

დავით იარალაშვილი

ელექტროენერჯის ხარისხის გამოკვლევა 0,4 კვ ძაბვის  
ქსელებში

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივნისი, 2012 წელი

© საავტორო უფლება დავით იარალაშვილი, 2012 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით დავით იარალაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ელექტროენერჯის ხარისხის გამოკვლევა 0,4 კვ ძაბვის ქსელებში“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: სრული პროფ. თ. მუსელიანი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წელი

ავტორი:	იარალაშვილი დავითი
დასახელება:	ელექტროენერჯის ხარისხის გამოკვლევა 0,4 კვ მაზვის ქსელებში
ფაკულტეტი :	ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
აკადემიური ხარისხი:	დოქტორი
სხდომა ჩატარდა:	თარიღი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

ელექტროენერგია ამჟამად წარმოადგენს ერთერთ მნიშვნელოვან რესურსს, რომელიც გამოიყენება ადამიანის მიერ მისი მოქმედების სხვადასხვა სფეროში. ამავე დროს აბსოლუტურად უმრავლეს შემთხვევაში მისი შეცვლა რაიმე სხვა წყაროს გამოყენებით შეუძლებელია. ელექტროენერგეტიკაში საბაზრო ურთიერთობების განვითარებასთან დაკავშირებით ელექტროენერგია შეიძლება განვიხილოთ არამარტო როგორც ფიზიკური მოვლენა, არამედ როგორც საქონელი, რომელიც იწარმოება, შეისყიდება და იყიდება.

ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროენერგია კი წარმოადგენს საქონელს, მაგრამ ეს არის სრულიად სხვა სახის საქონელი, რომლის თვისებები შეიძლება შეიცვალოს დროის მიხედვით. ელექტროენერგიის ხარისხის მიმართ მომხმარებლის პრეტენზიის შემთხვევაში ეს ელექტროენერგია არ შეგვიძლია მომხმარებელს შევუცვალოთ სხვა ანალოგიურ უკეთესი ხარისხის ელექტროენერგიით. ელექტროენერგიის შემდეგი თავისებურებაა ის, რომ მისი ხარისხი შეიძლება დამოკიდებული იყოს არა მარტო ელექტროენერგიის მიმწოდებელზე, არამედ თვით მომხმარებელზე.

მე-20-ე საუკუნის 80-იან წლებამდე ელექტროენერგიის ძირითად მომხმარებლებს წარმოადგენდნენ წრფივი დატვირთვის მქონე მომხმარებლები, როგორცაა: ელექტრული ძრავები, ვარვარების ნათურები, ელექტროგამათ-ბობლები და სხვა.

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში უკანასკნელ ხანებში ძლიერ გაიზარდა არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე მომხმარებლების (კომპიუტერები, კლიმატ-კონტროლები, UPS-ები, გამმართველები და სხვა) რიცხვი და სიმძლავრე, რომლებიც მოითხოვენ დენს, რომლის ფორმა განსხვავდება სინუსოიდურისაგან. ასეთი ფორმის დენის გავლა ელექტრული წრედის ელემენტებში ქმნის მათზე ძაბვის ვარდნას. ძაბვის ფორმაც ასევე განსხვავდება სინუსოიდურისაგან არასინუსოიდური დენი არის ძაბვის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების მიზეზი.

ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების პრობლემა წარმოადგენს ელექტრომოწეობილობის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნაწილს. მისი მნიშვნელობა ძლიერ გაიზარდა უკანასკნელი 20-25 წლის განმავლობაში ახალი ტექნოლოგიების მძაფრ განვითარებასთან ერთად, რომელმაც ერთის მხრივ მიგვიყვანა ისეთი ელექტრომიმღებების მიერ ელექტროენერგიის გაზრდილ მოხმარებასთან, რომელთაც შეაქვთ დამახინჯებანი ელექტრულ წრედში (გარდამქმნელი დანადგარები, რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები, და სხვა), ხოლო მეორეს მხრივ - ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ელექტრონული ავტომატიზირებული სისტემების ფართო გავრცელებასთან, რომლებიც მგრძობიარენი არიან ძაბვისა და დენის ფორმის დამახინჯებების მიმართ. უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგო-ეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის, საკითხებს. ელექტრომომარაგების ეკონომიური დანახარჯების შემცირება დაკავშირებულია ელექტროენერგიის ხარისხისა და ელექტრომოწეობილობის საიმედოობის ამაღლებას-

თან. თანამედროვე წარმოება-დაწესებულებები, ადმინისტრაციული და საცხოვრებელი შენობები ადჭურვილია საზღვარგარეთიდან შემოტანილი უახლესი ტექნოლოგიური და საყოფაცხოვრებო დანადგარებით.

ნაშრომის I თავში მოყვანილია ლიტერატურულ მიმოხილვის შედეგები, სადაც განხილულია ელექტროენერჯის არაწრფივი მომხმარებლები და მათი გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხზე, ჰარმონიკების ძირითადი წყაროები; უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული პრობლემები და მათი აქტუალობა; ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის გავლენა ელექტრული წრედის ფუნქციონირების ხარისხზე; ჰარმონიკების გავლენა სიმძლავრისა და ენერჯის გაზომვაზე;

ნაშრომის II თავში განხილულია ელექტროენერჯის ხარისხი და მისი მაჩვენებლების გავლენა ელექტრომომხმარებლებზე. განხილულია სტანდარტით დადგენილი ელექტროენერჯის ხარისხის თერთმეტივე მაჩვენებელი: ძაბვის დამყარებული გადახრა ( $\delta U_{ლაკე}$ ); ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U$ ); ფლიკერის დოზა ( $P_f$ ); ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი ( $K_U$ ); ძაბვის n-ური ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი [ $K_{U(n)}$ ]; უკუთანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{2U}$ ); ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{0U}$ ); სისშირის გადახრა ( $\Delta f$ ); ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობა ( $\Delta t_f$ ); იმპულსური ძაბვა ( $U_{imp}$ ); დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი ( $K_{დრ.U}$ ). დაწვრილებით განხილულია და თითოეული ამ მაჩვენებლის გავლენა ელექტრომომხმარებელზე;

ნაშრომის III თავი ეძღვნება ელექტროენერჯის ფაქტიური და ტექნიკური დანაკარგების დადგენას. ელექტრული ენერჯის გადაცემის დროს ელექტრული წრედის თითოეულ ელემენტში ადგილი აქვს ენერჯის დანაკარგებს. ქსელის სხვადასხვა ელემენტებში დანაკარგების მდგენელების შესწავლისა და დანაკარგების შემცირების ამა თუ იმ ღონისძიების ჩატარების საჭიროების შეფასებისათვის პირველ რიგში შესრულებულია ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის ანალიზი. განხილულია ტექნიკური და კომერციული დანაკარგები და ამ დანაკარგების მდგენელები; რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის საკითხები; დაწვრილებით განხილულია კომპიუტერული დატვირთვის გავლენა დენისა და ძაბვის მრუდის ფორმაზე. წარმოდგენილია სამუშაოს ფარგლებში შესწავლილი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მომხმარებელთა სტრუქტურა, რომლის საფუძველზეც განისაზღვრა საერთო დადგმულ სიმძლავრეში თითოეული კატეგორიის მომხმარებლის დადგმული სიმძლავრისა და მოხმარებული ელექტროენერჯის წილი.

ნაშრომის IV თავში წარმოდგენილია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამონტაჟებული ელექტრომომარაგების მონიტორინგის თანამედროვე კომპიუტერული SCADA -ს სისტემა, რომელიც ავტომატურ და უწყვეტ რეჟიმში აკონტროლებს არა მხოლოდ დახარჯული ელექტროენერჯის რაოდენობას, არამედ აკონტროლებს, კომპიუტერის ეკრანზე გამოაქვს და მონაცემთა ბაზაში აგროვებს ელექტროენერჯის კიდევ თერთმეტი პარამეტრის: ხაზური და ფაზური ძაბვების, დენების, აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების, სისშირის, სიმძლავრის კოეფიციენტის, ძაბვისა და დენის

ჰარმონიკებისა და არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობებს. როგორც დაბალი ისე მაღალი ძაბვის მხარეს.

ამავე თავში წარმოდგენილია ამ სისტემის ბაზაზე ჩატარებული სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შედეგები. მიღებული მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრულია ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებით გამოწვეული დანაკარგების რაოდენობა ერთი სასწავლო კორპუსის მაგალითზე. ჩამოყალიბებულია დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების შემცირების ხერხები.

## Abstract

Currently electricity represents one of the most important resources used by human in different fields of man activity. In the same time it is impossible to replace it by using another resources. In electric power industry relative to the development of market relations electricity can be reviewed not only as a physical phenomenon but as a subject of sale, as well, which is produced, purchased and sold.

It has to be mentioned that indeed electricity represents a subject of sale but it is quite different one, properties of which can be changed according to time. In case of customer pretension to the quality of electricity, it can be replaced by analogous one of better quality. The peculiarity of electricity is that its quality may depend not only on electricity supplier but on customer as well.

Before 80-s of the 20<sup>th</sup> century main consumers of electricity were customers of linear loading, such as: electric engines, heat lamps, electric heaters, etc.

It has to be denoted that in Georgia the power and number of consumers of nonlinear current voltage characteristics (computer, climate-control, UPS, adjusters, etc.) has significantly increased in recent years. This needs current different from sinusoidal. Such current passing through electric circuit parts causes voltage drop in them. Voltage form differs from sinusoidal as well. Non-sinusoidal current is the reason of distortion of voltage sinusoidal form.

Through electric nets a problem of high level harmonics represents a part of electromagnetic compatibility of electric facility. Its importance has greatly increased through last 20-25 years together with strong development of new technologies caused, on the one hand, increased consumption of electricity by such electric receivers as ones making distortions in electric circuits (transformer facilities, steel producing furnaces, etc.), and on the other hand, wide spreading electronic automated systems of technological process management. During last decades issues of energy efficiency and saving have been paid significant attention. Decreasing in economical expenses of energy supply is related to rising the reliability of electric facilities and quality of electricity. Modern production-establishments, administrative and residential buildings are equipped with newest technological and household facilities brought from abroad.

In the first chapter of the work, results of literature review are given where nonlinear consumers of electricity and their influence on the quality of electricity, main sources of harmonics; problems caused by major parts of harmonics and their urgency; influence of non-sinusoidal property of current and voltage on functioning quality of electric circuit; influence of harmonics on measuring power and energy, are discussed.

In the second chapter of the work quality of electricity and its data influence on electricity consumers are discussed. All eleven data of electricity quality specified by standard and their influence on electricity consumers are discussed in details. Data of electricity quality: voltage steady-state deviation ( $\delta U_{st.}$ ); voltage variation distance ( $\delta U_t$ ); flicker dose ( $P_t$ ); coefficient ( $K_u$ ) of sinusoidal distortion of voltage curve; coefficient [ $K_{U(n)}$ ] of n-th harmonic constituent of stress; non-symmetry coefficient ( $K_{0U}$ ) of voltage inverse order; frequency deviation ( $\Delta f$ ); duration of voltage falling ( $\Delta t_f$ ); impulse voltage ( $U_{imp}$ ); coefficient of temporary overvoltage ( $K_{temp.U}$ ).

The third chapter of the work is devoted to the establishing real and technical losses of electricity. At transferring electricity energy loss takes place in each part of

electric circuit. For estimation of necessity of various arrangements of loss reduction and learning loss constituents in different parts of the net, first of all, analysis of electricity loss structure is carried out. Technical and commercial losses and constituents of these losses; compensation issues of idle power are discussed. Influence of computer loading on the shape of current and voltage curve are discussed in details. Consumers' structure of technical university of Georgia, learnt in the limits of the work, is represented basing on which a part of consumed electricity and nameplate rating of each category consumer in total nameplate rating was determined.

In the fourth chapter modern computer SCADA system of energy supply monitoring, installed in technical university of Georgia, is represented. This system controls not only spent electricity amount, in automatic and continuous mode, but it controls, displays and collects other eleven data values of electricity in database. These data are: linear and phase voltage, current, active, idle and gross powers, frequency, power coefficient, current and voltage harmonics and coefficients of non-linear distortions, either on the part of high or low voltage.

In the same chapter results of scientific-research works carried out on the base of this system are represented. In the result of received data amount of losses caused by deterioration of electricity quality is determined as exemplified by one academic block. Reduction ways of highest level current harmonics are established.



# შინაარსი

შესავალი

ხვ.....	
.15	
1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	19
1.1. ზოგადი ცნობები .....	19
1.2. ელექტროენერჯის არაწრფივი მომხმარებლები და მათი ზემოქმედება ელექტრულ წრედებზე .....	20
1.3. ჰარმონიკების ძირითადი წყაროები .....	22
1.4. უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული პრობლემების აქტუალობა	25
1.5. მკვებავი ძაბვის ფორმის დამახინჯება.....	26
1.6. ძაბვის ვარდნა გამანაწილებელ ქსელებში.....	28
1.7. რეზონანსული მოვლენები არასინუსოიდური დენის წრედებში .....	30
1.8. უმაღლესი ჰარმონიკები სამფაზა წრედებში.....	33
1.9. სამის ჯერადი ჰარმონიკების ეფექტი.....	34
1.10. სამის ჯერადი ჰარმონიკების არსებობით განპირობებული სამფაზა სისტემების მუშაობის თავისებურებანი.....	36
2. შედეგები და მათი განსჯა.....	399
თავი II. ელექტროენერჯის ხარისხი და მისი მაჩვენებლების გავლენა ელექტრომომხმარებლებზე .....	39
2.1. ზოგადი ცნობები.....	39
2.2. ძაბვის გადახრის გავლენა.....	43
2.3. ძაბვის რხევის (ცვლილების) მანძილის გავლენა.....	50
2.4. ძაბვის არასინუსოიდურობის გავლენა.....	53
2.5. ძაბვის არასიმეტრიულობის გავლენა.....	59
2.6. სიხშირის გადახრის გავლენა.....	62
2.7. ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების გავლენა.....	65
თავი III. ელექტროენერჯის ფაქტიური და ტექნიკური დანაკარგების დადგენა .....	71
3.1. ზოგადი ცნობები .....	71
3.2. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის საკითხები.....	75
3.3. კომპიუტერული დატვირთვის გავლენის გამოკვლევა დენისა და ძაბვის მრუდის ფორმაზე .....	77
3.4. მომხმარებლის სტრუქტურის დადგენა და ენერჯის მოხმარების კვლევა	83

თავი IV. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერჯის მოსმარების მონიტორინგის სისტემა „SCADA’.....	90
4.1. ზოგადი ცნობები .....	90
4.2. შიდა ქსელების კვლევა.....	91
4.3. კომპიუტერული ტექნიკის გავლენის გამოკვლევა.....	101
4.4. კომპიუტერული ტექნიკის დატვირთვით გამოწვეული დანაკარგები.....	110
4.5. დანაკარგები ტრანსფორმატორში.....	111
4.6. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძის მოწყობის შესახებ.....	113
4.7. კომერციული დანაკარგები. ....	117
4.8. საერთო დანაკარგები.....	120
4.9. ჰარმონიკების შემცველობა „სანაპიროს“ ქვესადგურიდან შემომავალი კაბელის ძაბვასა და დენზე.....	124
4.10. დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების შემცირების ხერხები. ....	127
3. დასკვნა .....	129
გამოყენებული ლიტერატურა.....	11311

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.1. ერთფაზა (ა) და სამფაზა (ბ) გამმართველების შესავალი დენების სპექტრები. ....	29
ცხრილი 2.1. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები .....	54
ცხრილი 2.2. ძაბვის $n$ – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში.....	55
ცხრილი 2.3. ევროკავშირის ქვეყნების საკაბელო ხაზებში ძაბვის ჩავარდნის მახასიათებლები .....	66
ცხრილი 2.4. ევროკავშირის ქვეყნების საჰაერო - საკაბელო ხაზებში ძაბვის ჩავარდნის მახასიათებლები .....	67
ცხრილი 2.5. ჭექა-ქუხილის იმპულსური ძაბვის მნიშვნელობები. . . . .	68
ცხრილი 2.6. კომუტაციის იმპულსური ძაბვის მნიშვნელობები . . . . .	68
ცხრილი 2.7. დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტის მნიშვნელობები ..	69
ცხრილი 3.1. სტუ-ს საკუთარი მოხმარების დადგმული სიმძლავრეები	84
ცხრილი 3.2. სტუ-ს კომერციული ქვეაბონენტების მიერ მოხმარებული ენერჯია 2010 წელს .....	86
ცხრილი 4.1. სტუ-ს IX სასწავლო კორპუსის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები.....	100
ცხრილი 4.2. სტუ-ს VI კორპუსის I A-B ბლოკის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები. .	101
ცხრილი 4.3. სტუ-ს VI კორპუსის II A-B ბლოკის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები. .	104
ცხრილი 4.4. სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის I A და B ბლოკების სამუშაო დღის დატვირთვა .....	106
ცხრილი 4.5. სტუ - ს კომერციული ობიექტების მრიცხველების შემოწმების შედეგები. ....	119

## ნახაზების ნუსხა

ნახ.1.1. არასინუსოიდური ფორმის დაბვა.....	21
ნახ.1.2. დამახინჯებული მრუდი = პირველ ჰარმონიკას (50 ჰც) + მე-3 (150 ჰც) + მე-5 (250 ჰც) .....	22
ნახ.1.3. დაბვის „ბრტყელი“ სინუსოიდა.....	27
ნახ.1.4. დაბვის “ბრტყელი” სინუსოიდის ზემოქმედებით დაბვის შემცირების შემთხვევა.....	27
ნახ.1.5. ერთფაზა გამმართველის დენის ფორმა.....	29
ნახ.1.6. სამფაზა გამმართველის დენის ფორმა.....	29
ნახ.1.7. ერთფაზა (ა) და სამფაზა (ბ) გამმართველების შესავალი დენების სპექტრები: .....	29
ნახ.1.8. ერთფაზა უტრანსფორმატორო გამმართველის შესავალზე ფიდერის შესავალი წინაღობის ფარდობითი რეაქტიული მდგენელზე დამოკიდებული დენისა და დაბვის ფორმები.....	30
ნახ.1.9. წრედი არასინუსოიდური ემძ-ის წყაროთი (ა) და ემძ-ების სიდიდეები არასინუსოიდური დენის წრედებში რეზონანსის დროს.....	31
ნახ.1.10. რეზონანსული მოვლენების საკვლევი წრედი.....	32
ნახ.1.11 არაწრფივი დატვირთვის დროს ნეიტრალში დენის ფორმირების პროცესი.....	35
ნახ.1.12. სამკუთხედად (ა) და ღია სამკუთხედად (ბ) შეერთებული გენერატორის ფაზები.....	36
ნახ.2.1. ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ნომინალური და შემცირებული დაბვის დროს. ....	45
ნახ.2.2. ვარვარების ნათურის მახასიათებლების დაბვაზე დამოკიდებულება. ....	48
ნახ.2.3. 1 წუთის განმავლობაში დაბვის ცვლილების განმეორებით სისწირეზე დამოკიდებული მეანდრის ფორმის მქონე დაბვის ცვლილების ზღვრულად დასაშვები მანძილები. ....	51
ნახ.2.4. ფლიკერის ეფექტის გამომწვევი დაბვის რხევის მრუდი .....	52
ნახ.2.5 დაბვის ჩავარდნის შესაბამისი მრუდი.....	66
ნახ.2.6. დაბვის დაკარგვის შესაბამისი მრუდი.....	68

ნახ.3.1. ფაზური და ნულოვანი სადენების დატვირთვები.....	79
ნახ.3.2. სინუსოიდური ფორმის ძაბვა და დენი. ....	81
ნახ.3.3 არასინუსოიდური ძაბვის მრუდის ფორმა.....	81
ნახ.3.4 ფაზურ სადენში გამავალი დენის მრუდის ფორმა.....	81
ნახ.3.5 ნულოვან სადენში გამავალი დენის მრუდის ფორმა.....	82
ნახ.3.6. დენის ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი.....	82
ნახ.4.1. მონიტორინგის სისტემის ძირითადი ეკრანი.....	90
ნახ.4.2. სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსის ელმომარაგების ქსელის სიხშირის საათური ცვლილების გრაფიკი. ....	92
ნახ.4.3. სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსის ელმომარაგების ქსელის სიხშირის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი. ....	92
ნახ.4.4 ობიექტ „თაღლაურას“ მიერ გამოყენებული დანადგარების სიმძლავრის კოეფიციენტის საათური ცვლილების გრაფიკი. ....	93
ნახ.4.5 ობიექტ „თაღლაურას“ სიმძლავრის საშუალო კოეფიციენტის მნიშვნელობები ერთი თვის განმავლობაში დღეების მიხედვით.	94
ნახ.4.6 ადმინისტრაციული კორპუსის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის საშუალო დღიური სიმძლავრის კოეფიციენტი ერთი თვის განმავლობაში.....	95
ნახ.4.7. სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსის ჯამური სიმძლავრის კოეფიციენტის დღეების მიხედვით ცვლილების გრაფიკი.....	96
ნახ.4.8. სტუ-ს ადმინისტრაციული კორპუსის აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეთა დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.....	96
ნახ.4.9. ობიექტ „თაღლაურას“ აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეთა დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.....	97
ნახ.4.10. სტუ-ს ადმინისტრაციული კორპუსის აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეთა საათური ცვლილების გრაფიკი.....	97
ნახ.4.11. ობიექტ „თაღლაურას“ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარების თვიური გრაფიკი.....	98
ნახ.4.12 სტუ-ს IX სასწავლო კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი.....	99
ნახ.4.13 სტუ-ს VI კორპუსის I A-B ბლოკის სიმძლავრის კოეფიციენტის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი. ....	101
ნახ.4.14. სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის I A და B ბლოკების სიმძლავრეთა გრაფიკები დადებითი რეაქტიული სიმძლავრის	

შემთხვევაში.....	107
ნახ. 4.15. სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის I A და B ბლოკების სიმძლავრეთა გრაფიკები უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში.....	108
ნახ. 4.16 ძაბვის მე-2 და მე-3 რიგის ჰარმონიკების შემცველობა 6 კვ ძაბვის მხარეს.....	124
ნახ. 4.17 დენის მე-2 და მე-3 რიგის ჰარმონიკების შემცველობა 6 კვ ძაბვის მხარეს.....	125
ნახ. 4.18 ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი	126
ნახ. 4.19. დენის დამახინჯების კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი	126

## შესავალი

**სამუშაოს აქტუალობა.** ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების პრობლემა წარმოადგენს ელექტრომოწყობილობის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნაწილს. მისი მნიშვნელობა ძლიერ გაიზარდა უკანასკნელი 20-25 წლის განმავლობაში ახალი ტექნოლოგიების მძაფრ განვითარებასთან ერთად, რომელმაც ერთის მხრივ მიგვიყვანა ისეთი ელექტრომიმღებების მიერ ელექტროენერჯის გაზრდილ მოხმარებასთან, რომელთაც შეაქვთ დამახინჯებანი ელექტრულ წრედში (გარდამქმნელი დანადგარები, რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები, და სხვა), ხოლო მეორეს მხრივ - ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ელექტრონული ავტომატიზირებული სისტემების ფართო გავრცელებასთან, რომლებიც მგრძობიარენი არიან ძაბვისა და დენის ფორმის დამახინჯებების მიმართ. უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში ელექტრომომარაგებაში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ენერგოეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის, საკითხებს. ელექტრომომარაგების ეკონომიური დანახარჯების შემცირება დაკავშირებულია ელექტროენერჯის ხარისხისა და ელექტრომოწყობილობის საიმედოობის ამაღლებასთან. თანამედროვე წარმოება-დაწესებულებები, ადმინისტრაციული და საცხოვრებელი შენობები აღჭურვილია საზღვარგარეთიდან შემოტანილი უახლესი ტექნოლოგიური და საყოფაცხოვრებო დანადგარებით.

ასეთ დანადგარებს მიწოდებული ელექტროენერჯის მიმართ გააჩნიათ გარკვეული სახის მოთხოვნები. ერთერთი მათგანია სტანდარტის შესაბამისი ელექტროენერჯის ხარისხი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი ელექტროენერჯის მონიტორინგის „SCADA“ სისტემის საფუძველზე ჩატარებული ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც თვალნათლივ გვიჩვენებენ ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების სტანდარტთან შეუსაბამობას.

სტანდარტის [1] მიხედვით 0,4 კვ ძაბვის ქსელებისათვის არსებობს ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმირებული ნორმალური და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომლებიც შეადგენენ შესაბამისად 8 % და 12 % -ს.

0,4 კვ ძაბვის ქსელებისათვის ძაბვის n-ური რიგის ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი სახელმწიფო სტანდარტით ნორმირებულია თითოეული ჰარმონიკისათვის (ნორმები დადგენილია მე-40 ჰარმონიკამდე).

უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა 0,4 კვ ძაბვის ქსელების დატვირთვის კვანძებში იწვევს ძაბვების დასაშვებზე მეტ მკვეთრ რყევას; ტექნოლოგიური მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლას; ქსელების დატვირთვას; მოაქვს მნიშვნელოვანი მატერიალური ზარალი და ამცირებს ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ტექნიკო-ეკონომიურ მაჩვენებლებს; გარდა ამისა ისინი ახდენენ ნეგატიურ გავლენას ელექტროენერჯის მრიცხველების მუშაობაზე, ზრდიან მათი გაზომვის ცდომილებას.

აღნიშნული პრობლემის შესწავლისადმი მიძღვნილია უამრავი ნაშრომი ისეთი მეცნიერებისა, როგორებიც არიან: ი.ვ. ქუქელენკო [2], ი.ს. ჟელეზკო [3] და სხვა.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის დანაკარგები შეადგენენ ქსელში გაშვებული ელექტროენერჯის 9-10% [4, 5]. მართალია შემცირდა ელექტროენერჯის მოხმარება, მაგრამ გაიზარდა ჯამური დანაკარგები და შეადგენს ქსელში გაშვებული ელექტროენერჯის 8-13 % -ს [5,6]. სპეციალისტების შეფასებით ელექტროენერჯის დანაკარგების ზრდის მიზეზია მოძველებული ელექტროდანადგარები და ელექტროენერჯის კომერციული დანაკარგების ზრდა. ი. ჟელეზკოს გამოკვლევების მიხედვით სასარგებლოდ იხარჯება ენერგორესურსების პოტენციალური ენერჯის 30 % [4].

სახელდობრ, სოფლის მეურნეობაში, ელექტროენერჯის მოხმარება მნიშვნელოვნად შემცირდა აგროსამრეწველო წარმოების შემცირების გამო, ხოლო კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო კომპლექსის მიერ მოხმარებული ენერჯია გაიზარდა.

ელექტრომომარაგების სფეროში ტექნიკური საშუალებების ეფექტური ანალიზისათვის, დამუშავებისა და დანერგვისათვის საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს ელექტროენერჯის დანაკარგების ყველა მდგენელი და მათი აღძვრის მიზეზები.



უკანასკნელ ხანებში ელექტრული რეჟიმების მაჩვენებლების გაზომვის თანამედროვე მრავალფუნქციური საშუალებებისა და კომპიუტერული ტექნიკის გამოჩენისა და გავრცელების ხარჯზე შესაძლებელია ისეთი დამატებითი ფაქტორების ღრმა ანალიზი და აღრიცხვა, რომელთა შეფასება ადრე ძნელი იყო.

დამატებით და მცირედ გამოკვლეული ფაქტორებს მიეკუთვნება ელექტროენერჯის დაბალი ხარისხი და სახელდობრ, დენისა და ძაბვის არასინუსოიდურობა.

ელექტრომომარაგებაში პირველ რიგში ეს დაკავშირებულია დატვირთვის არაწრფივი მახასიათებლის მქონე ელექტრომიმღებების სიმძლავრისა და რაოდენობის ზრდასთან.

ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების საკითხებთან ერთად, უკანასკნელ ხანებში მეცნიერებისა და სპეციალისტების მუშაობა მიმართულია ყველა კლასის ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის გაუმჯობესებისაკენ.

ამ მიმართულებით ძირითადი კვლევები ჩატარებულია ელექტრული ქსელის კვანძებში ელექტროენერჯის ხარისხზე სხვადასხვა ელექტრომიმღებების გავლენის შეფასებისათვის. განხილულ სამუშაოებში ელექტროენერჯის ხარისხის შემცირების დროს გამოკვლეულია ელექტრული ქსელის ელემენტებისა და სხვადასხვა სახის დატვირთვების რეჟიმები და შედგენილია მათი მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან პროექტირების სტადიაზე განსაზღვრული სიზუსტით შეფასოს ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები, ასევე შევიშალოთ ელექტროენერჯის ხარისხის გაუმჯობესების ღონისძიებანი.

[7-9] გამოკვლევების თანახმად ელექტრულ ქსელებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებისაგან გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების დონე შეადგენს სინუსოიდური ძაბვის დროს არსებული მთელი დანაკარგების 9 %-ს. ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებით გამოწვეული დამატებითი დანაკარგების შესახებ სპეციალისტთა აზრი სხვადასხვაა, მაგრამ მათი უმრავლესობა აღნიშნავს, რომ ამ დანაკარგების მნიშვნელობა არსებითია და მათი უგულებელყოფა არ შეიძლება [1,10,11].

ამგვარად, ელექტროენერჯის გადაცემისა და განაწილების ეფექტური შეფასებისათვის აუცილებლად საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ ელექტრო-ენერჯის დამატებითი დანაკარგები.

**სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს:**

- თანამედროვე არაწრფივი ელექტრომომხმარებლების, კერძოდ კომპიუტერული ტექნიკის დატვირთვის გავლენის გამოკვლევა ელექტროენერჯის ხარისხზე;
- სისტემა „SCADA“-ს გამოყენებით სტუ-ს მკვებაზე შემომავალ ფიდერზე ძაბვისა და დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების პროცენტული შემცველობისა და დამახინჯების კოეფიციენტის განსაზღვრა;
- ძაბვისა და დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული დამახინჯების ხარისხის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების განსაზღვრა;
- დამახინჯების სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების განსაზღვრა;

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა.** სადისერტაციო სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს სისტემა „SCADA“-ს გამოყენებაში, რომელიც საშუალებას იძლევა ელექტრული ქსელების არასინუსოიდურ რეჟიმებში მუშაობისას დიდი სიზუსტით განისაზღვროს არა მარტო მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, არამედ დამახინჯების სიმძლავრეც და ამ სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგებიც.

**სამუშაოს აპრობაცია.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა საერთაშორისო კონფერენციაზე „ გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება” 2010

# 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

## 1.1. ზოგადი ცნობები

ელექტროენერგია ამჟამად წარმოადგენს ერთერთ მნიშვნელოვან რესურსს, რომელიც გამოიყენება ადამიანის მიერ მისი მოქმედების სხვადასხვა სფეროში. ამავე დროს აბსოლუტურად უმრავლეს შემთხვევაში მისი შეცვლა რაიმე სხვა წყაროს გამოყენებით შეუძლებელია. ელექტროენერგეტიკაში საბაზრო ურთიერთობების განვითარებასთან დაკავშირებით ელექტროენერგია შეიძლება განვიხილოთ არამარტო როგორც ფიზიკური მოვლენა, არამედ როგორც საქონელი, რომელიც იწარმოება, შეისყიდება და იყიდება. წარმოების ავტომატიზაციის ხარისხის მუდმივ ზრდასა და ახალი მანქანებისა და მექანიზმების დანერგვასთან ერთად მწვავედ დგება მოწყობილობის კვებისა და ძაბვის ხარისხის მიმართ მგრძობიარობის პრობლემა. ელექტროენერგიის დაბალი ძაბვის პრობლემამ შეიძლება გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი ზარალი, რომელიც დაკავშირებულია ტექნოლოგიური მოწყობილობის მუშაობაში მტყუნებებთან და შეფერხებებთან, რის გამოც მცირდება გამოშვებული პროდუქციის რაოდენობა და ამასთანავე ხდება მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლა. ამიტომ ისევე როგორც როგორც ნებისმიერ საქონელს ელექტროენერგიის ხარისხსაც წაეყენება განსაკუთრებული მოთხოვნები და აქედან გამომდინარე არსებობს ელექტროენერგიის ხარისხის მაჩვენებლები.

ითვლება, რომ იდეალურ ენერგეტიკულ სისტემებში ენერგია უნდა გადაიცეს ძაბვისა და სიხშირის ნომინალური მნიშვნელობების დროს. ეს ნომინალური მნიშვნელობები კი დროის მიხედვით არ უნდა იცვლებოდეს. რეალურ ენერგოსისტემებში სისტემებში ეს პირობები არ სრულდება. ენერგეტიკულ სისტემებში ინჟინერ - ენერგეტიკოსების მიერ ძაბვის ფორმის დამახინჯება ამა თუ იმ სახით განიხილებოდა ცვლადი დენის გამოყენების დასაწყისიდან. ამჟამინდელი გაძლიერებული ინტერესი ამ პრობლემის მიმართ დაკავშირებულია არაწრფივი ელექტრონული მოწყობილობების რიცხვისა და სიმძლავრის გაზრდასთან.

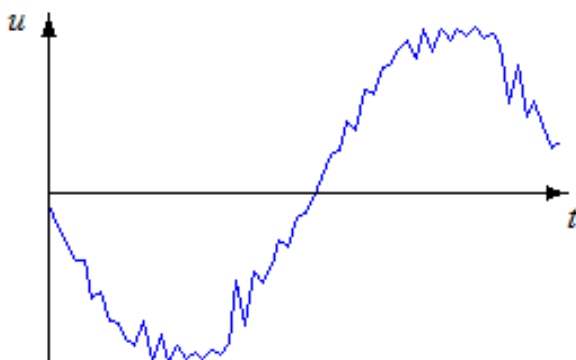
ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროენერგია კი წარმოადგენს საქონელს, მაგრამ ეს არის სრულიად სხვა სახის საქონელი, რომლის თვისებები შეიძლება შეიცვალოს დროის მიხედვით. ელექტროენერგიის ხარისხის მიმართ მომხმარებლის პრეტენზიის შემთხვევაში ეს ელექტროენერგია არ შეგვიძლია მომხმარებელს შევუცვალოთ სხვა ანალოგიურ უკეთესი ხარისხის ელექტროენერგიით.

ელექტროენერგიის შემდეგი თვისებურებაა ის, რომ მისი ხარისხი შეიძლება დამოკიდებული იყოს არა მარტო ელექტროენერგიის მიმწოდებელზე, არამედ თვით მომხმარებელზე. მაგალითად, ელექტროენერგიის მიმწოდებელს შეუძლია მომხმარებლის მიერთების ადგილზე დაიჭიროს ელექტროენერგიის ხარისხის ისეთი მაჩვენებლები, როგორცაა ელექტრული დენის სიხშირე და ძაბვა, მაგრამ ფაზა და დენის ძალა განისაზღვრება მომხმარებლით.

## **12. ელექტროენერგიის არაწრფივი მომხმარებლები და მათი ზემოქმედება ელექტრულ წრედებზე.**

მე-20-ე საუკუნის 80-იან წლებამდე ელექტროენერგიის ძირითად მომხმარებლებს წარმოადგენდნენ წრფივი დატვირთვის მქონე მომხმარებლები, როგორცაა: ელექტრული ძრავები, ვარვარების ნათურები, ელექტროგამათბობლები და სხვა.

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში უკანასკნელ ხანებში ძლიერ გაიზარდა არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე მომხმარებლების (კომპიუტერები, კლიმატ-კონტროლები, UPS-ები, გამმართველები და სხვა) რიცხვი და სიმძლავრე, რომლებიც მოითხოვენ დენს ,რომლის ფორმა განსხვავდება სინუსოიდურისაგან. ასეთი ფორმის დენის გავლა ელექტრული წრედის ელემენტებში ქმნის მათზე ძაბვის ვარდნას. ძაბვის ფორმაც ასევე განსხვავდება სინუსოიდურისაგან (ნახ.1.1) არასინუსოიდური დენი არის ძაბვის სინუსოიდური ფორმის დამახინჯების მიზეზი.



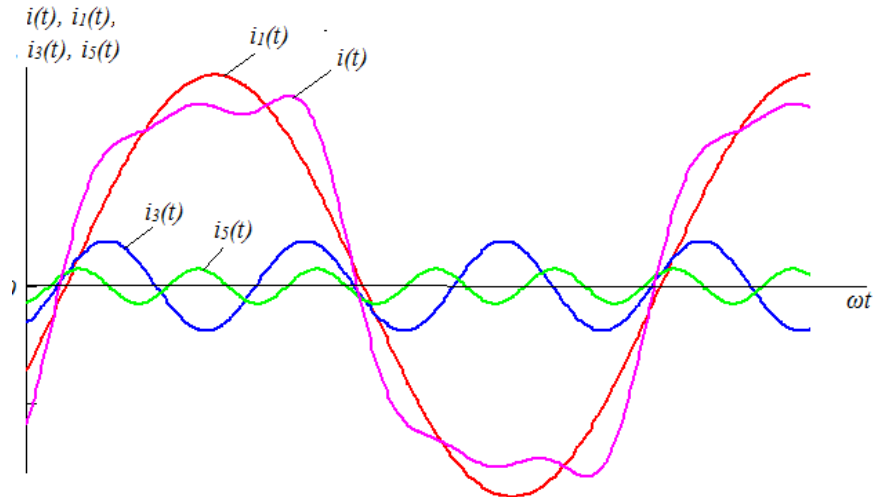
ნახ.1.1. არასინუსოიდური ფორმის დაბვა.

არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმღებები აბინძურებენ ელექტრულ ქსელებს უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით, რომლებიც შემდეგ უარყოფითად მოქმედებენ ელექტროენერჯის ხარისხზე, აღრიცხვის წრედებში ჩართული დენის ტრანსფორმატორების მუშაობის სიზუსტეზე და იწვევენ ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

**რა არის ჰარმონიკა?** ტერმინი „ჰარმონიკა“ მომდინარეობს აკუსტიკიდან, სადაც იგი გამოყენებულია სიმის რხევის აღსანიშნავად იმ სიხშირით, რომელიც რხევის ძირითადი სიხშირის ჯერადია.

დენისა და ძაბვის მრუდების გადახრა სინუსოიდიდან ჩვეულებრივ წარმოდგინდება ჰარმონიული მდგენელების სახით.

დენის ან ძაბვის დამახინჯებული მრუდი შეიძლება დაშლილი იქნეს ფურიეს მკრივად. დამახინჯებული მრუდის წარმოდგენა ფურიეს მწკრივად გულისხმობს ამ მრუდის დაშლას მუდმივ მდგენელად, ძირითად სინუსოიდად (50 ჰც), რომელსაც პირველი რიგის ჰარმონიკა ეწოდება და ამ სიხშირის ჯერადი განსაზღვრული რაოდენობის სინუსოიდებად, რომელთა სიხშირე ძირითადი ჰარმონიკის სიხშირისაგან მთელ რიცხვჯერ განსხვავდება. მათ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები ეწოდებათ. დენისა და ძაბვის არსებული ფორმის მისაღებად, საჭიროა ამ სინუსოიდების შეკრება. შესაბამისად ამ სინუსოიდების ამპლიტუდის, ფაზისა და სიხშირის ცვლილებით იცვლება დენისა და ძაბვის მრუდის ფორმა, როგორც ამ ჰარმონიკების სინთეზის შედეგი.



ნახ.1.2. დამახინჯებული მრუდი = პირველ ჰარმონიკას (50 ჰც) + მე-3 (150 ჰც) + მე-5 (250 ჰც).

მაგალითისათვის ნახ.1.2-ზე წარმოდგენილია დენის დამახინჯებული  $i(t)$ , მრუდის, პირველი  $i_1(t)$  (სიხშირე 50 ჰც), მესამე  $i_3(t)$ , (150 ჰც) და მეხუთე  $i_5(t)$  (250 ჰც) ჰარმონიკები. მათი ჯამი შეადგენს დამახინჯებულ მრუდს.

### 1.3. ჰარმონიკების ძირითადი წყაროები

დენის უმაღლესი ჰარმონიკების ყველაზე უფრო გავრცელებულ წყაროებს წარმოადგენენ: სტატიკური გარდამქმნელები (გამმართველები, უწყვეტი კვების წყაროები, ტირისტორული რეგულატორები, კვების იმპულსური წყაროები, სიხშირული ამძრავები, ელექტროძრავების მდლოვრე გაშვების მოწყობილობები და სხვა); ინდუქციური და რკალური ღუმელები, ლუმინესცენციური ნათურები; კომპიუტერული ქსელები; ტრანსფორმატორები და რეაქტორები; აირგანმუხტვის სანათი მოწყობილობები და ელექტრონული ბალასტები; მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტრორკალური ღუმელები; შედუღების აპარატები; გაუდენთილ ელექტრომაგნიტურ ელემენტებიანი მოწყობილობები;

საყოფაცხოვრებო მოწყობილობებიდან უმაღლესი ჰარმონიკების უფრო ძლიერ წყაროს წარმოადგენს ტელევიზორები. ჰარმონიკების განსაზღვრული დონის შექმნა შეუძლიათ მბრუნავ მანქანებს, მაგრამ ისინი ძირითად წყაროებს არ წარმოადგენენ.

არაჯერადი ჰარმონიკების ძირითად წყაროებს წარმოადგენენ: სისშირის სტატიკური გარდამქმნელები, ციკლოკონვერტორები, ინდუქციური ძრავები, შედუღების აპარატები, რკალური ღუმელები, დადებული სისშირით დენით მმართველი სისტემები.

სისშირის სტატიკური გარდამქმნელები შედგებიან საწყისი სისშირის ცვლადი დენის მუდმივ დენად გამმართველისა და მუდმივი დენის მოთხოვნილი სისშირის ცვლად დენად გარდამქმნელისაგან. მუდმივი დენის ძაბვა მოდულირდება გარდამქმნელის გამოსავალ სისშირედ, რის გამოც შესავალ დენზე აღიძვრება არაჯერადი ჰარმონიკები.

სისშირის სტატიკური გარდამქმნელები ძირითადად გამოიყენება ძრავების სინქარის რეგულირების დროს, რომელთა გამოყენება სწრაფად ვითარდება. რამდენიმე ათეული კილოვატი სიმძლავრის ძრავები უშუალოდ მიერთებულია დაბალვოლტიან ქსელებთან, ხოლო უფრო მეტი სიმძლავრისა – საშუალო ძაბვის ქსელებთან საკუთარი ტრანსფორმატორების გავლით. არაჯერადი ჰარმონიკების სისშირე დამოკიდებულია გარდამქმნელის გამოსავალ სისშირესა და პულსაციასზე. მსგავსი გარდამქმნელები გამოიყენება აგრეთვე საშუალო სისშირეებზე მომუშავე ღუმელებში.

ციკლოკონვერტორები წარმოადგენენ რამდენიმე მეგავატი სიმძლავრის სამფაზა გარდამქმნელებს, რომლებიც საწყისი სისშირის სამფაზა დენს გარდამქმნიან დაბალი სისშირის (15 კვ და ნაკლები) სამფაზა ან ერთფაზა დენად და გამოიყენება დიდი სიმძლავრის ნელმავალი ძრავების კვებისათვის. ისინი შედგებიან ორი მმართველი გამმართველისაგან, რომლებიც დენს ატარებენ ხან ერთი და ხან მეორე მიმართულებით. ციკლოკონვერტორები გამოიყენებიან ძალიან იშვიათ შემთხვევებში. ამ დროს უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების დენები აღწევენ ძირითადი ჰარმონიკის დენის 8-10 %. დიდი სიმძლავრეების გამო ციკლო-კონვერტორები მიერთებულია დიდი სიმძლავრის მოკლედ შერთვის ქსელებთან, ამიტომ ჰარმონიკების ძაბვები ძალიან მცირეა.

ინდუქციური ძრავები მთელ რიგ შემთხვევებში გენერირებენ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებს სტატორსა და როტორს შორის არსებული ღრეჩოს გამო, განსაკუთრებით გაუდენთილი ფოლადის

დროს. როტორის ნორმალური ბრუნვის დროს ჰარმონიკების სიხშირე 500-200 ჰც დიაპაზონშია. მაგრამ ძრავის გაშვებისას ისინი „გაირბენენ“ სიხშირეთა მთელ დიაპაზონს.

შედულების აპარატები და რკალური ფოლადსადნობი ღუმელები გენერირებენ ჰარმონიკების ფართო და უწყვეტ სპექტრს.

**კომპიუტერული ტექნიკა როგორც ჰარმონიკების წყარო [12].**  
ყველა ქვეყანა კომპიუტერული ტექნიკისა და სხვა არაწრფივი ელექტრომომხმარებლების კონცენტრაციის განსაზღვრულ ეტაპზე დგება უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების პრობლემის წინაშე და იძულებულნი არიან კარდინალურად შეცვალონ ექსპლუატაციის ტექნიკური რეგლამენტი, პროექტირების ნორმები, და დაამუშაონ შესაბამისი სტანდარტების ბაზა. საქმე იმაშია, რომ ჩამოთვლილი ელექტრომწიფობილობების კვებისათვის გამოიყენება იმპულსური კვების წყაროები, რომელთა წინააღმდეგობა დროის განმავლობაში იცვლება. შესაბამისად ასეთი სახის წყაროს მიერ მოხმარებულ დენს აქვს მკვეთრად გამოხატული იმპულსური ხასიათი.

კომპიუტერული ტექნოლოგიის სფეროში მოწყობილობათა სირთულის დონე მუდმივად იზრდება. ამიტომ ელექტრომომარაგების ხარისხის უზრუნველყოფის სისტემები დამუშავებული უნდა იქნეს იმგვარად, რომ მათ ჰქონდეთ უნარი გაუმკლავდნენ პრობლემების ფართო სპექტრს, დაწყებული ჩავარდნებიდან, რხევებიდან, ძაბვების ამოვარდნებიდან, მაღალსიხშირული ხმაურებიდან, იმპულსური დაბრკოლებებიდან და ქსელის ძაბვის შეწყვეტის შემთხვევაში ელექტროკვებით უზრუნველყოფით დამთავრებული. ერთ ერთ ასეთ პრობლემას წარმოადგენს არაწრფივი დატვირთვის მიერ მოხმარებული დენის ჰარმონიული მდგენელებით გამოწვეული ძაბვის ფორმის დამახინჯება. დამახინჯების ხარისხი შეიძლება განსაზღვრული იქნეს სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტით, რომელიც განისაზღვრება უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობის ფარდობით ძირითადი ჰარმონიკის მოქმედ მნიშვნელობასთან, რომელიც გამოისახება ფორმულით.



$$K_{\text{დ}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m I_n^2}}{I_1}$$

და დატვირთვის ამპლიტუდის კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს მოხმარებული დენის პიკური მნიშვნელობის ფარდობას მის მოქმედ მნიშვნელობასთან და გამოისახება ფორმულით:

$$K_s = \frac{I_{\text{პიკ}}}{I}$$

#### 1.4. უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული პრობლემების აქტუალობა

ელექტროდანადგარების მფლობელები, რომლებსაც გააჩნიათ ნახევარგამტარული მოწყობილობები და კომპიუტერული ქსელები, უკანასკნელ ხანებში უფრო და უფრო ხშირად ეჯახებიან ახალ უსერიოზულეს პრობლემას. საქმე იმაშია, რომ იმ წარმოება-დაწესებულებებისა და შენობების ელექტრო-მომარაგების 0,4 კვ ძაბვის ელექტრომომარაგების ქსელები, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, „დაბინძურებულია“ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით.

ლიტერატურიდან [13,14] ცნობილია, რომ იმ შემთხვევებში როცა არაწრფივი მომხმარებლების სიმძლავრე არ აღემატება 10-15 %-ს, მაშინ, როგორც წესი, ელექტრომომარაგების სისტემების ექსპლუატაციის დროს რაიმე თავისებურებები არ შეინიშნება. ამ ზღვარის გადაჭარბების შემთხვევაში უნდა ველოდოთ სხვადასხვა პრობლემების გამოვლენას, რომელთა შედეგები ცხადი არ არის, ხოლო იმ შენობებში, რომლებშიც არაწრფივი დატვირთვის წილი 25 % -ზე მეტია ცალკეული პრობლემები შეიძლება მაშინვე გამოიყვანდეს. როგორც ყველა სხვა დამახინჯების ფორმა, ჰარმონიკები ზემოქმედებენ ყველა სახის ელექტრომოწყობილობებზე, რომლებიც იმყოფებიან ჰარმონიკების გენერაციის ადგილიდან საკმაოდ დიდი დაშორებითაც კი.

განსაკუთრებით ცხადად ვლინდება ძალოვან წრედებში აღძრული ჰარმონიკების გავლენა სატელეფონო კავშირის ხარისხზე. ამასთანავე სხვა, ნაკლებად მოსასმენი, მაგრამ უფრო საშიში ზემოქმედებანი. არაწრფივი ელექტრომომხმარებლების უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების შემცველი დენები იწვევენ ნეგატიურ და ზოგჯერ კატასტროფულ

შედგებს. კერძოდ: წყაროების მიერ გენერირებული ჰარმონიკები არ რჩებიან სისტემაში და მუდგენებიან მეზობლად დაკავშირებულ ელექტროქსელებში და მიყვართ კატასტროფულ შედეგებამდე სხვა სისტემებში.

წინათ ჰარმონიკები ელექტრულ ქსელში ქმნიდნენ მცირე პრობლემებს. გამონაკლისს წარმოადგენდნენ რკინიგზის წვეის ქვესადგურები, მუდმივი დენის მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზების გარდამქმნელი მოწყობილობები, მეტალურგიული და ელექტრომექანიკური ქარხნები. ელექტრულ ქსელთან მიერთებული დამამახინჯებელი დატვირთვების სიმძლავრისა და რიცხვის ზრდასთან ერთად სიტუაცია შეიცვალა, რამაც მთელი რიგი ქვეყნებისა მიიყვანა ელექტრულ ქსელებში ჰარმონიკების დონის შემზღვეველი სტანდარტების შემოღებამდე. საქართველოში კი ეს მუშაობა ჯერჯერობით საერთოდ არ დაწყებულა.

უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებით გამოწვეული ეფექტები იყოფა მყისიერი და ხანგრძლივი აღძვრის ეფექტებად.

მყისიერი აღძვრის პრობლემებს მიეკუთვნებიან:

- მკვებავი ძაბვის ფორმის დამახინჯება;
- ძაბვის ვარდნა გამანაწილებელ ქსელებში;
- სამფაზა წრედებში სამის ჯერადი ჰარმონიკების ეფექტი;
- რეზონანსული მოვლენები უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების სიხშირეებში;

ხანგრძლივი აღძვრის პრობლემებს მიეკუთვნებიან:

- გახურება და დამატებითი დანაკარგები ტრანსფორმატორებსა და ელექტრულ მანქანებში;
- კონდენსატორების გახურება;
- გამანაწილებელი ქსელების კაბელების გახურება.

დაწვრილებით განვიხილოთ ზემოთ აღნიშნული ზოგიერთი ეფექტის აღძვრის მიზეზები და მათი გადაწყვეტის შესაძლო გზები და საშუალებები.

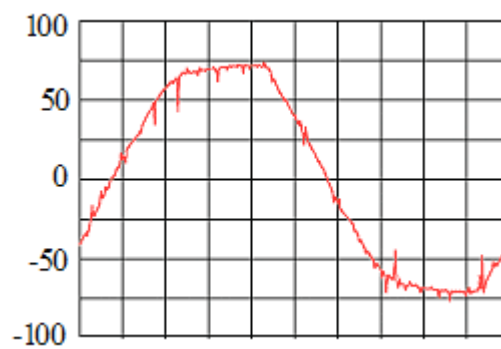
### **1.5. მკვებავი ძაბვის ფორმის დამახინჯება.**

თანამედროვე უწყვეტი კვების წყაროებს (უკწ) გააჩნიათ დატვირთვის იმპულსური ხასიათი. იმპულსური დატვირთვის მიერ

მოსმარებული დენისათვის დამახასიათებელია დატვირთვის მომჭერებზე მოქმედი ძაბვის სინუსოიდის დეფორმაცია. ძაბვის სინუსოიდა ხდება “ბრტყელი”( ნახ.13), რადგანაც დენის იმპულსის მომენტში იზრდება ძაბვის ვარდნა ქსელის შიგა წინააღობაზე

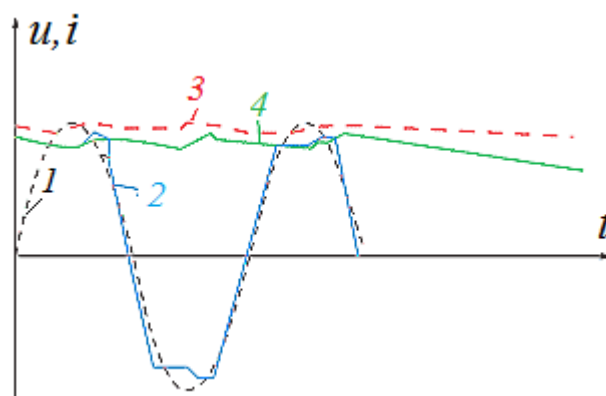
$$u_{\text{დატვ.}}(t) = u_{\text{ქსელ.}}(t) - i(t) \times Z_{\text{ქსელ.}}$$

სადაც  $u_{\text{დატვ.}}(t)$  - დატვირთვის მომჭერებზე ძაბვის დამახინჯებული სინუსოიდაა;  $u_{\text{ქსელ.}}(t)$ - მკვებავი ქსელის სინუსოიდური ძაბვაა;  $i(t)$  – დატვირთვის იმპულსური დენია;  $Z_{\text{ქსელ.}}$  – ქსელის სრული წინააღობაა დატვირთვის მომჭერების მხრიდან.



ნახ.13. ძაბვის „ბრტყელი“სინუსოიდა

თუ დავუშვებთ, რომ ქსელის წინააღობა თითოეული ელექტრომომხმარებლის მომჭერების მიმართ ნულის ტოლია, მაშინ ძაბვის სინუსოიდის დამახინჯება არ იქნებოდა. რეალურად ქსელი ნებისმიერი ელექტრომომხმარებლისათვის წარმოადგენს რაღაც წინააღობას.



ნახ.14. ძაბვის “ბრტყელი” სინუსოიდის ზემოქმედებით ძაბვის შემცირების შემთხვევა.

არასინუსოიდური დენები, გაედინებიან რა ამ წინააღობაში, იწვევენ ძაბვის ვარდნას მასზე. შედეგად არაწრფივი ელექტრომომხმარებლის

მომჭერებსა და სხვა მასთან პარალელურად ჩართული ელექტრომომხმარებლის მომჭერებზე ჩნდება არასინუსოიდური ძაბვა, ჩვეულებრივ “ბრტყელი” სინუსოიდა. ”ბრტყელი” სინუსოიდა ზემოქმედებს რა კვების იმპულსურ წყაროზე, ამცირებს გამართული ძაბვის დონეს; იმპულსური კვების წყაროს ელემენტებზე ზრდის სითბოს გამოყოფას; ამცირებს მდგრადობას ძაბვის ხანმოკლე ჩავარდნების მიმართ.

გამართული ძაბვის დონის შემცირებასა და მკვებავი ძაბვის სინუსოიდის დეფორმაციას მიყვავართ შესავალი ძაბვის ამპლიტუდის შემცირებასთან. მის გამო მცირდება ძაბვა კონდენსატორზე. ნახ.1.5 – ზე მოცემულია იმპულსური კვების წყაროს მაგლუვებელ კონდენსატორზე ძაბვის “ბრტყელი” სინუსოიდის ზემოქმედებით ძაბვის შემცირების შემთხვევა, სადაც 1 არის სინუსოიდური ძაბვა; 2- ძაბვის “ბრტყელი” სინუსოიდა; 3- ძაბვა კონდენსატორზე სინუსოიდური ძაბვის შემთხვევაში; 4 - ძაბვა კონდენსატორზე “ ბრტყელი” სინუსოიდის შემთხვევაში.

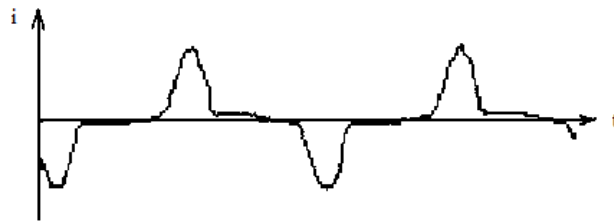
იმპულსური კვების წყაროს მომჭერებზე ძაბვის სრული გაქრობის ან ჩავარდნების შემთხვევაში მუდმივი დენის წრედებმა შეიძლება გააგრძელონ თავიანთი ნორმალური მუშაობა დროის რაღაც მცირე დროის განმავლობაში. ამ ხნის განმავლობაში კვების წყარო მოიხმარს მაგლუვებელი კონდენსატორის ენერგიას. მიუხედავად იმისა,რომ ამ კონდენსატორს გააჩნია დიდი ტევადობა, მის მიერ დაგროვებული ენერგია  $W=CU^2/2$  დამოკიდებულია იმ ძაბვაზე, რომლითაც იგი იყო დასაწყისში დამუხტული.

მკვებავი ძაბვის მრუდის სინუსოიდური ფორმის დროს კონდენსატორი შეიძლება დაიმუხტოს იმაზე მეტად, ვიდრე “ბრტყელი” ფორმის ძაბვის დროს. ასეთ შემთხვევაში კონდენსატორზე დაგროვილი ენერგია შეიძლება საკმარისი არ იყოს მუდმივი დენის წრედების ნორმალური მუშაობის შესანარჩუნებლად მკვებავი ძაბვის აღდგენამდე მისი ხანმოკლე ჩავარდნის ან გაქრობის შემთხვევაში.

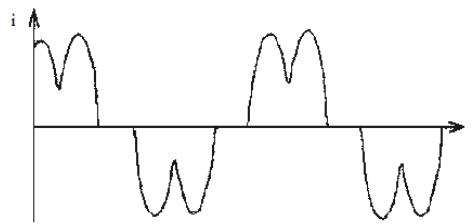
## 1.6. ძაბვის ვარდნა გამანაწილებელ ქსელებში.

ერთფაზა (ნახ.1.5) და სამფაზა (ნახ.1.6) გამმართველებში დენების ფორმები ხასიათდებიან მაღალსიხშირული კენტი რიგის ჰარმონიკების

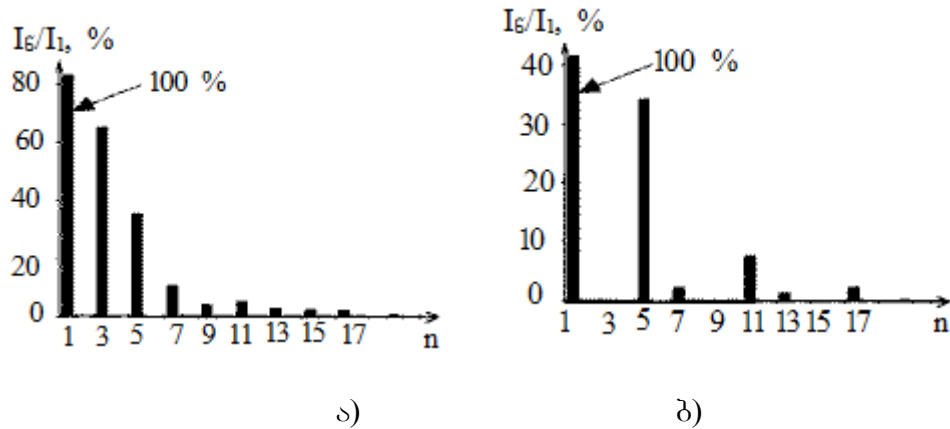
განსაზღვრული პროცენტული შემცველობით (ცხრილი 1) [15]. ასეთი დენების შესაბამისი სპექტრი მოყვანილია ნახ.1.6-ზე.



ნახ.1.5.ერთფაზა გამმართველის დენის ფორმა.



ნახ.1.6. სამფაზა გამმართველის დენის ფორმა



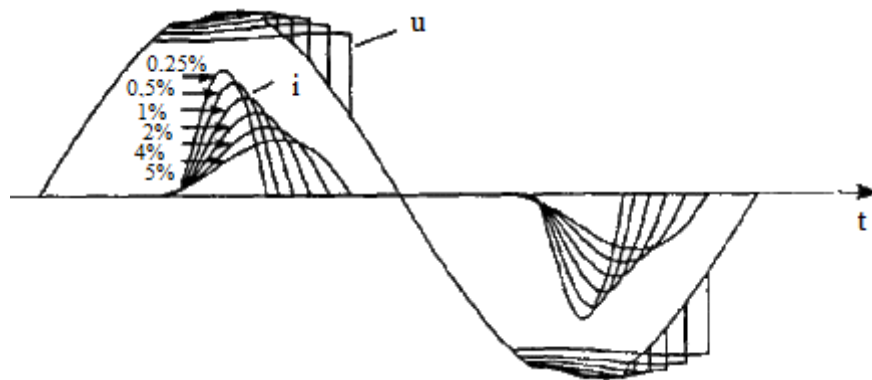
ნახ.1.7. ერთფაზა (ა) და სამფაზა (ბ) გამმართველების შესავალი დენების სპექტრები:

ცხრილი 1.1.უკვ-ს შესავალზე დენის სპექტრალური შედგენილობა.

ჰარმონიკის №	ერთფაზა უკვ, $I_n/I_1$ (%)	სამფაზა უკვ, $I_n/I_1$ (%)
1	100	100
3	65,7	-
5	37,7	33
7	12,7	2,7

9	4,4	-
11	5,3	7,3
13	2,5	1,6
15	1,9	-
17	1,8	2,6

გამანაწილებელი ქსელების სრულ წინაღობას აქვს მნიშვნელოვანი სიდიდის ინდუქციური ხასიათი. ამიტომ დენების ძალიან დიდი ჰარმონიკების შემცველობისას კაბელებსა და სადენებზე შესაბამისი ძაბვის ვარდნები აჭარბებენ ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს და ტიპურ გამანაწილებელ სისტემებში, რომელთა ტრასები 100 მ-ზე მეტია დატვირთვებზე შეიძლება მოხდეს ძაბვის ძლიერი დამახინჯება. ასეთი დამახინჯების მაგალითს წარმოადგენს დენისა და ძაბვის გრაფიკი ერთფაზა გამმართველის შესავალზე, რომელიც დამოკიდებულია შესავალი ფიდერის წინაღობის ფარდობითი რეაქტიული მდგენელის სიდიდეზე ან გამმართველის კვების წყაროს შიგა წინაღობაზე (ნახ.1.9) [16].



ნახ.1.8.. ერთფაზა უტრანსფორმატორო გამმართველის შესავალზე ფიდერის შესავალი წინაღობის ფარდობითი რეაქტიული მდგენელზე დამოკიდებული დენისა და ძაბვის ფორმები.

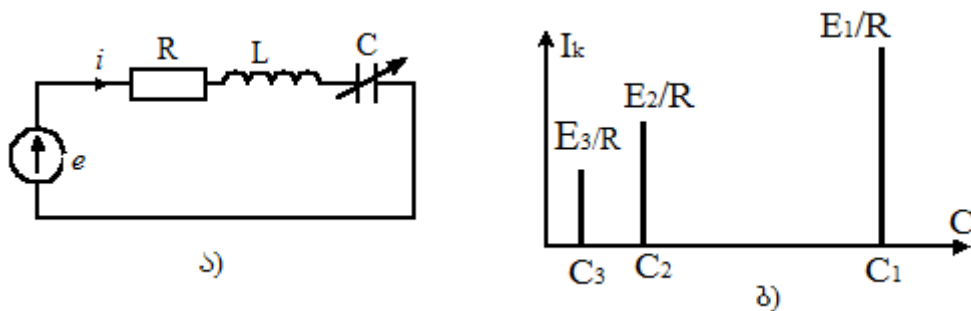
### 1.7. რეზონანსული მოვლენები არასინუსოიდური დენის წრედებში.

თავმოყრილ და განაწილებულპარამეტრებიან ელექტრულ წრედებში უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობის დროს აღიძვრება რეზონანსული მოვლენების გამოვლენის საშიშროება. არასინუსოიდური

დენის წრედებში რეზონანსული მოვლენები შესაძლებელია სხვადასხვა პარმონიული მდგენელებისათვის. ისევე როგორც სინუსოიდური დენების დროს,  $k$ -რიგის პარმონიკის რეზონანსი შეესაბამება მუშაობის რეჟიმს, რომლის დროსაც დენისა და ძაბვის  $k$ -ური რიგის პარმონიკები წრედის შესავალზე ერთმანეთს ფაზით ემთხვევიან.

დენისა და ძაბვის რომელიმე მაღალი რიგის პარმონიკის რეზონანსული ან მასთან ახლო რეჟიმის დროს ეს მდგენელი აღმოჩნდება უფრო დიდი, ვიდრე დენისა და ძაბვის პირველი პარმონიკის ამპლიტუდური მნიშვნელობა წრედის იმავე უბანზე. ეს კი უარყოფითად აისახება სისტემის ცალკეული ელემენტებისა და კვანძების მუშაუნარიანობაზე [17,18,19]

დავუშვათ, ნახ.1.10.ა-ზე მოცემული წრედი იკვებება არასინუსოიდური ემძ-ის წყაროთი, რომელშიც კონდენსატორის ტევადობა მდოვრედ იცვლება ნულიდან უსასრულობამდე.



ნახ.1.19. წრედი არასინუსოიდური ემძ-ის წყაროთი (ა) და ემძ-ების სიდიდეები არასინუსოიდური დენის წრედებში რეზონანსის დროს დენის  $K$ -ური რიგის პარმონიკისათვის შეიძლება დავწეროთ:

$$I_k = \frac{E_k}{\sqrt{R^2 + (k\omega L - \frac{1}{k\omega C})^2}}$$

სადაც  $E_k$  - ემძ-ის  $K$ -ური რიგის პარმონიკის მოქმედი მნიშვნელობაა.

ამგვარად, კონდენსატორის ტევადობის ცვლილებით  $K$  რიგის პარმონიკის სიდიდე იცვლება ნულიდან (როცა  $C=0$ ),  $I_{k\infty} = \frac{E_k}{R}$  სიდიდემდე (როცა  $C=\infty$ ) და აღწევს მაქსიმუმს  $I_{kmax} = \frac{E_k}{\sqrt{R^2 + (k\omega L)^2}}$

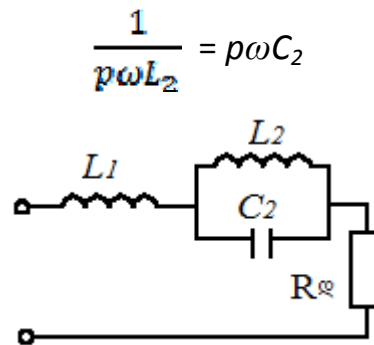
$\frac{E_k}{R}$  რეზონანსის დროს (ნახ.1.10ბ). კონდენსატორის ტევადობის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_k = \frac{1}{k^2 \omega^2 L}$$

უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ჰარმონიული ემპის რიგის ზრდასთან ერთად მისი ამპლიტუდა მცირდება,  $K$ -რიგის ჰარმონიკის რეზონანსის დროს დენის მნიშვნელობამ  $I_{kmax}$  შეიძლება გადააჭარბოს დენის პირველი ჰარმონიკის სიდიდეს.

რეზონანსული მოვლენები გამოიყენება ერთი სიხშირის ჰარმონიკების გამოყოფისა და სხვათა ჩახშობისათვის. დაეუშვათ, მაგალითად, ნახ.1.11-ზე მოცემულ წრედში საჭიროა დატვირთვაზე გაძლიერდეს დენის  $q$ -რიგის ჰარმონიკა და ჩაიხშოს  $p$ -რიგის ჰარმონიკა.

დენის  $p$  რიგის ჰარმონიკის ჩახშობისათვის აიწყოთ კონტური  $L_2$ - $C_2$ :



ნახ.1.10.რეზონანსული მოვლენების საკვლევი წრედი  $q$  რიგის ჰარმონიკის გამოყოფისათვის მთელი წრედი აეწყოთ ძაბვების რეზონანსის რეჟიმში:

$$jq\omega L_1 + \frac{jq\omega L_2 (-j\frac{1}{q\omega C_2})}{j(q\omega L_2 - \frac{1}{q\omega C_2})} = 0$$

საიდანაც ცნობილი  $L_2$  და  $C_2$  მიხედვით  $L_1$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$L_1 = \frac{L_2}{q^2 \omega^2 L_2 C_2 - 1}$$

აღსანიშნავია, რომ განხილული მოვლენები დაედო საფუძველად L-C ფილტრების მუშაობას.

ელექტრომომარაგების სისტემებში რეზონანსული მოვლენები ძირითადად განიხილება ძალოვანი კონდენსატორების მიმართ. კონდენ-



სატორებისათვის ჰარმონიკების დასაშვები დონის გადაჭარბების შემდეგ უარესდება კონდენსატორების მუშაობის რეჟიმი და რამდენიმე ხნის შემდეგ გამოდიან მწყობრიდან.

მეორე დარგი, სადაც რეზონანსულმა მოვლენებმა შეიძლება მწყობრიდან გამოიყვანოს მოწყობილობის ელემენტები, არის ტონალური სიხშირის საშუალებით დატვირთვის მართვის სისტემა. იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ ძალოვანი კონდენსატორების მიერ სიგნალის შთანთქმა, მათი წრედები განმხოლოებულია აწყობილი მიმდევრობითი ფილტრით. ადგილობრივი რეზონანსის დროს დენის ჰარმონიკები ძალოვანი კონდენსატორის წრედში სწრაფად იზრდებიან, რასაც მიყვავართ მიმდევრობითი ფილტრის აწყობილი კონდენსატორის მტყუნებად.

### 1.8. უმაღლესი ჰარმონიკები სამფაზა წრედებში.

ენერჯის სამფაზა წყაროების ძაბვები ხშირად არასინუსოიდურია (მკაცრად თუ მივუდგებით, ყოველთვის არასინუსოიდურია). ამ დროს ძაბვები  $B$  და  $C$  ფაზებზე იმეორებენ  $A$  ფაზის ძაბვის  $u_A=f(t)$  არასინუსოიდური მრუდის ფორმას და ერთმანეთისაგან ისინი დაძრულია ძირითადი ჰარმონიკის  $T$  პერიოდის მესამედით:

$$u_B=f(t - T/3); u_C=f(t + T/3);$$

დავუშვათ  $A$  ფაზისათვის ძაბვის  $K$  - რიგის ჰარმონიკაა

$$u_{Ak} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

მაშინ  $\omega T = 2\pi$  მხედველობაში მიღებით  $B$  და  $C$  ფაზების ძაბვების  $K$  - რიგის ჰარმონიკებისათვის შესაბამისად შეიძლება დავწეროთ:

$$u_{Bk} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k - 2\pi k/3)$$

$$u_{Ck} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 2\pi k/3)$$

$K$  რიგის ჰარმონიკების მთელი ერთობლიობა  $0$  -დან  $\infty$  - მდე შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად:

1.  $k = 3n+1(n=0;1;2\dots)$  მოცემული ჯგუფის ჰარმონიკები ქმნიან ძაბვების სიმეტრიულ სისტემას, რომელთა თანმიმდევრობა შეესაბამება პირველი ჰარმონიკის ფაზის თანმიმდევრობას, ანუ ისინი ქმნიან ძაბვების პირდაპირი თანმიმდევრობის სისტემას. მართლაც,

$$u_{Bk} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k - 2\pi(3n+1)/3) = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k - 2\pi/3)$$

და

$$u_{Ck} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 2\pi(3n+1)/3) = u_{Ck} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 2\pi/3)$$

2.  $k=3n+2$  ამ ჰარმონიკებისათვის ადგილი აქვს დამოკიდებულებას:

$$u_{Bk} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k - 2\pi(3n+2)/3) = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 2\pi/3)$$

და

$$u_{Ck} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 2\pi(3n+2)/3) = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k - 2\pi/3)$$

ანუ ამ ჯგუფის ჰარმონიკები ქმნიან უკუ თანმიმდევრობის ძაბვების სისტემას.

3.  $k=3n$  ამ ჰარმონიკებისათვის მართებულია დამოკიდებულება:

$$u_{Bk} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k - 2\pi(3n)/3) = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

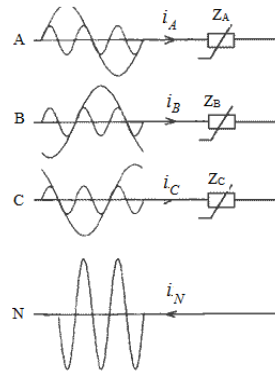
$$u_{Ck} = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k + 2\pi(3n+1)/3) = U_{km} \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

ამგვარად, მოცემული ჯგუფის ძაბვის ვექტორებს ყველა ფაზაში და დროის ნებისმიერ მომენტში აქვთ ერთნაირი მოდული და მიმართულება. ამიტომ ეს ჰარმონიკები ქმნიან ნულოვან თანმიმდევრობის სისტემას.

### 19. სამის ჯერადი ჰარმონიკების ეფექტი.

დენის სამის ჯერად  $[n = 3(2k + 1)]$ , სადაც  $k = 0, 1, 2, \dots$  ჰარმონიკებს, რომლებიც გენერირებულია ერთფაზა დატვირთვებით და განსაზღვრავენ ამპლიტუდის კოეფიციენტის მაღალ მნიშვნელობას, სამფაზა წრედებში აქვთ სპეციფიკური მაჯამებელი ზემოქმედების უნარი.

ბალანსირებულ (სიმეტრიულ) სამფაზა სისტემაში ჰარმონიული (სინუსოიდური) დენები ერთმანეთის მიმართ დაძრულია  $120^\circ$  –ით, რის შედეგადაც ნეიტრალურ სადენში გამავალი დენების ჯამი ნულის ტოლია და შესაბამისად არ არის ძაბვის ვარდნა კაბელის ნეიტრალურ სადენში. ეს მტკიცება სამართლიანია ჰარმონიკების უმეტესობისათვის. მაგრამ სამის გერადი ჰარმონიკები სამფაზა სისტემებში ისინი დაძრულნი არიან  $360$  გრადუსით, ერთმანეთს ემთხვევიან ფაზით და როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ქმნიან ნულოვან თანმიმდევრობას. სამის ჯერადი კენტი რივის ჰარმონიკები იკრიბებიან ნეიტრალურ სადენში (ნახ.1.12).



ნახ.1.11 არაწრფივი დატვირთვის დროს ნეიტრალში დენის ფორმირების პროცესი.

იმის გათვალისწინებით, რომ სამის ჯერადი ჰარმონიკების წილი დიდია ფაზური დენების მოქმედ მნიშვნელობაში, შეიძლება ნეიტრალში გამავალი დენის სიდიდემ გადააჭარბოს ფაზური დენის მნიშვნელობას.

$$I_N = 3 \sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots} \quad (1.1)$$

სადაც  $I_3, I_9, I_{15}$  — დენის შესაბამისი ჰარმონიკის მოქმედი მნიშვნელობაა.

ყველაზე უფრო მძლავრი წრფივი დატვირთვის დროს დენი ნულთან მუშა გამტარში იქნება უფრო მცირე, ვიდრე მაქსიმალური დენი ფაზურ გამტარებში. სრულიად სხვაგვარი ვითარებაა არაწრფივი დატვირთვის დროს. ამ შემთხვევაში დენმა ნულთან სადენში შეიძლება გადააჭარბოს ფაზურ სადენში გამავალ დენს 1,5-ჯერ და უფრო მეტად. ასე მაგალითად, 23 ა ფაზური დენების დროს დენმა ნეიტრალურ გამტარში შეადგინა 49 ა [20].

არასწორად დაპროექტებულმა სამფაზა ქსელის ოთხსადენიანი კაბელები შეიძლება გადახურდნენ გადნობამდეც კი. ამით მტკიცდება, რომ საჭიროა კომპიუტერული მოწყობილობის მეშვეობით ქსელის სამფაზა კაბელების ნეიტრალის გამტარის კვეთის გაზრდა. სამის ჯერადი ჰარმონიკები იწვევენ ძაბვის ვარდნას როგორც ნეიტრალში ასევე ფაზურ გამტარებში და ძაბვის ფორმის დამახინჯებას ამ ქსელში ჩართულ სხვა დატვირთვებზე.

გარდა ზემოთთქმულისა სამფაზა ქსელის ფაზებს შორის ძაბვებში არ არსებობენ სამის ჯერადი ჰარმონიკები, რის გამოც დამოკიდებულება ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის 1,73 –ზე ნაკლებია.

1.10. სამის ჯერადი ჰარმონიკების არსებობით განპირობებული  
სამფაზა სისტემების მუშაობის თავისებურებანი

1. თუ გენერატორის ფაზები შეერთებულია სამკუთხედად (ნახ.1.12.ა), მაშინ არასინუსოიდური ფაზური ემძ-ების შემთხვევაში, მაშინ კონტურში მოქმედი ემძ-ების ჯამი არ არის ნულის ტოლი და განისაზღვრება სამის ჯერადი ჰარმონიკებით. ეს ჰარმონიკები გენერატორის ჩაკეტილ სამკუთხედში იწვევენ დენს იმ შემთხვევაშიც კი, როცა გარე წრედი გახსნილია.

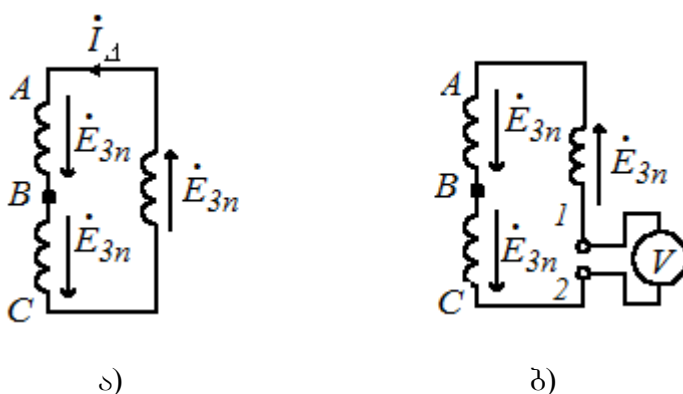
$$I_{\Delta} = \sqrt{I_3^2 + I_6^2 + I_9^2 + \dots} \quad (1.2)$$

სადაც

$$I_3 = \frac{\dot{E}_3}{Z_3}; I_6 = \frac{\dot{E}_6}{Z_6}; I_9 = \frac{\dot{E}_9}{Z_9}; \quad (1.3)$$

სადაც  $Z_i$  – გენერატორის ფაზის წინაღობაა სამის ჯერადი  $i$ -ური რიგის ჰარმონიკისათვის.

2. თუ გენერატორის ფაზებს შევაერთებთ ღია სამკუთხედად (ნახ.1.12.ბ) მაშინ 1-2 მომჭერებზე აღვიღო ექნება ძაბვას, რომელიც განისაზღვრება ემძ-ების სამის ჯერადი ჰარმონიკების ჯამით.



ნახ.1.12. სამკუთხედად (ა) და ღია სამკუთხედად (ბ) შეერთებული გენერატორის ფაზები

$$u_{12} = 3 \sum_{k=1}^{\infty} E_{3k} \sin(3k\omega t + \varphi_{3k})$$

ამგვარად, ნახ.1.13-ზე მოცემული ვოლტმეტრის ჩვენება ტოლია:

$$U_V = 3 \sqrt{E_3^2 + E_6^2 + E_9^2} + \dots$$

3. შეერთების ხერხისაგან დამოუკიდებლად - ვარსკელავი თუ სამკუთხედი- საზური ძაბვები არ შეიცავენ სამის ჯერად ჰარმონიკებს.

ვარსკვლავად შეერთებისას ეს აიხსნება იმით, რომ სამის ჯერადი ჰარმონიკები, როგორც აღვნიშნეთ, ქმნიან ნულოვანი თანმიმდევრობის სისტემას. რადგანაც ხაზური ძაბვები წარმოადგენენ ფაზური ძაბვების სხვაობას, ამიტომ ისინი ქრებიან ხაზური ძაბვების შემადგენლობიდან. სამკუთხა შეერთების დროს სამის ჯერადი ჰარმონიკების შემცველი ემძები არ მუდავდება ხაზური (ფაზური) ძაბვების შემადგენლობაში, რადგან კომპენსირდებიან გენერატორის ფაზების საკუთარ წინააღობებზე ძაბვის ვარდნებით.

ამგვარად, სამკუთხა შეერთების დროს გენერატორის ძაბვები განისაზღვრებიან ფორმულით [17,18,19]:

$$U_{\text{ფ}} = U_{\text{ბ}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_4^2 + E_5^2 + E_7^2 + \dots}$$

ხოლო დენები ტოლია:

$$I_{\text{ბ}} = \sqrt{3(I_1^2 + I_2^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots)} < \sqrt{3I_{\text{ფ}}} = \sqrt{3(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots)}$$

თავის მხრივ ვარსკვლავად შეერთებისას:

$$U_{\text{ბ}} = \sqrt{3(U_1^2 + U_2^2 + U_4^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots)} < \sqrt{3U_{\text{ფ}}} = \sqrt{3(U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots)}$$

4. სიმეტრიული დატვირთვის დროს დენი ნეიტრალურ სადენში განისაზღვრება სამის ჯერადი ჰარმონიკებით (1.1), რადგან ისინი ქმნიან ნულოვან თანმიმდევრობას [21].

5. ვარსკვლავა შეერთების დროს ნეიტრალური სადენის გარეშე დატვირთვის დენები არ შეიცავენ სამის ჯერად ჰარმონიკებს (კირსჰოფის პირველი კანონის თანახმად კვანძში დენების ჯამი ნულის ტოლია, რაც შეუძლებელია ამ ჰარმონიკების არსებობისას). შესაბამისად, არ არის ეს ჰარმონიკები დატვირთვის ფაზურ ძაბვებზე, რომლებიც დენებთან დაკავშირებულია ომის კანონით. ამგვარად, სამის ჯერადი ჰარმონიკების არსებობისას გენერატორის ფაზურ ძაბვებში სიმეტრიულ რეჟიმში ნეიტრალის წანაცვლების ძაბვა განისაზღვრება ამ ჰარმონიკებით:

$$U_{N'N} = \sqrt{U_3^2 + U_6^2 + U_9^2 + \dots}$$

ელექტრომომარაგებელი ორგანიზაციები იხსნიან პასუხისმგებლობას ჰარმონიკების აღძვრის მიზეზებზე, შემოაქვთ სტანდარტები და

რეკომენდაციები მომხმარებელთა საერთო მიერთების წერტილებში ჰარმონიული მდგენელების დონის შეზღუდვის შესახებ.

ამასთანავე ჰარმონიკების დასაშვები დონის განსაზღვრა არ წარმოადგენს მარტივ და ცალსახა ამოცანას. სხვადასხვა წყაროს დენის ჰარმონიკების მნიშვნელობის ცოდნა საკმარისი არ არის იმისათვის, რომ დავადგინოთ ზღვარი, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნებისმიერი ენერგოსისტემის მოწყობილობის ელექტრომაგნიტურ თავსებადობას. დენის ჰარმონიკების შესახებ ცოდნა ძირითადად გამომდინარეობს მოვლენის ფიზიკური არსიდან, ხოლო დამუშავებული სტანდარტები და რეკომენდაციები წარმოადგენს პრაქტიკული გამოცდილების ანალიზის შედეგს, რომელიც გამოიყენება იმისათვის, რომ მომავალში თავიდან ავიცილოთ მსგავსი პრობლემების გამოვლენა.

მანამ სანამ არ იქნება მიღწეული რთულ სისტემებში ჰარმონიული მოვლენების ხასიათის საკმარისი გაგება, ენერგომომარაგება დარჩება მომატებული საფრთხის ქვეშ და ენერგომომარაგებელი ორგანიზაციები და მომხმარებლები ხშირად იძულებულნი იქნებიან მიიღონ ზომები ავარიის შემდეგ. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად პირველ რიგში საჭიროა გადაწყდეს ზუსტი გაზომვების ჩატარებისა და მკვებავი ქსელების მოდელირების საკითხები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ჩატარდეს ქსელებში მიმდინარე ჰარმონიული პროცესების დრმა ანალიზი.

## 2. შედეგები და მათი განსჯა

თავი II. ელექტროენერჯის ხარისხი და მისი მაჩვენებლების გავლენა ელექტრომომხმარებლებზე.

### 2.1. ზოგადი ცნობები.

ელექტროენერჯის ხარისხი ეს არის ელექტროენერჯის პარამეტრების შესაბამისობის ხარისხი მათ დადგენილ მნიშვნელობასთან. თავის მხრივ ელექტრული ენერჯის პარამეტრიც არის სიდიდე, რომელიც ახასიათებს ელექტრული ენერჯის რაიმე თვისებას. ელექტრული ენერჯის პარამეტრების ქვეშ გაგებულია ძაბვა, სიხშირე, დენი, ელექტრული დენის ფორმა და სხვა. ელექტროენერჯის ხარისხი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგენელს, რომელიც ახასიათებს ელექტრომაგნიტურ გარემოს. ელექტრო-ენერჯის ხარისხი შეიძლება იცვლებოდეს დღეღამის, ამინდის, კლიმატური პირობების, ენერჯოსისტემის დატვირთვის, ქსელში ავარიული რეჟიმების აღძვრისა და სხვათა მიხედვით.

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

იმ წერტილებისათვის, რომელთანაც მიერთებულია ელექტრული ქსელები ან მომხმარებლის ელექტროდანადგარები 50 კვ სიხშირის ერთფაზა და სამფაზა საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტრული ქსელები, ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები და ნორმები დადგენილია სტანდარტით [1]. ამ სტანდარტის მიხედვით არსებობს ელექტროენერჯის ხარისხის 11 მაჩვენებელი:

- ძაბვის დამყარებული გადახრა ( $\delta U_{\text{დამყ}}$ );
- ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U_t$ );
- ფლიკერის დოზა ( $P_f$ )

- ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტი ( $K_U$ );
- ძაბვის  $n$ -ური ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტი [ $K_{U(n)}$ ]
- უკუთანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{2U}$ )
- ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი ( $K_{0U}$ );
- სისშირის გადახრა ( $\Delta f$ );
- ძაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობა ( $\Delta t_f$ );
- იმპულსური ძაბვა ( $U_{\text{იმპ}}$ )
- დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი ( $K_{\text{დრ.}U}$ ) [22].

სისშირის მაჩვენებელი ერთიანია ყველა ელექტრულად დაკავშირებული ქსელისათვის. დანარჩენი მაჩვენებლები ლოკალურია და დამოკიდებულია გაზომვის ადგილზე.

დადგენილია ელექტროენერჯის ხარისხის ორი სახე: ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები. ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების შესაბამისობის შეფასება მოცემული ნორმების მიხედვით წარმოებს 24 საათის ტოლ საანგარიშო პერიოდში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების გადახრა ნორმირებული მნიშვნელობიდან აუარესებენ ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციებისა და ელექტროენერჯის მომხმარებლების ექსპლუატაციის პირობებს და შეიძლება გამოიწვიონ როგორც წარმოების, ისე საყოფაცხოვრებო სექტორის მნიშვნელოვანი ზარალი, ასევე განაპირობებენ ტექნოლოგიურ და ელექტრომაგნიტურ ზიანს.

საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემების ელექტრული ქსელებიდან იკვებება სხვადასხვა დანიშნულების ელექტრომომხმარებელი. განვიხილოთ საწარმო და საყოფაცხოვრებო ელექტრომომხმარებლები.

ელექტრომომხმარებლების ყველაზე უფრო დამახასიათებელი ტიპები, რომლებიც გამოიყენება წარმოების სხვადასხვა დარგის დაწესებულებებში არის ელექტროძრავები და ელექტროგანათების დანადგარები.

მნიშვნელოვანი გავრცელება ჰპოვეს ელექტროთერმულმა დანადგარებმა, ასევე ვენტილურმა გარდამქმნელებმა, რომლებიც გამოიყუ-



ნებიან ცვლადი დენის მუდმივად გარდასაქმნელად. მუდმივი დენი სამრეწველო საწარმოებში გამოიყენება მუდმივი დენის ძრავების კვებისათვის, ელექტროლიზისათვის, გალვანურ პროცესებში, შედურების ზოგიერთ სახეობაში და სხვა.

ელექტროძრავები გამოიყენება სხვადასხვა საწარმოო მექანიზმების ამძრავებში. დანადგარებში, რომლებიც არ მოითხოვენ მუშაობის პროცესში ბრუნვის სიხშირის რეგულირებას, გამოიყენება ცვლადი დენის ამძრავები: სინქრონული და ასინქრონული ელექტროძრავები.

დადგენილია ძაბვაზე დამოკიდებულების მიხედვით ასინქრონული და სინქრონული ძრავების ყველაზე უფრო ეკონომიური გამოყენების არე. 1 კვ ძაბვამდე და 100 კვტ სიმძლავრემდე უფრო ეკონომიურია ასინქრონული ძრავების გამოყენება, ხოლო 100 კვტ ზევით – სინქრონულის გამოყენება. 6 კვ ძაბვამდე და 300 კვტ სიმძლავრემდე უფრო ეკონომიურია ასინქრონული ძრავების გამოყენება, ხოლო 300 კვტ ზევით – სინქრონულის; 10 კვ ძაბვაზე და 400 კვტ სიმძლავრემდე ასინქრონული ძრავები, ხოლო 400 კვტ ზევით – სინქრონული.

ასინქრონული ძრავების ფართო გამოყენება განპირობებულია მათი კონსტრუქციისა და ექსპლუატაციის სიმარტივითა და შედარებით დაბალი ღირებულებით.

სინქრონულ ძრავებს ასინქრონულ ძრავებთან შედარებით აქვთ მთელი რიგი უპირატესობები: ისინი ჩვეულებრივ გამოიყენებიან რეაქტიული სიმძლავრის წყაროებად, მათი ბრუნვის მომენტ ნაკლებად არის დამოკიდებული მომჭერებზე მოდებულ ძაბვაზე, ბევრ შემთხვევაში მათ აქვთ მაღალი მქკ. ამავე დროს სინქრონული ძრავები უფრო ძვირია, მათი დამზადება და ექსპლუატაცია რთულია.

ელექტრული განათების დანადგარები ვარვარების, ლუმინესცენციური, რკალური, ნატრიუმისა და ქსენონის ნათურებით გამოიყენება ყველა დაწესებულებაში გარე და შიგა განათებისათვის, ქუჩების განათების საჭიროებისა და სხვა.

რკალური კონტაქტური შედუღების ცვლადი დენის ელექტრო-შედუღების დანადგარები წარმოადგენენ ერთფაზა არათანაბარ და არასინუსოიდურ დატვირთვას დაბალი სიმძლავრის კოეფიციენტით: 0,3 რკალური შედუღებისა და 0,7 კონტაქტური შედუღებისათვის. მცირე

სიმძლავრის შედუღების ტრანსფორმატორები და აპარატები ჩაერთვებიან 380/220 ვ ქსელში, ხოლო დიდი სიმძლავრისა – 6-10 კვ ძაბვის ქსელში.

ვენტილური გარდამქმნელები მათი რეგულირების სპეციფიკიდან გამომდინარე წამოადგენენ რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებლებს დაბალი სიმძლავრის კოეფიციენტით. მაგალითად საგლინავი ჩარხის ვენტილური გარდამქმნელის სიმძლავრის კოეფიციენტი მერყეობს 0,3-0,8 ფარგლებში, რაც იწვევს მკვებავ ქსელში ძაბვის მნიშვნელოვან გადახრას; საგლინავი ჩარხების ტირისტორული გარდამქმნელების მუშაობისას არასინუსოიდურობის კოეფიციენტმა მკვებავი ძაბვის 10 კვ მხარეზე შეიძლება მიაღწიოს 30 %-ზე მეტს; ვენტილური გარდამქმნელები მათი დატვირთვის სიმეტრიულობიდან გამომდინარე ძაბვის სიმეტრიაზე გავლენას ვერ ახდენენ.

ელექტროშედუღების დანადგარები შეიძლება იყვნენ სხვა ელექტრომომხმარებლების ნორმალური მუშაობის პირობების დარღვევის მიზეზი. სახელდობრ, შედუღების აგრეგატები, რომელთა სიმძლავრე დღეისათვის აღწევს 1500 კვტ-ზე ელექტრულ ქსელებში იწვევს ძაბვის უფრო მნიშვნელოვან რხევას, ვიდრე მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავები გაშვების დროს. გარდა ამისა ძაბვის ეს რხევები მიმდინარეობს ხანგრძლივად და სიხშირის ფართო დიაპაზონით, მათ რიცხვში ელექტრული განათების დანადგარებისათვის არასასურველ (10 ჰც რიგის) დიაპაზონში.

ელექტროთერმული დანადგარები გახურების მეთოდიდან გამომდინარე იყოფა შემდეგ ჯგუფებად: რკალური ღუმელები, პირდაპირი და ირიბი მოქმედების წინააღობის ღუმელები; ელექტრონული საღნობი ღუმელები; ვაკუუმური; წიდის გადადნობის; ინდუქციური ღუმელები. ელექტრომიმღებების მოცემული ჯგუფი ასევე არასასურველ გავლენას ახდენს მკვებავ ქსელზე. მაგალითად, რკალური ღუმელები, რომელთა სიმძლავრე 10 მგტ-მდეა დღეისათვის იგება როგორც ერთფაზა. ამას მიყვარდენებისა და ძაბვების სიმეტრიის დარღვევასთან. ძაბვების სიმეტრიის დარღვევა ხდება სხვადასხვა თანმიმდევრობის დენების მიერ წრედის წინდობაზე ძაბვის ვარდნასთან დაკავშირებით. გარდა ამისა რკალური ღუმელები ვენტილური გარდამქმნელების მსგავსად არიან

მცირე ინერციულობის არაწრფივი ელექტრომომხმარებლები. ამიტომ ისინი იწვევენ დენებისა და აქედან გამომდინარე ძაბვების არასინუსოიდურობას.

საცხოვრებელი სახლების თანამედროვე ელექტრული დატვირთვა ხასიათდება საყოფაცხოვრებო ელექტრომომხმარებლების ფართო სპექტრით, რომლებიც მათი დანიშნულებისა და ელექტრულ ქსელზე გაავლენის მიხედვით შეიძლება დავეყოთ შემდეგ ჯგუფებად: **აქტიური სიმძლავრის პასიური მომხმარებლები** (ვარვარების ნათურები, უთოები, ქურები, წყლის გამაცხელებლები და სხვა); **სამფაზა რეჟიმში მომუშავე ასინქრონულძრავიანი ელექტრომომღებები** (ლიფტების ამძრავები, წყალმომარაგებისა და გათბობის ტუმბოები და სხვა); **ერთფაზა რეჟიმში მომუშავე ასინქრონულძრავიანი ელექტრომომღებები** (მაცივრების კომპრესორების ამძრავები, სარეცხი მანქანები და სხვა); **ელექტრომომღებები კოლექტორული ძრავებით** (მტვერსასრუტები, ელექტრობურღები და სხვა); **მუდმივი და ცვლადი დენის შედუღების აგრეგატები** (სახელოსნოებში სარემონტო სამუშაოებისათვის და სხვა); **გამმართველი მოწყობილობა** (აკუმულატორის დასამუხტად და სხვა); **რადიოელექტრონული აპარატურა** (ტელევიზორები, კომპიუტერული ტექნიკა და სხვა); **მაღალსიხშირული დანადგარები** (მაღალსიხშირული ღუმელები და სხვა); **ლუმინესცენციური განათების ნათურები** [22].

თითოეული ცალკე აღებული საყოფაცხოვრებო ელექტრომომხმარებლის ზემოქმედება უმნიშვნელოა, მაგრამ სატრანსფორმატორო ქვესადგურის 0,4 კვ სალტებზე ერთობლივად ჩართული ელექტრომომხმარებლები არსებით გაავლენას ახდენენ მკვებავ ქსელზე.

## 2.2. ძაბვის გადახრის გაავლენა

ძაბვის გადახრა არის პროცენტებში გამოსახული ფარდობითი სხვაობა ძაბვის ფაქტიურ და ნომინალურ მნიშვნელობებს შორის, რომელიც აღიძვრება რეჟიმის შედარებით ნელი ცვლილების დროს (როცა ძაბვის ცვლილების სიჩქარე წამში 15-ზე ნაკლებია):

$$\Delta U = (U - U_{\text{ნომ}}) \times 100 / U_{\text{ნომ}}$$

ძაბვის გადახრა ხასიათდება ძაბვის დამყარებული გადახრით ( $\delta U_{\text{დამყ}}$ ) რომლისთვისაც დადგენილია შემდეგი ნორმები:

- ელექტროენერჯის მიმღებების მომჭერებზე ძაბვის დამყარებული გადახრის ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები და ეს ნორმები შესაბამისად ტოლია  $\pm \%$  და  $\pm 10 \%$ ;
- 0,38 კვ და ზევით ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ელექტრული ენერჯის მომხმარებლების საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის დამყარებული გადახრის ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები დადგენილი უნდა იქნეს ელექტრომომმარაგებელ ორგანიზაციისა და მომხმარებელს შორის ელექტროენერჯის გამოყენებაზე დადებული ხელშეკრულებებით, რომლებშიც გათვალისწინებული უნდა იყოს ელექტრული ენერჯის მიმღებების გამოყვანებზე სტანდარტით დადგენილი ნორმების შესრულების საჭიროება. ნორმალურად და ზღვრულად დასაშვები ნაჩვენები მნიშვნელობების განსაზღვრას ახდენენ შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტებით, რომლებიც დამტკიცებულია დადგენილი წესით.

დასაშვებია ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობიდან შემდეგი გადახრები: საწარმოო და საზოგადოებრივ შენობებში მუშა განათების ხელსაწყოების მომჭერებზე - - 2,5 –დან + 5 %-მდე; ელექტრული ძრავებისა და აპარატების მომჭერებზე მათი გაშვებისა და მართვისათვის - 5 – დან +10 %-მდე; ყველა დანარჩენი ელექტრო მიმღებებისათვის -  $\pm 5 \%$ ; სასოფლო რაიონების ელექტრული ქსელებისათვის, ასევე მეცხოველეობის ფერმებისა და მეფრინველეობის ფაბრიკებისათვის და ელექტროფიცირებული ტრანსპორტის წვეის ქვესადგურების სალტებიდან მკვებავი ქსელებისათვის  $\pm 5 \%$ .

ძაბვის გადახრა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ასინქრონული ძრავას მუშაობაზე, რომელიც წარმოებაში ყველაზე უფრო გავრცელებული ელექტროენერჯის მიმღებია.

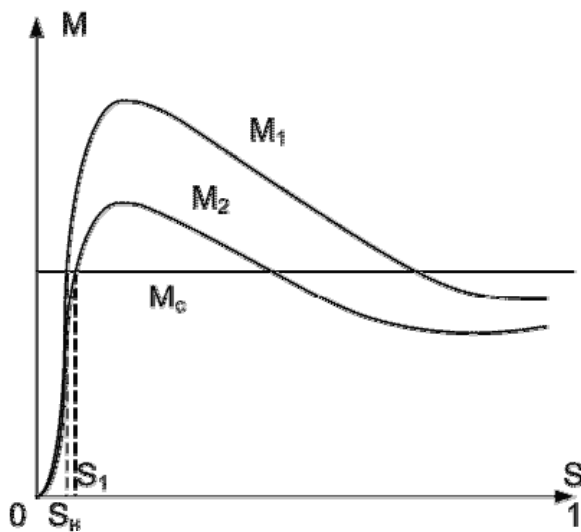
ძაბვის ცვლილების დროს იცვლება ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებელი, რომელიც წარმოადგენს მისი მბრუნავი M მომენტის S სრიალზე (ნახ.1) ან n ბრუნვის სიხშირეზე დამოკიდებულებას. საკმარისი სიზუსტით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ძრავას მბრუნავი მომენტი მის მომჭერებზე ძაბვის კვადრატის პროპორციულია. ძაბვის შემცირების დროს მცირდება მბრუნავი მომენტი და როტორის ბრუნვის სიხშირე, რადგან იზრდება მისი სრიალი. ბრუნვის სიხშირის

შემცირება ასევე დამოკიდებულია  $M_c$  წინაღობის მომენტის ცვლილების კანონზე (ნახ.1-ზე  $M_c$  მიღებულია მუდმივ სიდიდედ) და ძრავას დატვირთვაზე [22].

ძრავას როტორის ბრუნვის სიხშირის დაბლაზე დამოკიდებულება გამოისახება ფორმულით:

$$n = n_s (1 - K_{\text{დ}} U_{\text{ნომ}}^2 S_{\text{ნომ}} / U^2), \quad (2.1)$$

სადაც  $n_s$  – ბრუნვის სინქრონული სიხშირეა;  $K_{\text{დ}}$  – ძრავას დატვირთვის კოეფიციენტი;  $U_{\text{ნომ}}$ ,  $S_{\text{ნომ}}$  – შესაბამისად ძაბვისა და სრიალის ნომინალური მნიშვნელობებია.



ნახ.2.1. ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ნომინალური ( $M_1$ ) და შემცირებული ( $M_2$ ) ძაბვის დროს.

ფორმულა (2.1)-დან ჩანს, რომ ძრავას მცირე დატვირთვების დროს როტორის ბრუნვის სიხშირე ბრუნვის ნომინალურ სიხშირეზე მეტი იქნება (ძრავას ნომინალური დატვირთვის დროს). ამ შემთხვევაში ძაბვის შემცირება არ იწვევს ტექნოლოგიური მოწყობილობის მწარმოებლობის შემცირებას, რადგან ძრავას ბრუნვის სიხშირის შემცირება ნომინალურის ქვევით არ ხდება.

მთელი დატვირთვით მომუშავე ძრავებისათვის ძაბვის შემცირება იწვევს ბრუნვის სიხშირის შემცირებას. თუ მექანიზმების მწარმოებლობა დამოკიდებულია ძრავას ბრუნვის სიხშირეზე, მაშინ რეკომენდირებულია ძრავას მომჭერებზე შენარჩუნებული იქნეს ნომინალური სიდიდის ძაბვა. მთელი დატვირთვით მომუშავე ძრავას მომჭერებზე ძაბვის მნიშვნელოვანი შემცირებისას მექანიზმის

წინააღმდეგობის მომენტმა შეიძლება გადააჭარბოს მბრუნავ მომენტს, რასაც მიყვავართ ძრავას „გადაყირავებასთან“ ანუ მის გაჩერებასთან. ძრავას დაზიანების თავიდან აცილების მიზნით ამ შემთხვევაში საჭიროა მისი ქსელიდან გამორთვა.

ძაბვის შემცირება აუარესებს ძრავას გაშვების პირობებს, რადგან ამ დროს მცირდება მისი გამწვი მომენტი.

პრაქტიკულ ინტერესს იწვევს ძრავას მიერ მოხმარებული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დამოკიდებულება მის მომჭერებზე მოდებულ ძაბვაზე.

ძრავას მომჭერებზე ძაბვის 1 %-ით შემცირებისას დამაგნიტების რეაქტიული სიმძლავრე 2-3 %-ით მცირდება. რის გამოც იმავე მოთხოვნილი სიმძლავრის დროს იზრდება ძრავას დენი, რაც იწვევს იზოლაციის გადახურებას.

თუ ძრავა ხანგრძლივად მუშაობს შემცირებული ძაბვის დროს, მაშინ იზოლაციის დაჩქარებული ცვეთის გამო ძრავას მუშაობის ხანგრძლივობა მცირდება. მიახლოებით იზოლაციის მუშაობის ხანგრძლივობა  $T$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$T = T_{\text{ნომ}} / R \quad (2.2)$$

სადაც  $T_{\text{ნომ}}$  ძრავას იზოლაციის მუშაობის ხანგრძლივობაა ნომინალური ძაბვისა და ნომინალური დატვირთვის დროს;  $R$  - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ძაბვის გადახრის სიდიდესა და ნიშანზე, ასევე ძრავას დატვირთვის კოეფიციენტზე და ტოლია:

$$R = (47\delta U^2 - 7,55\delta U + 1) K_{\text{დ}}, \text{ როცა } -0,2 < \delta U < 0 \quad (2.3)$$

და

$$R = K_{\text{დ}}, \text{ როცა } 0,2 \geq \delta U > 0 \quad (2.4)$$

ამიტომ ძრავას გადახურების თავალსაზრისით უფრო საშიშია განხილულ საზღვრებში ძაბვის უარყოფითი გადახრა. ძაბვის შემცირებას მიყვავართ რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელოვან ზრდასთან, რომელიც იკარგება ხაზის რეაქტიულ წინააღმდეგობებში, ტრანსფორმატორებსა და ასინქრონულ ძრავებში.

ძრავას მომჭერებზე ძაბვის აწევა იწვევს მის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის გაზრდას. ამ დროს რეაქტიული სიმძლავრის კუთრი მოხმარება იზრდება, ხოლო ძრავას დატვირთვის კოეფიციენტი

მცირდება. საშუალოდ ძაბვის თითოეული პროცენტით მატებისას მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე იზრდება 3 % -თა და მეტით (ძირითადად ძრავას უქმი სვლის დენის ზრდის ხარჯზე), რაც თავის მხრივ წრედის ელემენტებში იწვევს აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ზრდას.

**ვარვარების ნათურები** ხასიათდებიან ნომინალური პარამეტრებით: მოხმარებული სიმძლავრით  $P_{ნომ}$ , სინათლის ნაკადით  $F_{ნომ}$ , შუქგადაცემით  $\eta_{ნომ}$  (რომელიც ტოლია ნათურის მიერ გამოსხივებული სინათლის ნაკადის ფარდობისა ნათურის სიმძლავრესთან) და საშუალო ნომინალური მუშაობის ხანგრძლივობით  $T_{ნომ}$ . ეს მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ვარვარების ნათურაზე მოდებულ ძაბვაზე. ძაბვის 10 %-ით გადახრის დროს ეს მახასიათებლები ფარდობით ერთეულებში შეიძლება აღეწეროს შემდეგი ემპირიული ფორმულებით [22]:

$$P_{ფ.ე} = P/P_{ნომ} = (U/U_{ნომ})^{1,53} \quad (2.5)$$

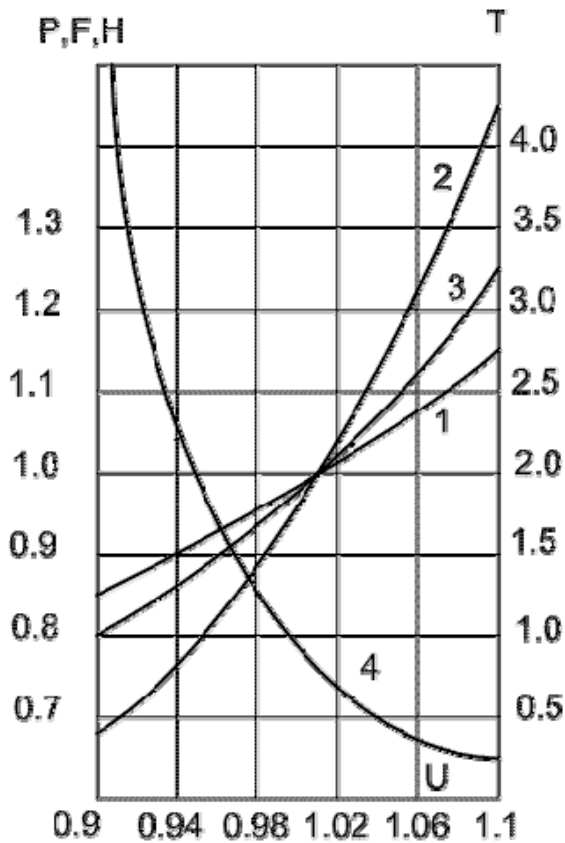
$$F_{ფ.ე} = F/F_{ნომ} = (U/U_{ნომ})^{3,67} \quad (2.6)$$

$$T_{ფ.ე} = T/T_{ნომ} = (U/U_{ნომ})^{-14,8} \quad (2.7)$$

$$\eta_{ფ.ე} = \eta/\eta_{ნომ} = (U/U_{ნომ})^{2,14} \quad (2.8)$$

ნახ.2.2-ზე მოცემული მრუდეებიდან ჩანს, რომ ძაბვის შემცირებასთან ერთად უფრო შესამჩნევად მცირდება სინათლის ნაკადი. ძაბვის ნომინალურ სიდიდეზე მეტად გაზრდის შემთხვევაში იზრდება სინათლის ნაკადი  $F$ , ნათურის სიმძლავრე  $P$  და შუქგადაცემა  $\eta$ , მაგრამ მკვეთრად მცირდება ნათურის მუშაობის ხანგრძლივობა  $T$  და შედეგად ისინი სწრაფად გადაიწვეებიან. ამავე დროს ადგილი აქვს ელექტროენერჯის გადახარჯვას.

ძაბვის ცვლილებას მიყვარტ სინათლის ნაკადისა და განათებულობის შესაბამის ცვლილებასთან, რაც საბოლოო ჯამში გავლენას ახდენს შრომის ნაყოფიერებასა და ადამიანის დაღლილობაზე.



ნახ.2.2. ვარვარების ნათურის მახასიათებლების დაბვაზე დამოკიდებულება: 1 - მოხმარებული სიმძლავრე; 2 - სინათლის ნაკადი; 3 - შექცავცემა; 4 - ნათურის მუშაობის ხანგრძლივობა.

**ლუმინესცენციური ნათურები** დაბვის გადახრის მიმართ ნაკლებად მგრძობიარენი არიან. დაბვის მომატების დროს მოთხოვნილი სიმძლავრე და სინათლის ნაკადი იზრდება, ხოლო შემცირების დროს – მცირდება, მაგრამ არა იმ ხარისხით, როგორც ვარვარა ნათურებში. შემცირებული დაბვის დროს ლუმინესცენციური ნათურების ანთების პირობები უარესდება, ამიტომ მათი მუშაობის ხანგრძლივობა, რომელიც განისაზღვრება ელექტროდების ოქსიდური დაფარვის გაფრქვევით, დაბვის როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი გადახრის დროს.

დაბვის 10 %-ით გადახრის დროს ლუმინესცენციური ნათურების მუშაობის ხანგრძლივობა საშუალოდ 20-25 %-ით მცირდება. ლუმინესცენციური ნათურების არსებითი ნაკლია მათ მიერ რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარება, რომელიც დაბვის ზრდასთან ერთად იზრდება [22].

დაბვის გადახრა ასევე უარყოფითად მოქმედებს საყოფაცხოვრებო ელექტრონული ტექნიკის (რადიომიმღებები, ტელევიზორები, ტელეფონი,



კომპიუტერული ტექნიკა და სხვა) მუშაობის ხარისხსა და ხანგრძლივობაზე [22].

**ვენტილურ გარდამქმნელებს** ჩვეულებრივ აქვთ ფაზური მართვის გზით მუდმივი დენის ავტომატური რეგულირების სისტემა. ქსელში ძაბვის მომატების დროს რეგულირების კუთხე ავტომატურად იზრდება, ხოლო შემცირებისას - მცირდება. ძაბვის 1 %-ით მომატება იწვევს გარდამქმნელის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის გაზრდას დაახლოებით 1-1,4 %-მდე, რასაც მივყავართ სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუარესებისაკენ. ამავე დროს ვენტილური გარდამქმნელების სხვა მაჩვენებლები ძაბვის მომატებით უმჯობესდება, ამიტომუფრო მომგებიანია მის მომჭერებზე ავწიოთ ძაბვა დასაშვები მნიშვნელობის ფარგლებში. [23].

ელექტრული ღუმელები ძაბვის გადახრის მიმართ მგრძობიარენი არიან. მაგალითად ძაბვის 7 %-ით შემცირება იწვევს ფოლადის დნობის პროცესის გახანგრძლივებას 1,5- ჯერ. ძაბვის მომატება 5 %-ით კი იწვევს ელექტროენერჯის გადახარჯვას.

**ელექტროშედულების მანქანებზე** ძაბვის გადახრა უარყოფით გავლენას ახდენს მათ მუშაობაზე. მაგალითად, წერტილოვანი შედულების მანქანებში ძაბვის 15 %-ით ცვლილება იწვევს პროდუქციის 100 %-იან წუნს.

ძაბვის გადახრა გამანაწილებელ ქსელში იწვევს მისი დონის ცვლილებას ცალკეულ უბნებზე. ქსელში და მომხმარებელთან ძაბვის მისაღები დონის შექმნისათვის საჭიროა მისი რეგულირება, რომელიც სრულდება მომხმარებლის დატვირთვის მიხედვით როგორც ელექტრული სადგურების გენერატორებზე, ასევე ძალურ ტრანსფორმატორებზე. დატვირთვის მომატების დროს გენერატორის ძაბვას უმატებენ, ხოლო შემცირებისას – ამცირებენ.

ქსელში ძაბვის რეჟიმების გაუმჯობესების ეფექტურ ხერხს წარმოადგენს ხაზში კონდენსატორების მიმდევრობითი ჩართვა, რომლებიც ამცირებენ ხაზის ინდუქციურ წინაღობას და შესაბამისად, ძაბვის ვარდნას მასში.

### 2.3. ძაბვის რხევის (ცვლილების) მანძილის გაგეგნა

ძაბვის რხევა წარმოადგენს ძაბვის უდიდესი და უმცირესი მოქმედი მნიშვნელობების ( ძაბვის ცვლილების პროცესში არანაკლებ 1 % წამში სიხქარით) სხვაობის ფარდობას ნომინალურ მნიშვნელობასთან გამოსახულს პროცენტებში:

$$\Delta U = (U_{\max} - U_{\min}) \times 100\% / U_{\text{ნომ}}$$

ძაბვის რხევა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U$ );
- ფლიქერის დოზა ( $P_f$ ).

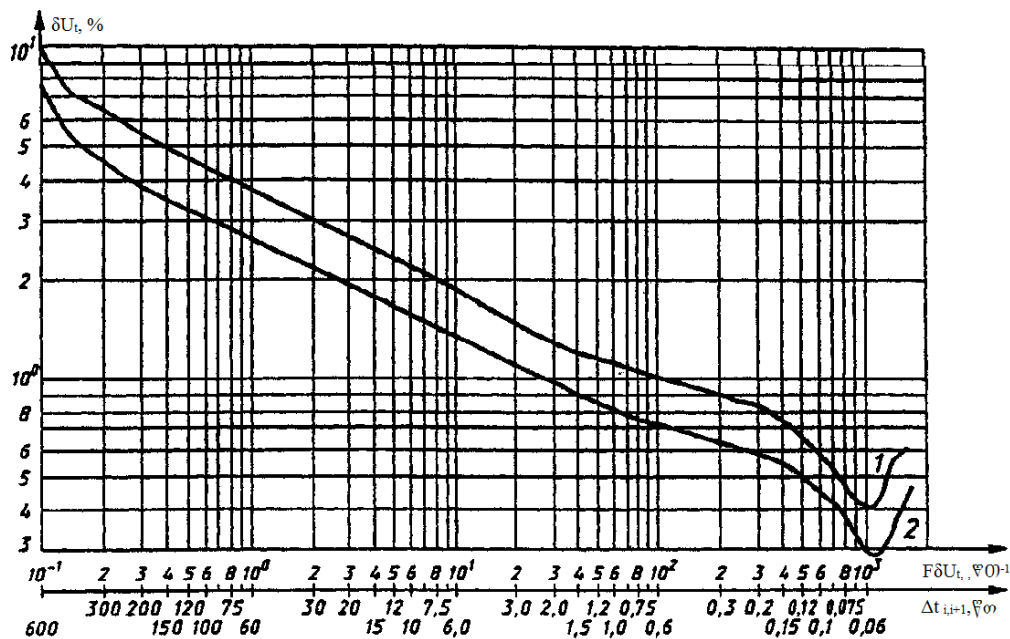
ძაბვის ცვლილების მანძილი ( $\delta U$ ); დადგენილია ძაბვის ცვლილების მანძილის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები ელექტრული ქსელებთან საერთო მიერთების წერტილებში, ძაბვის რხევების დროს.

ა) ძაბვის ცვლილების დროს ელექტრულ ქსელებთან საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის ცვლილების მანძილის ( $\delta U$ ) ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობებს აქვს ნახ.2.3-ზე მოცემული მრუდის ფორმა (რომელსაც მეანდრის ფორმას უწოდებენ). მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ძაბვის ცვლილების განმეორების ( $F\delta U$ ) სიხშირეზე ან ძაბვის ცვლილებებს შორის დროის იტერვალზე ( $\Delta t_{i+1}$ ), რომელთა მნიშვნელობა განისაზღვრება ნახ.1-ზე მოცემული 1 მრუდიდან. ელექტროენერჯის იმ მომხმარებლებისათვის, რომლებსაც განათებისათვის აქვთ ვარვარა ნათურები შენობებში, სადაც მოითხოვება მხედველობისათვის მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვა, ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები განისაზღვრებიან ნახ.2.3-ზე მოცემული 2 მრუდიდან [1].

შენობების ჩამონათვალი სამუშაოთა თანრიგით, რომლებიც მოითხოვენ მნიშვნელოვან მხედველობით ძაბვას, დადგენილია ნორმატიულ დოკუმენტებში, რომლებიც დამტკიცებულია დადგენილი წესით.

ბ) ძაბვის გადახრის დამყარებული ( $\delta U_{\text{დამყ}}$ ) და ძაბვის ცვლილების მანძილის ( $\delta U$ ) ჯამის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობა 0,38 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებთან მიერთების წერტილებში ტოლია ნომინალური ძაბვის  $\pm 10$  %.

ძაბვის რხევები გავლენას ახდენენ ელექტროძრავების გაშვების, ტექნოლოგიური დანადგარების შედუღების აგრეგატების, რკალური ღუმელების, გამმართველი დანადგარების მუშაობის რეჟიმებზე. ძაბვების რხევის შემცირების მიზნით დიდი კვეთის გამტარების გამოყენებით ამცირებენ მკვებავი ქსელის წინაღობას, ასევე გამოიყენებენ კონდენსატორებს, ელექტროენერჯის მიმღებებს უახლოებენ კვების წყაროებს და სხვა.



ნახ.2.3. 1 წუთის განმავლობაში ძაბვის ცვლილების განმეორებით სიხშირეზე დამოკიდებული მეანდრის ფორმის მქონე ძაბვის ცვლილების ზღვრულად დასაშვები მანძილები.

ძაბვის რხევის მიმართ განსაკუთრებით მგრძობიარენი არიან ისეთი ელექტრომომხმარებლები, როგორიცაა: სანათი ხელსაწყოები და განსაკუთრებით ვარგარების ნათურები და ელექტრონული ტექნიკა.

ძაბვის რხევები არღვევენ ელექტრონული აპარატურის: რადიომიმღებების, ტელევიზორების, ტელეფონების, კომპიუტერული ტექნიკის, რენტგენის დანადგარების, რადიო, სატელევიზიო და მობილური კავშირის სადგურების ნორმალური მუშაობის რეჟიმს და ამცირებენ მუშაობის ვადას.

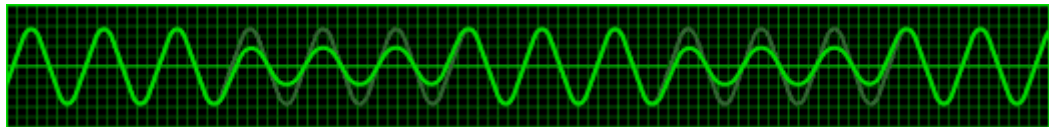
ძაბვის მნიშვნელოვანი რხევების დროს (15 %-ზე მეტი) შეიძლება დარღვეული იქნეს ელექტროძრავების ნორმალური მუშაობის პირობები.

შესაძლებელია მაგნიტური ამამუშავებლის კონტაქტების ამოვარდნა და შესაბამისი მუშა ძრავას გამორთვა.

ძაბვის 10-15 % -ით რხევამ შეიძლება მწყობრიდან გამოიყვანოს კონდენსატორების ბატარეები და ვენტილური გარდამქმნელები.

ძაბვის რხევის გავლენა ელექტროენერჯის ცალკეულ მიმღებებზე არასაკმარისად არის შესწავლილი. ეს კი აძნელებს ტექნიკო-ეკონომიურ ანალიზს მკვეთრად ცვლადი დატვირთვების მქონე ელექტრული სისტემების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს.

**ფლიკერის დოზა ( $P_f$ ).** ფლიკერი არის ადამიანის მიერ ხელოვნური სინათლის წყაროების მკვეთრად ელექტრულ ქსელში ძაბვის რხევით გამოწვეული სინათლის ნაკადის ცვლილების სუბიექტური აღქმა. ნახ.4-ზე მოცემულია ფლიკერის ეფექტის გამომწვევე ძაბვის რხევის მრუდი [24].



ნახ.2.4. ფლიკერის ეფექტის გამომწვევე ძაბვის რხევის მრუდი.

ძაბვის რხევა გამოწვეულია ცვალებადი სიმძლავრითა და მაშასადამე დატვირთვის დენით, რაც იწვევს ძაბვის ვარდნის ცვლილებას სინათლის წყაროს შიგა წინააღობაზე. სხვა თანაბარი პირობების დროს რაც უფრო დიდია წყაროს სიგა წინააღობა, მით მაღალია ფლიკერის დოზა. ფლიკერის ეფექტს იწვევენ ისეთი მოწყობილობები, როგორცაა: შედუღების ტრანსფორმატორები, ლითონსაჭრელი ჩარხები, ქვისსამტვრევეები და სხვა.

სტანდარტით განსაზღვრულია ძაბვის რხევის ზემოქმედება სანათ ხელსაწყოებზე, გავლენა ადამიანის მხედველობაზე. განათების წყაროების ციმციმი (ფლიკერ-ეფექტი) იწვევს არასასურველ ფსიქოლოგიურ ეფექტს, მხედველობისა და მთლიანად ორგანიზმის დაღლას. ეს კი იწვევს შრომის ნაყოფიერების შემცირებასა და ზოგიერთ შემთხვევაში ადამიანის ტრამვასაც კი.

ადამიანის თვალზე ყველაზე ძლიერ ზემოქმედებას ახდენს 3-10 ჰც სიხშირის ციმციმი, ამიტომ დაბვის დასაშვები რხევები ამ დიაპაზონში მინიმალურია – 0,5 %-ზე ნაკლები.

დაბვის რხევების დროს, რომლის ფორმა განსხვავებულია მეანდრის ფორმისაგან ფლიკერის ხანმოკლე დოზის  $P_{st}$  ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობაა 1,38, ხოლო დაბვის იგივე რხევისათვის ფლიკერის ხანგრძლივი დოზისათვის  $P_{Lt} = 1,0$ .

ფლიკერის ხანმოკლე დოზას განსაზღვრავენ 10 წუთი დაკვირვების დროის ინტერვალით, ხოლო ხანგრძლივ დოზას- 2 სთ დაკვირვების დროის ინტერვალით.

საერთო მიერთების წერტილებში ფლიკერის ხანმოკლე დოზის  $P_{st}$  ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობა იმ ელექტრული ენერჯის მომხმარებლებისათვის, რომელთაც შენობებში აქვთ ვარვარების ნათურები და მეანდრის ფორმისაგან განსხვავებული დაბვის ცვლილების დროს მოითხოვება მნიშვნელოვანი მხედველობითი დაბვა, ტოლია 1,0, ხოლო ამავე წერტილებში ფლიკერის ხანგრძლივი დოზისათვის  $P_{Lt} = 0,74$

დაბვის ერთნაირი რხევის პირობებში უარყოფითი გავლენა უფრო მეტად აისახება ვარვარების ნათურებში, ვიდრე აირგანმუხტვის ნათურებში. დაბვის 10 %-ზე მეტი რხევის პირობებში შეიძლება მოხდეს აირგანმუხტვის ნათურების ჩაქრობა. მათი ანთება ნათურის ტიპიდან გამომდინარე შეიძლება მოხდეს რამდენიმე წამიდან რამდენიმე წუთის განმავლობაში.

#### **2.4. დაბვის არასინუსოიდურობის გავლენა**

დაბვის მრუდის ფორმის არასინუსოიდურობა ხასიათდება უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელებით (13-ის ჩათვლით) და დაიშვება შემდეგ საზღვრებში: ნებისმიერი ელექტრომიმდების მომჭერებზე ყველა უმაღლესი ჰარმონიკის მოქმედი მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს დაბვის ძირითადი ჰარმონიკის 5 %-ს.

უმაღლესი ჰარმონიული მდგენელები არასასურველ გავლენას ახდენენ ელექტრული ქსელებისა და ელექტროენერჯის მიმღებების, კავშირგაბმულობისა და ავტომატიკის საშუალებების, საზომი ხელსაწყოების, გამომთვლელი მანქანებისა და სხვა ელექტრონული

მოწყობილობების მუშაობაზე. უმაღლესი ჰარმონიკების წყაროებს წარმოადგენენ მომხმარებლებთან დაყენებული გამმართველი დანადგარები, მუდმივი დენის ელექტროგადამცემები, ძალური ტრანსფორმატორები, რკალური ელექტროდუმელები, შედუღების აგრეგატები. უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების შემცირება მიიღწევა ელექტრომომარაგების სქემის რაციონალური გამოყენებითა (ნაჩვენებ დატვირთვებს გამოყოფენ და მიუახლოვებენ კვების მძლავრ წყაროებს) და სპეციალური ფილტრების გამოყენებით (ფილტრებს ააწყოვენ განსაზღვრულ ჰარმონიკებზე და მათგან შეზღუდავენ ქსელს).

ძაბვის არასინუსოიდურობა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტით;
- ძაბვის  $n$  – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტით.

დადგენილია მოყვანილი მაჩვენებლების ნორმები.

სხვადასხვა ნომინალური  $U_{ნომ}$  ძაბვის ელექტრული ქსელების საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში მოყვანილია ცხრილში 2.1.

ცხრილი 2.1. ძაბვის მრუდის სინუსოიდურობის დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

	ნორმალური				ზღვრული			
	0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
ნომინალური ძაბვა, $U_{ნომ}$ . კვ	0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
დასაშვები მნიშვნელობები, %	8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

სხვადასხვა ნომინალური  $U_{ნომ}$  ძაბვის ელექტრული ქსელების საერთო მიერთების წერტილებში ძაბვის  $n$  – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში მოყვანილია ცხრილში 2.2.

ცხრილი 2.2. დაბვის n – ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები მნიშვნელობები პროცენტებში.

ჰარმონიკის რიგის ნომერი, n		5	7	11	13	17	19	23	25	>25
3-ის არაჯერადი კენტი ჰარმონიკები	ნომინალური დაბვა, კვ									
	0,38	6,0	5,0	3,5	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	0,2+1,3 X25/n
	6-20	4,0	3,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,2+0,8 X25/n
	35	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2+0,6 X25/n
	110-300	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2+0,2 X25/n
ჰარმონიკის რიგის ნომერი, n		3	9	15	21	>21	3 და 9 ჰარმონიკების მონაცემები ეკუთვნის ერთფაზა ელექტრულ ქსელებს. სამფაზა ქსელებისათვის მათი მონაცემები ორჯერ უნდა იქნეს შემცირებული.			
3-ის ჯერადი კენტი ჰარმონიკები	ნომინალური დაბვა, კვ									
	0,38	5,0	1,5	0,3	0,2	0,2				
	6-20	3,0	1,0	0,3	0,2	0,2				
	35	3,0	1,0	0,3	0,2	0,2				
110-330	1,4	0,4	0,2	0,2	0,2					
ჰარმონიკის რიგის ნომერი, n		2	4	6	8	10	12	>12		
ლუწი ჰარმონიკები	ნომინალური დაბვა, კვ									
	0,38	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2		
	6-20	1,5	0,7	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2		
	35	1,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2		
	110-330	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		

დაბვის n-ური ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$K_{U(n)} = 1,5 K_{U(n)ნორმ}$$

სადაც  $K_{U(n)ნორმ}$  - დაბვის n-ური ჰარმონიული მდგენელის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობაა, განსაზღვრული ცხრილი 2-ის მიხედვით.

არაწრფივი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმღებები მათ მომჭერებზე სინუსოიდური დაბვის არსებობის შემთხვევაში ქსელიდან მოიხმარენ არასინუსოიდურ დენებს. უმაღლესი ჰარმონიკების დენები გაივლიან რა წრედის ელემენტებს ამ ელემენტის წინააღობებზე ქმნიან დაბვის ვარდნებს, რომლებიც დაედებიან დაბვის ძირითად ჰარმონიკას და ელექტრული ქსელის კვანძებში იწვევენ დაბვის ფორმის დამახინჯებას. ამასთან დაკავშირებით არაწრფივი

ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმღებებს ხშირად უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების წყაროს უწოდებენ.

ელექტრულ ქსელში ელექტროენერჯის ხარისხის უფრო სერიოზულ დარღვევებს ადგილი აქვთ მძლავრი მართული ვენტილური გარდამქმნელების მუშაობის დროს. ამ დროს დენისა და ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების რიგი განისაზღვრება ფორმულით:

$$n = mk \pm 1$$

სადაც  $m$  – გამმართველის ფაზათა რიცხვია;  $k$  – ნატურალურ რიცხვთა რიგია (0,1,2,3 . . .).

გამართვის სქემიდან გამომდინარე ვენტილური გარდამქმნელები ქსელში გენერირებენ დენის შემდეგ ჰარმონიკებს: 6 ფაზიან სისტემაში 19 რიგამდე; 12 ფაზიან სისტემაში – 25 რიგის ჩათვლით.

**ელექტრორკალურ ფოლადსადნობი და მადანთერმული ღუმელების** ქსელებში ძაბვის სინუსოიდური მრუდის დამახინჯების კოეფიციენტი ძირითადად განისაზღვრება 2,3,4,5, 7 რიგის ჰარმონიკებით.

რკალური და კონტაქტური შედუღების დანადგარებში ძაბვის სინუსოიდური მრუდის დამახინჯების კოეფიციენტი ძირითადად განისაზღვრება 5,7, 11,13 რიგის ჰარმონიკებით.

აირგანმუხტვის ნათურებში დენის მე-3 და მე-5 რიგის ჰარმონიკები შეადგენენ დენის პირველი ჰარმონიკის 10 რა 3 %-ს. მე-3 რიგის ჰარმონიკის დენები ფაზით ემთხვევიან ქსელის შესაბამის ფაზურ გამტარებში, ჯამდებიან 380/220 ვ ქსელის ნულოვან გამტარში და განაპირობებენ მასში თითქმის ფაზური დენის ტოლ დენს. აირგანმუხტვის ნათურებში დანარჩენი ჰარმონიკები შეიძლება მხედველობაში არ მივიდეთ.

ქსელში სინუსოიდურ ძაბვაზე ჩართული ტრანსფორმატორის დამაგნიტების დენის მრუდის გამოკვლევამ აჩვენა რომ სამღეროიანი გულარას დროს, როცა გრაგნილები შეერთებულია  $Y/Y$  და  $\Delta/Y$  ელექტრულ ქსელში ადგილი აქვს კენტი რიგის, მათ შორის სამის ჯერად, ჰარმონიკებს. სამის ჯერადი ჰარმონიკები განპირობებულია ფაზებში დამაგნიტებელი დენების არასიმეტრიით.



$$I_{\mu A} = I_{\mu C} \approx 1,5 I_{\mu B} \quad (2.9)$$

ტრანსფორმატორის დამამაგნიტებელი დენის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია:

$$I_{\mu} = (I_{\mu A} + I_{\mu B} + I_{\mu C})/3 \quad (2.10)$$

დამაგნიტების დენები ქმნიან დენების პირდაპირ და უკუთანმიმდევრობის სისტემებს, რომლებიც აბსოლუტური სიდიდით ერთმანეთის ტოლია სამის ჯერადი ჰარმონიკებისათვის. სხვა კენტი რიგის ჰარმონიკებისათვის უკუთანმიმდევრობის დენები შეადგენენ პირდაპირი თანმიმდევრობის დენების 25%-ს.

თუ ტრანსფორმატორის შემყვანებზე მიეწოდება არასინუსოიდური ძაბვა, მაშინ აღიძვრებიან დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების დამატებითი მდგენელები. მთავარი გამანაწილებელი ქვესადგურის ტრანსფორმატორები იძლევიან მცირე სიდიდის მე-5 ჰარმონიკას.

მთლიანობაში არასინუსოიდურ რეჟიმებს გააჩნიათ იგივე ნაკლი, რაც არასიმეტრიულს.

დენისა და ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები ელექტრომომარაგების სისტემის ყველა ელემენტში: ელექტროგადაცემის ხაზებში, ტრანსფორმატორებში, ელექტრულ მანქანებში, სტატიკურ კონდენსატორებში იწვევენ აქტიური სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს, რადგან ამ ელემენტების წინააღობები დამოკიდებულია სიხშირეზე. ასე მაგალითად, ელექტრულ ქსელებში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის მიზნით დაყენებული კონდენსატორების ტევადური წინააღობა მიყვანილი ძაბვის სიხშირის გაზრდით მცირდება. ამიტომ თუ მკვებავი ქსელის ძაბვაში არის უმაღლესი ჰარმონიკები, მაშინ კონდენსატორების წინააღობა ამ ჰარმონიკებზე აღმოჩნდება მნიშვნელოვნად მცირე, ვიდრე 50 ჰც სიხშირეზე. ამის გამო რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისათვის განკუთვნილი კონდენსატორებში უმაღლესი ჰარმონიკების მცირე ძაბვასაც კი შეუძლია გამოიწვიოს ჰარმონიკების მნიშვნელოვანი სიდიდის დენი [24].

დაწესებულებებში, რომლებსაც გააჩნიათ არაწრფივი დატვირთვის დიდი რაოდენობა, კონდენსატორების ბატარეა ცუდად მუშაობს. ისინი ან გამოირთვებიან გადატვირტვის დენების დაცვის მიერ ან მოკლე ხანში გამოდიან მწყობრიდან ქილების ამობურცვის გამო (ან

იზოლაციის დაჩქარებული დაძველების შედეგად). ცნობილია ისეთი შემთხვევები, როცა განვითარებული 6-10 კვ ძაბვის საკაბელო ქსელის მქონე დაწესებულებებში კონდენსატორების ბატარეები აღმოჩენილან დენების რეზონანსის რეჟიმში რაიმე ჰარმონიკის სიხშირეზე, რაც იწვევს დენების მიხედვით საშიშ გადატვირთვას.

ამრიგად უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები იწვევენ:

- სინქრონულ და ასინქრონულ მანქანებში - პარაზიტულ ველებსა და ელექტრომაგნიტურ მომენტებს, რომლებიც აუარესებენ მანქანის მექანიკურ მახასიათებლებსა და მქკ-ს.
- უმაღლესი ჰარმონიკების ველების ზემოქმედებით მიმდინარე შეუქცევადი ფიზიკო-ქიმიური პროცესებისა და დენგამტარი ნაწილების მომატებული გახურების შედეგად ხდება:
- ელექტრული მანქანების, ტრანსფორმატორებისა და კაბელების იზოლაციის დაჩქარებული დაძველება;
- ელექტრომიმღების სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუარესება;
- ავტომატიკის, ტელემექანიკის, კომპიუტერული ტექნიკისა და სხვა მოწყობილობების მუშაობის გაუარესება ან დარღვევა;
- ელექტროენერჯის ინდუქციური მრიცხველების გაზომვის ცდომილებები, რომლებიც იწვევენ მოხმარებული ელექტროენერჯის არასრულ აღრიცხვას;
- უმაღლესი რიგის ჰარმონიული მდგენელების მაღალი დონის შემთხვევაში ვენტილური გარდამქმნელების მუშაობის რეჟიმის დარღვევა;
- უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა არასასურველად აისახება არა მარტო მომხმარებლის ელექტრომოწყობილობის, არამედ ელექტროსის-ტემის ელექტრონული მოწყობილობის მუშაობაზეც;
- ზოგიერთი დანადგარისათვის (ვენტილური გარდამქმნელებით იმპულსურ-ფაზური მართვის სისტემა, ავტომატიკის კომპლექტური მოწყობილობები და სხვა). დენის (ძაბვის) ცალკეული ჰარმონიკა ნაჩვენებია პასპორტში.

ელექტრომიმღებზე მოდებული ძაბვის მრუდი ელექტროქსელის მუშაობის დამყარებულ რეჟიმში არ უნდა შეიცავდეს უმაღლეს ჰარმონიკებს. ხაზი უნდა გავუსვათ, რომ ელექტრომიმღების მუშაობის

პირობებში ძაბვის არასინუსოიდურობა ვლინდება სხვა ფაქტორების ზემოქმედებასთან ერთად და ამიტომ საჭიროა ყველა ფაქტორის ერთობლივი განხილვა.

## 2.5. ძაბვის არასიმეტრიულობის გაფლენა.

სამფაზა სისტემის არასიმეტრიულობა შეიძლება აღიძრას არა მხოლოდ ავარიულ სიტუაციებში (ხაზის გაწყვეტისას, ერთი ფაზის გამორთვისას), არამედ ნორმალურ რეჟიმებშიც (ერთეულოვანი ერთფაზა მძლავრი დატვირთვების დროს – ელექტრული ღუმელები, ელექტრული ტრანსპორტი, მასიური ერთფაზა ელექტრომიმღებების ფაზების მიხედვით არათანაბარი განაწილების დროს).

არასიმეტრიული დატვირთვის დროს უარესდება ელექტრომიმღებებისა და ქსელის ყველა ელემენტის მუშაობის პირობები, მცირდება მოწყობილობის ეკონომიურობა და მუშაობის ხანგრძლივობა, ქსელის გამტარუნარიანობა. იზრდება ელექტროენერჯის დანაკარგები.

არასიმეტრიული რეჟიმი ხასიათდება უკუთანმიმდევრობის ძაბვით. როგორც ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლებიდან არის ცნობილი, ძაბვის ან დენის არასიმეტრიული სამფაზა სისტემა შეიძლება დაიშალოს სამ სიმეტრიულ მდგენელად: პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი თანმიმდევრობის. ნებისმიერი სიმეტრიული ელექტრომიმღების მომჭერებზე უკუთანმიმდევრობის ძაბვამ არ უნდა გადააჭარბოს ნომინალური ძაბვის 2 %-ს.

ძაბვების გაუწონასწორებლობა შეიძლება აღიძრას სამფაზა სისტემაში ნეიტრალის წანაცვლებით, როცა ფაზებს შორის ძაბვების სიმეტრიულობის შენარჩუნების დროს აღიძვრება ფაზური ძაბვების ასიმეტრია. ეს ხდება 1000 ვ-მდე ძაბვის ოთხგამტარიან სისტემაში, სადაც ნეიტრალის წანაცვლება განისაზღვრება ნულოვანი გამტარის მიმართ ელექტრომიმღებების ჩართვის ადგილზე.

ძაბვების არასიმეტრიულობა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- უკუთანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი;
- ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტი.

სტანდარტით დადგენილია ამ მაჩვენებლების ნორმები.

ელექტრულ ქსელებთან საერთო მიერთების წერტილებში უკუთანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია 2,0 და 4,0 %-ს.

0,38 კვ ძაბვის ოთხგამტარიან ელექტრულ ქსელებთან საერთო მიერთების წერტილებში ნულოვანი თანმიმდევრობის ძაბვის არასიმეტრიულობის კოეფიციენტის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია 2,0 და 4,0 %-ს.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ ძაბვების არასიმეტრიას იწვევს არასიმეტრიული დატვირთვა. ელექტრომომარაგების სისტემის ელემენტებში დატვირთვის არასიმეტრიული დენების გავლა ყველაზე ხშირად გამოწვეულია არასიმეტრიული დატვირთვით. არასიმეტრიული დენები იწვევენ არასიმეტრიულ ძაბვის ვარდნებს. რის შედეგადაც ელექტრომიმღების მომჭერებზე ჩნდება ძაბვების არასიმეტრიული სისტემა. ელექტრომიმღების გადატვირთულ ფაზაზე ძაბვის გადახრამ შეიძლება გადააჭარბოს ძაბვის ნორმალურად დასაშვებ მნიშვნელობას, მაშინ როცა ამ ელექტრომიმღების დანარჩენ ფაზებზე ძაბვა ნორმის ფარგლებშია. ამ ელექტრომომხმარებლის ძაბვის რეჟიმის გაუარესების გარდა არსებითად უარესდება როგორც ამ ელექტრომომხმარებლის, ასევე ამ ქსელში ჩართული ყველა ელემენტის მუშაობის პირობები, მცირდება ელექტრომოწყობილობისა და მოლიანად ელექტრომომარაგების სისტემის მუშაობის საიმედოობა.

არასიმეტრიული რეჟიმის მოქმედება სიმეტრიულ რეჟიმთან შედარებით ხარისხობრივად განსხვავდება ისეთ გავრცელებულ სამფაზა ელექტრომიმღებებში, როგორცაა **ასინქრონული ძრავები**. მათთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს უკუთანმიმდევრობის ძაბვებს. ელექტროძრავების უკუთანმიმდევრობის წინაღობა დაახლოებით დამუხრუჭებული ძრავას წინაღობის ტოლია მაშასადამე 5-8ჯერ ნაკლებია პირდაპირი თანმიმდევრობის წინაღობაზე. ამიტომ ძაბვების მცირე ასიმეტრიაც კი იწვევს უკუთანმიმდევრობის მნიშვნელოვანი სიდიდის დენებს. უკუთანმიმდევრობის დენები დაედება პირდაპირი თანმიმდევრობის დენებს და იწვევს სტატორისა და როტორის დამატებით გახურებას, რასაც მიყვავართ იზოლაციის დაჩქარებულ

დაძველებასთან და ძრავას სიმძლავრის და შესაბამისად მქკ-ს შემცირებასთან. ასე მაგალითად, ძაბვის 4%-ით არასიმეტრიის დროს მთლიანად დატვირთული ასინქრონული ძრავას მუშაობის ხანგრძლივობა მცირდება 2-ჯერ. 5 % არასიმეტრიის დროს ძრავას სიმძლავრე მცირდება 5-10 %-ით.

სინქრონულ ძრავებში ქსელის ძაბვის არასიმეტრიის დროს აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებსა და როტორისა და სტატორის გახურებასთან ერთად ნიშანცვლადი მბრუნავი მომენტებისა და ორმაგი სიხშირით პულსირადი ტანგენციალური ძალების გავლენის გამო შეიძლება აღიძვრას საშიში ვიბრაციები. მნიშვნელოვანი არასიმეტრიის დროს ვიბრაცია შეიძლება აღმოჩნდეს საშიში, განსაკუთრებით არასაკმარისი სიმტკიცისა და შედუღების ადგილებში დეფექტების არსებობისას. დენების არასიმეტრიისას, რომლებიც არ აღემატება 30 %-ს, საშიში გადაძაბვები კონსტრუქციის ელემენტებში, როგორც წესი, არ აღიძვრებიან.

ელექტრული ქსელებისა და სადგურების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების თანახმად გენერატორებისა და სინქრონული კომპენსატორების ხანგრძლივი მუშაობა ფაზებში არათანაბარი დენებისას დასაშვებია, თუ დენების სხვაობა სტატორის ნომინალური დენასაგან ტურბოგენერატორებისათვის არ აღემატება 10 %-ს, ხოლო ჰიდროგენერატორებისათვის – 20 %-ს. ამავე დროს დენები ფაზებში არ უნდა არ მატებოდნენ ნომინალურ მნიშვნელობებს. თუე ს პირობები დაკმაყოფილებული არ არის, მაშინ მიღებული უნდა იქნეს სპეციალური ზომები არასიმეტრიის შესამცირებლად.

ნულოვანი და უკუთანმიმდევრობის დენების არსებობისას ქსელის ელემენტების ცალკეულ ფაზებში იზრდება ჯამური დენები, რაც იწვევს აქტიური სიმძლავრის შემცირებას შეიძლება გახურების მხრივ იყოს დაუშვებელი. ნულოვანი თანმიმდევრობის დენები მუდმივად გაედინება ჩამამიწებლების გავლით. ამ დროს დამატებით შრება და იზრდება ჩამამიწებელი მოწყობილობის წინააღობა. ეს შეიძლება იყოს დაუშვებელი რელეური დაცვის, კავშირგაბმულობის დაბალსიხშირული დანადგარებისა და რკინიგზის ბლოკირების მოწყობილობების მუშაობის თვალსაზრისით.

ძაბვის არასიმეტრიულობა მნიშვნელოვნად აუარესებს მრავალ-ფაზა ვენტილური გარდამქმნელების მუშაობის რეჟიმებს: მნიშვნელოვნად იზრდება გამართული ძაბვის პულსაცია, უარესდება ტირისტორული გარდამქმნელების ფაზურ-იმპულსური მართვის სისტემების მუშაობის პირობები.

კონდენსატორული დანადგარები ძაბვების არასიმეტრიის დროს ფაზების მიხედვით არათანაბრად იტვირთება რეაქტიული სიმძლავრით, რაც შეუძლებელს ხდის კონდენსატორების დადგმული სიმძლავრის სრულ გამოყენებას. გარდა ამისა კონდენსატორული დანადგარები ამ შემთხვევაში აძლიერებენ უკვე არსებულ არასიმეტრიას, რადგანაც რეაქტიული სიმძლავრის გაცემა იმ ფაზის ქსელში უფრო ნაკლებია ვიდრე დანარჩენ ფაზებში (კონდენსატორულ დანადგარზე რეაქტიული სიმძლავრე ძაბვის კვადრატის პროპორციულია).

ძაბვის არასიმეტრია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ერთფაზა ელექტრომომხმარებლებზე. თუ ფაზური ძაბვები არათანაბარია, მაშინ უფრო მაღალ ძაბვაზე ჩართული ვარვარების ნათურებს აქვთ დიდი სინათლის ნაკადი, მაგრამ მნიშვნელოვნად ნაკლები მუშაობის ხანგრძლივობა, ვიდრე დაბალ ძაბვაზე ჩართულ ნათურებს. ძაბვების არასიმეტრია ართულებს რელეური დაცვის მუშაობას და ელექტროენერჯის მრიცხველების მუშაობაში იწვევს შეცდომებს და სხვა.

## 2.6. სიხშირის გადახრის გავლენა

სიხშირის გადახრა არის მის ფაქტიურ და ნომინალურ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა, გასაშუალებული 10 წთ განმავლობაში. ნორმალურ რეჟიმში სიხშირის გადახრა უნდა იყოს  $\pm 0,1$  ჰც. დასაშვებია დროებითი მუშაობა  $\pm 0,2$  ჰც გადახრით.

ელექტრულ ქსელებში სიხშირის გადახრის ნორმალურად დასაშვები და ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები არის შესაბამისად  $\pm 0,2$  და  $\pm 0,4$  ჰც.

სიხშირის რხევა ხასიათდება დროის განსაზღვრულ შუალედში ძირითადი სიხშირის უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობებს შორის სხვაობით. სიხშირის რხევის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს მის ნაჩვენებ დასაშვებ მნიშვნელობებს. სიხშირის ღრმა ხანგრძლივი

შემცირების მიზეზია ენერგოსისტემაში სიმძლავრის ან ენერგორესურსების ბალანსის დეფიციტი.

მკვებავი ძაბვის სიშირის მიმართ სტანდარტის მოთხოვნები უფრო მკაცრია, რაც განპირობებულია სიხშირის მნიშვნელოვანი გავლენით ელექტრომოწობილობის მუშაობის რეჟიმზე, წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობით, როგორც სამრეწველო წარმოების მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებელი.

ზარალის ელექტრომაგნიტური მდგენელი განპირობებულია ელექტრულ ქსელებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებითა და აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარების გაზრდით. ცნობილია, რომ სიხშირის 1 %-ით შემცირება ელექტრულ ქსელებში დანაკარგებს ზრდის 2 %-ით.

ზარალის ტექნოლოგიური მდგენელი ძირითადად გამოწვეულია სამრეწველო საწარმოს მიერ თავისი პროდუქციის გეგმაზე ნაკლები გამოშვებითა და გეგმის შესრულებისათვის წარმოების დამატებით დროში მუშაობის ღირებულებით. ექსპერტების შეფასების თანახმად ტექნოლოგიური ზარალის მნიშვნელობა ელექტრომაგნიტურზე ერთი რიგით მაღალია.

უწყვეტი ციკლის წარმოების დაწესებულებების მუშაობის ანალიზმა აჩვენა, რომ ძირითადი ტექნოლოგიური ხაზების უმეტესობა აღჭურვილია წინაღობების მუდმივი და ვენტილატორული მომენტებით, ხოლო მათ ამძრავებად გამოიყენება ასინქრონული ძრავები. ძრავების როტორების ბრუნვის სიხშირე პროპორციულია ქსელის სიხშირის ცვლილებისა, ხოლო ტექნოლოგიური ხაზის მწარმოებლობა დამოკიდებულია ძრავას ბრუნვის სიხშირეზე [23].

მთელი რიგი მექანიზმების მწარმოებლობაზე სიხშირის გავლენის ხარისხი შეიძლება გამოსახული იქნეს მის მიერ მოხმარებული აქტიური სიმძლავრის საშუალებით:

$$P = a f^n \quad (4)$$

სადაც  $a$  – არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მექანიზმის ტიპზე;  $f$  – ქსელის სიხშირე;  $n$  – ხარისხის მაჩვენებელი.

n ხარისხის მაჩვენებლის მიხედვით ელექტროენერჯის მომხმარებლები შეიძლება დაყოფილი იქნეს შემდეგ ჯგუფებად:

1. მექანიზმები წინააღობის მუდმივი მომენტით – დგუშიანი ტუმბოები, კომპრესორები, ლითონსაჭრელი ჩარხები და სხვა. მათთვის  $n=1$ ;
2. მექანიზმები წინააღობის ვენტილატორული მომენტით – ცენტრიდანული ტუმბოები, ვენტილატორები, კვამლის გამწოვები და სხვა. მათთვის  $n=3$ . თბო, კონდენსაციურ და ატომურ ელექტროსადგურებში ეს მექანიზმებია: სასმელი წყლის, ცირკულაციისა და ზეთის ტუმბოების, საკვამლე ვენტილატორების და სხვათა ძრავები.
3. მექანიზმები, რომელთათვისაც  $n = 3,5- 4$ , არის ცენტრიდანული ტუმბოები, რომლებიც მუშაობენ დიდი სტატიკური დაწნევით (უკუწნევით), მაგალითად, საქვაბების მკვებავი ტუმბოები.

მე-2 და მე-3 ჯგუფის ელექტრომიმღებები უფრო მეტად ექვემდებარებიან სიხშირის გავლენას, აქვთ რეგულირების შესაძლებლობა, რის წყალობითაც მათ მიერ ქსელიდან მოთხოვნილი სიმძლავრე პრაქტიკულად უცვლელი რჩება.

სიხშირის შემცირები მიმართ ყველაზე მგრძობიარეა ელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების ძრავები. სიხშირის შემცირება იწვევს მათი მწარმოებლობის შემცირებას, რასაც თან ახლავს გენერატორების სიმძლავრის შემცირება და შემდგომში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტ და სიხშირის შემცირება (ადგილი აქვს სიხშირის ზევას).

ისეთი ელექტრომომხმარებლები, როგორცაა ვარვარების ნათურები, წინააღობის ღუმელები და რკალური ელექტრული ღუმელები სიხშირის ცვლილებაზე პრაქტიკულად არ რეაგირებენ.

სიხშირის გადახრა უარყოფით გავლენას ახდენს ელექტრონული ტექნიკის მუშაობაზე: სიხშირის გადახრა  $+0,1$  ჰც-ზე მეტად იწვევს სატელევიზიო გამოსახულების სიკაშკაშისა და გეომეტრიული ფონის დამახინჯებას. სიხშირის ცვლილება  $49,9$  ჰც-დან  $49,5$  ჰც-მდე იწვევს სატელევიზიო სიგნალის ფონური დაბრკოლების დასაშვები გაქანების თითქმის ოთხჯერ გაზრდას. სიხშირის ცვლილება  $49,5$  ჰც-მდე სატელევიზიო ტრაქტის ყველა რგოლში დაწყებული აპარატურულ –სტუდიური კომპლექსიდან ტელემიმღებებამდე სიგნალი/ ფონური დაბრკოლება



ფარდობის მიმართ მოითხოვს მოთხოვნების არსებით გამკაცრებას, რაც დაკავშირებულია მნიშვნელოვან მატერიალურ დანახარჯებთან.

გარდა ამისა შემცირებული სიხშირე ელექტრულ ქსელში გაგლენას ახდენს ასევე იმ ელექტრომოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობაზე, რომლებიც შეიცავენ ფოლადის გულარიან ელემენტებს (ელექტროძრავები, ტრანსფორმატორები, ფოლადის მაგნიტოგამტარიანი რეაქტორები და სხვა), ასეთ აპარატებში დამაგნიტების დენის გაზრდისა და ფოლადის გულარების დამატებითი გახურების გამო.

საერთო სისტემური ავარიების თავიდან აცილების მიზნით, რომლებიც გამოწვეულია სიხშირის შემცირებით, გათვალისწინებულია სპეციალური ავტომატური სიხშირის განტვირთვის (ასგ) მოწყობილობები, რომლებიც ავტომატურად გამორთავენ ნაკლებად საპასუხისმგებლო მომხმარებლებს. სიმძლავრის დეფიციტის ლიკვიდაციის შემდეგ, მაგალითად, სარეზერვო წყაროების ჩართვის შემდეგ, სპეციალური სიხშირული განმეორებითი ჩართვის მოწყობილობები რთავენ გამორთულ ელექტრომომხმარებლებს და სისტემის ნორმალური მუშაობა აღდგება.

სტანდარტის მოთხოვნის შესაბამისად ნორმალური სიხშირის შენარჩუნება არის ტექნიკური და არა მეცნიერული ამოცანა. ამ ამოცანის გადაწყვეტის ძირითადი გზაა ახალი სიმძლავრეების ამოქმედება და ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის ქსელებში სარეზერვო სიმძლავრის შექმნა.

## 2.7. ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების გაგლენა

საერთო დანიშნულების ელექტრომმარაგების სისტემებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს მართვის ელექტრონულმა და მიკროელექტრონულმა სისტემებმა, მიკროპროცესორებმა, რამაც გამოიწვია ელექტრომიმღებების მართვის სისტემების დაბრკოლებამდგრადობის დონის შემცირება და მათი მტყუნებების რაოდენობის ზრდა.

მტყუნებების ძირითად მიზეზს, როგორც ენერგოსისტემის ასევე საქალაქო და სამრეწველო ელექტრულ ქსელებში, წარმოადგენს მათში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების დროს აღძრული გარდამავალი ელექტრომაგნიტური ზემოქმედება, გარდამავალი პროცე-

სის ხანგრძლივობა შეადგენს სამრეწველო სიხშირის დენის რამდენიმე პერიოდიდან რამდენიმე წამამდე, ხოლო დაბრკოლებათა სიხშირის ეფექტურმა ზოლმა შეიძლება მიაღწიოს ათეულობით მეგაჰერცს.

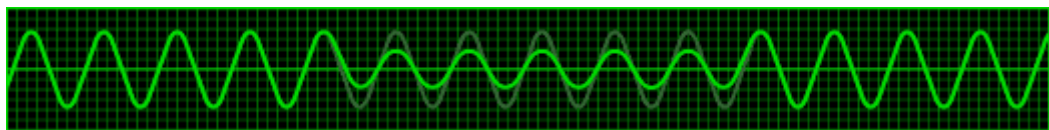
ელექტრომაგნიტური გარდამავალი დაბრკოლებების მახასიათებლებია: დაბვის ჩავარდნები და იმპულსები, ხანმოკლე გადაძაბვები. ელექტროენერჯის ხარისხის ამ მაჩვენებლებისათვის სტანდარტი არ აღგენს დასაშვებ რიცხვით მნიშვნელობებს. მაგრამ ეს დაბრკოლებები განიხილება ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემების ჩარჩოებში.

**დაბვის ჩავარდნა.** დაბვის ჩავარდნა არის ელექტრული ქსელის წერტილში დაბვის უეცარი შემცირება 0,9U<sub>ნომ</sub> ქვემოთ, რომლის შემდეგაც ხდება დაბვის აღდგენა პირველსაწყის ან მასთან მიახლოებულ დონეზე 10 მწმ-დან რამდენიმე ათეულ წამამდე დროის შუალედში.

დაბვის ჩავარდნა ხასიათდება დაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობის მაჩვენებლით, რომლისთვისაც დადგენილია შემდეგი ნორმა:

- 20 კვ-მდე ჩათვლით ელექტრული ქსელებისათვის დაბვის ჩავარდნის ხანგრძლივობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობაა 30 წმ. ნებისმიერ ელექტრულ ქსელთან მიერთების წერტილში დაბვის ჩავარდნის ავტომატურად გამოსწორების ხანგრძლივობა განისაზღვრება რელეური დაცვისა და ავტომატიკის დროის დაყოვნებით.

ნახ.2.5 - ზე წარმოდგენილია დაბვის ჩავარდნის შესაბამისი მრუდი [24].



ნახ.2.5 დაბვის ჩავარდნის შესაბამისი მრუდი.

ევროკავშირის ქვეყნების საკაბელო ხაზებში დაბვის ჩავარდნის სტატისტიკური მონაცემები მოცემულია ცხრილი 2.3-ში.

ცხრილი 2.3. ევროკავშირის ქვეყნების საკაბელო ხაზებში დაბვის ჩავარდნის მახასიათებლები

ჩავარდნის სიღრმე, %	ინტერვალების წილი, % ჩავარდნის ხანგრძლივობის დროს, წმ						სულ, %
	0,01-0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1,0-3,0	3,3-20	20-60	
10-30	33,0	20,0	4,0	0,5	0,5	-	58,0

30-60	4,0	15,0	2,0	-	-	-	21,0
60-95	3,0	9,0	0,5	1,5	-	-	14,0
100	0,5	0,5	1,0	-	-	5,0	7,0
სულ	40,5	44,5	7,5	2,0	0,5	0,5	100

ევროკავშირის ქვეყნების საჰაერო -საკაბელო ხაზებში დაბვის ჩავარდნის სტატისტიკური მონაცემები მოყვანილია ცხრილი 2.4-ში.

ცხრილი 2.4. ევროკავშირის ქვეყნების საჰაერო - საკაბელო ხაზებში დაბვის ჩავარდნის მახასიათებლები.

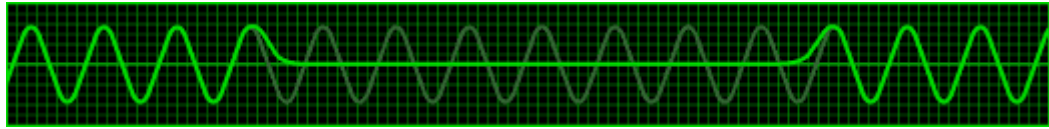
ჩავარდნის სიღრმე, %	ინტერვალების წილი, % ჩავარდნის ხანგრძლივობის დროს, წმ						სულ,%
	0,01-0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1,0-3,0	3,3-20	20-60	
10-30	19,0	17,0	4,0	1,0	0,5	-	41,5
30-60	8,0	10,0	3,0	0,5	-	-	21,5
60-95	1,0	4,0	2,0	0,5	-	-	7,5
100	1,0	4,0	17,0	2,0	1,5	4,0	29,5
სულ	29,0	35,0	26,0	4,0	2,0	4,0	100

ელექტრომაგნიტური გარდამავალი დაბრკოლებები, რომელსაც თან ახლავს დაბვის ჩავარდნები, ძირითადად აღიძვრებიან იზოლაციის გადაფარვის შედეგად საჰაერო ხაზებში ერთფაზა მოკლედ შერთვის დროს. ეს დაზიანებები ან თვითლიკვიდირდება ან გამოსწორდება ხანმოკლე გამორთვის დროს შემდგომში ავტომატური განმეორებითი ჩართვით (აგჩ). გარდა ამისა დაბვის ჩავარდნის მიზეზს წარმოადგენს ატმოსფერული მოვლენების შედეგად აღძრული ფაზათაშორისი მოკლედ შერთვა, ასევე მკვებავი ხაზებისა და კონდენსატორების გადახრა.

20 %- მდე სიღრმის დაბვის ჩავარდნის რაოდენობა გამანაწილებელ ქსელებში აღწევს 55-60 %-ს. 60 %-ს ზემოთ მექანიზმების გაჩერება მოდის 20 %-ზე მეტი სიღრმის დაბვის ჩავარდნებზე.

ელექტროენერჯის ხარისხთან ასევე დაკავშირებულია კიდევ ერთი პრობლემა – დაბვის დაკარგვა. ეს არის დაბვის ნულამდე შემცირება, რომელიც დაკავშირებულია გენერაციისა და გადაცემის მოწყობილობების მუშაობაში შეფერხებასთან. დაბვის დაკარგვა შეიძლება მოხდეს ამინდის გაუარესებით. დაბვის დაკარგვა შეიძლება იყოს ერთ ან რამდენიმე ფაზაში, მას აქვს ხანმოკლე ხასიათი, 30 წამზე

ნაკლები დროის ხანგრძლივობით. ძაბვის დაკარგვის შესაბამისი მრუდი წარმოდგენილია ნახ.2.6 –ზე [24].



ნახ.2.6. ძაბვის დაკარგვის შესაბამისი მრუდი.

**ძაბვის იმპულსი.** ძაბვის იმპულსი არის ელექტრული ქსელის წერტილში ძაბვის მკვეთრი ცვლილება, რომლის შემდეგაც ხდება ძაბვის აღდგენა პირველსაწყის ან მასთან ახლოს დონემდე რამდენიმე მწმ დროის შუალედში.

ძაბვის იმპულსი ხასიათდება იმპულსური ძაბვის მაჩვენებლით ( $U_{imp}$ ). ენერგომომარაგებელი ორგანიზაციის ელექტრულ ქსელში ჭექა-ქუხილისა ადრული ძაბვის იმპულსის მნიშვნელობები ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხარეზე მოყვანილია ცხრილი 2.5-ში.

ცხრილი 2.5. ჭექა-ქუხილის იმპულსური ძაბვის მნიშვნელობები.

ქსელის ნომინალური ძაბვა, კვ	6	10	35	110	220	330	500	750
იმპულსური ძაბვა ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეზე, $U_{imp}$ კვ	60	80	200	480	750	1050	1550	1950

კომუტაციის იმპულსური ძაბვის მნიშვნელობები, რომლის ხანგრძლივობა 1000 - 5000 მკწმ-ია მოყვანილია ცხრილში 2.6.

ცხრილი 2.6. კომუტაციის იმპულსური ძაბვის მნიშვნელობები

ქსელის ნომინალური ძაბვა, კვ	0,38	3	6	10	20	35	110	220
კომუტაციის იმპულსური ძაბვა, კვ	4,5	15,5	27	43	85,5	148	363	705

**დროებითი გადაძაბვები.** დროებითი გადაძაბვები არის ელექტრული ქსელის წერტილში ძაბვის აწევა  $1,1 U_{ნომ}$  –ზე მეტად 10 მწმ –ზე მეტი ხანგრძლივობით, რომელიც აღიძვრება ელექტრომომარაგების სისტემებში კომუტაციისა და მოკლედ შერთვის დროს.

დროებითი გადაძაბვა ხასიათდება დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტის მაჩვენებლით. ენერგომომარაგებელი ორგანიზაციის

ელექტრულ წრედებში აღძრული დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილი 2.7-ში.

ცხრილი 2.7. დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტის მნიშვნელობები

დროებითი გადაძაბვის ხანგრძლივობა, წამი	1 -მდე	20-მდე	60-მდე
დროებითი გადაძაბვის კოეფიციენტი	1,47	1,31	1,15

საერთო დანიშნულების ელექტრომომარაგების სისტემებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი დაბრკოლებების აღძვრის მიზეზი შეიძლება იყოს მიწასთან ერთფაზა მოკლედშერთვის, კონდენსატორული ბატარეებისა და რეზონანსული ფილტრების კომუტაციის, დაუტვირთავი საკაბელო ხაზებისა და ტრანსფორმატორების გამორთვის, ამომრთველების კონტაქტებისა და სხვა საკომუტაციო აპარატურის ერთდროული კომუტაციის დროს აღძრული გადაძაბვები. ასევე სხვადასხვა მიზეზების გამო ელექტრული ქსელის არასრულფაზოვან რეჟიმში მუშაობისას აღძრული გადაძაბვების გამო, რომლებიც იწვევენ ფერორეზონანსულ მოვლენებს. ელექტრონული მოწყობილობისა და ეგმ-ის გადაძაბვების მიმართ ამთვისებლობა დამოკიდებულია როგორც ელექტრომიმღების ასევე ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებლებზე.

სამრეწველო დაწესებულებების საიმედოობის ამაღლების მიზნით ენერგოსისტემის სიმძლავრისა და საჰაერო გადაცემა ხაზების რაოდენობის გაზრდა იწვევს მართვის რთული ელექტრული სისტემის ფუნქციონირების იმედიანობის შემცირებასა და დაბრკოლება მგრძობიარე ელექტრომიმღებების მტყუნებათა რიცხვის გაზრდას [25].

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ძაბვის მიხედვით ელექტრენერგის ხარისხის ყველა მაჩვენებლის მნიშვნელობის დროს, რომლებიც განსხვავებულია ნორმირებული მნიშვნელობებისაგან, ხდება ელექტრო-მოწყობილობის იზოლაციის დაჩქარებული დაძველება, რის გამოც დროის მიხედვით იზრდება მტყუნებათა რიცხვი. ასე მაგალითად, ქსელის ძაბვის მრუდის არასინუსოიდურობის დროს, რკალმქრობი აპარატების რეზონანსული აწეობის დროსაც კი, მიწასთან მოკლედ შერთვის შემთხვევაში გაივლის უმაღლესი ჰარმონიკების დენები, რის

გამოც შეიძლება მოხდეს პირველი დაზიანების ადგილზე კაბელის გაწვა. როგორც ექსპლუატაციის გამოცდილება აჩვენებს ამ შემთხვევაში გადაძაბვების გამო შეიძლება დაზიანება ერთდროულად აღიძრას ორ და მეტ ადგილზე.

ელექტროენერჯის დაბალი ხარისხის დროს ადგილი აქვს ელემენტების მტყუნებათა ურთიერთდამოკიდებულებას. მაგალითად, როცა არაწრფივი, არასიმეტრიული და დარტყმითი დატვირთვების უარყოფითი გავლენა კომპენსირებულია ამა თუ იმ ელემენტის გამორთვის დროს შესაბამისი მაკორექტირებელი მოწყობილობის დახმარებით.

სწრაფადმოქმედი სტატიკური კონდენსატორის მწყობრიდან გამოსვლა იწვევს ძაბვის არასიმეტრიის, რხევებისა და ჰარმონიკების გამოვლენას, რომლებიც ადრე კომპენსირებული იყო, რაც თავის მხრივ იწვევს სარელეო დაცვის ცრუ ამუშავებას, ზოგიერთი სახის ელექტრომოწყობილობის მწყობრიდან ავარიულ გამოსვლასა და სხვა ანალოგიურ უარყოფით შედეგებს. ჰარმონიკების არსებობის დროს ძალოვანი ქსელების გავლით ინფორმაციის გადაცემის არხებში შეფერხება იწვევს საკომუტაციო აპარატურის მართვაზე არასწორი ბრძანების გაცემას.

ამგვარად ელექტროენერჯის ხარისხი არსებით გავლენას ახდენს ელექტრომომარაგების საიმედოობაზე, რადგანაც დაბალი ხარისხის ელექტროენერჯის ქსელებში ავარიულობა უფრო მეტია ვიდრე მაშინ როცა ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლები დასაშვებ ფარგლებშია.

ექსპლუატაციის პირობებში ელექტროენერჯის ხარისხის კონტროლისათვის გამოიყენება სერიულად გამოშვებული ხელსაწყოები: მაჩვენებელი და მარეგისტრირებელი სიხშირეზომები და ვოლტმეტრები, ძაბვის ხარისხისა და არასინუსოიდურობის ანალიზატორები, ოსცილოგრაფები, არასიმეტრიულობის ანალიზატორი, მრუდის ფორმის დამახინჯების რეგისტრატორი და სხვა.

### თავი III. ელექტროენერჯის ფაქტიური და ტექნიკური დანაკარგების დადგენა

#### 3.1. ზოგადი ცნობები

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

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

ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგები ( $\Delta W_{ფ}$ ) განისაზღვრება ტრანსფორმატორის საღებებიდან გაცემული ელექტროენერჯისა ( $W_0$ ) და მომხმარებლის მიერ გადახდილი და ენერჯოსისტემის საწარმოო საჭიროებისათვის დახარჯული ელექტროენერჯის ჯამის ( $W_{მომხ.} + W_{ს.გ}$ ), სხვაობით [26]:

$$\Delta W_{ფ} = W_0 - (W_{მომხ.} + W_{ს.გ}),$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ  $\Delta W$  სიდიდე თავის თავში შეიცავს არა მარტო ტექნიკურ დანაკარგებს ( $\Delta W_{ტ}$ ), არამედ ელექტროენერჯის დანაკარგებსაც, რომლებიც განპირობებულია აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებითა ( $\Delta W_{ხელს.}$ ) და კომერციული დანაკარგებით ( $\Delta W_{კ}$ ).

ეს დანაკარგები თავის თავში შეიცავენ სხვადასხვა ბუნების მდგენელებს: 1. დანაკარგები ქსელის ელემენტებში, რომლებსაც გააჩნიათ სუფთა ფიზიკური ხასიათი; 2. ელექტროენერჯის ხარჯი ქვესადგურებში დადგმული იმ მოწყობილობების მუშაობაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ელექტროენერჯის გადაცემას; 3. ელექტროენერჯის აღრიცხვის ხელსაწყოების ცდომილებით გამოწვეული დანაკარგები; 4. ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების მიერ აღრიცხული დახარჯული ელექტროენერჯის საფასურის გადაუხდელობით ან

ნაწილობრივი გადახდით გამოწვეული დანაკარგები. დანაკარგების პირველი სამი მდგენელი წარმოადგენს ტექნიკურ დანაკარგს, ხოლო მეოთხე- კომერციულ დანაკარგს.

ელექტროენერჯის დანაკარგების დაწვრილებით განხილვამდე წარმოვადგინოთ ელექტროენერჯის გადაცემის პროცესის ძირითადი მახასიათებლები [1].

სინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროს:

ერთფაზა კვების შემთხვევაში:

აქტიური სიმძლავრე

$$P = UI \cos \varphi$$

რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q = UI \sin \varphi$$

სრული სიმძლავრე

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

სამფაზა კვების შემთხვევაში:

აქტიური სიმძლავრე

$$P = \sqrt{3} U_b I_b \cos \varphi_b = 3 U_{ფ} I_{ფ} \cos \varphi_{ფ}$$

რეაქტიული სიმძლავრე

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

სრული სიმძლავრე

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

არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროს:

ერთფაზა კვების შემთხვევაში:

აქტიური სიმძლავრე

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

რეაქტიული სიმძლავრე

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

სრული სიმძლავრე

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



სადაც  $k$  არის ჰარმონიკის რიცხი;  $T_{k\pm}^2$  - დამახინჯების სიმძლავრეა, რომელიც გამოწვეულია დენისა და ძაბვის მრუდეების არასინუსოიდურობით.

სამუშაო კვების შემთხვევაში გაანგარიშება ხდება თითოეული ფაზისათვის ერთფაზა კვების ანალოგიურად, ხოლო შემდეგ მიღებული შედეგები ჯამდება. ანუ აქტიური სიმძლავრე ტოლია:

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

რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია:

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

სრული სიმძლავრე ტოლია:

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

განვიხილოთ თითოეული დანაკარგი ცალცალკე.

ელექტროენერგიის ტექნიკური დანაკარგები ( $\Delta W_{ტექ}$ ), განპირობებულია ელექტროქსელებში ელექტროენერგიის გადაცემის დროს მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით, გამოსატული ქსელის ელემენტებში ენერგიის ნაწილის სითბოდ გადაქცევით.

სინუსოიდური ძაბვისა და დენის დროს  $R$  წინაღობის ქსელის ელემენტზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით:

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

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

$$\Delta P_{k\pm} = \Sigma_{k=2}^{\infty} I_k^2 \cdot r_k$$

სადაც  $r_k$  მოცემული ელემენტის წინააღობაა.

ამგვარად, სიმძლავრის საერთო დანაკარგები შეადგენს:

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

მოთხოვნილი აქტიური ელექტროენერგია დამახინჯების სიმძლავრის გათვალისწინებით შეადგენს:

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

სადაც  $T$  ელექტროენერჯის მოხმარების დროა, სთ.

ელექტრული ქსელის  $R$  წინაღობის ელემენტში ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით:

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

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

ცნობილი ტექნიკური დანაკარგების დროს კომერციული დანაკარგები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta W_{\rho} = \Delta W_{\delta} - \Delta W_{\text{ხელს.}}$$

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

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

ქსელის ელემენტებში დანაკარგებს მიეკუთვნება ტრანსფორმატორების უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის დანაკარგები

**ელექტროენერჯის საკუთარი მოხმარების ხარჯები ( $\Delta W_{\text{საკ.}}$ ),** რომლებიც საჭიროა ქვესადგურების ტექნოლოგიური მოწყობილობების მუშაობისა და მომსახურე პერსონალის მოქმედებისათვის. საკუთარი მოხმარების ხარჯები განისაზღვრება ქვესადგურის საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორზე დაყენებული მრიცხველებით. საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორი სტუ-ს ენერგეტიკის სამსახურს არ გააჩნია და შესაბამისად საკუთარი მოხმარების ხარჯებიც ნულის ტოლია.

ინსტრუმენტალური დანაკარგები ( $\Delta W_{\text{გაზ.}}$ ), რომლებიც განისაზღვრებიან გამოყენებული ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლებითა და მუშაობის რეჟიმებით. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობა დიდ გავლენას ახდენს გაზომვის სისტემებსა და სიმძლავრის კოეფიციენტზე [27].

დღეისათვის ელექტროენერჯის მრიცხველების უმეტესობა, ისეთები, როგორცაა ევროალფა, ალფა და სხვა შესრულებულია მიკროპროცესორულ ბაზაზე. მათი მთავარი დანიშნულებაა ძირითადი სისშირის ელექტროენერჯის გაზომვა. ცნობილია, რომ ზოგად შემთხვევაში არასინუსოიდური დენის წრედებისათვის აქტიური სიმძლავრე გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$P_{\Sigma} = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_n I_n \cos \varphi_n = P_0 + P_1 + P_n,$$

სადაც  $U_0$ ,  $I_0$  და  $P_0$  – ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის მუდმივი მდგენელებია;  $U_1$ ,  $I_1$  და  $P_1$  – ძირითადი ანუ პირველი ჰარმონიკის შესაბამისი მდგენელებია;  $U_n$ ,  $I_n$  და  $P_n$  – უმაღლესი  $n$ -ური რიგის ჰარმონიკების შესაბამისი მდგენელებია;

აქტიური სიმძლავრის ფორმულიდან ჩანს, რომ რადგან ელექტრული ენერჯის მრიცხველები აღრიცხავენ მხოლოდ ძირითადი ჰარმონიკის შესაბამის ელექტროენერჯიას, ამიტომ ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების გამოვლენა იწვევს გაზომვის ცდომილების გაზრდას.

გარდა ამისა უმაღლესი რიგის ჰარმონიკები უარყოფით გავლენას ახდენენ სიმძლავრის კოეფიციენტზე და ამცირებენ მის მნიშვნელობას, რომელსაც ჩვეულებრივ ცდილობენ შეინარჩუნონ 0,85-1,0 დიაპაზონში.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საანგარიშო ევროალფა ტიპის მრიცხველი დაყენებულია სანაპიროს ქვესადგურში. ზემოთქმულიდან გამომდინარე ე.ი. ისინი აღრიცხავენ მხოლოდ პირველი რიგის ჰარმონიკის მიერ მოხმარებულ ელექტროენერჯიას.

### 3.2. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის საკითხები.

ელექტროენერჯის გადაცემა წარმოებიდან მოხმარებამდე უწყვეტი პროცესია, რომლის დროსაც ქსელში ყოველთვის მოითხოვება აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების გენერაციისა და მოხმარების ტოლობა.

ელექტროსისტემებისა და სამრეწველო საწარმოებისათვის რეაქტიული სიმძლავრე ყოველთვის რჩებოდა ელექტროენერჯის ტექნოლოგიური ბრუნვის განუყოფელი ატრიბუტი, რომელიც გავლენას ახდენს მის ეკონომიურ ეფექტურობაზე. ამიტომ ზემოქმედების ისეთი მძლავრი

ბერკეტი როგორცაა რეაქტიული სიმძლავრით მართვა-ენერგოდაზოვისა და ენერგოეფექტურობის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ეფექტური და მცირედანახარჯიანი ხერხია, როგორც ელექტროსისტემებში, ასევე დაწესებულებებში და კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო მეურნეობის ქსელებში. აქტიური სიმძლავრის წყაროს წარმოადგენს მხოლოდ ელექტროსადგურის გენერატორები, ხოლო რეაქტიული სიმძლავრის გენერირება შეიძლება მოხდეს არა მარტო გენერატორებში, არამედ საჰაერო და საკაბელო ხაზებში და მისი მოხმარების ადგილზე დაყენებული რეაქტიული სიმძლავრის სხვა წყაროებითაც. ამიტომ იმ მრავალრიცხოვან ფაქტორებთან ერთად, რომლებიც გააღწიან ახდენენ ელექტრომომარაგების სისტემების ეფექტურ მუშაობაზე გამანაწილებელ ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის საკითხს პრიორიტეტული ადგილი უნდა მიენიჭოს.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია - ეს არის საიმედო და უწყვეტი ელექტრომომარაგება, ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირება, მოხმარებული ელექტროენერჯის შემცირების შესაძლებლობა. გამანაწილებელ ელექტრულ ქსელებში რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდეზე განსაკუთრებულ გააღწიან ახდენს დატვირთვის ხასიათი.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში 10(6)-0.4 კვ. გამანაწილებელ ელექტრულ ქსელებში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის პრობლემებს საჭირო ყურადღება არ ექცეოდა. ეს აიხსნებოდა იმით, რომ კომუნალურ საყოფაცხოვრებო ტექნიკას (ვარვარა ნათურები, ელექტროდუმელები, ელექტრო-გამაცხელებლები და სხვა), რომლებიც უმეტესად მუშაობენ ერთფაზა დატვირთვის რეჟიმში და ძირითადად ჰქონდა აქტიური დატვირთვის ხასიათი, რომელთა სიმძლავრის კოეფიციენტი  $\cos \varphi = 1$  და შესაბამისად მაკომპენსირებელი მოწყობილობები არ გამოიყენებოდა. სიმძლავრის კოეფიციენტი კი ახასიათებს აქტიური ენერჯის გამოყენების სისრულეს. მისი დაბალი მნიშვნელობა გვიჩვენებს, რომ ენერჯის წყაროს სიმძლავრე სუსტად არის გამოყენებული. უკანასკნელ ათწლეულში საცხოვრებელი სექტორის 1მ<sup>2</sup> ფართობზე ელექტროენერჯის ხარჯი სამჯერ გაიზარდა, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა დღე-ღამის განმავლობაში იცვლება 0.84-0.99 ფარგლებში [29].

რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობის შენარჩუნების მიზნით გასული საუკუნის 30-იანი წლებიდან ყოფილ საბჭოთა კავშირში შემოდებული იყო ელექტროენერჯის ტარიფზე ფასჩამოკლებისა და წანამატის სტიმულირების მოქნილი სისტემა, რომელიც რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური კოეფიციენტის დადგენილი ნორმის ცვლილების შესაბამისად განიცდიდა ცვლილებას. აღნიშნულმა სისტემამ რუსეთის ელექტროსისტემაში, რომელთანაც გარკვეულწილად დაკავშირებულია საქართველოს ელექტრომომარაგება, უკანასკნელი ცვლილება განიცადა 1997 წელს, ხოლო 2000 წელს საერთოდ გაუქმდა, რითაც ელექტროსისტემასა და მომხმარებელს შორის დაიკარგა ურთიერთმოქმედების სამართლებრივი საფუძველი, რომელიც მოითხოვს დაუყონებლივ აღდგენას, რადგან რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის ნორმების დაუცველობა ქმნის არა მარტო დანაკარგებს ელექტროსისტემაში, არამედ ქსელის გამტარუნარიანობის შემცირების გამო აუარესებს ელექტრომომარაგებელი კომპანიის მუშაობის მაჩვენებელს. შესაბამისად გაიზარდა ქსელში დანაკარგები. თუ გასული საუკუნის 80-იან წლებში კომუნალურ – საყოფაცხოვრებო ტექნიკის აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებზე მოთხოვნათა თანაფარდობა შეადგენდა 0,7/0,3; დღეისათვის ეს თანაფარდობა შეადგენს 1/1. ასეთი თანაფარდობისას რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული დანაკარგების წილი შეადგენს 30-50%. დანაკარგების სიდიდე დამოკიდებულია დატვირთვის ხასიათზე, ტრანსფორმატორის საფეხურების რიცხვზე და ქსელის სიგრძეზე.

**კომერციული დანაკარგები** განპირობებულია ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების ჩვენებისა და მომხმარებლების მიერ დახარჯული ელექტროენერჯის საფასურის გადახდის შეუსაბამობით, გადახდის დაგვიანებით, გადაუხდელობითა და ასევე ენერჯის მოხმარების კონტროლის ორგანიზაციის სფეროს სხვა მიზეზებით.

### **3.3. კომპიუტერული დატვირთვის გავლენის გამოკვლევა დენისა და ძაბვის მრუდის ფორმაზე.**

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კომპიუტერული დატვირთვა იწვევს დენისა და ძაბვის მრუდების დამახინჯებას. რის გამოც ელექტრონულ

მოწყობილობებში აღიჭვრება დამახინჯებული ფორმის მკვებავი ძაბვა, რასაც თავის მხრივ მიყვავართ გამართული ძაბვის მნიშვნელობის შემცირებამდე, იმპულსური კვების წყაროს ელემენტებში სითბოს გამოყოფის გაზრდამდე, მდგრადობის შემცირებამდე და ძაბვის ხანმოკლე ვარდნამდე.

შემაგალი ძაბვის ამპლიტუდის 10 %-ით შემცირება იწვევს დენის 11 %-ითა და თბური დანაკარგების 23 %-ით გაზრდას.

ელექტრულ ქსელის ძაბვაზე კომპიუტერული დატვირთვის გავლენის დაკვირვებისა და შესწავლით მიზნით გადაღებული იქნა სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მკვებავი ფიდერისა და I სასწავლო კორპუსში განთავსებული კომპიუტერული ცენტრის მკვებავი კაბელის ფაზებში გამავალი დატვირთვის დენების მრუდების ოსცილოგრამები.

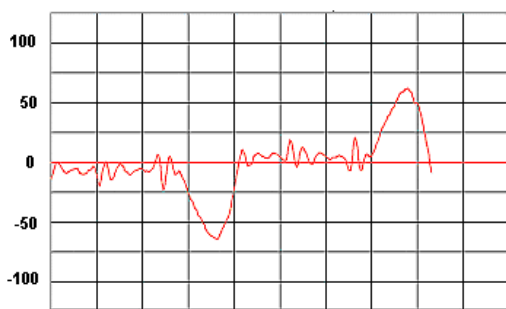
საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ოთხსადენიან სამფაზა წრედებში სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში ნულოვან გამტარში გამავალი დენი ნულის ტოლია, ჩვენს შემთხვევაში კი განსხვავებულია ნულისაგან და 49 ა-ს ტოლია. ამ მიზეზის დასადგენად გადაღებულ იქნა ფაზურ და ნულოვან გამტარებში გამავალი დენებისა და ქსელის ძაბვის ოსცილოგრამები, რომლებიც წარმოდგენილია შესაბამისად ნახ.3.1-ზე.

წრფივი დატვირთვის შემთხვევაში ქსელის ძაბვა სუფთა სინუსოიდური ფორმისაა, ჩვენ შემთხვევაში კი, როგორც მოცემული მრუდებიდან ჩანს ძაბვის მრუდის ფორმა განსხვავებულია სინუსოიდისაგან, მას წაკვეთილი აქვს წვერო, ხოლო ფაზურ გამტარში გამავალი დენის ფორმა კი საერთოდ დამახინჯებულია. დამახინჯებული ფორმის დენები შეიცავენ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებს, რომელთა სისშირეები რამდენიმე ათეული, ასეული და ათასეული ჰერცია. მაღალი სისშირის ჰარმონიკები წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს, რომლებიც ქმნიან ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე ელექტრომაგნიტურ ველს და არსებითად ცვლიან გარემოს ხარისხს.

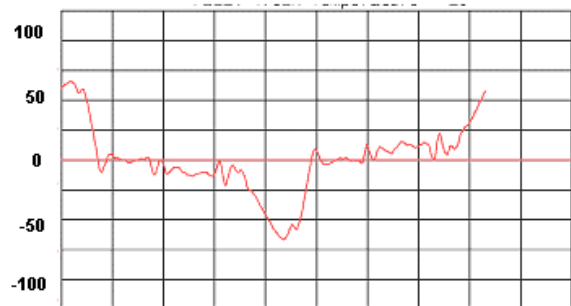
მედიცინის მიერ დადგენილია, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ველში ხანგრძლივი ყოფნა იწვევს თავის ტკივილს, დაღლილობას, უძილობას. ამ სიმპტომების უკან დგას ფუნქციონალური დარღ-

ვევები, ცენტრალური ნერვული და გულსისხლძარღვთა სისტემის პრობლემები.

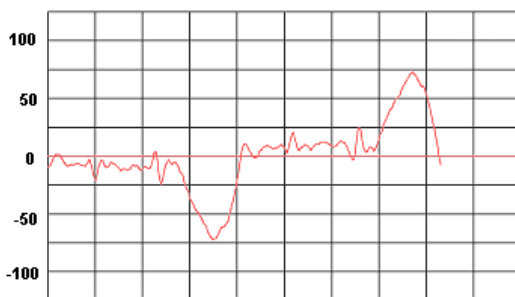
როგორც ცნობილია, წრფივი დატვირთვის შემთხვევაში, თვით მძლავრი დატვირთვების დროსაც კი, დენი ნულოვან გამტარში უფრო მცირე იქნება, ვიდრე მაქსიმალური დენი ფაზურ გამტარებში. მაგრამ როგორც ოსცილოგრამებიდან ჩანს, სულ სხვა პროცესია არაწრფივი დატვირთვის შემთხვევაში. ამ დროს დენმა ნულოვან გამტარში შეიძლება გადააჭარბოს ფაზურ გამტარში გამავალ დენს 1,5-ჯერ მეტად. ამის შესახებ ნათლად მეტყველებენ ნახ.3.1-ზე წარმოდგენილი ოსცილოგრამები, რომლებიც გადაღებულია ფიდერზე, რომელიც კვებავს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმაციული ტექნოლოგიების ფაკულტეტის ელექტროენერჯით მკვებავ ფიდერზე, სადაც ჩართულია კომპიუტერული ტექნიკა, კლიმატ-კონტროლები და სხვადასხვა არაწრფივი დატვირთვები.



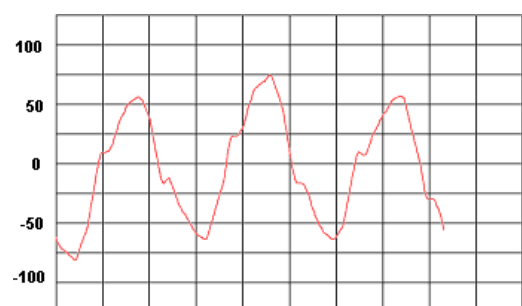
**A ფაზის დატვირთვა**



**B ფაზის დატვირთვა**



**C ფაზის დატვირთვა**



**ნულოვანი სადენის დატვირთვა**

ნახ.3.1. ფაზური და ნულოვანი სადენების დატვირთვები.

გაზომვებისას დენების მოქმედება მნიშვნელობებმა შეადგინეს: A – ფაზაში 57,9 ა; B ფაზაში – 65 ა; C ფაზაში – 69,5 ა; ხოლო ნულოვან გამტარში 105,7 ა. ე.ი. ნულოვან გამტარში გამავალმა დენმა ბევრად გადააჭარბა ფაზურ სადენში გამავალი დენის უდიდეს მნიშვნელობას.

აღნიშნულ ფიდერზე ჩართული ელექტრონული დროსელების მქონე დღის ნათების ნათურები ვერ უძლებენ ძაბვის იმპულსებს და ძალიან ხშირად ხდება მათი აფეთქება და მწყობრიდან გამოსვლა, რომელსაც თან ახლავს ხმაური.

არასწორად დაპროექტებულ სამფაზა ქსელებში ოთხსადენიანი კაბელები შეიძლება გადახურდნენ აალებამდე, რითაც ამტკიცებენ კომპიუტერული მოწყობილობებისათვის განკუთვნილ სამფაზა კაბელებში ნეიტრალური სადენის კვეთის გაზრდის საჭიროებას. სამის ჯერადი ჰარმონიკები იწვევენ ძაბვის ვარდნებს როგორც ნეიტრალურ, ასევე ფაზურ სადენებში და ძაბვის ფორმის დამახინჯებას ამ ქსელში ჩართულ სხვა დატვირთვებზე.

ზემოთ ნაჩვენების გარდა, სამფაზა ქსელის ხაზური ძაბვები სამის ჯერად ჰარმონიკებს არ შეიცავს, რის გამოც არასინუსოიდური დენის შემთხვევაში ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის დამოკიდებულება შეიძლება იყოს  $\sqrt{3}$  -ზე ნაკლები.

2. ელექტრულ ქსელზე კომპიუტერული დატვირთვის გავლენის გამოკვლევის მიზნით შესწავლილი იქნა მსხვილი კომპიუტერული დატვირთვის მქონე დაწესებულების - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კომპიუტერული ცენტრის დატვირთვის გავლენა ქსელის მუშაობის რეჟიმზე [30].

აღნიშნულ ცენტრში, რომელიც განლაგებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის I სასწავლო კორპუსში, განლაგებულია 160 კომპიუტერი, კვება ხორციელდება 50მმ<sup>2</sup> კვეთის სამფაზა კაბელით. იმისათვის, რომ ფაზებში დატვირთვა ყოფილიყო ერთნაირი ანუ სიმეტრიული, გაზომვისას ჩართული იქნა 150 კომპიუტერი, თითოეულ ფაზაში - 53 კომპიუტერი, რის გამოც ფაზურ სადენში გამავალმა დენებმა შეადგინეს  $I_A=I_B=I_C=23$ ა; ხოლო ნულოვან სადენში გამავალმა დენმა შეადგინა  $I_0=49$ ა.

ხაზური ძაბვების მნიშვნელობები იყო  $U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}=378$ ვ.

ფაზური ძაბვების მნიშვნელობები იყო  $U_A=U_B=U_C=218$ ვ.

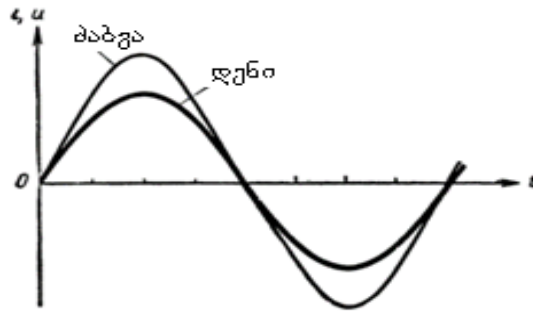
როგორც გაზომვის მონაცემებიდან ჩანს, დატვირთვა იყო სიმეტრიული. საყოველთაოდ ცნობილია, რომ სამფაზა ოთხსადენიან წრედში



სიმეტრიული დატვირთვის დროს ნულოვან სადენში გამავალი დენი ნულის ტოლია, ჩვენ შემთხვევაში კი  $I_0 = 49$  ა.

ამ მიზეზის დასადგენად გადაღებული იქნა დენებისა და ძაბვების ოსცილოგრამები, რომლებიც წარმოდგენილია ნახაზებზე №2,3,4;

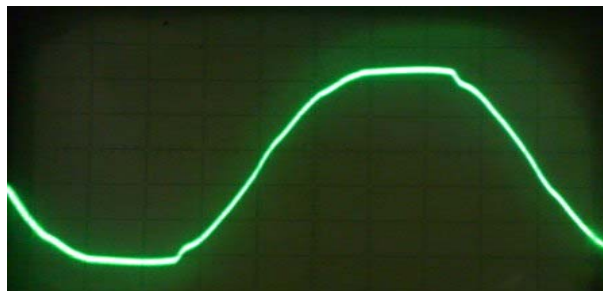
ჩვეულებრივ რეჟიმებში ელექტროენერგიის წყაროს ძაბვა და დენი სუფთა სინუსოიდური ფორმისაა (ნახ.3.2),



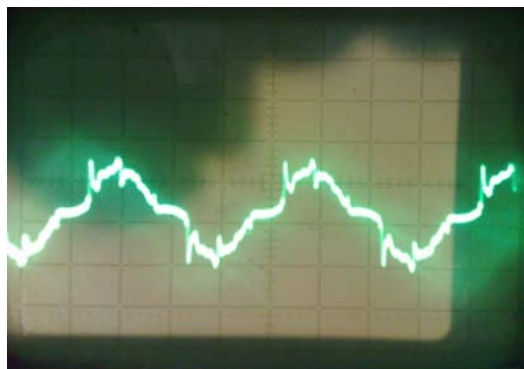
ნახ.3.2. სინუსოიდური ფორმის ძაბვა და დენი.

ჩვენ შემთხვევაში კი, როგორც ძაბვების მრუდებიდან ჩანს ძაბვის ფორმა განსხვავებულია სინუსოიდისაგან, მას წაკვეთილი წვერო აქვს (ნახ.2.3).

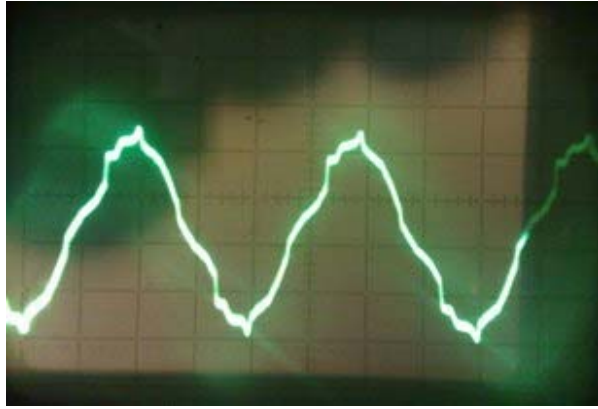
გადაღებული იქნა დენის ოსცილოგრამები თითოეულ ფაზაზე და ნულოვან სადენში, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ.2.4 და ნახ.2.5 –ზე.



ნახ.3.3 არასინუსოიდური ძაბვის მრუდის ფორმა



ნახ.3.4 ფაზურ სადენში გამავალი დენის მრუდის ფორმა

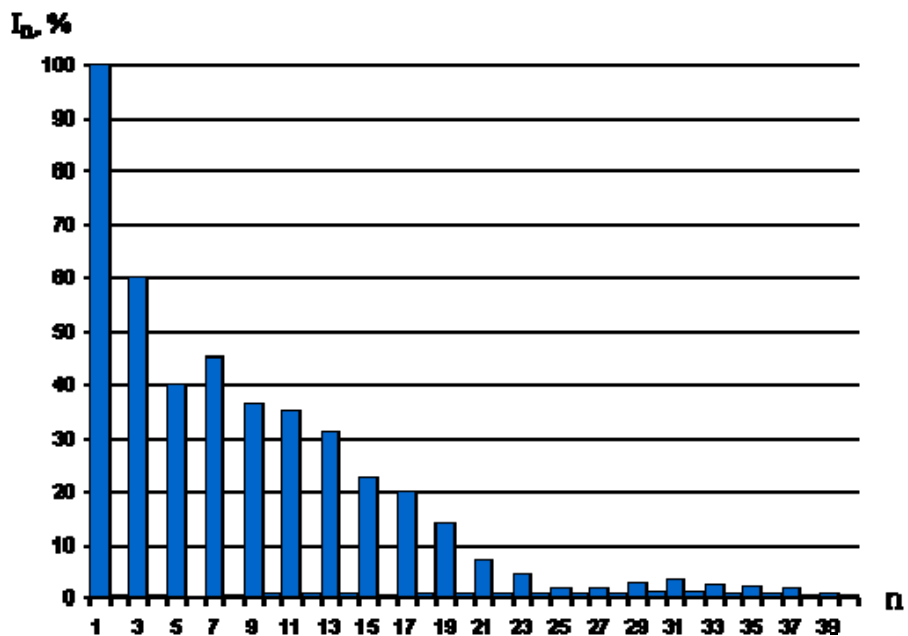


ნახ.3.5 ნულოვან სადენში გამავალი დენის მრუდის ფორმა

ნახ.3.3-ზე წარმოდგენილია ქსელის ძაბვის მრუდი, საიდანაც ჩანს, რომ კომპიუტერული დატვირთვის გამო ძაბვის მრუდის ფორმა გასხვავდება სინუსოიდისგან.

ნახ.3.4-ზე წარმოდგენილია ფაზურ სადენში გამავალი დენის მრუდი, რომლის ფორმა საერთოდ დამახინჯებულია კომპიუტერული დატვირთვის გამო.

ნახ.3.5-ზე წარმოდგენილია ნულოვან სადენში გამავალი დენის მრუდი, რომლის სიდიდე აშკარად განსხვავდება და მეტია ფაზაში გამავალი დენის სიდიდეზე, რაც გვიჩვენა კიდევ გაზომვებმა.



ნახ.3.6. დენის ჰარმონიული მდგენელების სპექტრი.

დამახინჯებული ფორმის დენები შეიცავენ უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებს (ნახ.3.6), რომელთა სიხშირეები რამდენიმე ათეული, ასეული და ათასეული ჰერცია. მაღალი სიხშირის ჰარმონიკები

წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს, რომლებიც ქმნიან ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე ელექტრომაგნიტურ ველს და არსებითად ცვლიან გარემოს ხარისხს. მედიცინის მიერ დადგენილია, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ველში ხანგრძლივი ყოფნა იწვევს თავის ტკივილს, დაღლილობას, უძილობას და ტკივილებს გულის არეში. ამ სიმპტომების უკან დგას ფუნქციონალური დარღვევები, ცენტრალური ნერვული და გულსისხლძარღვთა სისტემის პრობლემები.

შემდგომი სამუშაოს მიზანია ძირითადად ექსპერიმენტული სამუშაოების ჩატარება, რომელშიც ძალიან დაგვეხმარება ამჟამად ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამამთავრებელ სტადიაში მყოფი ელექტროენერჯის მოხმარებისა და ხარისხის მონიტორინგის სისტემა. რომელიც დააფიქსირებს და კომპიუტერის ეკრანზე გამოიტანს ელექტროენერჯის 11 პარამეტრსა და ძაბვისა და დენის შემადგენლობას 24 –ე რივის ჰარმონიკის ჩათვლით. მისი მონაცემებით განსაზღვრული იქნება ამა თუ იმ სახის დატვირთვის გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხზე, მოხდება მონაცემების შემდგომი დამუშავება და საჭიროების შემთხვევაში მიღებული იქნება ღონისძიებები ელექტროენერჯის ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

### **3.4. მომხმარებლის სტრუქტურის დადგენა და ენერჯის მოხმარების კვლევა**

სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში შესწავლილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მომხმარებელთა სტრუქტურა. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს ჰყავს სამი ტიპის მომხმარებელი: საკუთარი მომხმარებელი, სტუ-ს კომერციული ქვეაბონენტები და სს „თელასი“-ს აბონენტები.

საკუთარი მომხმარებლები მოიცავს სასწავლო კორპუსებსა და კაბინეტ- ლაბორატორიებსა და სხვა სათავსოებს. საკუთარი მომხმარებლების დადგმული სიმძლავრეები მოცემულია ცხრილში 3.1

ცხრილი 3.1.სტუ-ს საკუთარი მოხმარების დადგმული სიმძლავრეები.

№	კორპუსი	აუდიტ.	ლაბ.	კაბინ.	დერეფ.	კომპ.	კონდ.	სხვა	ჯამი
1	I	61,44	68,49	26,21	56,74	288,3	66	1018	1585,18
2	II	17,47	37,56	5,18	57,74	24,6	55,2	720	917,75
3	III	10,68	42,6	9,65	7,06	29,4	14,4	640	753,79
4	IV	11,32	16,46	4,32	11,38	25,8	9,6	270	348,88
5	VI	51,36	41,37	27,6	39,62	177,6	48	293,28	678,83
6	VII	6,62	5,9	1,15	3,46	9,0	6,0	75	107,13
7	VIII	22,68	24,05	10,66	20,16	91,8	40,8	328	538,15
8	IX	5,04	7,92	0,86	2,88	37,8	8,4	10,0	72,9
9	X	14,83	11,66	1,87	20,32	15,6	12,0	274,0	350,28
10	ადმინისტ.	-	2,64	66,22	14,4	91,2	98,4	150	422,86
	<b>სულ</b>	<b>201,44</b>	<b>258,65</b>	<b>153,72</b>	<b>233,76</b>	<b>791,1</b>	<b>358,8</b>	<b>3778,28</b>	<b>5775,75</b>

როგორც ზემოთ აღნიშნეთ,სტუ-ს სატრანსფორმატორო პარკის საერთო დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 7,7 კვტ-ს, ხოლო როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს, სტუ – ს საკუთარი მომხმარებლის საერთო დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 5775,75 კვტ-ს. საერთო დადგმულ სიმძლავრეში თითოეული კატეგორიის მომხმარებლის დადგმული სიმძლავრის წილი შეადგენს:

1. აუდიტორიების - 3,5 %;
2. ლაბორატორიების -4,5 %;
3. კაბინეტების – 2,7 %;
4. დერეფნების –4,0 %;
5. კომპიუტერები – 13,7 %;
6. კონდიციონერი -6,2 %;
7. სხვა (ჩარხები, საკვლევი დანადგარები) – 65,4 %.

---

სულ 100 %

2010 წელს სტუ-ს საკუთარი მომხმარებლის მიერ მოხმარებული იქნა 3. 469.280 კვტ.სთ ელექტროენერგია, თანხით 509025,6 ლარი.

ცხრილიდან ჩანს რომ ჩარხებისა და სხვადასხვა მძლავრი დანადგარების სიმძლავრე შეადგენს 3778,28 კვტ-ს, მაგრამ როგორც შემოწმებით დადგინდა, მათი დადგმული სიმძლავრის გამოყენების საშუალო კოეფიციენტი 0,2-ია, ანუ მუშაობაშია 755,6 დადგმული

სიმძლავრე, დღეში საშუალოდ 4 საათი. ამიტომ ამ კატეგორიის მომხმარებლების მიერ წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია ტოლია 755,6 კვტ X 4 სთ X 26 დღე X 11 თვე = 864406 კვტ.სთ.

საკუთარი მოხმარების თითოეული კატეგორიის მომხმარებლის მიერ საშუალოდ მოხმარებული ელექტროენერგია ტოლია:

1. აუდიტორიების – 201,44 კვტ X 2 სთ X 26 დღ X 10 თვე =104749 კვტ.სთ;
2. ლაბორატორიები -258,65 კვტX 6 სთ X 26 დღ X 10 თვე =403494 კვტ.სთ;
3. კაბინეტები – 153,72 კვტ X 8სთ X 26დღ X 11 თვე = 350064 კვტ.სთ;
4. დერეფნები – 233,76 კვტ X 8 სთ X 26 დღ X 10 თვე = 486221 კვტ.სთ;
5. კომპიუტერები 791 კვტ X 6 სთ X 26 დღ X 8 თვე = 987168 კვტ.სთ;
6. კონდიციონერები 358,8 კვტ X 8 სთ X 26 დღ X 4 თვე = 298522 კვტ.სთ;
7. სხვა დანადგარები 755,6 კვტ X 4 სთ X 26 დღ X 11 თვე =864406 კვტ.სთ;

---

სულ საკუთარი მომხმარებლები 3 494 614 კვტ.სთ.

გაანგარიშებით მიღებული მოხმარებული ენერჯიის რაოდენობა დაახლოებით ტოლია რეალურად მოხმარებული ელექტროენერჯიისა (3 494 614 კვტ.სთ  $\approx$  3 469 280 კვტ.სთ).

წლიურად საერთო მოხმარებულ ელექტროენერგიაში სტუ-ს საკუთარი მოხმარების თითოეული კატეგორიის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია შეადგენს:

1. აუდიტორიების – 3%;
2. ლაბორატორიების – 11,5 %;
3. კაბინეტების –10 %;
4. დერეფნები - 14 %;
5. კომპიუტერები – 28,2%;
6. კონდიციონერები – 8,5 %;
7. სხვა დანადგარები –24,8 %.

---

სულ 100 %

როგორც აქედან ჩანს, საერთო მოხმარებულ ელექტროენერგიაში საკმაოდ დიდია კომპიუტერების დატვირთვისა და და დერეფნების განათების წილი. დერეფნებში ძირითადად დაყენებულია ლუმინესცენციური სანათები, რომელთა სიმძლავრის კოეფიციენტი საკმაოდ დაბალია. მხოლოდ დერეფნების განათების მოთხოვნილი სიმძლავრის

50%-ით შემცირება ეკონომიურ ნათურებზე გადასვლის ხარჯზე მოგვეცემს მნიშვნელოვან ეკონომიურ ეფექტს.

გრანტის ფარგლებში ცალკე იქნა შესწავლილი კომერციული მომხმარებლების მიერ ელექტროენერჯის მოხმარება. ქვემოთ ცხრილი 3.2-ში წარმოდგენილია სტუ-ს კომერციული ქვეაბონენტების სია კორპუსების მიხედვით.

ცხრილი 3.2. სტუ-ს კომერციული ქვეაბონენტების მიერ მოხმარებული ენერჯია 2010 წელს

№	ობიექტის დასახელება	მრიცხველის №	დახარჯული ენერჯია, კვტ.სთ	თანხა, ლარი
<b>I კორპუსი</b>				
1	შპს „ამირანი XXI	28885255	29177	4344,45
2	მრეწვევანვითარება კავკასიაში	28886162	17763	2644,95
3	ი.მ. „ბეჟანიშვილი“	296593	1497	222,9
4.	სტრუქტურული კვლევის ცენტრი	2131421	14284	2126,9
5	ი.მ. „ნ.გოგოლაძე“	სიმძლავრით 180	2160	321,65
5	შ.პ.ს. „დედარიანის სკოლა“	სიმძლავრით 1956	12672	1886,85
6	შ.პ.ს. „ტონუსი“	M 128	196800	29303,55
7	შ.პ.შ „მაკოტო“	40436	866	128,95
8	საკანცელარიო მაღაზია	233456	347	51,7
9	ი.მ. „ზაალიშვილი“	625341	4149	617,8
10	შ.პ.ს. „ ლიბერო ტური“	121739	6448	960,1
<b>II-VII – X კორპუსები</b>				
11	შ.პ.ს. „ფალავანი“	394822	15099	2248,25
12	სავაჭრო ჯიხური მე-10 კორპ.	სიმძლავრით 175	2100	312,7
13	შ.პ.ს. „მაჭახელა ჯგუფი“	71464706	989	147,25

14	ქსეროქსი II კ-I სართული	0656335	140	20,85
15	კუბლაშვილიდა ადვოკატები	071298040	1651	245,85
16	ი.მ. ზ. რომანიშვილი	სიმძლავრით 175	2100	312,7
<b>III-IV კორპუსები</b>				
17	კაფე „ვილა ძარა“	293647	117180	17448,1
18	შ.პ.ს. „ჯეოპროგრესგრუპი“	36811498	6750	1005,0
19	შ.პ.ს. „მინიტელსი“	0854	850	126,55
20	შ.პ.ს. „ორბი“	00385	385	57,35
<b>V- VIII კორპუსები</b>				
21	შ.პ.ს. „მობიტელი“	სიმძლავრით 1186	14232	2119,15
22	შ.პ.ს. „მიკროლაბი“	სიმძლავრით 280	3360	500,3
23	შ.პ.ს. „მაგთიკომი“	9183802	30847	4593,1
24	შ.პ.ს. „ჯეოსელი“	1017746	38609	5748,9
26	მერიის საციგურაო	866140	115920	17260,5
27	საქართველოს უნივერსიტეტი	085991	62640	9327,1
28	ქართულ-ევროპული უნი	54119006	17443	2597,25
29	შ.პ.ს. „ტრანსფიბერსერვისი“	სიმძლავრით 168	2016	300,2
<b>VI კორპუსი</b>				
30	შ.პ.ს. „ჯეოსელი“	004038	89137	13272,5
31	შ.პ.ს. „გლობალ ერთი“	0923415	1962	292,15
32	შ.პ.ს. „ტექნიკოსი“	28754419	8396	1250,15
33	კავკასიის უნ-ტი		77400	11524,85
34	შ.პ.ს. „რომპეტროლი- საქართველო“	29672312	81780	12177,0

35	საბილიარდო „უნივერსი“	31066671	15810	2354,1
36	შპს. გამაკრედიტჯგუფი	453467	1296	193,0
37	ავტოსკოლა	სიმძლავრით 105	1260	180,15
38	ქსეროქსი	699860	2458	366,0
39	გადამზადების ცენტრი	30351504	12013	1788,75
40	კაფე, ი.მ.დ.სამუშია“ VI სართ.	სიმძლავრით 112	1344	200,15
41	კაფე IV სართ.	020045	5266	784,1
42	კაფე I სართ.	28885315	3445	512,95
<b>ადმინისტრაციული კორპუსი</b>				
43	შ.პ.ს. „ორი წუთი“	539893	19109	2845,35
44	ინტერნ.დეველ.კომპანი	0183446	44400	6611,15
45	საოფ. მშენებლობა „კრონა“	0429464	17250	2568,55
46	შ.პ.ს. „ბომბორა“	248005	1194	117,8
47	შ.პ.ს. „პლანეტა ფორტე“	სიმძლავრით 85	1020	151,88
<b>სულ</b>			<b>1 214.830</b>	<b>183 133,4</b>

კომერციული ობიექტების საერთო დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 452 კვტ-ს.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერჯის მომხმარებელთა ერთერთ კატეგორიას წარმოადგენს „თელასის“ აბონენტები, რომელთა მიერ წარმოდგენილი დოკუმენტების საფუძველზე 2010 წელს მოხმარებული იქნა 1 435 514 კვტსთ ელექტროენერჯია თანხით 213 748, 27 ლარი. „თელასის“ აბონენტები ძირითადად მიერთებულია I და II კორპუსების სატრანსფორმატორო ჯიხურებზე, საიდანაც ელექტროენერჯიას იღებენ ასევე სტუ-ს I-II-VII –X კორპუსები. ელექტრომომარაგება ხორციელდება საბურთალო-I ქვესადგურიდან. აღნიშნულ ჯიხურებზე საანგარიშო-რეზერვუარობო მრიცხველები დაყენებულია დაბალი ძაბვის მხარეს. რადგანაც



სტუ წარმოადგენს მაღალი ძაბვის მოხმარებელს, ამიტომ პირველ რიგში „თელასის“ აბონენტების მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია აკლდება ჯამურ მოხმარებულ ელექტროენერგიას, დარჩენილ სხვაობას ემატება მისი 3%, რითაც გათვალისწინებულია დანაკარგები ტრანსფორმატორსა და გადაცემის ხაზებში და მიღებული შედეგი მრავლდება მაღალი ძაბვის ტარიფზე (0,1489 ლარი/კვტ.სთ). ნაცვლად დაბალი ძაბვის ტარიფისა (16 თეთრი/კვტ.სთ).

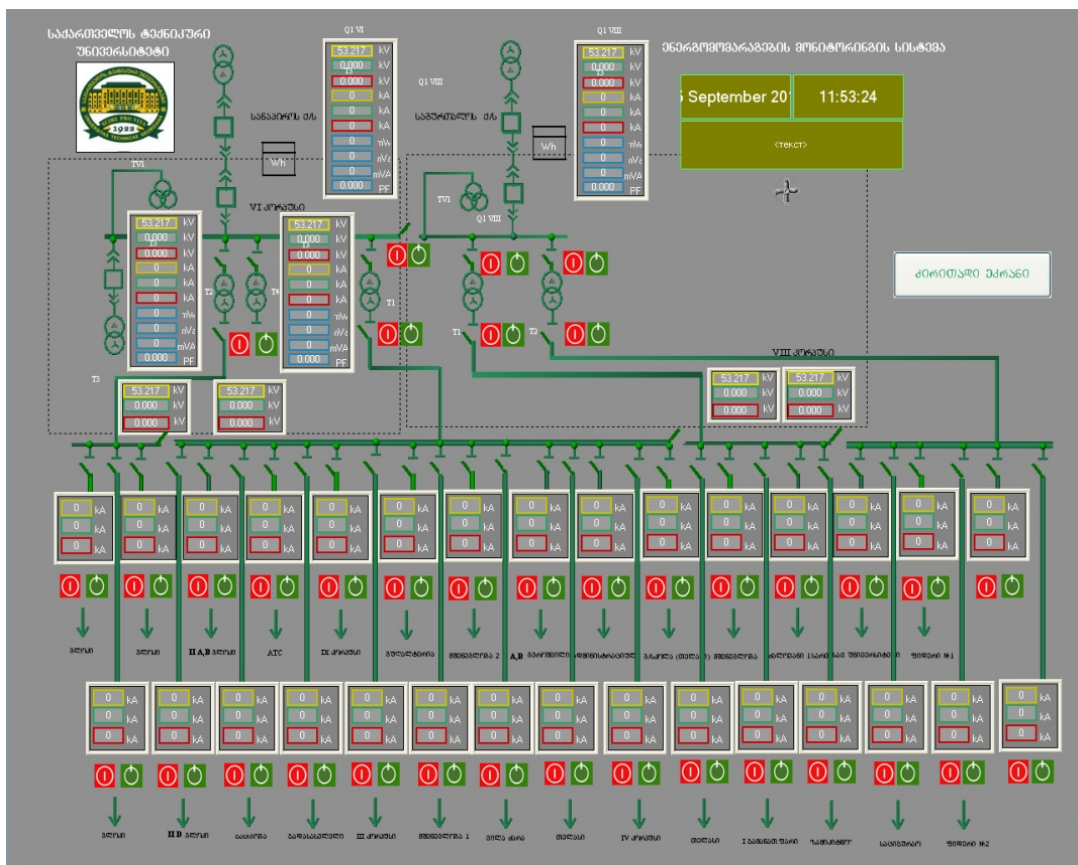
სს „თელასის“ აბონენტების ჯამური დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 356 კვტ-ს.

დანაკარგების განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დამონტაჟებული ელექტროენერგიის მოხმარების მონიტორინგის სისტემა „SCADA“.

## თავი IV. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერჯის მოხმარების მონიტორინგის სისტემა „SCADA“.

### 4.1. ზოგადი ცნობები

დღეისათვის ელექტროენერჯის მსხვილ მომხმარებლებში აღრიცხვის პრობლემის გადაწყვეტა დაკავშირებულია ელექტროენერჯის მოხმარების კონტროლისა და აღრიცხვის ავტომატიზირებული სისტემის შექმნასთან, რომელსაც მინიმუმამდე დაჰყავს ადამიანის ჩარევა გაზომვის სისტემებში. ამ სისტემის შექმნის მიზანია მინიმალური საწყისი ფულადი დანახარჯებით ელექტროენერჯისა და აქედან გამომდინარე ფინანსების მუდმივი ეკონომია.



ნახ.4.1. მონიტორინგის სისტემის ძირითადი ეკრანი

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

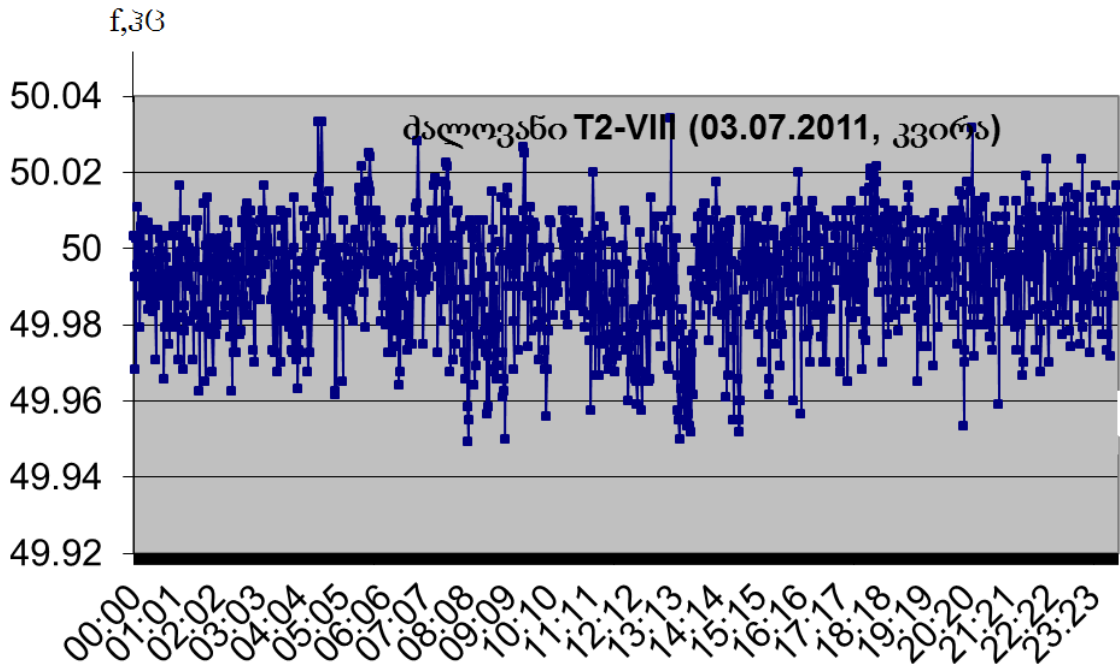
ამ მიზნით საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შეიქმნა და დამონტაჟებულ იქნა ელექტრომომარაგების მონიტორინგის თანამედროვე კომპიუტერული SCADA -ს სისტემა, რომელიც ავტომატურ და უწყვეტ რეჟიმში აკონტროლებს არა მხოლოდ დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობას, არამედ აკონტროლებს, კომპიუტერის ეკრანზე გამოაქვს და მონაცემთა ბაზაში აგროვებს ელექტროენერგიის კიდევ თერთმეტი პარამეტრის: ხაზური და ფაზური ძაბვების, დენების, აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების, სიხშირის, სიმძლავრის კოეფიციენტის, ძაბვისა და დენის ჰარმონიკებისა და არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტის მნიშვნელობებს. როგორც დაბალი ისე მაღალი ძაბვის მხარეს, რის საფუძველზეც განისაზღვრება დანაკარგების სიდიდეები. აღნიშნული მონიტორინგის სისტემა გამოიყენება არა მარტო სტუ-ს ელექტრომომარაგების მონიტორინგისათვის, არამედ ინფორმატიკის, ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტების სტუდენტების, მაგისტრანტების, დოქტორანტებისა და პროფესორ – მასწავლებლების მიერ სასწავლო და სამეცნიერო -კვლევითი სამუშაოების შესრულებისას.

ნახ.4.1.-ზე წარმოდგენილია მონიტორინგის სისტემის მონიტორზე გამოსახული ძირითადი ეკრანი საიდანაც ხდება დაკვირვება ცალკეულ ფიდერებზე.

#### 4.2. შიდა ქსელების კვლევა

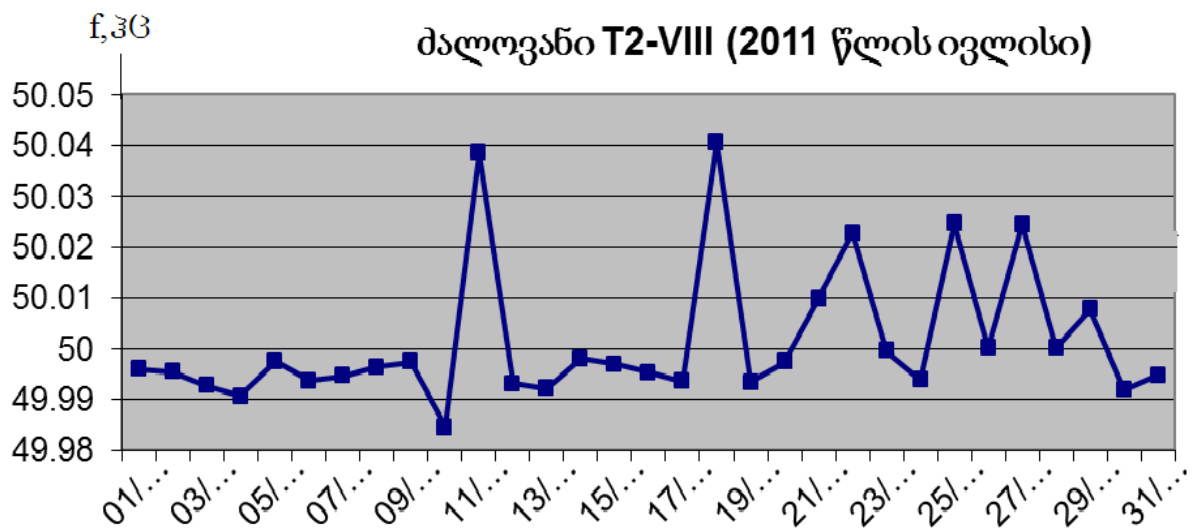
შიდა ქსელებში ექსპერიმენტული კვლევებისათვის ავირჩიეთ სამი ტიპის მომხმარებელი: ერთი სასწავლო კორპუსი – VIII სასწავლო კორპუსის ძალური ტრანსფორმატორის გამოსასვლელი; მეორე – საკუთარი დაბალი ძაბვის მომხმარებელი – ადმინისტრაციული კორპუსი; დიდი სიმძლავრის კომერციული მომხმარებელი – თელასის აბონენტი, კვების ობიექტი თაღლაურა. მონაცემები აღებულია ზაფხულისა (ივლისის თვე) და გვიანი შემოდგომის (ნოემბრის თვე) პერიოდები, სამუშაო (ხუთშაბათი) და არასამუშაო (კვირა) დღეებში.

ყველა მომხმარებლისათვის საერთო პარამეტრს წარმოადგენს სიხშირე, რადგან ყველა მომხმარებლის ელექტრომომარაგება ხდება ერთი და იგივე (სანაპიროს) ქვესადგურიდან, ამიტომ პარამეტრების განხილვა დავიწყეთ სიხშირით.



ნახ.4.2. სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსის ელემენტების ქსელის სიხშირის საათური ცვლილების გრაფიკი

ნახ.4.2-ზე წარმოდგენილია VIII სასწავლო კორპუსის ძალური ტრანსფორმატორიდან გამომავალი ქსელის სიხშირის საათური ცვლილების გრაფიკი, ხოლო ნახ.4.3 -ზე ნაჩვენებია სიხშირის საშუალო მნიშვნელობები დღისა და თვის განმავლობაში. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, მოცემულ პერიოდებში ქსელის სიხშირე დასაშვებ ფარგლებშია. დანარჩენი მომხმარებლების სიხშირეც ამ პერიოდში ანალოგიურია.

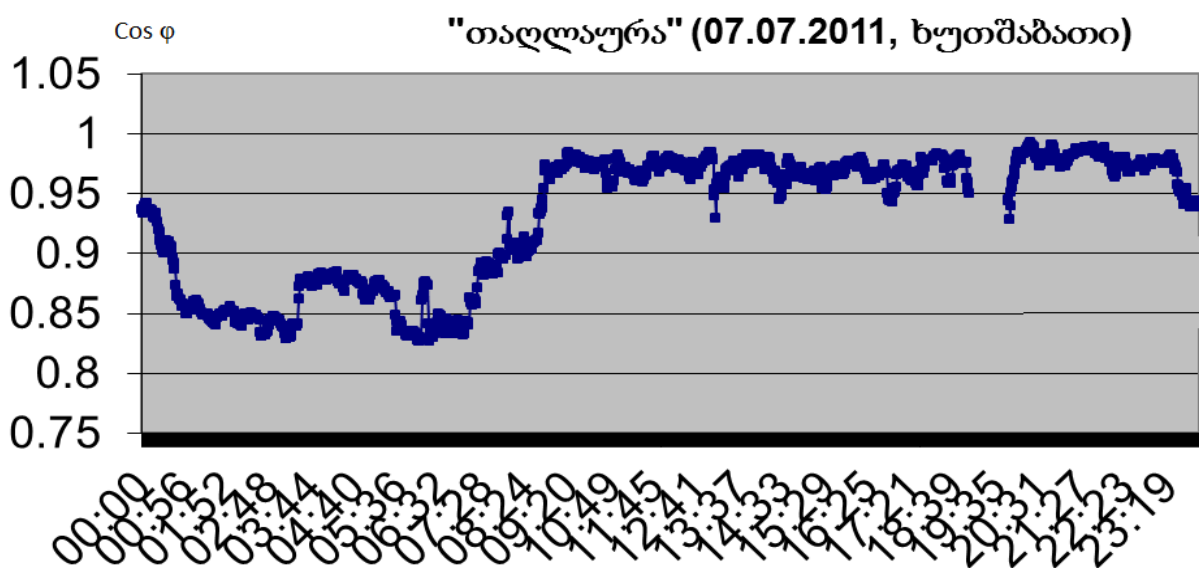


ნახ.4.3. სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსის ელემენტების ქსელის სიხშირის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი

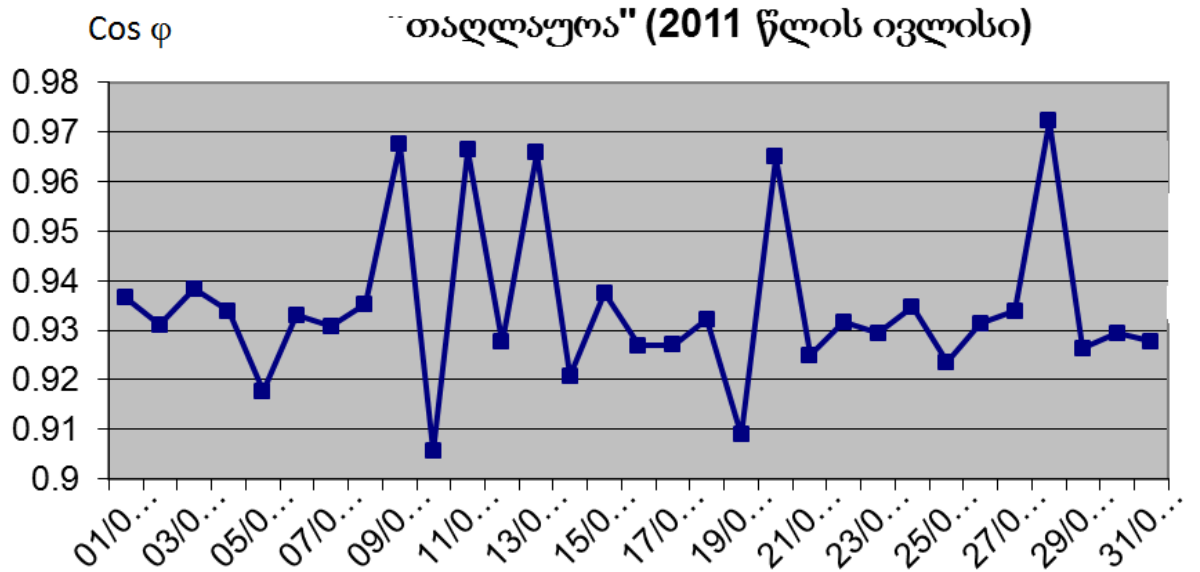
ელექტროენერჯის ეკონომიურად მოხმარების თვალსაზრისით ძალზედ მნიშვნელოვანია ისეთი პარამეტრის მნიშვნელობა, როგორცაა სიმძლავრის კოეფიციენტი ( $\text{Cos } \varphi$ ). ამ პარამეტრის მნიშვნელობა ნორმალურ პირობებში უნდა იყოს 0,95-ზე ზევით. ნახ.4.4-ზე წარმოდგენილია „თაღლაურას“ მიერ გამოყენებული დანადგარების სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი. აღნიშნული ობიექტი ჩართული გამახურებელი დანადგარების (რომელთა  $\text{Cos } \varphi = 1$ ) თანდათანობით გამორთვას იწყებს ღამის 11-12 საათიდან, რაც კარგად ჩანს გრაფიკიდან. ამ დროს ჩართული რჩება მხოლოდ მაცივრები და განათება, რომელთა სიმძლავრის კოეფიციენტი 0,8-0,85-ია. დილის რვა საათიდან ირთვება გამახურებელი დანადგარები და ამ ობიექტის ჯამური სიმძლავრის კოეფიციენტიც უახლოვდება 1-ს.

ნახ. 4.5-ზე წარმოდგენილია „თაღლაურას“ სიმძლავრის საშუალო კოეფიციენტის მნიშვნელობები ერთი თვის განმავლობაში დღეების მიხედვით. როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს, სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობა არ ეცემა 0,9-ს ქვემოთ, რაც საკმაოდ დადებით მნიშვნელობად მიიჩნევა.

აქედან გამომდინარე ობიექტი „თაღლაურა“-ს რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია აუცილებლობას არ წარმოადგენს.

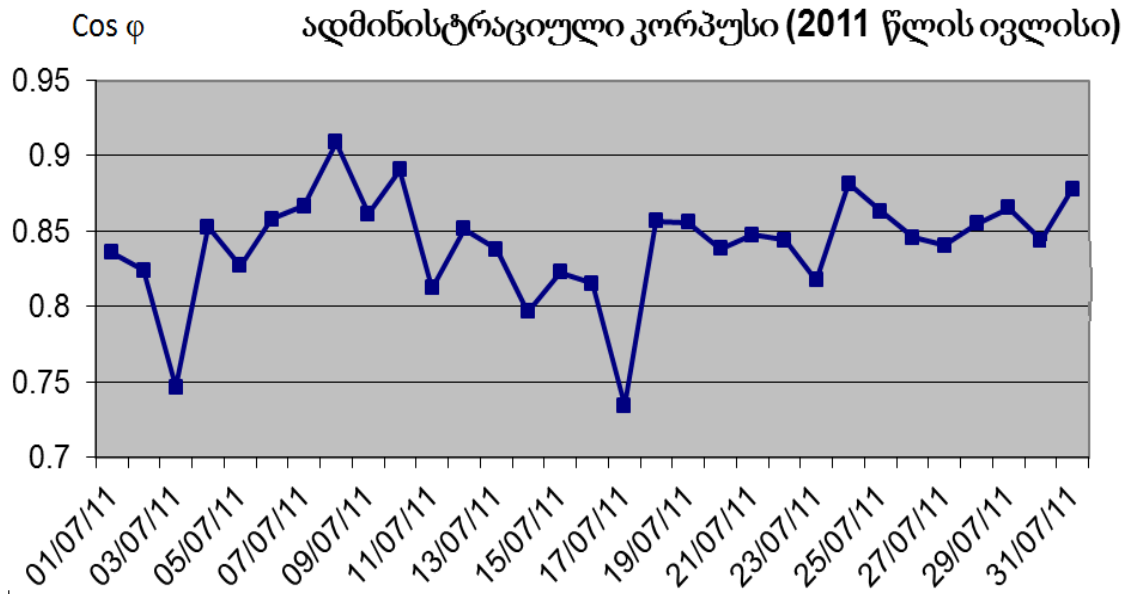


ნახ.4.4. ობიექტ „თაღლაურას“ მიერ გამოყენებული დანადგარების სიმძლავრის კოეფიციენტის საათური ცვლილების გრაფიკი.



ნახ.4.5 ობიექტ „თალლაურას“ სიმძლავრის საშუალო კოეფიციენტის მნიშვნელობები ერთი თვის განმავლობაში დღეების მიხედვით.

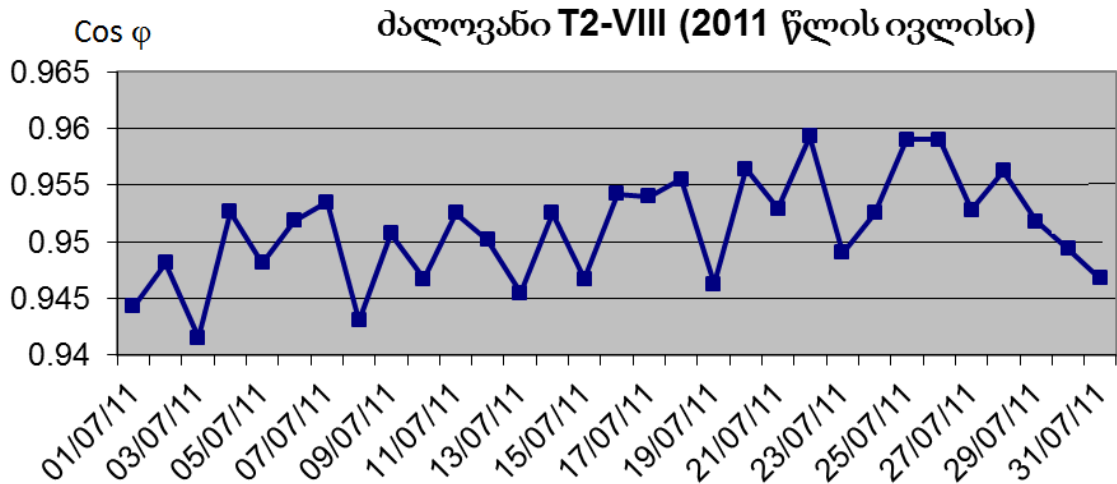
ნახ.4.6-ზე წარმოდგენილია ადმინისტრაციული კორპუსის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის საშუალო დღიური სიმძლავრის კოეფიციენტი ერთი თვის განმავლობაში. როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს, ადმინისტრაციული კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტი დაბალია. ეს განპირობებულია იმით, რომ ადმინისტრაციულ კორპუსი დატვირთულია კომპიუტერული ტექნიკითა და კლიმატ-კონტროლებით, რომელთა სიმძლავრის კოეფიციენტი 0,85-ზე დაბალია. სიმძლავრის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობები არის დასვენების დღეებში, რომლის დროსაც ზოგიერთ ადგილებში ჩართულია მხოლოდ განათება. სანათების სიმძლავრის კოეფიციენტი კი 0,7- 0,75-ია.



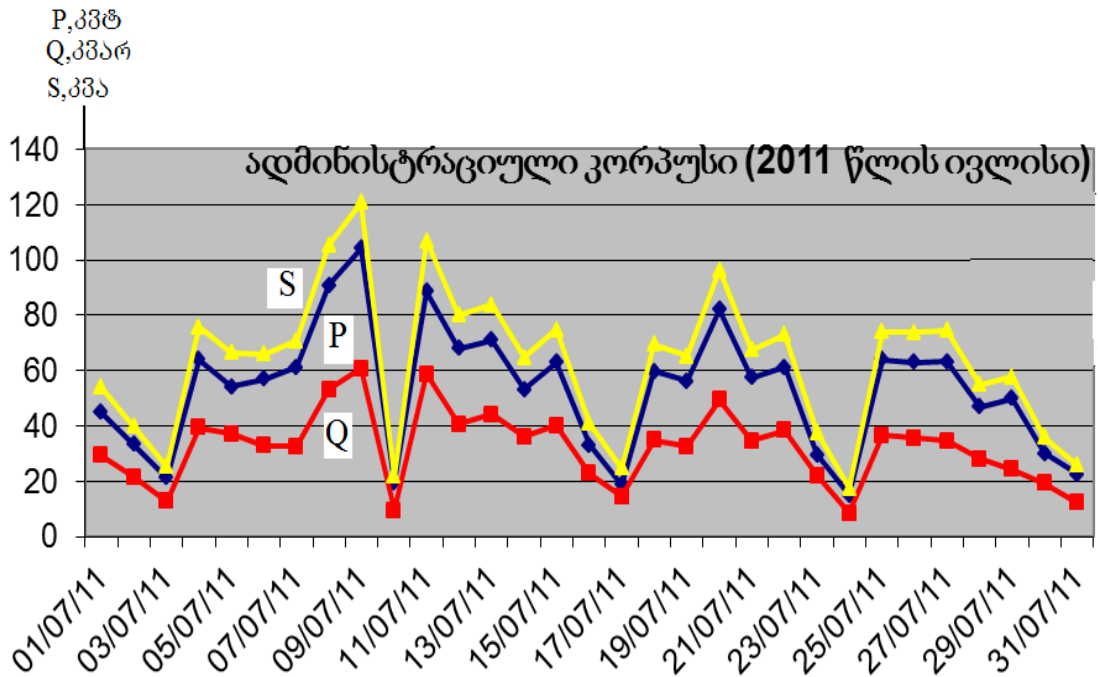
ნახ.4.6 ადმინისტრაციული კორპუსის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის საშუალო დღიური სიმძლავრის კოეფიციენტი ერთი თვის განმავლობაში.

ნახ.4.7-ზე წარმოდგენილია VIII სასწავლო კორპუსის ჯამური სიმძლავრის კოეფიციენტი, რომელიც საკმაოდ მაღალია. რადგან მასზე ჩართულია მაღალი სიმძლავრის კოეფიციენტის მქონე ობიექტი – თაღლაურა. ასევე VIII სასწავლო კორპუსში გვაქვს კომპიუტერული დატვირთვა ტევადური ხასიათის რეაქტიული ენერგიითა და სტამბისა და ლიფტების ძრავები, ლუმენესცენციური განათების დროსელები, ასევე ელექტროტექნიკური ლაბორატორიების ძრავები ინდუქციური ხასიათის რეაქტიული ენერგიით. ტევადური და ინდუქციური ხასიათის რეაქტიული ენერგიები ერთმანეთს აკომპენსირებენ, რის გამოც მიიღება მაღალი სიმძლავრის კოეფიციენტი.





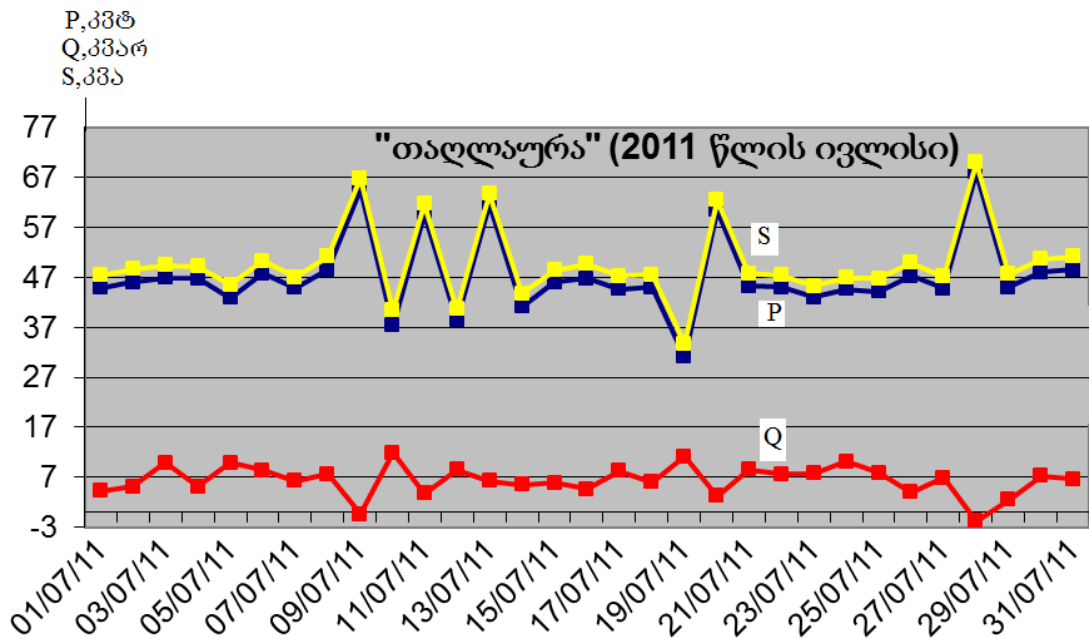
ნახ.4.7. სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსის ჯამური სიმძლავრის კოეფიციენტის დღეების მიხედვით ცვლილების გრაფიკი



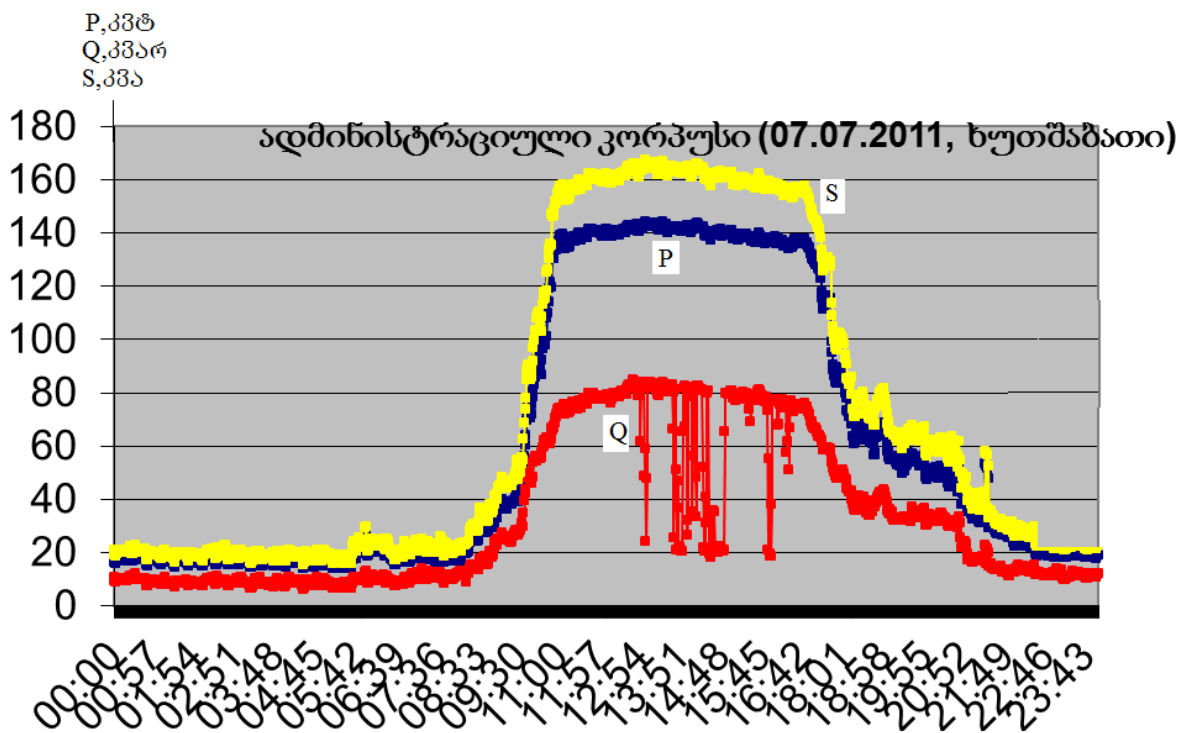
ნახ.4.8.სტუ-ს ადმინისტრაციული კორპუსის აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეთა დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.

რაც შეეხება სიმძლავრეებს: ადმინისტრაციულ კორპუსში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან სიდიდით დიდად არ განსხვავდებიან (ნახ.4.8), რაც განაპირობებს სიმძლავრის დაბალ კოეფიციენტს, ხოლო თაღლაურაში რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობა გაცილებით ნაკლებია, რაც განაპირობებს მაღალ სიმძლავრის კოეფიციენტს (ნახ.4.9).





ნახ.4.9. ობიექტ „თაღლაურას“ აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეთა დღეღამური ცვლილების გრაფიკი

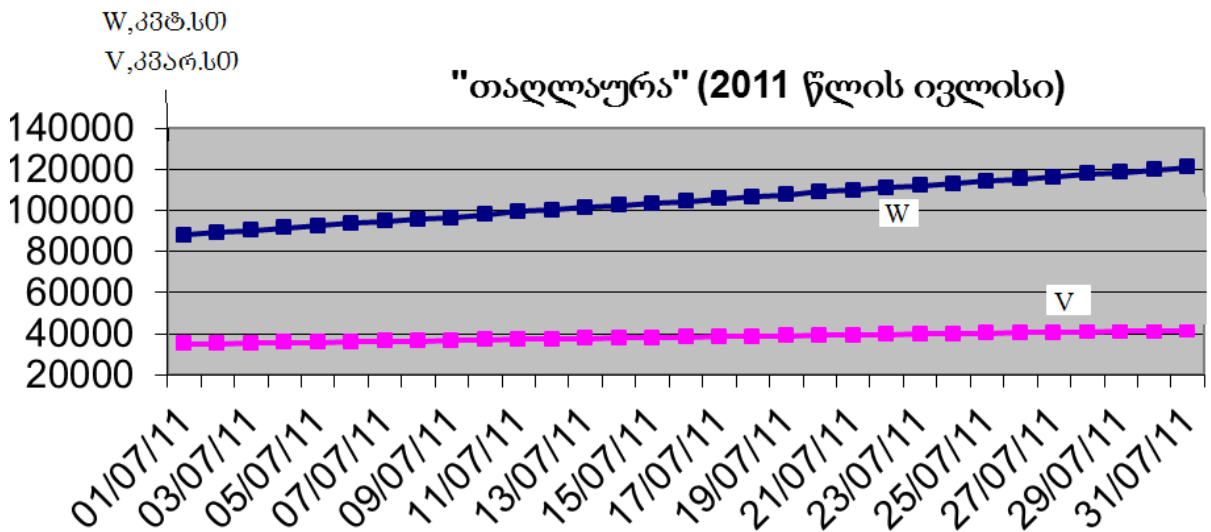


ნახ.4.10. სტუ-ს ადმინისტრაციული კორპუსის აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეთა საათური ცვლილების გრაფიკი

ნახ.4.10-ზე წარმოდგენილია ადმინისტრაციულ კორპუსში მოთხოვნილი სიმძლავრის დინამიკა სამუშაო საათების მიხედვით. როგორც ცნობილია ადმინისტრაციულ კორპუსში მუშაობა იწყება დილის 9 სა-

ათი და 30 წუთიდან და მთავრდება 17 საათზე, რაც კარგად ჩანს მოთხოვნილი სიმძლავრის დინამიკიდან. სამუშაო საათებში ადმინისტრაციული კორპუსის მოთხოვნილი სიმძლავრე შეადგენს 160 კვტ-ზე მეტს. ბოლოს ჩვენთვის ყველაზე უფრო საინტერესოა მონიტორინგის სისტემა, როგორც მოხმარებული ელექტროენერგიის აღრიცხვის კონტროლის საშუალება.

ნახ.4.11-დან ჩანს, რომ „თაღლაურას“ მიერ ივლისის თვის დასაწყისისათვის მონიტორინგის სისტემის აღრიცხვის დაწყებიდან დახარჯული იყო 87 000 კვტ.სთ ელექტროენერგია, ხოლო ერთი თვის ბოლოს დაფიქსირდა 120 000 კვტ.სთ. ანუ ერთი თვის განმავლობაში მის მიერ მოხმარებული იქნა 33000 კვტ.სთ ელექტროენერგია. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ „თაღლაურა“ წარმოადგენს თელასის აბონენტს, რომლის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია აკლდება ტექნიკურ უნივერსიტეტს. ივლისის თვის წარმოდგენილი დოკუმენტი ტექნიკურ უნივერსიტეტს „თელასმა“ ჩამოაკლო 33300 კვტ.სთ ელექტროენერგია. განსხვავება 300 კვტ.სთ დაკავშირებულია მონაცემების აღების დროში სხვაობის გამო.

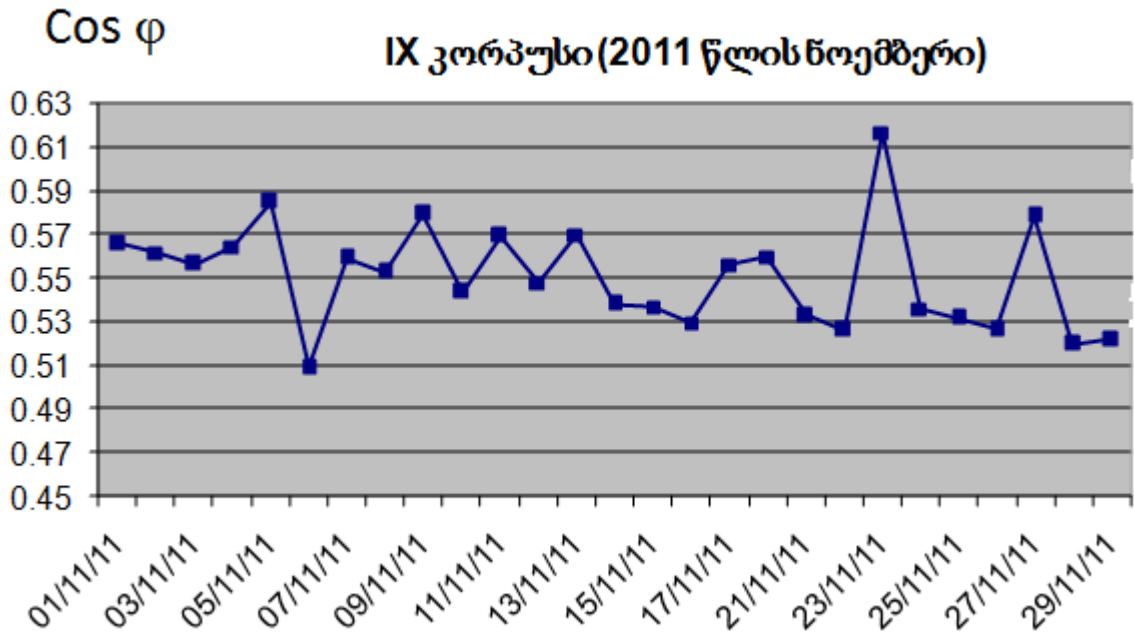


ნახ.4.11. ობიექტ „თაღლაურას“ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარების თვიური გრაფიკი.

აქედან გამომდინარე მონიტორინგის სისტემის აღრიცხვის კვანძები მაღალი სიზუსტით მუშაობენ. ჩვენთვის მეტად საინტერესოა VI და IX კორპუსების დატვირთვის ხასიათი და მისგან გამომდინარე შედეგები. რადგან ამ კორპუსების ძირითად დატვირთვას წარმოადგენს

კომპიუტერული ტექნიკა, რომლის დატვირთვას აქვს ტევადური ხასიათი და როგორც პრაქტიკა ადასტურებს ეს დატვირთვა აუარესებს ელექტროენერგიის ხარისხს.

ნახ.4.12-ზე წარმოდგენილია IX სასწავლო კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი.



ნახ.4.12 სტუ-ს IX სასწავლო კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი

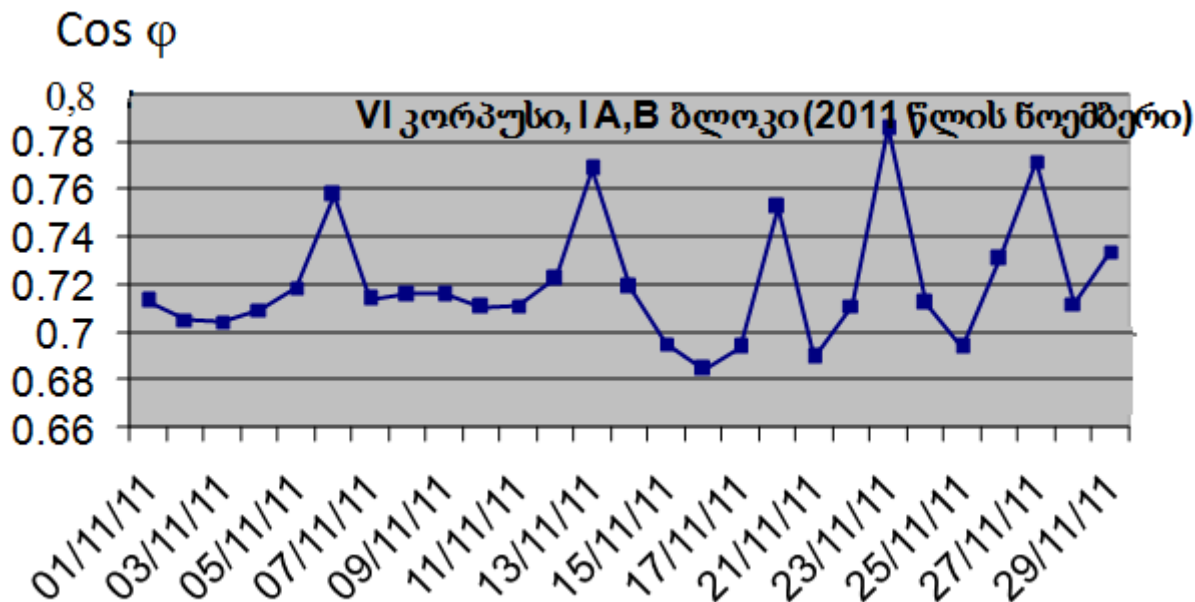
წარმოდგენილი გრაფიკიდან ჩანს, რომ ამ კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტი იცვლება 0,51-0,62 ფარგლებში, რაც ძალზედ დაბალი მაჩვენებელია. საქმე იმაშია, რომ ამ კორპუსის ძირითად დატვირთვას წარმოადგენს ინფორმატიკის ფაკულტეტის კომპიუტერული კლასი რომლის დატვირთვა ტევადური ხასიათისაა და მცირე ჯამური სიმძლავრის ლუმინესცენციური განათებები, რომლის დატვირთვის ხასიათი ინდუქციურია. მათი რეაქტიული სიმძლავრების კომპენსაციის შემდეგ დარჩა საკმაოდ დიდი სიდიდის დატვირთვის ტევადური ხასიათი, რაც კარგად ჩანს ცხრილი 4.1-ის მონაცემების რეაქტიული სიმძლავრის (Q) სვეტიდან მისი უარყოფითი ნიშნით.

ცხრილი 4.1. სტუ-ს IX სასწავლო კორპუსის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები.

თარიღი	P, კვტ	Q, კვარ	S, კვა	cosφ
01/11/11	10.35783	-11.8892	19.88403	0.565848
02/11/11	9.802774	-12.1141	19.32157	0.561625
03/11/11	9.353529	-12.5884	18.65565	0.55644
04/11/11	9.144905	-12.1592	18.70311	0.564413
05/11/11	7.455994	-10.5683	15.19089	0.584866
06/11/11	6.628907	-8.63006	12.97984	0.509
07/11/11	10.76926	-12.7875	21.31266	0.559293
08/11/11	11.11996	-14.5042	22.48862	0.552814
09/11/11	12.15819	-13.8323	22.69355	0.579305
10/11/11	11.38564	-14.7488	23.07613	0.543751
11/11/11	12.30817	-14.6506	24.16824	0.569413
12/11/11	8.982347	-12.9111	18.75594	0.547698
13/11/11	7.257542	-13.0019	16.6802	0.569799
14/11/11	13.60461	-15.7875	27.45877	0.537914
15/11/11	12.87981	-16.5161	26.53855	0.536682
16/11/11	13.59146	-18.614	28.72987	0.529509
17/11/11	15.36569	-18.9049	30.77202	0.556048
18/11/11	9.361618	-12.4627	18.27375	0.559803
21/11/11	14.41849	-20.3598	31.90354	0.532854
22/11/11	13.00786	-16.2305	27.19524	0.526319
23/11/11	11.44291	-14.6108	21.22908	0.616668
24/11/11	13.7381	-17.3246	28.20373	0.535864
25/11/11	13.04123	-17.5518	27.55941	0.531551
26/11/11	12.39406	-16.7632	25.66263	0.526522
27/11/11	10.56181	-13.987	20.59674	0.578624
28/11/11	13.77395	-18.0905	30.025	0.519858
29/11/11	11.46468	-16.4907	24.65681	0.52189

ამასთანავე უნდა აღინიშნოს რომ დაბალია VI კორპუსის I A-B ბლოკის სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობებიც, რომელიც

წარმოდგენილია ნახ.4.13-ზე. ამ შემთხვევაში სიმძლავრის კოეფიციენტი იცვლება 0,68-0,78-ის ფარგლებში. ცხრილი 4.2-ში მოცემულია VI კორპუსის I A-B ბლოკის ელექტროენერგიის პარამეტრების ცვლილებები. ცხრილი 4.1 და ცხრილი 4.2 -ის მონაცემებიდან შეიძლება გამოვყოთ დამახინჯების სიმძლავრეები.



ნახ.4.13 სტუ-ს VI კორპუსის I A-B ბლოკის სიმძლავრის კოეფიციენტის დღეღამური ცვლილების გრაფიკი.

### 4.3. კომპიუტერული ტექნიკის გავლენის გამოკვლევა

VI კორპუსის I A და B ბლოკების მკვებავი ფიდერით ელექტროენერგიას იღებს როგორც ტევაღური ხასიათის რეაქტიული დატვირთვის მქონე კომპიუტერული მოწყობილობები ასევე დიდი რაოდენობის ინდუსტრიური ხასიათის რეაქტიული სიმძლავრის მქონე ლუმინესცენციური განათებები და ლიფტებისა და ბენზინგასამართი სადგურის ელექტროძრავები. როგორც ცხრილი 4.2-დან ჩანს, რეაქტიული სიმძლავრის ხასიათი ცვალებადია.

ცხრილი 4.2. სტუ-ს VI კორპუსის I A-B ბლოკის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები.

თარიღი	P, კვტ	Q, კვარ	S, კვა	cosφ
01/11/11	30.43211	2.993355	42.94205	0.71306
02/11/11	27.45639	1.000519	40.01787	0.704864

03/11/11	27.21107	0.134941	38.75309	0.703993
04/11/11	28.9558	1.266921	41.51695	0.709023
05/11/11	25.6644	0.537473	35.43726	0.718434
06/11/11	16.7375	-1.51512	21.30699	0.757426
07/11/11	35.4633	2.530544	50.75389	0.713845
08/11/11	35.91815	1.536088	50.367	0.715742
09/11/11	37.06407	0.075726	51.61204	0.715684
10/11/11	35.25131	1.733133	49.3452	0.710551
11/11/11	35.5542	1.094765	49.96261	0.710897
12/11/11	28.59388	-2.19468	39.14059	0.722445
13/11/11	19.46035	-1.61753	24.15795	0.768348
14/11/11	38.24366	0.48003	53.35181	0.718546
15/11/11	33.23365	0.593683	48.02574	0.694786
16/11/11	36.95287	1.01373	54.13845	0.684359
17/11/11	39.41456	1.070708	55.56178	0.693541
18/11/11	23.38832	-1.49889	30.68628	0.752514
21/11/11	35.74244	3.096582	52.09149	0.689273
22/11/11	29.42199	2.699941	42.60879	0.710777
23/11/11	14.15394	0.066823	17.96183	0.785441
24/11/11	28.25986	4.189	40.4961	0.711886
25/11/11	29.63691	3.136023	43.08619	0.693537
26/11/11	24.67369	1.106866	33.83128	0.730848
27/11/11	13.93873	0.702738	18.24004	0.771249
28/11/11	31.12277	4.8627	46.16076	0.711594
29/11/11	23.32433	2.144947	33.33028	0.733564

კომპიუტერული ტექნიკით დატვირთვის დროს გარდა აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეებისა გამტარებში გაედინება დამატებითი სიმძლავრეები, რომელიც გამოწვეულია დამახინჯების სიმძლავრით. დამატებითი სიმძლავრე წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის ნაწილს, რომელიც ახასიათებს სხვადასხვა სიხშირის ძაბვისა და დენის ურთიერთმოქმედებით განპირობებულ პროცესებს. ამ შემთხვევაში სრული სიმძლავრე გამოიანგარიშება ფორმულით [31]:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} \quad (4.1)$$

ცხრილი 4.2-იდან 2011 წლის 1 ნოემბრის მონაცემების მიხედვით მიღებულია შემდეგი მონაცემები:

ყველა ჰარმონიკის აქტიური სიმძლავრე  $P = 30,43$  კვტ;

ყველა ჰარმონიკის რეაქტიული სიმძლავრე  $Q = 2,99$  კვარ;

დამახინჯების სიმძლავრის გარეშე სრული სიმძლავრე ტოლი იქნება:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{30,43^2 + 2,99^2} = 30,58 \text{ კვა} \quad (4.2)$$

დამახინჯების სიმძლავრის გათვალისწინებით ცხრილი 4.2-ის მონაცემების მიხედვით სრული სიმძლავრე ტოლია:

$$S_1 = 42,94 \text{ კვა.} \quad (4.3)$$

(4.1), (4.2), (4.3) ტოლობების ურთიერთშედარებიდან გვაქვს, რომ დამახინჯების სიმძლავრე ტოლია:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = \sqrt{42,94^2 - 30,43^2 - 2,99^2} = 30,14 \text{ კვა.}$$

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ დამახინჯების სიმძლავრე შეადგენს დატვირთვის სრული სიმძლავრის უდიდეს ნაწილს, რითაც დამატებით ტვირთავს ელექტრულ ქსელს ისე, რომ არ ასრულებს სასარგებლო მუშაობას.

30,58 კვა სრული სიმძლავრის დროს 380 ვ ძაბვის შემთხვევაში ქსელში გამავალი დენის საშუალო მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$I_{\text{ს.შ.}} = 30580 / 1,73 \cdot 380 = 46,5 \text{ ა,}$$

ხოლო 42,94 კვა სრული სიმძლავრის დროს:

$$I_{\text{ს.შ.}} = 42940 / 1,73 \cdot 380 = 65,32 \text{ ა.}$$

ანუ დენებს შორის სხვაობამ შეადგინა  $65,32 - 46,5 = 18,8$  ა. თითოეულ ფაზაში გამავალი დენი ტოლია  $18,8 : 3 = 6,27$  ა. დანაკარგები ელექტრულ ქსელებში კი დენის კვადრატის პროპორციულია.

აქედან გამომდინარე ვასკენით, რომ კომპიუტერულ დატვირთვას თავისი მრავალრიცხოვანი ელექტრონული ელემენტებით შეაქვს არასინუსოიდური დენებისათვის დამახასიათებელი დამახინჯებანი ელექტრულ ქსელებში, რაც თავის მხრივ ზრდის ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

არასინუსოიდურ რეჟიმებში ელექტროენერჯისა და სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგების შეფასებისათვის კვლევის ობიექტებს

წარმოადგენენ ელექტრული წრედის ცალკეული ელემენტები. დენისა და ძაბვის სინუსოიდური მრუდების დამახინჯების წყაროები მოიძებნებიან საკვლევი ქსელებში ელექტროენერჯის ხარისხის გაზომვის შედეგების მიხედვით.

ასეთი გაზომვების შედეგები წარმოდგინდება ცხრილურ ან გრაფიკულ სახეში, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შევაფასოთ ელექტროენერჯის ხარისხის ცვლილების კანონზომიერებანი, გამოვავლინოთ სისტემის ფრაგმენტები, რომლებშიც სინუსოიდურობის დამახინჯება მნიშვნელოვანია და მაშასადამე, დამატებითი დანაკარგები არსებითი იქნება.

ცხრილი 4.3 -ში წარმოდგენილია VI კორპუსის II A-B ბლოკის მკვებავი ფიდერის პარამეტრების მონაცემები. ამ ფიდერით კვებას იღებს კომპიუტერების კლასები და ინდუქციური ხასიათის მცირე ჯამური რეაქტიული სიმძლავრის მქონე ლუმინესცენციური განათება. რეაქტიული სიმძლავრეების გაკომპენსირების შემდეგ დარჩა მხოლოდ ტევადური ტვირთი, მაგრამ შემცირდა დამახინჯების სიმძლავრე.

მაგალითად, 2011 წლის 15 ნოემბრის მონაცემებით აქტიური სიმძლავრე ტოლია 52,407 კვტ, რეაქტიული- 14,015 კვარ, ხოლო სრული 54,900 კვა.

სინუსოიდური დენის შემთხვევაში სრული სიმძლავრის გასაანგარიშებელი ფორმულის თანახმად,

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{52,407^2 + 14,015^2} = 54,248 \text{ კვა},$$

ხოლო დამახინჯების სიმძლავრე ტოლია:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = \sqrt{54,9^2 - 54,248^2} = 8,43 \text{ კვა}$$

ე.ი. როცა ქსელში არის მხოლოდ ტევადური, ხასიათის დატვირთვა, მაშინ მცირდება დამახინჯების სიმძლავრე და სიმძლავრის კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ რეაქტიული სიმძლავრეზე.

ცხრილი 4.3. სტუ-ს VI კორპუსის II A-B ბლოკის სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილების მონაცემები

თარიღი	P,კვტ	Q,კვარ	S,კვა	cosφ
01/11/11	38.63855	-14.1225	41.92595	0.936201
02/11/11	38.3999	-14.5303	41.79457	0.933137



03/11/11	37.68996	-14.4988	41.11367	0.93129
04/11/11	39.15637	-14.9121	42.53933	0.933821
05/11/11	27.85709	-11.6112	30.67428	0.92367
06/11/11	11.0217	-6.36491	12.82487	0.894868
07/11/11	50.56218	-19.1685	54.61139	0.935315
08/11/11	49.20145	-19.5075	53.41231	0.93035
09/11/11	51.57706	-20.1679	55.87192	0.934082
10/11/11	52.41603	-20.6896	56.81878	0.932855
11/11/11	56.68221	-18.4976	60.14867	0.952475
12/11/11	40.94282	-11.6978	43.26572	0.94875
13/11/11	16.60156	-6.86865	18.35123	0.969869
14/11/11	62.55505	-17.278	65.53271	0.958859
15/11/11	52.40783	-14.0151	54.90046	0.957346
16/11/11	54.84787	-14.1804	57.32849	0.958928
17/11/11	52.80586	-15.1745	55.26801	0.960527
18/11/11	33.05451	-4.91077	33.93153	0.977143
21/11/11	60.77804	-16.8025	63.76441	0.953576
22/11/11	50.17652	-11.558	52.04079	0.966472
23/11/11	24.42563	-3.60677	25.03886	0.979515
24/11/11	48.7026	-10.8296	50.57672	0.967564
25/11/11	46.53638	-10.9153	48.36698	0.962433
26/11/11	39.23077	-7.56107	40.57035	0.965728
27/11/11	22.95222	-4.36438	23.69842	0.971829
28/11/11	51.48793	-12.0708	53.47025	0.965014

ჩვენს წინაშე დაისვა საკითხი. როგორ დამოკიდებულებაშია ერთ-მანეთთან ქსელში გამავალი დენი და დამახინჯების სიმძლავრე?

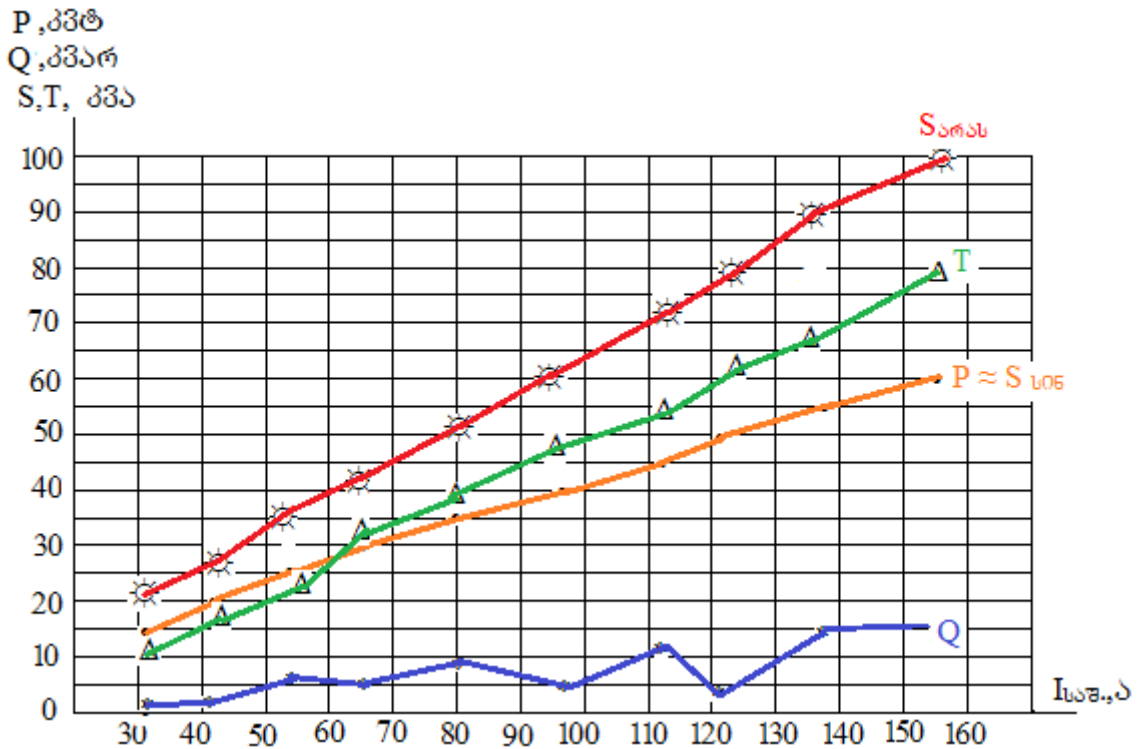
ამ მიზნით მონიტორინგის სისტემის საარქივო მასალებიდან მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის სიდიდის ზრდის მიხედვით მოვახდინეთ დამახინჯების სიმძლავრის გაანგარიშება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში. გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილი 4.4.-ში.

ცხრილი 4.4. სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის I A და B ბლოკების

სამუშაო დღის დატვირთვა

№	U <sub>საშ.</sub> ვ	I <sub>საშ.</sub> ა	P, ვტ	Q, ვარ	S <sub>არასინ.</sub> ვა	S <sub>სინ.</sub> ვა	T, ვა	Cosφ, არასინ Scada	Cosφ <sub>სინ.</sub> გაანგარ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>დადებითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში</b>									
1	371	155	60000	16600	99870	62254	78090	0,60	0,963
2	371	136,6	55000	14380	87830	56849	66950	0,63	0,967
3	373	121	50000	3000	79100	50090	61200	0,63	0,99
4	369	111,8	45000	12300	71480	46651	54160	0,64	0,964
5	370	96,6	40000	4220	62070	40222	47300	0,65	0,994
6	377	79,8	35000	8730	52100	36072	37600	0,65	0,97
7	370	66	30000	4960	43200	30407	30700	0,64	0,987
8	372	54,3	25000	6000	34920	25710	23600	0,65	0,97
9	375	41,7	20000	1500	26950	20056	18000	0,72	0,997
10	370	30,6	15000	1110	19590	15041	12500	0,67	0,997
საშ.	372	89,3	37500	72800	57740	38335,2	43010	0,65	0,977
<b>უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში</b>									
1	372	111,3	45000	-460	71980	45002	56000	0,62	0,99
2	371	96,0	40400	-300	62110	40401	47000	0,64	0,99
3	368	80,7	35400	-466	51670	35403	37600	0,67	0,99
4	370	67,2	32200	-2464	43000	32294	30500	0,69	0,99
5	373	56,1	25200	-6076	35460	25922	25600	0,688	0,97
6	373	45,1	20380	-5820	29600	21195	20600	0,71	0,96
7	379	31,4	15100	-1760	20690	15202	14000	0,74	0,99
სულ	372	69,7	30526	-2478	44930	30774	33043	0,68	0,983

ამ ცხრილის მიხედვით ნახ.4.14-ზე აგებულია აქტიური, რეაქტიული, სრული და დამახინჯების სიმძლავრის დენის საშუალო მნიშვნელობაზე დამოკიდებულება დადებითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში, შესაბამისად:  $P = f(I_{საშ.})$ ;  $Q = f(I_{საშ.})$ ;  $S_{არასინ.} = f(I_{საშ.})$ ;  $T = f(I_{საშ.})$ , ხოლო ნახ.4.15-ზე იგივე დამოკიდებულებანი უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში.

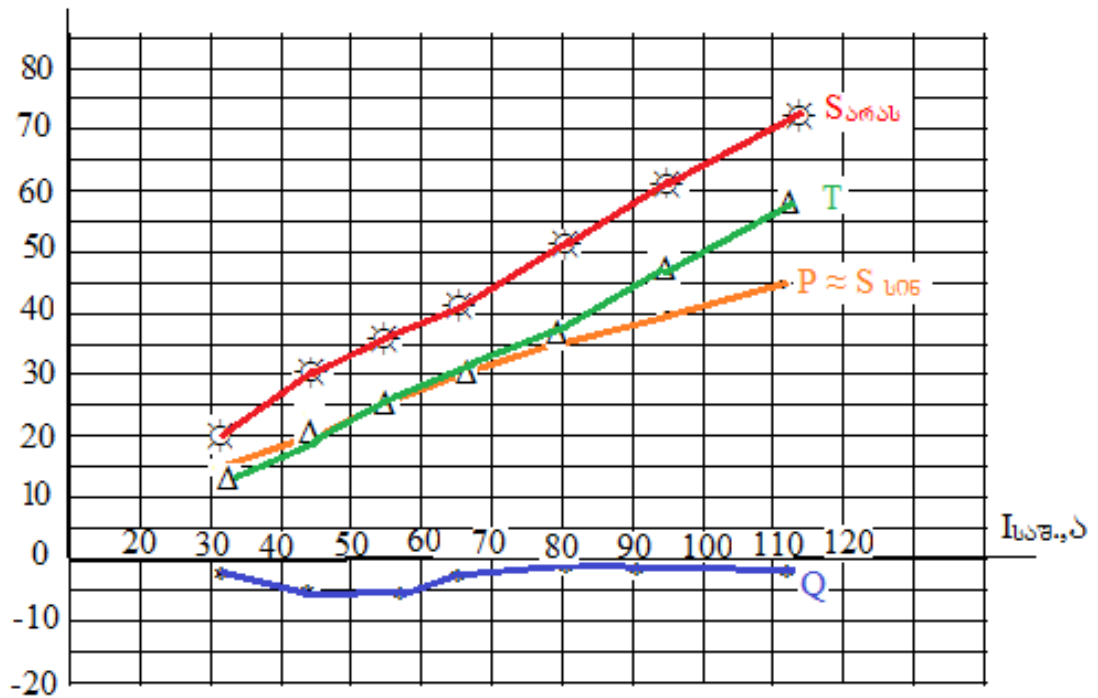


ნახ.4.14. სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის I A და B ბლოკების სიმძლავრეთა გრაფიკები დადებითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში.

როგორც ნახ.4.14 და ნახ.4.15-დან ჩანს, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში დენის საშუალო მნიშვნელობის გაზრდით ყველა სახის სიმძლავრე, გარდა რეაქტიული-სა, იზრდება. რეაქტიული სიმძლავრე ხან ზრდადია და ხან კლებადა, მაგრამ მისი მნიშვნელობა სხვა სიმძლავრეებთან შედარებით იმდენად მცირეა, რომ არსებითად ვერ ცვლის სრულ სიმძლავრეს. დამახინჯების სიმძლავრის გაზრდით შესაბამისად იზრდება ელექტროენერგიის დანაკარგები და უარესდება ელექტროენერგიის ხარისხი. რაც განაპირობებს დაბალი სიმძლავრის კოეფიციენტს (ცხრილი 4.4, სვეტი 9).

ნახ.4.14 და ნახ.4.15-ზე ნაჩვენები არ არის ცხრილში მოცემული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების შესაბამისი სრული სიმძლავრე, რადგან თუ ერთმანეთს შევადარებთ ცხრილი 4.4-ის მე-4 და მე-7 სვეტების მონაცემებს, ისინი ერთმანეთისაგან დიდად არ განსხვავდებიან. ანუ რეაქტიული სიმძლავრე იმდენად მცირეა, რომ სრული სიმძლავრე  $S_{სინ}$  თავისი მნიშვნელობით იგი აქტიური სიმძლავრის თითქმის ტოლია და შესაბამისი სიმძლავრის კოეფიციენტიც მაღალია.

P, კვტ  
 Q, კვარ  
 S, T, კვა



ნახ.4.15. სტუ-ს VI სასწავლო კორპუსის I A და B ბლოკების სიმძლავრეთა გრაფიკები უარყოფითი რეაქტიული სიმძლავრის შემთხვევაში

ცხრილი 4.4 -ის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ასევე შეიძლება დავასკვნათ, რომ VI სასწავლო კორპუსში მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე არსებით გააღებინა ვერ ახდენს ამ კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტზე და ელექტროენერგიის დანაკარგები ძირითადად გამოწვეულია VI და ამ კორპუსის კომპიუტერული დატვირთვით გამოწვეული ელექტროენერგიის ხარისხის გაუარესებით და დამახინჯების სიმძლავრის შემოტანით.

მაგალითისათვის მოვიყვანოთ, თუ რა ეკონომიური ეფექტი გააჩნია და სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლებას. მაგალითად, 2011 წლის ნოემბრის თვეში VI კორპუსის I A - B ბლოკის მიერ, რომლის სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობაა  $\cos \varphi = 0,71$  მოხმარებული იქნა 18801 კვტ.სთ აქტიური ელექტროენერგია. აღნიშნული სიდიდის აქტიური ელექტროენერგია ქსელიდან მოითხოვს სრული სიმძლავრის შესაბამის ენერგიას:

$$18801/0,71 = 26480 \text{ კვ.სთ}$$

თუ ჩავთვლით, რომ აღნიშნული ბლოკი დღეში საშუალოდ ჩართულია 12 საათის განმავლობაში, მაშინ ერთ თვეში ბლოკი ჩართული იქნება  $30 \times 12 = 360$  სთ. განმავლობაში.

ერთ საათში მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე ტოლი იქნება:

$$S = 26480/360 = 73,5 \text{ კვა}$$

380 ვ ხაზური ძაბვის შემთხვევაში ამ მოთხოვნილ სრულ სიმძლავრეს შეესაბამება ხაზური დენის საშუალო მნიშვნელობა:

$$I_{\text{საშ1}} = 73500/\sqrt{3} \cdot 380 = 111,56 \text{ ა}$$

თუ ტექნიკური ღონისძიებების შედეგად მოხდება სიმძლავრის კოეფიციენტის აწევა 0,71-დან 0,95-მდე, მაშინ აღნიშნული სიდიდის აქტიური ენერჯია ქსელიდან მოითხოვს სრულ სიმძლავრის შესაბამის ენერჯიას:

$$18801/0,95 = 19790 \text{ კვ.სთ.}$$

ერთი თვის განმავლობაში საშუალოდ 12 საათის ჩართვის ხანგრძლივობით

საათში მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე იქნება:

$$19790/360 = 55 \text{ კვა,}$$

380 ვ ხაზური ძაბვის შემთხვევაში, ამ მოთხოვნილ სიმძლავრეს შეესაბამება ხაზური დენის საშუალო მნიშვნელობა:

$$I_{\text{საშ2}} = 55000/\sqrt{3} \cdot 380 = 83,7 \text{ ა}$$

საშუალო დენების სხვაობამ შეადგინა:

$$\Delta I_{\text{საშ}} = 111,56 - 83,7 = 27,86 \text{ ა,}$$

თითოეულ ფაზაში გამავალი დამატებითი დენი ტოლია:

$$27,86/3 = 9,3 \text{ ა,}$$

ე.ი. 9,3 ა სიდიდის დენი არის თითოეულ ფაზაში დამატებითი დანაკარგების გამოწვევი. დანაკარგების სიდიდე კი დამოკიდებულია ამ დამატებითი დენის სიდიდის კვადრატზე და იმ ელემენტის წინააღობაზე, რომელშიც გადის აღნიშნული სიდიდის დენი.

ადმინისტრაციული კორპუსის მიერ ნოემბრის თვეში მოხმარებული იქნა 36734 კვტ.სთ ელექტროენერჯია. ანალოგიური გაანგარიშებით მივიღეთ, რომ ამ კორპუსის სიმძლავრის კოეფიციენტის 0,89 – დან 0,95-მდე

გაუმჯობესების შემთხვევაში ქსელში გამავალი დენების სხვაობა შეადგენს 11 ა-ს. თითოეულ ფაზაში გამავალი დამატებითი დენი ტოლია 3,67 ა.

#### 4.4. კომპიუტერული ტექნიკის დატვირთვით გამოწვეული დანაკარგები

განვსაზღვროთ აღნიშნული სიდიდის დენებით გამოწვეული დანაკარგები კაბელებსა და ტრანსფორმატორში.

VI სასწავლო კორპუსის I A-B ბლოკი იკვებება 120 მ სიგრძის ალუმინის ძარღვიანი 150 მმ<sup>2</sup> კვეთის კაბელით, რომლის ერთი ძარღვის წინაღობა ცნობარების მიხედვით არის  $R_0 = 0,21$  ომი/კმ. აქედან გამომდინარე 120 მ კაბელის ერთი ძარღვის წინაღობაა  $R = 0,0252$  ომი. აღნიშნული კაბელის ძარღვში  $\cos\varphi_1 = 0,71$  –ის ტოლი სიმძლავრის კოეფიციენტის დროს, როცა ერთ ძარღვში ანუ ერთ ფაზაში გადის  $I_1 = I_{საშ1}/3 = 111,56/3 = 37,19$  ა დენი, აქტიური სიმძლავრის ენერჯის დანაკარგი  $t = 1$  სთ-ის განმავლობაში იქნება:

$$\Delta W_1 = I_1^2 \cdot R \cdot t = 37,19^2 \cdot 0,0252 \cdot 1 = 34,85 \text{ ვტ.სთ} = 0,03485 \text{ კვტ.სთ}$$

რადგან მივიღეთ, რომ I A-B ბლოკი დღეში საშუალოდ ჩართულია 12 საათს, ხოლო თვეში 360 საათს, ამიტომ ერთი წლის განმავლობაში კაბელის ერთ ფაზაში აქტიური სიმძლავრის ენერჯის დანაკარგი იქნება:

$$\Delta W_{\text{წლ1}} = \Delta W_1 \cdot 360 \text{ სთ} \cdot 12 \text{ თვე} = 0,03485 \cdot 360 \cdot 12 = 166,3 \text{ კვტ.სთ}$$

სამივე ფაზაში დანაკარგები ტოლი იქნება:

$$\Delta W_{\text{წლ1E}} = \Delta W_{\text{წლ1}} \cdot 3 = 166,3 \cdot 3 = 499 \text{ კვტ.სთ}$$

თუ ტექნიკური საშუალებებით მოვახდენთ სიმძლავრის კოეფიციენტის ამადლებას  $\cos\varphi_2 = 0,95$ -მდე, მაშინ კაბელის ერთ ფაზაში გაივლის  $I_2 = I_{საშ2}/3 = 83,7/3 = 27,9$  ა. ამ შემთხვევაში იგივე სიდიდის წინაღობაზე აქტიური სიმძლავრის ენერჯის დანაკარგი ერთი საათის განმავლობაში იქნება:

$$\Delta W_2 = I_2^2 \cdot R \cdot t = 27,9^2 \cdot 0,0252 \cdot 1 = 19,62 \text{ ვტ.სთ} = 0,01962 \text{ კვტ.სთ}$$

ერთი წლის განმავლობაში კაბელის ერთ ფაზაში აქტიური სიმძლავრის ენერჯის დანაკარგი იქნება:

$$\Delta W_{\text{წლ2}} = \Delta W_2 \cdot 360 \text{ სთ} \cdot 12 \text{ თვე} = 0,01962 \cdot 360 \cdot 12 = 84,76 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ}$$

სამივე ფაზაში დანაკარგები ტოლი იქნება:

$$\Delta W_{\text{წლ2\textit{x}}} = \Delta W_{\text{წლ2}} \cdot 3 = 84,76 \cdot 3 = 254,28 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ}$$

ე.ი. ელექტროენერჯის დანაკარგი I A-B კორპუსის კაბელებში ერთი წლის განმავლობაში ტოლია:

$$\Delta W_{\text{წლ. კაბ.}} = \Delta W_1 - \Delta W_2 = 499 - 254,28 = 244,72 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ}$$

#### 4.5. დანაკარგები ტრანსფორმატორში.

VI სასწავლო კორპუსის I A-B ბლოკი იკვებება 1000 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორიდან, რომლის მოკლედ შერთვის დანაკარგი შეადგენს 11 კვტ-ს.

აღნიშნული ტრანსფორმატორის ერთ გრაგნილში  $\cos\varphi_1 = 0,71$  –ის ტოლი სიმძლავრის კოეფიციენტის დროს გადის  $I_{\text{საშ.1}} = 111,56$  ა დენი. ამ დენით გამოწვეული სიმძლავრის დანაკარგი ტოლი იქნება:

$$\Delta P_{1\text{ტრ}} = \Delta P_{\text{გ.წ.}} \cdot I_{\text{საშ.1}}/I_6 = 11 \cdot 111,56/1521 = 0,807 \text{ კვტ.}$$

ერთი წლის განმავლობაში ამ სიმძლავრის მიერ გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგი ტოლი იქნება:

$$\Delta W_{\text{ტრ.წლ.1}} = \Delta P_{1\text{ტრ}} \cdot 360 \cdot 12 = 0,807 \cdot 360 \cdot 12 = 3486,24 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ.}$$

სიმძლავრის კოეფიციენტის  $\cos\varphi_2 = 0,95$ -მდე ამაღლების დროს:

$$\Delta P_{2\text{ტრ}} = \Delta P_{\text{გ.წ.}} \cdot I_{\text{საშ.2}}/I_6 = 11 \cdot 83,7/1521 = 0,605 \text{ კვტ.}$$

ხოლო ელექტროენერჯის დანაკარგი ტოლი იქნება:

$$\Delta W_{\text{ტრ.წლ.2}} = \Delta P_{2\text{ტრ}} \cdot 360 \cdot 12 = 0,605 \cdot 360 \cdot 12 = 2613,6 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ.}$$

ანუ დამახინჯებისა და რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული დანაკარგი ტოლი იქნება:

$$\Delta W_{\text{ტრ.წლ.}} = \Delta W_{\text{ტრ.წლ.1}} - \Delta W_{\text{ტრ.წლ.2}} = 3486,24 - 2613,6 = 872,64 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ.}$$

საბოლოოდ VI კორპუსის I A-B ბლოკის მიერ დამახინჯებისა და რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგები ტოლია:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{წლ. კაბ.}} + \Delta W_{\text{ტრ.წლ.}} = 244,72 + 872,64 = 1117,36 \text{ კვტ} \cdot \text{სთ.}$$

ჩვენს მიერ ელექტროენერჯის დანაკარგების დაწვრილებითი გამოკვლევები ჩატარებული იქნა VI სასწავლო კორპუსის იმ ბლოკის ელექტრომომარაგებაზე, სადაც განლაგებულია სხვადასხვა სახის

ელექტრო-ენერჯის მიმღებები: კომპიუტერული კლასები, ლიფტის ელექტროძრავები, კლიმატკონტროლები. ამ ელექტრომომხმარებლების რეაქტიული დატვირთვა არის როგორც ტევადური, ასევე ინდუქციური ხასიათის. ამ ბლოკის ზოგიერთი ელექტრომომხმარებელი არის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების წყარო, რომლებიც აუარესებენ ელექტროენერჯის ხარისხს.

**ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დანაკარგები.** საერთო დანაკარგების განსაზღვრის მიზნით საჭირო შეიქმნა შეჯამებული SCADA – ს სისტემის კონტროლ ქვეშ მყოფი ტრანსფორმატორების უქმი სვლის სიმძლავრეები.

SCADA – ს სისტემის კონტროლ ქვეშ იმყოფება 2 ცალი 1000 კვა და 1 ცალი 630 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორები, რომელთა საპასპორტო ჯამური უქმი სვლის სიმძლავრეა 6,450 კვტ. თუ გავითვალისწინებთ რომ ტრანს-ფორმატორები მოძველებულია, მაშინ უქმი სვლის დანაკარგები უფრო მეტი იქნება.

2011 წლის 21 ნოემბრიდან ზამთრის დადგომასთან დაკავშირებით ქსელში მუდმივად ჩართული იქნა სამივე ტრანსფორმატორი. საპასპორტო მონაცემების მიხედვით სამივე ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დანაკარგები ერთ თვეში შეადგენს:

$$\Delta W_{\text{უ.ს.}} = 6,45 \text{ კვტ} \times 24\text{სთ} \times 30 \text{ დღ.} = 4644 \text{ კვტ.სთ.}$$

**ტრანსფორმატორის მოკლედ შერთვის დანაკარგები.** ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დანაკარგებს ემატება მოკლედ შერთვის დანაკარგები, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია დატვირთვაზე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta W_{\text{ა.შ.}} = \Delta P_{\text{ა.შ.}} \cdot K_{\text{დ}} \cdot t,$$

სადაც  $K_{\text{დ}} = I_2/I_1$  – არის ტრანსფორმატორის დატვირთვის კოეფიციენტი;  $t$  – არის ტრანსფორმატორზე დატვირთვის ჩართვის ხანგრძლივობა, სთ;  $\Delta P_{\text{ა.შ.}}$  – არის ტრანსფორმატორის მოკლედ შერთვის სიმძლავრის დანაკარგები. 1000კვა ტრანსფორმატორებისათვის იგი ტოლია 11 კვტ, ხოლო 630 კვა ტრანსფორმატორებისათვის 7,3 კვტ. რადგანაც ტრანსფორმატორის დატვირთვა ჩვენს შემთხვევაში ცვალებადია და ამიტომ უქმი სვლის დანაკარგებთან შედარებით ძნელია დატვირთვის დანაკარგების ზუსტი განსაზღვრა.



#### 4.6. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძის მოწყობის შესახებ

უკანასკნელ ხანებში ენერგეტიკაში ძლიერ გაიზარდა მოთხოვნები ელექტროენერჯის აღრიცხვის სიზუსტის მიმართ განსაკუთრებით დაბალი ძაბვის ქსელებში. ამასთან დაკავშირებით მიმდინარეობს ინდუქციური მრიცხველების საყოველთაო შეცვლა უფრო მაღალი სიზუსტის კლასის მქონე ელექტრონული მრიცხველებით. მაგრამ პრაქტიკაში მხოლოდ მრიცხველების შეცვლა ვერ იძლევა მოსალოდნელ შედეგს. გაზომვის სიზუსტის გაზრდის მაგიერ შეიძლება მივიღოთ უკუშედეგი.

ამ პრობლემის ერთერთი ძირითადი მიზეზი მდგომარეობს იმაში, რომ დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორების ექსპლუატაცია ხდება სტანდარტით დაშვებული, მათი ნომინალური პარამეტრების გაზომვის დიაპაზონის საზღვრებს გარეთ, რაც იწვევს ელექტროენერჯის მრიცხველების ჩვენებების დამახინჯებას.

დენის ტრანსფორმატორი წარმოადგენს საინფორმაციო საზომი სისტემის წრედის პირველად რგოლს. საინფორმაციო - საზომი სისტემა შეიცავს მონაცემების მიმღებ, დამამუშავებელ და გადამცემ მოწყობილობებს, პროგრამულ უზრუნველყოფასა და ელექტროენერჯის მრიცხველებს. ამასთანავე მთელ ამ მოწყობილობის სიზუსტეს არ ექნება აზრი, თუ დენის ტრანსფორმატორების სიზუსტე დაბალია. ამიტომ უკანასკნელ ხანებში დენის ტრანსფორმატორების სიზუსტის კლასმა განსაკუთრებული მნიშვნელობა შეიძინა. სიზუსტის კლასი ეს არის ტრანსფორმატორის ერთერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი, რომელიც აღნიშნავს, რომ მისი ცდომილება არ აღემატება ნორმატიული დოკუმენტებით განსაზღვრულ მნიშვნელობას, ხოლო თვით ცდომილება, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის: დენის ტრანსფორმატორის კონსტრუქციაზე ანუ გეომეტრიულ ზომებზე, მაგნიტოგამტარის ფორმაზე, ხვიათა რიცხვზე, გრავნილის გამტარის განიკვეთზე. გარდა ამისა ერთერთი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი ფაქტორი, რომელიც გავლენას ახდენს დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებაზე, არის მაგნიტოგამტარის მასალა. მაგნიტური მასალის თვისებაა ის, რომ მცირე პირველადი დენების დროს (ნომინალურის 1-5% ფარგლებში) ცდომილება მაქსიმალურია.

ამიტომ დენის ტრანსფორმატორის კონსტრუქციის ძირითადი პრობლემაა სწორედ ამ დიაპაზონში მიაღწიონ სიზუსტის შესაბამის კლასს.

ამჟამად დენის ტრანსფორმატორების გულარის დასამზადებლად გამოიყენებენ არა ელექტრომაგნიტურ ფოლადს, არამედ ნანოკრისტალურ (ამორფულ) შენადნობებს, რომელთაც გაჩნიათ მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა. სწორედ ეს თვისება იძლევა საშუალებას მცირე პირველადი დენების დროს მიღებული იქნეს 0,5S და 0,2S სიზუსტის კლასის მქონე დენის ტრანსფორმატორები.

პირველად დენსა და ტრანსფორმატორის ცდომილებას შორის დამოკიდებულება არაწრფივია, რამდენადაც იგი პირდაპირ დამოკიდებულია მაგნიტოგამტარის დამაგნიტების მახასიათებელზე, რომელიც ასევე მაგნიტური ელექტროტექნიკური მასალებისათვის არაწრფივია. ამიტომ მოთხოვნები სიზუსტის კლასის მიმართ წარმოდგენილია რაღაც დიაპაზონისათვის, რომელშიც უნდა მოთავსდეს ტრანსფორმატორის ცდომილება. რაც უფრო მაღალია სიზუსტის კლასი, მით უფრო ვიწროა დიაპაზონი. მაგალითად, 0,5 და 0,5S (ან 0,2 და 0,2S) კლასებს შორის განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ 0,5 კლასის დენის ტრანსფორმატორისათვის ნომინალური დენის 5%-ის ქვემოთ ცდომილება არ ნორმირდება. სწორედ ასეთი სიდიდის დენის დროს ხდება ელექტროენერჯის აღრიცხვის დანაკლისი, რომელიც შეიძლება შევამციროთ რამდენჯერმე, თუ გამოვიყენებთ 0,5S და 0,2S სიზუსტის კლასის ტრანსფორმატორებს. მაგრამ ყოველივე ზემოთმოყვანილის მიუხედავად უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება დატვირთვის მიხედვით დენის ტრანსფორმატორების სწორად შერჩევას. მაგალითად, ელექტროტექნიკური ფოლადის გულარაზე დამზადებული დენის ტრანსფორმატორების სიზუსტის კლასი სიზუსტის კლასის პირობას ძირითადად აკმაყოფილებს მისი ნომინალური დატვირთვის დენის 20%-დან 120 % -მდე დატვირთვის დენის ფარგლებში. დანარჩენ შემთხვევაში სიზუსტის კლასი დარღვეულია. რაც უფრო მეტად ან რაც უფრო ნაკლებად არის დატვირთული დენის ტრანსფორმატორი, მით უფრო იზრდება მისი ცდომილება. დენის ტრანსფორმატორების შერჩევის საკითხს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ

შემთხვევაში, როცა აღრიცხვის კვანძის გადატანა ხდება ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარიდან მაღალი ძაბვის მხარეზე. ამასთანავე უნდა მოხდეს ტექნიკურ ეკონომიკური გაანგარიშება რამდენად მიზანშეწონილია აღრიცხვის კვანძის გადატანა დაბალი მხარიდან მაღალ მხარეზე.

მაგალითად, ჩვენს მიერ სასამართლო ექსპერტიზის ფარგლებში ერთერთი საწარმოს გამოკვლევის დროს აღმოჩნდა, რომ საწარმოს გააჩნდა 400 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორი კოეფიციენტით  $K_{ტრ} = 10/0,4=25$ . საწარმოს ელექტროდანადგარების დადგმული სიმძლავრე შეადგენდა 248 კვტ-ს, ხოლო პროდუქციის გამოშვების პროცესში მოითხოვდა 90 კვტ სიმძლავრეს, ანუ საწარმოს ელექტროდანადგარების დატვირთვის კოეფიციენტი ტოლი იყო  $K_{დ} = 90/248 = 0,36$ . გარკვეული პერიოდის განმავლობაში აღნიშნული საწარმოს აღრიცხვის კვანძი დამონტაჟებული იყო დაბალი (0,4 კვ) ძაბვის მხარეს, რომლის დენის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი იყო  $K = 50/5 = 10$ . აღნიშნული ნომინალის ტრანსფორმატორი, ზემოთ მოყვანილი დატვირთვის დენის ნორმებიდან გამომდინარე, დასაშვები სიზუსტით მუშაობს 10 – 60 ა დატვირთვის ფარგლებში.

როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, პროდუქციის გამოშვების პროცესში საწარმო მოიხმარდა 90 კვტ სიმძლავრეს. მის დატვირთვას შეადგენდა სამფაზა ძრავები, რომელთა სიმძლავრის საშუალო კოეფიციენტი იყო  $\cos\varphi = 0,8$ . ასეთი დატვირთვის დროს თითოეულ ფაზაში გამავალი დენის სიდიდე ტოლია:

$$I_{1.1} = P_{ტექ}/1,73 \cdot U_{ბ1} \cdot \cos\varphi = 90000/1,73 \cdot 380 \cdot 0,8 = 171 \text{ ა.}$$

ცხადია, რომ ჯერ ერთი 50 ა პირველადი დენის მქონე დენის ტრანსფორმატორი ვერ უზრუნველყოფს 171 ა დენის ხანგრძლივად გატარებას და დენის ტრანს-ფორმატორი ხშირად გამოდიოდა მწყობრიდან, ხოლო მეორეც, დენის ტრანს- ფორმატორი გამოსულია თავისი სიზუსტის კლასიდან (171 >>> 60).

შემდეგში დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის სწორად შერჩევის მაგიერ იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ აღრიცხული ყოფილიყო ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დანაკარგებიც, აღრიცხვის კვანძი გადატანილი იქნა ტრანსფორმატორის მაღალი (10კვ) ძაბვის

მხარეს, სადაც საჭიროებიდან გამომდინარე დაყენებული იქნა ძაბვის ტრანსფორმატორი კოეფიციენტით  $K_{ტ} = 10000/100 = 100$ , ხოლო დენის ტრანსფორმატორი დაყენებული იქნა იგივე კოეფიციენტით  $K_{დ} = 50/5 = 10$ , რის შედეგადაც აღრიცხვის კვანძის კოეფიციენტმა შეადგინა  $K = K_{ტ} \cdot K_{დ} = 100 \cdot 10 = 1000$ .

მოცემულ შემთხვევაში ტექნოლოგიური ციკლის მიმდინარეობის დროს დენის ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გამავალი დენი ტოლია:

$$I_2 = P_{ტექ} / 1,73 \cdot U_{ბ2} \cdot \cos\varphi = 90000/1,73 \cdot 10000 \cdot 0,8 = 6,5 \text{ ა,}$$

რაც ნაკლებია 10 ა-ზე, ანუ ამ შემთხვევაშიც დენის ტრანსფორმატორი გამოსულია თავისი სიზუსტის კლასიდან. აქ უმჯობესი იყო დენის ტრანსფორმატორის დაყენება კოეფიციენტით  $K_{დ}=5/5=1$  და აღრიცხვის კვანძის კოეფიციენტი იქნებოდა  $K = 100$ . დენის ტრანსფორმატორიც იმუშავებდა თავისი სიზუსტის კლასის ფარგლებთან ახლოს, რადგან  $6,5/5 = 1,3 = 130 \% \approx 120 \%$ .

აღნიშნულ საწარმოს ტექნოლოგიური ხარჯების გარდა გააჩნია არატექნოლოგიური ხარჯებიც, კერძოდ, ტრანსფორმატორის უქმი სვლის ( $P_{უ.ს} = 1,1$  კვტ  $I_{უ.ს} = 0,53$  ა) ხარჯი პროდუქციის გამოშვების შეწყვეტის პროცესში, გათბობისათვის 2 კვტ სიმძლავრის ელექტროქურა და 3 კვტ დადგმული სიმძლავრის პროექტორებით ტერიტორიის განათება. სულ 6,1 კვტ. განათებისა და გათბობის დატვირთვა ერთფაზაა. ამიტომ განათებისა და გათბობის ჩართვის დროს ერთი ფაზის დენის ტრანსფორმატორის პირველად წრედში გამავალი დენი ტოლია:

$$I = P_{არატექ} / U_{ფ1} = 5000 \cdot 1,41 / 10000 = 0,865 \text{ ა,}$$

სადაც  $U_{ფ1} = U_{ბ1} / \sqrt{2} = 1000/1,41$

ამ დენს დაემატება ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დენი 0,53 ა და გახდება 1,4 ა.

როცა დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტი  $K_{დ}= 50/5$ , მაშინ დენის ტრანსფორმატორის სიზუსტის კლასი ტოლია  $1,4 \cdot 100/50 = 2,8 \% < < 20 \%$  და არატექნოლოგიური ხარჯები აღირიცხება დაბალი სიზუსტით, ხოლო თუ დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტი იქნებოდა  $K_{დ} = 5/5$ , მაშინ სიზუსტის კლასი ტოლია  $1,4 \cdot 100/5 = 28 \%$

> 20 % და არატექნოლოგიური ხარჯები აღრიცხება მაღალი სიზუსტით.

ჩართული სიმძლავრის მიხედვით გაანგარიშებულმა ელექტროენერჯის არატექნოლოგიურმა ხარჯის შედარებამ მრიცხველის მიერ აღრიცხულ ელექტროენერჯისთან გვიჩვენა, რომ მრიცხველი აღრიცხავდა ელექტროენერჯის არატექნოლოგიური ხარჯის 55 - 60 %-ს, ანუ მხოლოდ არატექნოლოგიური პროცესის ელექტროენერჯის დანაკარგი შეადგენს 40-45 %-ს, რაც დანაკარგის ძალზე მაღალი მაჩვენებელია [32].

ამრიგად, აღრიცხვის კვანძების დამონტაჟების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დენის ტრანსფორმატორის სწორად შერჩევას. დენის ტრანსფორმატორი შერჩეული უნდა იქნეს მომხმარებლის მინიმალური და მაქსიმალური დატვირთვის მიხედვით ისეთნაირად, რომ მას მუშაობა შეეძლოს ნორმირებულ სიზუსტის კლასის ფარგლებში. ამასთანავე შერჩეული დენის ტრანსფორმატორის გამოყენება ეკონომიურად უნდა იყოს დასაბუთებული

#### 4.7. კომერციული დანაკარგები.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ კომერციული დანაკარგები განპირობებულია ელექტროენერჯის დატაცებით, მრიცხველების ჩვენებისა და მომხმარებლების მიერ დახარჯული ელექტროენერჯის საფასურის გადახდის შეუსაბამობით, გადახდის დაგვიანებით, გადაუხდელობითა და ასევე ენერჯის მოხმარების კონტროლის ორგანიზაციის სფეროს სხვა მიზეზებით. პირველ რიგში საჭირო იყო მრიცხველების შემოწმება.

მრიცხველების შემოწმება მოხდა ლიტერატურა [33]-ს მიხედვით, რომელშიც მოყვანილია აღრიცხვის კვანძების დიაგნოსტიკის მეთოდები.

აქტიური ენერჯის ერთფაზა და სამფაზა მრიცხველების შემოწმება მოხდა დატვირთვის ქვეშ. მრიცხველების შემოწმების მეთოდის მიხედვით შემოწმების თანმიმდევრობა ასეთია: პირველ რიგში უნდა განისაზღვროს ქსელში გამავალი სიმძლავრე. ამისათვის ვიღებთ დენის მარწუხს და მისი საშუალებით ვზომავთ ფაზებში გამავალ დენებსა და ძაბვებს. ამავდროულად მეორე დამკვირვებელი წამმზომით აფიქსირებს დროს და ითვლის მრიცხველის დისკოს

გარკვეულ ბრუნთა რიცხვს რა დრო დასჭირდება. ამის შემდეგ ვსაზღვრავთ ქსელში გამავალ სიმძლავრეს ფორმულით:

$$P_{\text{ქს}} = U \cdot I_{\text{საშ}} \cdot \cos\varphi, \text{ კვტ,} \quad (4.1)$$

სადაც  $U$  არის ქსელში ძაბვის მნიშვნელობა კილოვოლტებში. ერთფაზა მრიცხველისათვის  $U = U_{\text{ფ}} = 0,22$  კვ, ხოლო სამფაზა მრიცხველებისათვის  $U = 3U_{\text{ფ}} = 0,66$  კვ;  $I_{\text{საშ}}$  – არის ფაზებში გამავალი დენების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ამპერებში; იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$I_{\text{საშ}} = (I_A + I_B + I_C) / 3$$

$\cos\varphi$  – არის სიმძლავრის კოეფიციენტი, რომელიც იზომება ფაზომეტრით.

მრიცხველის მიერ აღრიცხული სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{გრ}} = \frac{3600 \cdot n \cdot K}{N \cdot t} \quad (4.2),$$

სადაც 3600 – არის საათში წამების რაოდენობა;  $n$  – არის მრიცხველის დისკოს ბრუნთა რიცხვი;  $K$  – დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტი;  $N$  – მრიცხველის მუდმივაა, ბრ/კვტ.სთ, იგი გვიჩვენებს, თუ რამდენი ბრუნი უნდა გააკეთოს მრიცხველის დისკომ 1 კვტ.სთ ელექტროენერჯის დახარჯვისას;  $t$  – არის დრო წამებში, რომელიც საჭიროა დისკოს  $n$  რაოდენობის ბრუნის გასაკეთებლად.

თუ (4.1) და (4.2) გამოსახულებების მიხედვით მიღებული მნიშვნელობები ერთმანეთს ემთხვევა, მაშინ მრიცხველი სწორად მუშაობს.

გაზომვები ჩავატარეთ შემდეგი თანმიმდევრობით:

ქსელში გამავალი სიმძლავრის ( $P_{\text{ქს}}$ ) განსაზღვრისათვის დენის მარწუხის საშუალებით ვზომავდით ფაზებში გამავალ  $I_A, I_B$  და  $I_C$  დენებს. შემდეგ ვსაზღვრავდით მათ საშუალო არითმეტიკულს. მიღებულ მნიშვნელობას ვამრავლებდით ძაბვის სიდიდესა და სიმძლავრის კოეფიციენტზე. შედეგები შევიტანეთ ცხრილი 4.5- ში.

მრიცხველის მიერ აღრიცხული სიმძლავრის გასაზომად ვაკვირდებოდით მრიცხველის დისკოს ბრუნვას, ვაფიქსირებდით რამდენი  $t$  წამი სჭირდებოდა  $n$  რაოდენობის ბრუნვის შესრულებას. მიღებულ

მონაცემებს, ასევე მრიცხველის მუდმივას N-ისა და დენის ტრანსფორმატორის კოეფიციენტის K-ს მნიშვნელობები შეგვექონდა (4.2) გამოსახულებაში და ვსაზღვრავდით P<sub>გრ</sub>-ის მნიშვნელობებს. ამის შემდეგ განისაზღვრებოდა გაზომვის გაზომვის ცდომილება ფორმულით;

$$\gamma = (P_{გრ} - P_{ქს}) \times 100 / P_{ქს}$$

კომერციული ობიექტების მრიცხველების შემოწმების შედეგები მოყვანილია ცხრილი 4.5.-ში.

სულ შემოწმებული იქნა 19 ობიექტი. როგორც ცხრილი 4.5 –დან ჩანს, მრიცხველები ნორმალურად მუშაობენ, მათი ცდომილება დასაშვებ ფარგლებშია (აკლებია 5 %-ზე). გამონაკლისს წარმოადგენს მე-6, მე-14 და მე-15 პოზიციები, სადაც ცდომილება დასაშვებზე მეტია. ეს გამოწვეულია იმით, რომ საზომი ხელსაწყოები მცირე სიმძლავრეების გაზომვისას ნაკლებად მგრძობიარენი არიან.

ცხრილი 4.5. სტუ-ს კომერციული ობიექტების მრიცხველების შემოწმების შედეგები.

№	ობიექტის დასახელებ.	კორპუსი	მრიცხველის №	მუდმივა	მარწუხით გაზომილი						მრიცხველით აღრიცხული				ცდომილება.
					I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	I <sub>საშ</sub>	cos φ	P <sub>ქს</sub>	n	t	K	P <sub>გრიც</sub>	
					ა	ა	ა	ა	-	კვტ	ბრ/წთ	წმ	-	კვტ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	საოფ.მშ. „კრონა“	IX	0429464	8000	50	38	46	44,7	0,75	22	20	12	30	22,5	2,3
2	ინდ.დეველ. კომპანია	IX	0183446	8000	5	14	24	14,3	0,8	7,5	4	7	30	7,7	3,0
3	შპს „ბომბორა“	ადმ.	248005	2500	0	2	0	2	0,9	0,4	1	4	1	0,38	5,0
4	კაფე IV სართ	VI	0200453	600	0	18	0	18	0,85	3,4	10	18	1	3,33	2,0
5	კაფე I სართ	VI	28885351	75	1	2	6	3	0,9	1,8	1	25	1	1,9	5,0
6	შპს „გამაკრედიტი“	VI	30340106	1280	0	1,2	0	1,2	0,8	0,21	1	15	1	0,19	14

7	საბილი- არდო	VI	31066671	750	5	3	3	3,7	0,9	2,2	1	65	30	2,2 1	0,5
8	შპს „რომპეტ- როლი“	VI	29672312	37,5	3	18	4	8,3	0,85	4,6	1	20	1	4,8	4,0
9	შპს „ტექნიკოსი “	VI	28754419	37,5	2	1,4	0, 2	1,2	0,9	0,7	1	68	1	1,4 1	0,7
10	შპს „გლობა ლერთი“	VI	0923415	640 0	0	0, 8	0	0,8	0,95	0,175	5	15	1	0,1 8	2,7
11	შპს „ჯეოსე- ლი“	VI	0043838	165	6	12	6	8	0,85	4,47	1	5	1	4,3 6	2,0
12	შპს მაგთიკომი	VIII	0183802	800 0	3	5	5	4,3	0,8	2,28	10	8	1	2,2 5	1,0
13	შპს „ჯეოპროგრ ეს გრუპი“	IV	36811498	75	7	5	6	6	0,9	3,6	1	13	1	3,7	2,0
14	კუბლაშილ ი და ადვოკ	VII	071298040	320 0	0	0, 6	0	0,6	0,9	0,12	3	24	1	0,1 4	14
15	შპს, ლიბერო- ტური	I	121739	400	0	0, 5	0	0,5	0,9	0,1	1	80	1	0,1 1	10
16	მრეწველანგ. კაპკას.	I	28886162	75	8	16	6	10	0,85	5,6	2	17	1	6,6 5	1,0
17	შპს „ამირანი“	I	28885255	75	1	5	10	8,7	0,9	3,1	2	30	1	3,2	3,0
18	ვილა ძარა	IV	0025046	160 0	15 0	11 5	14 5	136,7	0,75	64,7	60	60	30	67, 5	0,3
19	შპს „ტონუსი“	I	011269650	160 0	13	19	36	22,7	0,9	13,5	2	39	12 0	13, 8	2,2

#### 4.8. საერთო დანაკარგები.

ჩვენთვის უფრო საინტერესოა SCADA-ს სისტემის კონტროლ ქვეშ მყოფი ელექტრომიმღებების საერთო დანაკარგების სიდიდე და პროცენტული რაოდენობა.

პირველ რიგში მიზნად დავისახეთ სანაპიროს ქვესადგურში დაყენებული სტუ-ს საანგარიშო მრიცხველის მიერ აღრიცხულ, ქვესადგურიდან გაცემულ და სტუ-ს № 1003 და № 1182



სატრანსფორმატორო ჯიხურებში დაყენებული ტრანსფორმატორებიდან გამომავალ ელექტროენერგიებს შორის თანაფარდობის დადგენა. რითაც განისაზღვრებოდა მაღალი, 6 კვ ძაბვის კაბელებსა და ტრანსფორმატორში ელექტროენერგიის ფაქტიური და ტექნიკური დანაკარგები.

საერთო დანაკარგები განვსაზღვრეთ ორი ხერხით.

**I ხერხით** დანაკარგები განვსაზღვრეთ შემდეგნაირად:

მონიტორინგის ჩატარებისათვის შერჩეული იქნა № 1003 და № 1182 სატრანსფორმატორო ჯიხურები.

№ 1003 სატრანსფორმატორო ჯიხურიდან კვებას იღებს სტუ-ს ადმინისტრაციული, III, IV, VI, IX სასწავლო კორპუსები, მათ ტერიტორიაზე განლაგებული კომერციული ობიექტები და სს „თელასის“ სამი აბონენტი: მაღალი ძაბვის მომხმარებელი შპს „კომფორტი-50“, დაბალი ძაბვის მომხმარებლები: კავკასიის ბიზნეს-სკოლა და თელასის სხვა აბონენტები.

№ 1182 სატრანსფორმატორო ჯიხურიდან კვებას იღებს სტუ-ს VIII სასწავლო კორპუსი, სტუ-ს ქვეაბონენტი საქართველო უნივერსიტეტი, VIII სასწავლო კორპუსის ტერიტორიაზე განლაგებული კომერციული ობიექტები და სს „თელასის“ აბონენტები: შპს “თაღლაურა“ და ვახუშტის ხიდის ობიექტები.

გამოკვლევების ჩატარებისათვის 2011 წლის 15 ივლისის 12<sup>00</sup> საათზე დაფიქსირებული იქნა ქვემოთჩამოთვლილი მრიცხველების ჩვენებები:

1. სანაპიროს ქვესადგურში № 17 ფიდერზე დაყენებული №01049553 მრიცხველის ჩვენება – 8650,78. აღნიშნული მრიცხველის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტია 4800. ამ მრიცხველის ჩვენების მიხედვით ახდენს სტუ ანგარიშსწორებას სს „თელასთან“.

2. ვახუშტის ხიდის მიმდებარე ტერიტორიაზე მიმავალი მაღალი ძაბვის გამანაწილებელ კარადაში დადგმული მრიცხველის ჩვენება- 2000,16, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი – 1200. ამ მრიცხველის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგია აკლდება ტექნიკური უნივერსიტეტის ხარჯებს.

3. VIII კორპუსის ძალური ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე დაყენებული SCADA-ს სისტემის მრიცხველის ჩვენება- 564185, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით -1.

4. VI კორპუსის № 1 630 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე დაყენებული SCADA-ს სისტემის მრიცხველის ჩვენება- 75652, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით -1.

5. VI კორპუსის № 2 1000კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე დაყენებული SCADA-ს სისტემის მრიცხველის ჩვენება- 125487, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით -1.

2011 წლის 22 ივლისის 12<sup>00</sup> საათზე დაფიქსირებული იქნა ზემოთ მოყვანილი მრიცხველების ჩვენებები და განსაზღვრული იქნა დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობები:

1. სანაპიროს ქვესადგურში მრიცხველის ჩვენებაა იყო - 8667,34. ამ მრიცხველის ჩვენების მიხედვით ერთი კვირის განმავლობაში დარიცხულმა ელექტროენერგიამ შეადგინა:  $(8667,34 - 8650,78) \times 4800 = 79488$  კვტ.სთ.

2. ვახუშტის ხიდისაკენ მიმავალი ელექტროენერგიის მრიცხველის ჩვენებაა - 2012,58. ამ მრიცხველის მიერ აღრიცხული ელექტროენერგია შეადგენს:  $(2012,58 - 2000, 16) \times 1200 = 14904$  კვტ.სთ

3. VIII კორპუსის ძალური ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე დაყენებული SCADA-ს სისტემის მრიცხველის ჩვენებაა - 584212. დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობაა:  $584212 - 564185 = 20027$  კვტ.სთ

4. VI კორპუსის № 1 ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე დაყენებული SCADA-ს სისტემის მრიცხველის ჩვენებაა - 114152. დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობაა:  $80574 - 75652 = 4922$  კვტ.სთ

5. VI კორპუსის № 2 ტრანსფორმატორის გამოსასვლელზე დაყენებული SCADA-ს სისტემის მრიცხველის ჩვენებაა - 584212. დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობაა:  $163987 - 125487 = 38500$  კვტ.სთ

ამრიგად, სტუ-ს ტერიტორიაზე განლაგებული ძალოვანი ტრანსფორმატორების გამოსასვლელებზე მოხმარებული ელექტროენერგიის ჯამური რაოდენობა შეადგენს:

$$14904 + 20027 + 4922 + 38500 = 78353 \text{ კვტ.სთ.}$$

სანაპიროს ქვესადგურში დაყენებული საანგარიშსწორებო მრიცხველის მიერ აღრიცხულ ელექტროენერგიასა და ტრანსფორმატორების გამოსასვლელებზე ჯამურ ელექტროენერგიებს შორის სხვაობა, ანუ

რაც იგივეა, დანაკარგები საკაბელო ხაზებსა და ძალურ ტრანსფორმატორებში შეადგენს:

$$79488 - 78353 = 1135 \text{ კვტ.სთ.}$$

პროცენტებში გამოსახული დანაკარგები შეადგენს:

$$1135 \times 100 / 79488 = 1,43 \%$$

**II ხერხი.** ამ ხერხით დანაკარგების განსაზღვრისათვის დაკვირვება დაიწყო 2011 წლის 21 ნოემბრიდან, რადგან ამ დღიდან აცივების გამო ელექტროენერჯის მოხმარება ძალიან გაიზარდა.

1.2011 წლის 21 ნოემბერს 12 საათზე დავაფიქსირეთ SCADA-ს სისტემის ჩვენება, რომელიც შეადგენდა 750 405 კვტ.სთ –ს. ასევე ავიღეთ იმავე სისტემის ჩვენება 2012 წლის 5 იანვარს. იგი შეადგენდა 1 449 724 კვტ.სთ. ანუ 45 დღის განმავლობაში მათმა სხვაობამ შეადგინა:

$$1\ 449\ 724 - 750\ 405 = 699\ 319 \text{ კვტ.სთ.}$$

2. ნოემბერ-დეკემბერში „თელასის“ მიერ სტუ-ს დაერიცხა SCADA-ს სისტემის კონტროლ ქვეშ მყოფი ელექტრომიმღებების მიერ 60 დღის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა 743436 კვტ.სთ. ამ დარიცხულ ელექტროენერჯიას დაემატა „თელასის,, აბონენტების ხარჯები, რომელიც გამოაკლდა სტუ-ს, მაგრამ SCADA-ს სისტემამ აღრიცხა.

$$743436 + 22154 + 78579 + 79501 + 24881 = 948551 \text{ კვტ.სთ.}$$

ანუ 45 დღეში მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა იქნება:

$$948551 \times 45 / 60 = 711413 \text{ კვტ.სთ.}$$

3. დანაკარგების რაოდენობა შეადგენს:

711413 – 699319 = 12094 კვტ.სთ. ანუ პროცენტებში გამოსახული იქნება.

$$\gamma = 12094 \times 100 / 711413 = 1,7 \%$$

სხვადასხვა დროსა და სხვადასხვა მეთოდით განსაზღვრული დანაკარგები თითქმის ერთნაირია და რაც ყველაზე მთავარია იგი ნაკლებია მიღებულ დასაშვებ ნორმაზე, ანუ 5 %-ზე.

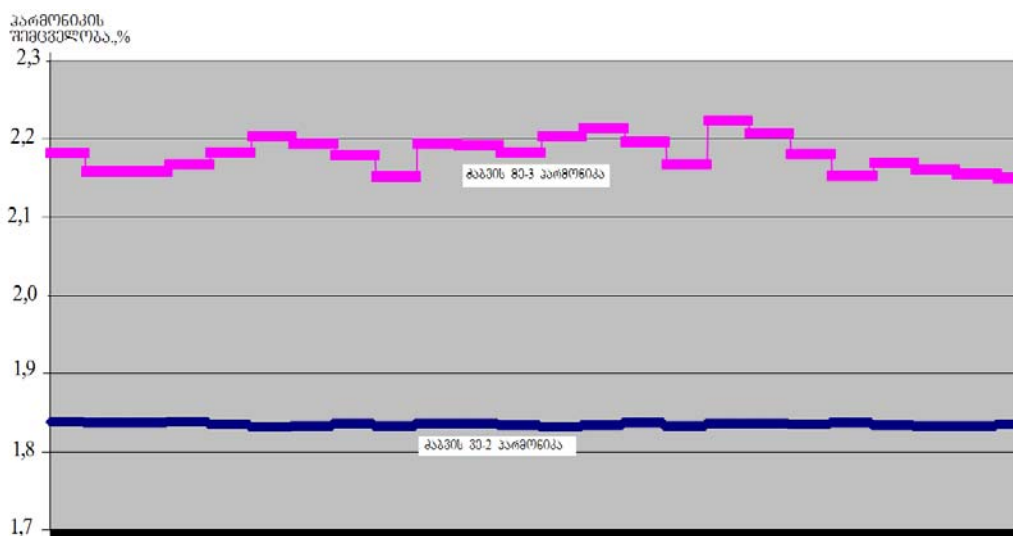
აქედან ვაკეთებთ დასკვნას, რომ ტექნიკური უნივერსიტეტის მასშტაბით აღრიცხული ელექტროენერჯის დანაკარგები მიღებულ ნორმაზე ბევრად ნაკლებია. დანაკარგების ასეთი დაბალი დონე მიღწეული იქნა აღრიცხვის სისტემის მოწესრიგებითა და ტრანსფორმა-

ტორების მუშაობის რეჟიმების შერჩევით. დადგენილია, რომ ტრანსფორმატორს ოპტიმალური დანაკარგები გააჩნია, თუ იგი მუშაობს ნომინალური დატვირთვით.

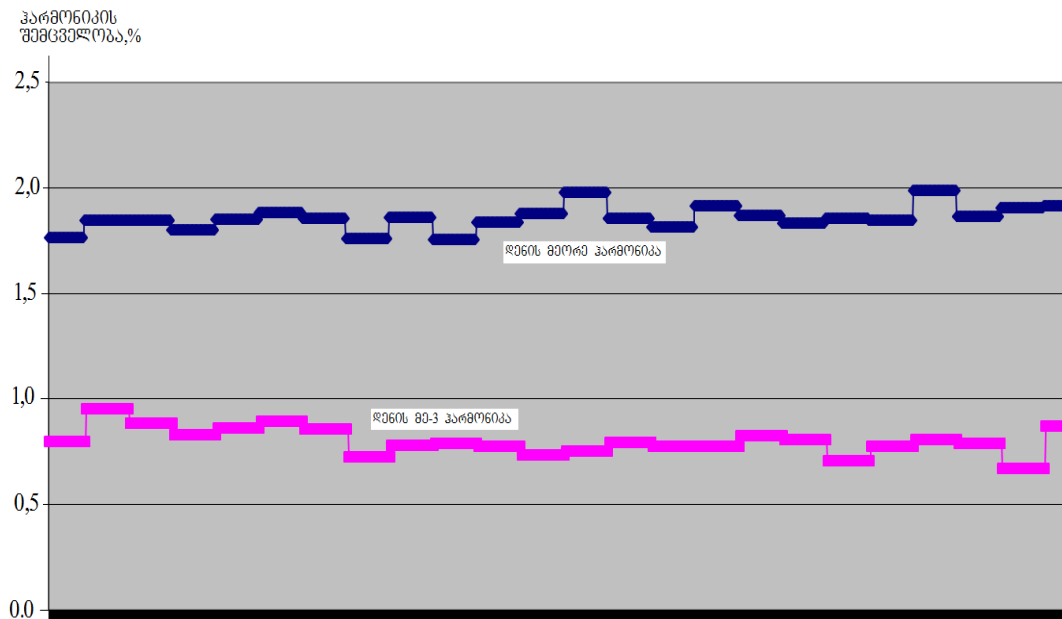
ასევე შესაძლებელია, დანაკარგების ასეთი დაბალი დონე განპირობებული იყოს სანაპიროს ქვესადგურში დაყენებული სტუ-ს საანგარიშო, ევროალფას ტიპის ელექტრონული მრიცხველით. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ელექტრონული მრიცხველები აღრიცხავენ პირველი ჰარმონიკის შესაბამის მოხმარებულ ელექტროენერგიას. ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში უმაღლესი რიგის ჰარ-მონიკების გამოვლენა (რაც საკმაოდ აა სტუ-ს ქსელებში) კი იწვევს გაზომვის ცდომილების გაზრდას. აღნიშნული საკითხი შესაძლებელია შემდგომი კვლევის საგანი იყოს.

#### 4.9. ჰარმონიკების შემცველობა „სანაპიროს“ ქვესადგურიდან შემომავალი კაბელის ძაბვასა და დენზე.

ჩვენთვის მეტად საინტერესო იყო შეგვემოწმებინა „თელასიდან“ მოწოდებული ელექტროენერგიის ხარისხი, რის საშუალებასაც გვაძლევს Scada-ს სისტემა. ამ მიზნით 2011 წლის 29 დეკემბერს Scada-ს სისტემიდან ამოვიღეთ ND-20 ბლოკის მონაცემები, რომელიც აფიქსირებს ჰარმონიკების შემცველობის პროცენტს. ნახ. 4.16 და ნახ.4.17-ზე წარმოდგენილია შესაბამისად ძაბვისა და დენის მე-2 და მე-3 რიგის ჰარმონიკების შემცველობა 6 კვ ძაბვის მხარეს.



ნახ. 4.16 ძაბვის მე-2 და მე-3 რიგის ჰარმონიკების შემცველობა 6 კვ ძაბვის მხარეს



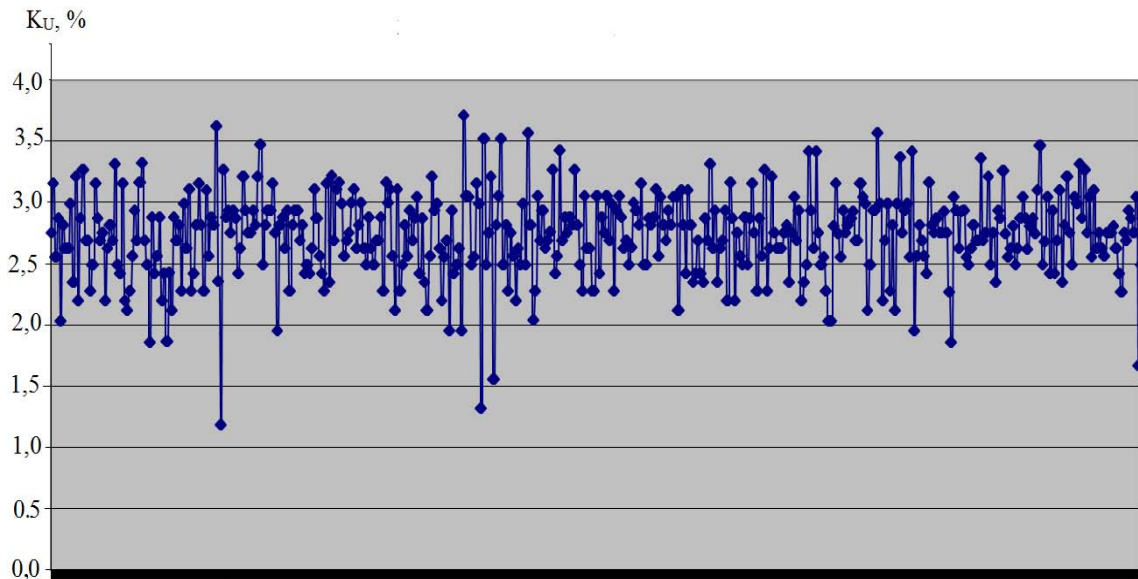
ნახ.4.17. დენის მე-2 და მე-3 რიგის ჰარმონიკების შემცველობა 6 კვ ძაბვის მხარეს.

სტანდარტში [1] მოცემულია ძაბვის მეორე და მესამე რიგის ჰარმონიკების შემცველობის პროცენტი. კერძოდ, 0,38 კვ ძაბვის ქსელებში დასაშვები ნორმაა 2 %, ხოლო 6 კვ ძაბვის ქსელებში- 1,5 %. იგივე სტანდარტის თანახმად მესამე რიგის ჰარმონიკის დასაშვები ნორმაა: 0,38 კვ ქსელებში -5 %, ხოლო 6 კვ ქსელებში- 3 %. როგორც ნახ.4.16-დან ჩანს ძაბვის მეორე რიგის ჰარმონიკის მაქსიმალური შემცველობა 1,84 %, რაც დასაშვებია 0,38 კვ ქსელებისათვის, ხოლო დაუშვებელია 6 კვ ქსელებისათვის. აღნიშნული ჰარმონიკის შემცველობა აღებულია სწორედ 6 კვ მხარეს. ე.ი. შემომავალი ელექტროენერჯის ხარისხი არადამაკმაყოფილებელია. მესამე ჰარმონიკის შემცველობა დასაშვებ ნორმებშია, რადგან მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 2,22 %-ია.

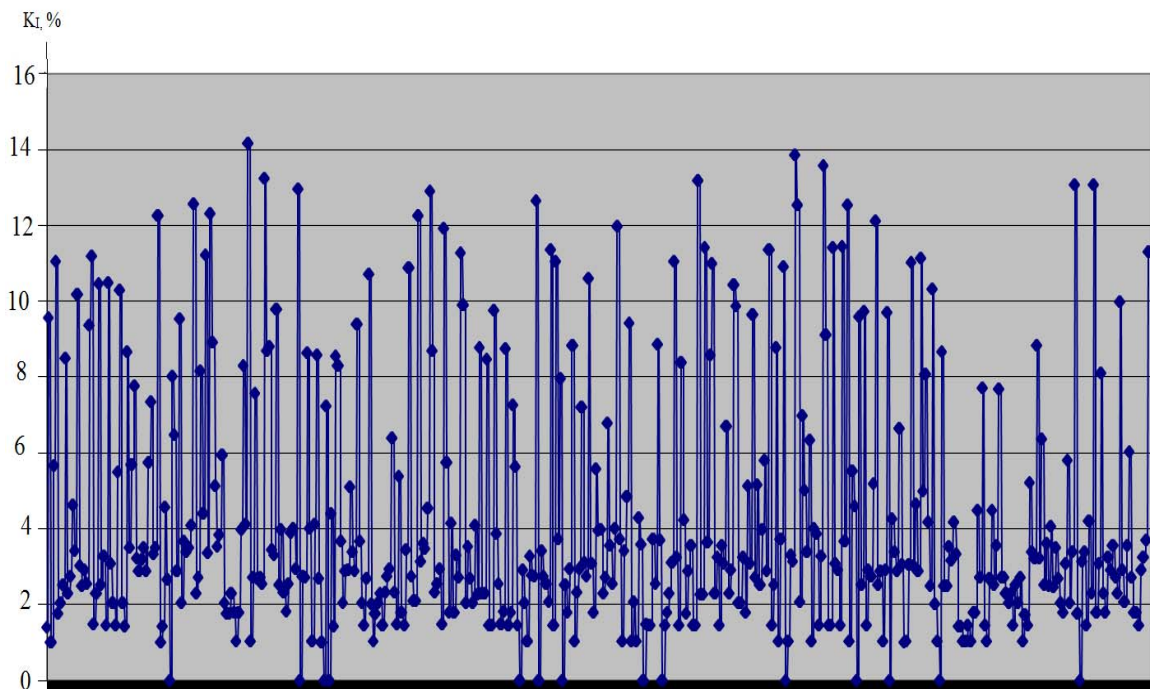
ნახ.4.17-დან ჩანს, რომ დენის მეორე რიგის ჰარმონიკების შემცველობის მაქსიმალური სიდიდეა 2,0 %, ხოლო მესამე რიგის ჰარმონიკისა – 0,95 %. ზემოთ მოყვანილ გოსტ-ში დენის ჰარმონიკების შემცველობის ნორმები დადგენილი არ არის.

იმავე სტანდარტის [1] მიხედვით ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის ნორმირებული მნიშვნელობაა 0,38 კვ ქსელებისათვის 8 %, ხოლო მაქსიმალური მნიშვნელობა -12 %. 6 კვ ქსელებისათვის

ნორმირებული მნიშვნელობაა 5 %, ხოლო მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა – 8 %.



ნახ.4.18 ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი



ნახ.4.19. დენის დამახინჯების კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი

როგორც ნახ.18-დან ჩანს, ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა 3,51 %-ია, რაც დასაშვებ ფარგლებშია. რაც შეეხება დენის დამახინჯების კოეფიციენტს, როგორც ნახ.19-დან ჩანს მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 14,16 % -ია რაც არც თუ კარგი მაჩვენებელია.

ჩვენს მიერ ასევე შემოწმებული იქნა სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 6 კვ ძაბვის ანუ საანგარიშო მრიცხველის მხარეს რომლის სიდიდე არის 0,95 .

#### **4.10. დენის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკების შემცირების ხერხები.**

სპეციალისტების მიერ დამუშავებულია მრავალი ტექნიკური საშუალება, რომლებიც აუმჯობესებენ ელექტროენერჯის ხარისხს ძაბვისა და დენის არასინუსოიდურობის მაჩვენებლების მიხედვით.

დენის მაღალსიხშირული მდგენელების შემცირების ტექნიკური საშუალებები შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად:

1. განსაკუთრებული კონსტრუქციის ელექტრული მანქანები, რომლებიც ამცირებენ დენისა და ძაბვის უმაღლესი რიგის ჰარმონიკებს და ზღუდავენ მათ გავრცელებას ქსელში.
2. შესავალი ძაბვის ინვერტორებში განედურ-იმპულსური მოდულაციის გამოყენება.
3. გამმართველის ფაზათა რიცხვის გაზრდა.
4. მფილტრაჟ-მაკომპენსირებელი მოწყობილობების გამოყენება;
5. 10/04 კვ სამფაზა ტრანსფორმატორების გამოყენება, რომლის გრაგნილები შეერთებულია „სამკუთხედი-ვარსკვლავზე“ საშუალებას იძლევა შევზღუდოთ სამის ჯერადი ჰარმონიკების გავრცელება ტრანსფორმატორის სამკუთხედად შეერთებული გრაგნილებს იქით. ეს მეთოდი პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება, მაგრამ ყოველთვის დიდი წარმატება არ მოაქვს. პირველადი გრაგნილების მხარეს ნეიტრალის გამტარის არ არსებობა გამორიცხავს ძაბვის ვარდნას ნეიტრალზე. მაგრამ ეს მტკიცება ნაწილობრივ არის სწორი.

სამის ჯერადი დაბალანსებული ჰარმონიკები ტრანსფორმატორის გულარის ღეროებში აღძრავენ შესაბამის მაგნიტურ ნაკადებს. თუ ეს ნაკადები ტოლია და ფაზით თანხვედნილი, მაშინ პირველად გრაგნილში აღძრული ძაბვები გაკომპენსირებული იქნება.

ტრანსფორმატორების გრაგნილების მსგავს შეერთებას მიყვაროთ იმასთან, რომ ნულოვანი თანმიმდევრობის (სამის ჯერადი) ჰარმონიკები არ ვრცელდებიან 6 კვ ელექტრულ ქსელში, ამასთანავე 0,38 კვ ქსელში მაღალსიხშირული დენების არსებობის გამო ზარალი არ მცირდება.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსატორების გამოყენება. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსატორები წარმოადგენენ ელექტრომოწყობილობებს, რომლებიც ამცირებენ სრული სიმძლავრის მნიშვნელობებს. რეაქტიული სიმძლავრის ბუნებიდან გამომდინარე იგი შეიძლება იყოს როგორც ინდუქციური ხასიათის (ინდუქციური რეაქტორი) სიმძლავრის ტევადური მდგენელის კომპენსაციისათვის, ასევე ტევადური (კონდენსატორის ბატარეა) სიმძლავრის ინდუქციური მდგენელის კომპენსაციისათვის.



### 3. დასკვნა

1. დადგენილია, რომ თანამედროვე არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლების მქონე ელექტროხელსაწყოები მოქმედ ელექტრულ ქსელებში წარმოადგენენ ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების მიზეზს.

2. 0,4 კვ ძაბვის ელექტრულ ქსელებში ძაბვისა და დენის დამახინჯებები იწვევენ მრავალ უარყოფით შედეგს, მათ შორის ელექტრული წრედის ელემენტებში სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

3. ელექტროენერჯის ტექნოლოგიურ, ინსტრუმენტალურ და კომერციულ დანაკარგებში განსაზღვრულ წილს შეადგენენ ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯებით გამოწვეული დანაკარგები.

4. 10/0,4 კვ ტრანსფორმატორების სალტებზე ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების ხარისხი გადაცემული სიმძლავრის პროპორციულია.

5. მთელი რიგი ელექტრომომხმარებლებიდან შეიძლება გამოვეყოთ სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე ხელსაწყოების სამი ჯგუფი: გამახურებელი ხელსაწყოები და ვარვარების ნათურები, რომელთაც გააჩნიათ ელექტროენერჯის მოხმარების წრფივი მახასიათებელი; ელექტროხელსაწყოები, რომელთაც თავის შემადგენლობაში გააჩნიათ რეგულირებადი და არარეგულირებადი ელექტრომომხმარების არაწრფივი მახასიათებლის მქონე ელექტროძრავები; იმპულსური კვების ბლოკების მქონე და ენერგოდამზოგი სინათლის წყაროები, რომელთაც გააჩნიათ ელექტრომომხმარების მკვეთრად გამოსახული არაწრფივი მახასიათებელი.

6. პირველი ჯგუფის ელექტრომომხმარებლები არ წარმოადგენენ ძაბვისა და დენის სინუსოიდურობის დამახინჯების წყაროებს. მათზე შეიძლება დაფიქსირდეს გარეშე ელექტრული ქსელის გავლენით გამოწვეული დამახინჯებანი.

7. დადგენილია, რომ კომპიუტერულ დატვირთვას თავისი მრავალრიცხოვანი ელექტრონული ელემენტებით შეაქვს არასინუსოიდური

დენებისათვის დამახასიათებელი დამახინჯებანი ელექტრულ ქსელებში, რაც თავის მხრივ ზრდის ელექტროენერჯის დამატებით დანაკარგებს.

8. დადგენილია, რომ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სანაპიროს ქვესადგურიდან შემომავალ მკვებავ 6 კვ ხაზზე ძაბვის მეორე რიგის ჰარმონიკის მაქსიმალური შემცველობა 1,84 %, რაც დასაშვებია 0,38 კვ ქსელებისათვის, ხოლო დაუშვებელია 6 კვ ქსელუბისათვის. ე.ი. შემომავალი ელექტროენერჯის ხარისხი არადამაკმაყოფილებელია. მესამე ჰარმონიკის შემცველობა დასაშვებ ნორმებშია, რადგან მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 2,22 %-ია, როცა დასაშვები ნორმაა 3 %.

9. იმავე მკვებავ ხაზზე ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 3,51 %, მაშინ როცა ნორმირებული მნიშვნელობაა 5 %, ხოლო მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა – 8 %-ია. ე.ი. ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტი დასაშვებ ფარგლებშია, ხოლო დენის დამახინჯების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა 14,16 % -ია რაც არც თუ კარგი მაჩვენებელია.

10. დადგენილია, რომ კომპიუტერული ტექნიკით დატვირთვის დროს გარდა აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრისა გამტარებში გაედინება დამატებითი სიმძლავრე, რომელიც გამოწვეულია დამახინჯების სიმძლავრით. დამახინჯების სიმძლავრე შეადგენს დატვირთვის სრული სიმძლავრის უდიდეს ნაწილს, რითაც დამატებით ტვირთავს ელექტრულ ქსელს ისე, რომ არ ასრულებს სასარგებლო მუშაობას.

11. საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ელექტროენერჯის საერთო დანაკარგები შეადგენს 2% -ს, ამიტომ არასინუსოიდურობის დონის შემამცირებელი ტექნიკური საშუალებების გამოყენებას ჯერჯერობით არ საჭიროებს.

12. აღრიცხვის კვანძების დამონტაჟების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დენის ტრანსფორმატორის სწორად შერჩევას. დენის ტრანსფორმატორი შერჩეული უნდა იქნეს მომხმარებლის მინიმალური და მაქსიმალური დატვირთვის მიხედვით ისეთნაირად, რომ მას მუშაობა შეეძლოს ნორმირებულ სიზუსტის კლასის ფარგლებში. ამასთანავე შერჩეული დენის ტრანსფორმატორის გამოყენება ეკონომიურად უნდა იყოს დასაბუთებული

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ГОСТ 13109 - 97. Нормы качества электрической энергии в системах электро-снабжения общего назначения.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1994.- 264 е., ил.
3. Железко Ю.С. Влияние потребителей на качество электроэнергии в сети и технические условия его присоединения // Промышленная энергетика. - 1991. - № 8. - С. 39-40.
4. Железко, Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях . - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 176 с.
5. Хамидов, А.Х. Потери электроэнергии в низковольтных сетях. - Ташкент: Узбекистан. 1984 г.- 159с.
6. Железко, Ю.С. А.В. Артемьев, О.В. Савченко. Расчет, анализ нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях . - М.: Изд-воНЦЭНАС, 2002. - 280 с.
7. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1.Линейные электрические цепи. - М.:Энергия, 1970.-592 с.
8. Казанцев В.Н., Воротницкий, В.Э.,Железко, Ю.С. и др. Потериэлектро-энергии в электрических сетях энергосистем. - М.: Энергоатомиздат, 1983. -368 с.
9. Волкова, В.Н. Электрошок в сетях напряжения. // Промышленно-строительное обозрение. — 2001. — № 65.-С. 3-5.
10. Карташев, И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения - М.: Изд-воМЭИ, 2000. - 120 с.
11. Семичевский, П.И. Методика расчета дополнительных потерь активных мощности электроэнергии в элементах систем электроснабжения промышленных предприятий, обусловленные высшими гармониками.дис. ... канд. техн. наук. -М., 1978. -206 с.
12. Капустин В.М., Лопухин А.А. Компьютеры и трехфазная электрическая сеть. Современные технологии автоматизации - СТА, №2, 1997, стр. 104-108.
13. Harmonic Trend in the USA: A Preliminary Survey. I.M. Nejdawi, A.E. Emanuel, D.J. Pileggi, M.J. Corridori, R.D. Archambeault//IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 14, | 4, 1999, pp. 1488—1494.
14. 2. IEEE STD 1100—1999. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (IEEE Emerald book) (ANSI).
15. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W. Electrical Power Systems Quality. McGraw-Hill,1996.-265p.
16. UPS and Power Protection Solution. Design Guide // MGE UPS Systems, MGE 0135, 1998.-259p

17. Основы теории цепей: Учеб. для вузов /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. –5-е изд., перераб. –М.: Энергоатомиздат, 1989. -528с.
18. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. –7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1978. –528с.
19. Теоретические основы электротехники. Учеб. для вузов. В трех т. Под общ. ред. К.М.Поливанова. Т.1. Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными. –М.: Энергия- 1972. –240с
20. მუსელიანი თ., მუსელიანი გ., იარაღაშვილი დ. თანამედროვე ტექნიკა და ენერგოეფექტურობა. საერთაშორისო კონფერენცია „ გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“-ს შრომები. თბილისი, 2010 წ. გვ.392 - 394.
21. Нейман, Л.Р. Теоретические основы электротехники - М.: Изд-во Энергия, 1966. -407 с
22. Суднова В. В. Качество электрической энергии. - М.: Энергосервис, 2000.
23. Дж. Аррилага, Д. Бредли, П. Боджер. Гармоники в электрических системах пер. сангл. - М.: Энергоатомиздат,1990.-320 с.
24. [www.matic.ru](http://www.matic.ru). უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 3.03.2012 წ.
25. Григорьев, О. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ. //Новости электротехники. - 2002. - №6(18).
26. Железко Ю.С, Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.- 280 с.: ил.
27. Железко Ю.С. Нормирование технологических потерь электроэнергии в сетях - новая методология расчета. //Новости электротехники. Информационно-справочное издание. №5(23), 2003.
28. Киселев В.В., Пономаренко И.С. Влияние несинусоидальности напряжения и тока на работу электронных счетчиков электроэнергии.. /www. erisnpf. ru/ publications/pr\_en\_2003.pdf. უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 3.03.2012 წ.
29. ქობალია მ., მუსელიანი თ. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციაა გამანაწილებელ ქსელებში. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2009 წ. -გვ.111
30. მუსელიანი გ, იარაღაშვილი დ. თანამედროვე ტექნიკის გავლენა ენერგო-უსაფრთხოებასა და ენერგოეფექტურობაზე. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“, № 15, 2011წ. გვ. 131-135.
31. მუსელიანი თ., იმნაიშვილი ლ., ნაჭყებია შ., მუსელიანი გ., ჩხიკვაძე კ., იარაღაშვილი დ. კომპიუტერული ტექნიკის დატვირთვის გავლენა ელექტროენერჯის ხარისხზე. Georgian Engineering news, № 4,2011

32. მუსელიანი თ, მუსელიანი გ. იარაღაშვილი დ. ელექტროენერჯის აღრიცხვის კვანძის მოწყობის შესახებ. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“, №19 2012წ. გვ.
33. მუსელიანი თ., ქობალია მ. ელექტრომოწყობილობათა ტექნიკური დიაგნოსტიკა. ნაწილი I. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი. 2009 წ. – გვ.332.