაბამისად მოხმარებული ელექტროენერგიის კიდევ უფრო შემ-

ცირებას. ამიტომ უნდა ვივარაუდოთ, რომ გაწეული ხარჯი ანაზღაურდება 2,5-3 წელიწადში. ამასთან თუ გავითვალისწინებთ, რომ შუქდიოდური სანათების მუშაობის ხანგრძლივობა 70 000 საათია, ხოლო წლიურად საშუალოდ განათებისთვის გათვალისწინებულია 4380 სთ, მივიღებთ რომ დარჩენილი 13 წელში  $(70\ 000/4380-3=16-3=13\ \text{წ.})$  შუქდიოდების მიერ მაქსიმალური სიმძლავრის მოთხოვნის პირობებში დაზოგილი ელექტროენერგია შეადგენს  $1917706 \times 13 = 24\ 930\ 178$  კვტ.სთ, ანუ ამჟამინდელი ტარიფით თანხის დანაზოგი შეადგენს 3 988 828 ლარს.

ამასთან, თუ გავითვალისწინებთ, რომ 1 კვტ.სთ ელექტროენერგის მისაღებად თბოელექტროსადგურებში საქართველოში იხარჯება საშუალოდ 280 გ პირობითი საწვავი, მივირებთ, რომ დაიზოგება  $1\ 917\ 706 \times 0,28 = 536\ 958$  კგ = 536,958 ტ

პირობითი საწვავი, რითაც შემცირდება ატმოსფეროში ნახშირმჟავა გაზის გამოფრქვევა. საჭიროა ასევე გათვალისწინებული იქნეს ეკონომია, რომელიც დაკავშირებულია ენერგოდამზოგი ნატურის უმტყუნო მუშაობის დიდ საშუალო დროსთან.

განვიხილოთ სხვადასხვა ტიპის სანათების შეცვლის საჭიროება საექსპლოატაციო ვადის გასვლის შედეგად მწყობრიდან გამოსვლის შემდეგ:

ნატრიუმთან ნატურების მუშაობის ხანგრძლივობა საშუალოდ 15 000 საათია, ამიტომ არსებული სანათების შეცვლის საჭიროება განისაზღვრება ფორმულით.

$$T_1 = T_{\text{წ.წ.}}/15000 = 4380/15000 = 0,29 \text{ – ჯერ წელიწადში;}$$

შუქდიოდური სანათების შეცვლის საჭიროება:

$$T_2 = T_{\text{წ.წ.}}/80000 = 4380/80000 = 0,055 \text{ – ჯერ წელიწადში;}$$

აღნიშნული გაანგიშება გვიჩვენებს, რომ სანათების გამოცვლის საექსპლოატაციო ხარჯები მცირდება:

$$0,29/0,055 = 5,3 \text{ - ჯერ.}$$



დამატებით უნდა გავითვალისწინოთ, რომ შუქდიოდური სანათები არ შეიცავენ მომწამლავ ნივთიერებებს, არ საჭიროებენ უტილიზაციისთვის საჭირო დამატებით ხარჯებს [56].

დამატებით უნდა გავითვალისწინოთ, რომ შუქდიოდური სანათები არ შეიცავენ მომწამლავ ნივთიერებებს, არ საჭიროებენ უტილიზაციისთვის საჭირო დამატებით ხარჯებს [56].

**P.S.** ჩვენს მიერ გაცემული დასკვნა განხილული იქნა, როგორც ქ. გორის მუნიციპალიტეტში, ასევე ენერგეტიკის სამინისტროში. ამ დასკვნის საფუძველზე გამოცხადდა ტენდერი, რომელშიც გაიმარჯვა Energy Efficiency Georgia, LLC (საქართველო)-მ.

დასასრულს მინდა ავლნიშნო, რომ როგორც ქ. გორის მუნიციპალიტეტმა გვაცნობა, პირველ ეტაპზე, ქ. გორში ელექტროფიკაციის დასახლებაში მოეწყო ქუჩის განათება შუქდიოდური სანათების. სულ დამონტაჟდა 57 ცალი სანათი, თითოეულის სიმძლავრე 36 ვტ. მთლიანი დადგმული სიმძლავრე 2.05კვტ.

იგივე განათებულობის პირობებში დაყენებული იყო 150 ვტ სიმძლავრის 57 სანათი, საერთო სიმძლავრით 8,55 კვტ, ანუ მოთხოვნილი სიმძლავრე შემცირდა 4,2-ჯერ.

## დასკვნები

1. დადგენილია, რომ ვარვარა ნათურებისა და სხვა დაბალეფექტური სანათების შეცვლა წარმოადგენს ბაზისურ ენერგოდამზოგ ღონისძიებას.

2. არაადეკვატურმა განათებამ შეიძლება მიგვიყვანოს არა მარტო ელექტროენერჯის დანაკარგებთან, არამედ პერსონალის ჯანმრთელობისა და ფსიქოლოგიური მდგომარეობის ნეგატიურ ეფექტებამდე, რომლებიც მოიცავს თავის ტკივილს, სტრესსა და მომატებულ სისხლის წნევას.

3. ვარვარა ნათურის ენერგოდამზოგი ნათურით შეცვლისათვის საჭიროა შევირჩიოთ ენერგოდამზოგი ნათურებიდან (აირგანმუხტვის, გოგირდიანი, შუქდიოდური) ერთ-ერთი, რომლის სინათლის ნაკადის საპასპორტო მონაცემი ტოლი იქნება ვარვარა ნათურის.

4. გაშლილი ჩანაცვლების სქემის საფუძველზე შედგენილია დაბალი ძაბვის ქსელის მათემატიკური მოდელი სქემის ელემენტების გათვალისწინებით. რომლითაც ელექტრული ქსელის ნებისმიერ დატვირთულ კვანძში შეიძლება განისაზღვროს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების მექანიზმი.

5. ელექტროენერჯის მონიტორინგის სისტემა SCADA-ს გამოყენებით დადასტურებული იქნა კონკრეტულ ობიექტის ელექტრულ ქსელებში დამახინჯების სიმძლავრის არსებობა. განსაზღვრული იქნა ამ დამახინჯების სიმძლავრის სიდიდე და ამ სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის თვითური დანაკარგები მკვებავ ელექტრულ ქსელში.

6. ელექტრული წრედების თეორიის საფუძველზე მიღებული იქნა ძაბვისა და დენის ფურიეს მწრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე დამახინჯების სიმძლავრის გასაანგარიშებელი გამოსახულება, სრული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების წინასწარი განსაზღვრის გარეშე, რაც საშუალებას იძლევა ელექტრულ წრედში დამახინჯების სიმძლავრე განისაზღვროს პირდაპირ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამებიდან ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების მიხედვით.

7. დადგენილია, რომ SCADA სისტემის მახასიათებლები და გამოყენების უნივერსალურობა განაპირობებს მის აქტიურ გამოყენებას მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში. ამ სისტემების გამოყენა ასევე შესაძლებელია სამეცნიერო კვლევებისათვის.

8. ჩატარებული გაანგარიშებებიდან დადგინდა, რომ მოსახლეობისათვის ლუმინესცენციური ნათურების შეცვლა კომპაქტური ლუმინესცენციური ნათურებით უმრავლეს შემთხვევაში ეკონომიურად არამომგებიანია.

9. დადგენილია, რომ მხოლოდ არსებული სანათების შეცვლა შუქდიოდური სანათებით 61%-ით ამცირებს მოთხოვნილ აქტიურ სიმძლავრესა და შესაბამისად მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობას.

## ლიტერატურა

- 1.ГОСТ Р 51387-99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения).
  - 2.თ. მუსელიანი, ი. ქათამაძე. ენერგოეფექტურობის პრობლემები საქართველოში. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომების კრებული.ქუთაისი. 2013 წ. გვ. 106-111.
  - 3.Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1.Линейные электрические цепи .4-е изд. - М.:Энергия, 1970.-592 с.
  - 4.Воротницкий, В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем - М.: Энергоатомиздат, 1983. -368 с.143
  5. ГОСТ 13109 - 97. Электрическая энергия. Совместимость электрических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.— Минск.: Изд-во стандартов, 1998
  6. Карташев, И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения.Способы его контроля и обеспечения.- М.: Изд-во МЭИ, 2000. - 120 с.
  7. В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко и др. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем.- М.: Энергоатомиздат, 1983. - 368 с.
  8. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use / International Organization for Standartization. Geneva, Switzerland, 2011. 22 p.
- URL: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=512](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=512).
9. Энергосбережение в освещении / ООО «Гипрокоммунэнерго». URL: <http://www.gken.ru/lights>
  10. Энергосбережение современными лампами / Компания «Световое оборудование». URL: [http://www.svetpro.ru/htm/informations/info\\_72.html](http://www.svetpro.ru/htm/informations/info_72.html)
  11. Лампа накаливания // Википедия – свободная энциклопедия. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Лампа\\_накаливания](http://ru.wikipedia.org/wiki/Лампа_накаливания)
  12. Смирнов Д.А., Антипов К.М. Справочная книга энергетика. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 440 с.

13. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: ВНИИПО, 1999. 600 с.
14. Компактная люминесцентная лампа // Википедия – свободная энциклопедия. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Компактная\\_люминесцентная\\_лампа](http://ru.wikipedia.org/wiki/Компактная_люминесцентная_лампа)
15. Паламаренко С.И. Люминесцентные лампы и их характеристики / Сайт ПАЯЛЬНИК. URL: <http://cxem.net/sprav/sprav115.php>
16. Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps Text with EEA relevance <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:01:EN:HTML>
17. Безэлектродные СВЧ-разрядные лампы (S-лампы). URL: [http://www.zaonikfi.ru/index-.php?option=com\\_content&view=article&id=41&Itemid=25](http://www.zaonikfi.ru/index-.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=25)
18. Цырук С.А., Ращевская М.А. Развитие светодиодных технологий в системах освещения мегаполисов // Энергосбережение – теория и практика: Тр. IV международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 336 с.
19. Комплекс методических положений и рекомендаций по расчету экономического эффекта от реализации мероприятий по энергосбережению в сфере жилищно-коммунального хозяйства и промышленной энергетики. Москва, 2010. 110 с.
20. Тульчинская Я.И. Методика оценки эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, № 4. стр.570-588.
21. Шидловский А.К., Жаркин А.Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях.– К.: Наукова думка, 2005.– 210 с.
22. ქათამაძე ი. დაბალი ძაბვის არაწრფივი დატვირთვის მქონე ქსელების რეჟიმების მოდელირება. საერთაშორისო პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ № 3 (50). 2014 წ. გვ. 82-84.
23. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 160 с
24. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. 9-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1996. 638 с.

25. თ.მუსელიანი, ი.ქათამაძე, მ.ბახტაძე. არაწრფივი დატვირთვის გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხზე. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომების კრებული. ქუთაისი, 2013 წ.გვ. 24– 28.
26. თ. მუსელიანი, მ. ბახტაძე, ი. ქათამაძე, გ. მუსელიანი. დამახინჯების სიმძლავრე და სიმძლავრის დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში. ჟურ. ენერჯია №2 (70) 2014წ. გვ. 28-32.
27. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. Страхов С.В. Основы теории цепей. М-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 440 с.
28. Шклярский Я.Э. 1, Брагин А.А., Добуш В.С. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, № 4.стр.26-31.
29. თ. მუსელიანი, ი. ქათამაძე, მ. ბახტაძე. დამახინჯების სიმძლავრის განსაზღვრა ძაბვისა და დენის მრუდების ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგების საფუძველზე. ჟურ. „საქართველოს საინჟინრო სიახლეები“. №. 4. 2014 წ. გვ 19-24
30. [www.ledcity.org](http://www.ledcity.org)
31. Хайнрих М. Возможности и тенденции экономии электроэнергии при применении электронных пускорегулирующих аппаратов и светорегулирующей системы LUXCONTROL в осветительных установках // Светотехника. 2007. № 1.
32. ПУЭ, изд. 7-е, перераб. и дополн. Утв. 06.10.1999, действ. с 01.07.2000.
33. Сергеев Б. С., Рошман Э. М., Савельев Е. О. Управление светодиодами матрицами с помощью реактивных элементов // Электричество. 2004. № 9.
34. ГОСТ Р 51317.3.2-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний
35. Титова Г. Р., Гужов С. В. Светодиодные технологии в уличном освещении городов // Пленарные доклады, материалы юбилейной научно-технической конференции. Казань: КГЭУ, 2007.
36. Качество электроэнергии в электрических сетях и способы его обеспечения. Уч. пос. по курсу «Передача и распределение электрической энергии» / Под ред. В. Г. Федченко. М.: Издательство МЭИ, 1992.

37. Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Борисов Р. К., Кужекин И. П., Жуков А. В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. М.: Энергоатомиздат, 2003.
38. Жежеленко И. В., Шиманский О. Б. Электромагнитные помехи в системах электроснабжения промышленных предприятий. Киев: Высшая школа, 1986.
39. Хомицкий С. В., Шунтов А.В. Системы диспетчерского управления сбора данных. Мир компьютерной автоматизации. 2007, 1, 1-12.
40. Зюзев А.М., Нестеров К.Е., Головин И.С. SCADA-системы. Екатеринбург. ГОУ ВПО УГТУ-УЛИ 2009, ст 2-8.
41. Кузнецов А. SCADA системы: програмистом можешь ты не быть. Програмное обеспечение. 2007. 1-4.
42. Пьявченко Т. А. Проектирование АСУТП в SCADA системе. Таганрог «Южный федеральный университет», 2007, ст 5-27.
43. Khedkar M. K., Dhole G. M. Electric Power Distribution Automation. New Dehli. Golden House. 2010. pp 39-48.
44. Петухов В. Энергосберегающие лампы как источник гармоник тока. «Новости ЭлектроТехники», № 5, 2009 г. С. 64 – 66.
45. Гуревич В. Применение энергосберегающих ламп. «Новости ЭлектроТехники», № 6, 2009 г. С. 46 – 48.
46. ГОСТ Р 51317.3.2-2006. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний.
47. Елисеев Н.П., Поливин С.Н., Решенов С.П., Шевцов А.И. Серия энергоэкономичных КЛЛ с колбой спиральной формы. Светотехника, 1997, № 6. С. 29-30.
48. Миллс Э., Симинович М., Пейдж Э. Новое поколение светильников для освещения жилья. Светотехника, 1996, № ½. С. 29 – 33.
49. Фишман В. Энергосберегающие лампы. «Новости ЭлектроТехники», № 6, 2009 г. С. 48
50. ([http://www.necm.ru/upload/iblock/c39/catalog\\_tdm-12.pdf](http://www.necm.ru/upload/iblock/c39/catalog_tdm-12.pdf)),

51. (<http://www.prof-svet.ru/lamps/compact/philips-tornado-high-lumen.html>).
52. (<http://vercity.by/svetilnik-190-vt>):
53. <http://led-st.ru/ulichnoe-osveshchenie>.
54. ГОСТ 17677-82 .Светильники. Общие технические условия.
55. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"
56. თ. მუსელიანი, გ.მთვარელიშვილი, ი.ქათამაძე. შუქდიოდური სანათები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ქუჩის განათებისათვის. ჟურ. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“. № 4, 2014 წ. გვ. 89-91.