

მაია მახარაძე

რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი და
სისტემის მდგრადობის საკითხები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2013

საავტორო უფლება © წელი, მახარაძე მაია, 2013

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მახარაძე მაიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი და სისტემის მდგრადობის საკითხები” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: მიხეილ რუხვაძე

რეცენზენტი: კონსტანტინე წერეთელი

რეცენზენტი: ვახტანგ გიორგობიანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013

ავტორი: მახარაძე მაია

დასახელება: რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი და სისტემის მდგრადობის საკითხები

ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

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 ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

მაია მახარაძის დისერტაცია “რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი და სისტემის მდგრადობის საკითხები” ეხება აქტუალურ პრობლემას. ნაშრომი შედგება 159 გვერდისაგან და დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის გაფორმების ინსტრუქციის მიხედვით მოიცავს: ტიტულის გვერდს, ხელმოწერების გვერდს, საავტორო უფლებების გვერდს, რეზიუმეს ორ ენაზე (ქართულ-ინგლისური), შინაარსს (სარჩევს), ცხრილების და ნახაზების ნუსხას. ძირითადი ტექსტი შედგება ლიტერატურის მიმოხილვის, ხუთი თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან.

პირველ თავში გაანალიზებულია ელექტროსისტემაში აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა უბალანსობის გავლენა აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის სიდიდეზე და ნაჩვენებია, რომ სისტემათაშორისი ხაზის (ასევე, შიგასასისტემო ხაზის) ავარიული გამორთვისას, როცა ამ ხაზით გადაეცემა, შედარებით, მცირე სიდიდის აქტიური სიმძლავრე ($P_2 < P'_2$), მიმდებ სისტემაში ადგილი აქვს აქტიური სიმძლავრის არა თუ დეფიციტს, არამედ სიჭარბეს. აგრეთვე, აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხვრის მიზნით აქტიური დატვირთვის გამორთვისთან ერთად, იმავდროულად გამორთული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდემ დეფიციტის აღმოფხვრაზე შეიძლება მოახდინოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი გავლენა.

მეორე თავში ელექტროენერჯის მომხმარებლები, მათი დანიშნულებისა და მუშაობის სახასიათო რეჟიმის მიხედვით დაყოფილია სამ ძირითად ჯგუფად: საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მომხმარებლები, საზოგადოებრივ-კომუნალური მომხმარებლები და სამრეწველო და მათთან გათანაბრებული მომხმარებლები.

ჩატარებულია არსებული ტექნიკური ლიტერატურის მიმოხილვა, მოყვანილია სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული სტატიკური მახასიათებლების მათემატიკურად ჩაწერის მოდელები და გაანალიზებულია ამ მახასიათებელთა სახასიათო პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები.

ამავე თავში განხილულია კომბინირებული დატვირთვის კონკრეტული კერძო შემთხვევები. მათთვის შედგენილი იქნა პოლინომური სახის (მეორე-მესამე რიგის) სტატიკური მახასიათებლები და ყველა კონკრეტული შემთხვევისთვის გამოთვლილი იქნა დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობები.

დასმულია კომბინირებული დატვირთვის პოლინომური სახის სტატიკური მახასიათებლების დადგენის ამოცანა და ჩამოყალიბებულია ამ ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდიკა ყოველი კონკრეტული ელექტრული ქსელისთვის.

მესამე თავში გაანალიზებულია საქართველოს ენერგოსისტემაში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობა სხვადასხვა მათემატიკური მოდელით ჩაწერილი დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით.

შეფასებულია ამ პროცესების მიმდინარეობა რეაქტიული სიმძლავრის სხვადასხვა ხარისხით უბალანსობის პირობებში.

დადგინდა, აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხვრის მიზნით, გამორთული მომხმარებლების $\cos\varphi$ -ის გავლენა ამ მიზნის მიღწევაზე.

მეოთხე თავში ქვეყნის მასშტაბით ელექტრომომხმარებელთა დატვირთვის სტრუქტურისა და ამ დატვირთვის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლების დადგენა ჩატარდა ავტონომიური ქსელებისთვის ცალცალკე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად.

საქართველოს ენერგოსისტემის 110/35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელი პირობითად დაიყო 13 ავტონომიურ ქსელად (ელექტროენერგეტიკულ რეგიონად), რომელთა შორის კავშირი განხორციელებულია 220 და 500 კვ ძაბვის ხაზებით და რომელთაგანაც თითოეული მანაწილებელი ქსელის კონფიგურაციისა და მომხმარებელთა სახეობათა მიხედვით ხასიათდება ინდივიდუალური თავისებურებებით.

მუშა ძაბვის საანგარიშო დიაპაზონში ($U_* = 0,9 \div 1,1$) სისტემის აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი იცვლება $0,632 \div 1,313$ ფარგლებში, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა კი – $0,893 \div 6,161$ ფარგლებში.

დადგენილი იქნა, რომ $U_* < 0,865 \div 0,883$ ძაბვისას რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი უარყოფით მნიშვნელობებსღებულობს, რაც მიუთითებს მასზე, რომ ძაბვის ამ მნიშვნელობიდან და უფრო ქვევით ენერგოსისტემაში უკვე მოსალოდნელია ძაბვის ზვაგი.

მეხუთე თავში გამოკვლეული იქნა ელექტროგადაცემის ხაზის გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე და დაგენილი იქნა, რომ ეს გავლენა არაცალსახაა. მცირე სიდიდის დატვირთვისას ეს გავლენა უმნიშვნელოა. რაც მეტია ქვესადგურის დატვირთვა მით ნაკლებია რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობა მაღალ მხარეს, ხოლო აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი, პრაქტიკულად, არ იცვლება. აგრეთვე დადგენილ იქნა სადაბლებელი ტრანსფორმატორის (110/10 კვ) გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე.

შესწავლილი იქნა 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ელექტროქსელის გავლენის მასშტაბები ამ ქსელის მომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკურ მახასიათებლებზე. მახასიათებლები ჩაწერილია მეორე რიგის პოლინომის სახით, რაც საშუალებას იძლევა PSS/E პროგრამა გამოყენებული იქნეს მახასიათებლის ანალიზური ჩაწერის სახის შეცვლის გარეშე.

როგორც მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს მანაწილებელი ქსელის გავლენით ჯამური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი რამდენმე ერთეული პროცენტით იცვლება. ეს მიუთითებს მასზე, რომ ქსელის გავლენის გათვალისწინების გარეშე მიღებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები დასაშვებია გამოყენებული იქნეს სისტემაში მიმდინარე ნებისმიერი სახის გარდამავალი პროცესების ანალიზისას, თუ კი ამ ავტონომიური ქსელის დატვირთვის შემადგენლობაში ადგილი არ აქვს მკვეთრ სტრუქტურულ ცვლილებებს.

Abstract

Dissertation thesis presented by Maya Makharadze "Reactive power balance and system reliability issues" refers to the actual problem. The work consists of 159 pages and in accordance with the instructions for the doctoral thesis includes: title page, signature page, copyright page, a summary in two languages (georgian-english), table of contents (index), list of tables and drawings. The main text consists of a literature review, five chapters, conclusion and list of references.

The first chapter analyzes the impact of the power of active and reactive capacity disbalance on active power deficiency size and it is shown that while emergency switching of the system line (also referred to as intrasystemic line) when this line is conducting relatively small quantity of the active power ($P_2 < P'_2$), the target system has not the deficit of active power, but the surplus of it. Furthermore, in order to eliminate the deficit of active power while switching it off, the rates of the reactive power, switched off at the same time may have both positive and negative influences on eliminating the deficit.

In the second chapter the electricity users are divided in three main groups according to their purpose and the characteristic work patterns: consumer communal customers, public communal and industrial and equalized users.

There is conducted a review of the technical literature, shown the mathematical writing models of static characteristics proposed by different authors and also analyzed the numerical values of representative parameters of these characteristics.

The same chapter covers particular cases of the combined charge. There have been drawn up the statistical characteristics for the polinomial types (of the second-third order) and were calculated numerical values of the regulatory charge effect.

There has been set a task to determine the statistical characteristics of the combined polynomial charge and shown the methods for each specific electrical network.

The third chapter analyzes the sequence of transitional processes of the energy system of Georgia with due regard to statistical characteristics of loading written down by various mathematical models.

This sequence of these processes is evaluated in terms of reactive power disbalance at varying degrees.

The impact of switched users $\cos\varphi$ achieving this objective has been determined for the purpose of elimination the power deficit.

The fourth chapter determines the structuring of the charges of the consumers nationwide and of equivalent static characteristics for the autonomous networks - unconnected to each other.

The voltage transmission network 110/35 kW is conventionally divided into 13 autonomous networks (electric-energetic regions), the connection between them is accomplished by 220 and 500 kW voltage lines and each of them is identified by individual features according to the art of users and the configuration of distributing networks.

Within the rated voltage range ($U_* = 0,9 \div 1,1$) the regulatory effect of active load is changing within the scope $0,632 \div 1,313$ and of the reactive load - $0,893 \div 6,161$.

It was established that within the voltage $U_* < 0,865 \div 0,883$ regulatory effect of reactive load takes negative values, which indicates that from this voltage and down the power grid the strain avalanche is expected.

The fifth chapter examined the impact of the transmission line on the regulatory effect and it has been estimated that this effect is not unique. This effect is negligible at small charge. The more the substation load, the less numerical value of reactive load regulatory effects on the high side, and the regulatory effect of the active load is practically not changing. Moreover, the impact of shortening transformer (110/10 kW) on the regulatory effect of the load has been determined.

There has been studied the magnitude of the influence of autonomic electric networks at 110-35 kW voltage on the static characteristics of network users. Characteristics are written down as the polinoms of the second, which allows the program PSS/E to be used without changing the characteristics of the analytical writing.

The analysis of the results shows, the regulatory effect of the total load is influenced by the distributing network onto several percent units. This indicates that without considering the influence of the network load the static characteristics of the system may be used in any analysis of transient processes, if the network load doesn't show any significant structural changes.

შინაარსი

სატიტულო გვერდი	I
ხელმოწერების გვერდი.....	II
საავტორო უფლების გვერდი.....	III
რეზიუმე (ორ ენაზე).....	IV
შინაარსი.....	VIII
ცხრილების ნუსხა.....	XI
ნახაზების ნუსხა.....	XV
შესავალი.....	19
ლიტერატურის მიმოხილვა.....	22
შედეგები და განსჯა.....	26
ექსპერიმენტული ნაწილი.....	27
თავი 1. ამოცანის დასმა.....	28
1.1. სიმძლავრეთა ბალანსი ელექტროსისტემაში.....	28
1.2. აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების უბალანსობათა.....	30
ურთიერთგავლენა	
1.3. ელექტრულ სისტემაში სიხშირის ცვალებადობა რეაქტიული.....	39
სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას	
დასკვნა თავი 1-ის მიმართ.....	44
თავი 2. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები.....	45
2.1. მომხმარებელთა სტუქტურა და ელექტრული დატვირთვის.....	45
ერთდროულობის კოეფიციენტი	
2.2. მომხმარებელთა სტატიკური მახასიათებლები.....	49
2.3. კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები.....	59
და მარეგულირებელი ეფექტი	
დასკვნა თავი 2-ის მიმართ.....	75
თავი 3. საქართველოს ენერგოსისტემაში მიმდინარე	76
გარდამავალი პროცესების ზოგადი ანალიზი	
3.1. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის გავლენა.....	76
გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობაზე	
3.2. რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა და გარდამავალი.....	82
პროცესების მიმდინარეობის ანალიზი	
3.3. აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის ამოცანა.....	86
რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობის გათვალისწინებით	
დასკვნა თავი 3-ის მიმართ.....	90
თავი 4. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული რეგიონების.....	91
დატვირთვათა სტრუქტურისა	
4.1. საქართველოს ენერგოსისტემის ელექტროენერგეტიკული.....	91
რეგიონები	
4.2. საქართველოს ენერგოსისტემის ავტონომიური ელექტრული.....	94
ქსელების კვანძების დატვირთვები	
4.3. ენერგოსისტემის ავტონომიური ელექტრული ქსელების.....	95

დატვირთვების სტრუქტურულიზაცია

4.3.1 220/110 კვ ძაბვის "დ. ბათუმის" ქვესადგურის ავტონომიური.....	96
ქსელი	
4.3.2 ენგურჭესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური.....	99
ქსელი	
4.3.3 220/110 კვ ძაბვის "ვარდნილჭესი 1" ქვესადგურის.....	100
ავტონომიური ქსელი	
4.3.4 220/110 კვ ძაბვის "ზუგდიდის" ქვესადგურის.....	100
ავტონომიური ქსელი	
4.3.5 220/110 კვ ძაბვის "მენჯის" ქვესადგურის.....	101
ავტონომიური ქსელი	
4.3.6 220/110 კვ ძაბვის "ხორგას" ქვესადგურის.....	102
ავტონომიური ქსელი	
4.3.7 220/110 კვ ძაბვის "დ.ქუთაისის" ქვესადგურის.....	103
ავტონომიური ქსელი	
4.3.8 220/110 კვ ძაბვის "წყალტუბოს" ქვესადგურის.....	104
ავტონომიური ქსელი	
4.3.9 220/110 კვ ძაბვის "დ. ზესტაფონის" ქვესადგურის.....	105
ავტონომიური ქსელი	
4.3.10 220/110 კვ ძაბვის "ლაჯანურჭესის" ქვესადგურის.....	106
ავტონომიური ქსელი	
4.3.11 220/110 კვ ძაბვის "ხაშურის" ქვესადგურის.....	107
ავტონომიური ქსელი	
4.3.12 220/110 კვ ძაბვის "გორის" ქვესადგურის.....	108
ავტონომიური ქსელი	
4.3.13 220/110 კვ ძაბვის "ქსანის" ქვესადგურის.....	109
ავტონომიური ქსელი	
4.3.14 220/110 კვ ძაბვის "ჭინვალჭესის" ქვესადგურის.....	110
ავტონომიური ქსელი	
4.3.15 220/110 კვ ძაბვის "გლდანის" ქვესადგურის.....	110
ავტონომიური ქსელი	
4.3.16 220/110 კვ ძაბვის "ლისის" ქვესადგურის.....	112
ავტონომიური ქსელი	
4.3.17 220/110 კვ ძაბვის "დიდუბის" ქვესადგურის.....	112
ავტონომიური ქსელი	
4.3.18 220/110 კვ ძაბვის "ნავთლულის" ქვესადგურის.....	113
ავტონომიური ქსელი	
4.3.19 220/110 კვ ძაბვის "ხრამიჭესის" ქვესადგურის.....	114
ავტონომიური ქსელი	
4.3.20 220/110 კვ ძაბვის "რუსთავის" ქვესადგურის.....	115
ავტონომიური ქსელი	
4.3.21 220/110 კვ ძაბვის "მარნეულის" ქვესადგურის.....	116
ავტონომიური ქსელი	
4.3.22 220/110 კვ ძაბვის "გურჯაანის" ქვესადგურის.....	117

ავტონომიური ქსელი	
4.3.23 220/110 კვ ძაბვის "თბილსრესის" ქვესადგურის.....	118
ავტონომიური ქსელი	
4.4. დატვირთვების სტატიკურ მახასიათებელთა ანალიზი.....	119
დასკვნა თავი 4-ის მიმართ.....	124
თავი 5. ავტონომიური ქსელის გავლენა დატვირთვის მარე-.....	127
გულირებელ ეფექტზე	
5.1. ტრანსფორმატორული გავლენა აქტიური სიმძლავრის.....	127
კოეფიციენტზე	
5.2. სადაბლებელი ტრანსფორმატორების გავლენა დატვირთ-.....	131
ვის მარეგულირებელ ეფექტზე.	
5.3. ელექტროგადაცემის ხაზის გავლენა დატვირთვის მარეგუ-.....	143
ლირებელ ეფექტზე	
5.4. მანაწილებელი ქსელის გავლენა დატვირთვის მარეგული-.....	149
რებელ ეფექტზე	
დასკვნა თავი 5-ის მიმართ.....	155
დასკვნა.....	156
გამოყენებული ლიტერატურა.....	158

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი №1.1 35 გვ. “კავკასიონის” სახასიათო რეჟიმები, როცა $U_1 = 500$ კვ და $U_2 = 495$ კვ
- ცხრილი 2.2 47 გვ. სატრანსფორმატორო პუნქტების (სპ) დატვირთვის ერთდროულობის კოეფიციენტები
- ცხრილი №2.3 47 გვ. საცხროვებელი სახლის ბინის ხვედრითი ელექტრული დატვირთვა
- ცხრილი №2.4 48 გვ. $K_{ლიფტ.}$ $K_{ს-ტ}$ კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები
- ცხრილი №2.5 48 გვ. საზოგადოებრივი შენობებისა და დაწესებულებები ხვედრითი ელექტრული დატვირთვები
- ცხრილი №2.6 49 გვ. მომხმარებელთა სტრუქტურა ჯგუფების მიხედვით ინდუსტრიულ ქალაქ გოტლანდსა და სტოკჰოლმში
- ცხრილი №2.7 54 გვ. მაჩვენებლიანი მოდელების α_v , α_f , β_v , β_f პარამეტრები
- ცხრილი №2.8 64 გვ. 50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსის დატვირთვა
- ცხრილი №2.9 72 გვ. კომბინირებული დატვირთვების მახასიათებელი პარამეტრები
- ცხრილი №2.10 73 გვ. კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი
- ცხრილი №3.1 84 გვ. “მუხრანის” საზოგადოებრივი და რეაქტ. სიმძლავრის სიდიდეები სამ სხვადასხვა რეჟიმში
- ცხრილი №4.1 93 გვ. საქართველოს ენერგეტიკული რეგონების მაქსიმალური დატვირთვები (2008/2009/2010წ.წ)
- ცხრილი №4.2 95 გვ. ენერგოსისტემის კვანძების აქტიური დატვირთვები (მგვტ)
- ცხრილი №4.3 99 გვ. „დ.ბათუმის“ ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.4 99 გვ. “ენგურჰესის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.5 100 გვ. “ვარდნილიჰესი I” 220/110 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.6 101 გვ. “ზუგდიდის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.7 102 გვ. “მენჯის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.8 103 გვ. “ ხორგა 220” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.9 104 გვ. “დ.ქუთაისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.10 105 გვ. “წყალტუბოს” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

- ცხრილი №4.11 106 გვ. “ზესტაფონის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.12 107 გვ. “ლაჯანურის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.13 107 გვ. “ხაშურის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.14 109 გვ. “გორის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.15 109 გვ. “ქსანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.16 110 გვ. “ჟინვალის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.17 111 გვ. “გლდანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.18 112 გვ. “ლისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.19 113 გვ. “დიდუბის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის კვანძების დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.20 114 გვ. “ნავთლულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.21 115 გვ. “ ხრამიძესი 2-ის ” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.22 116 გვ. “ რუსთავის ” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.23 117 გვ. “მარნეულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის კვანძების დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.24 118 გვ. “ გურჯაანის ” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.25 119 გვ. თბილსრესის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.26 119 გვ. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული რეგონების 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურების 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის კომბინირებული დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები
- ცხრილი №4.27 120 გვ. კომბინირებული დატვირთვების მარეგულირებელი ეფექტი
- ცხრილი №4.28 122 გვ. კომბინირებული დატვირთვის ცვლილება (პროცენ ტებში) ძაბვის ცვლილებისას (ფარდობით ერთეულებში)
- ცხრილი №4.29 123 გვ. საქართველოს ელექტროსისტემის მომხმარებელთა სახასიათო ჯგუფების ჯამური დატვირთვები და ხვედრითი წილი
- ცხრილი №4.30 124 გვ. ელექტროსისტემის ჯამური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი
- ცხრილი №5.1 132 გვ. P_{Σ} და Q_{Σ} სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნი-

- შენელობისას (ქ/ს „ავანგარდი“)
- ცხრილი №5.2 133 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 2-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ავანგარდი“)
- ცხრილი №5.3 133 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 3-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ავანგარდი“)
- ცხრილი №5.4 134 გვ. დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები პროცენტებში (ქ/ს „ავანგარდი“)
- ცხრილი №5.5 136 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (ქ/ს „ვარკეთილი“)
- ცხრილი №5.6 137 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 2-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ვარკეთილი“)
- ცხრილი №5.7 137 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 3-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ვარკეთილი,“)
- ცხრილი №5.8 138 გვ. დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები პროცენტებში (ქ/ს „ვარკეთილი“)
- ცხრილი №5.9 140 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (ქ/ს „ჯუგაანი“)
- ცხრილი №5.10 140 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 2-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ჯუგაანი“)
- ცხრილი №5.11 141 გვ. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 3-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ჯუგაანი,“)
- ცხრილი №5.12 141 გვ. დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები პროცენტებში (ქ/ს „ჯუგაანი“)
- ცხრილი №5.13 144 გვ. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას
- ცხრილი №5.14 145 გვ. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა დატვირთვა გახდა 2-ჯერ მეტი (35 კვ ძაბვის გ/ხ)
- ცხრილი №5.15 146 გვ. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (110 კვ ძაბვის გ/ხ)
- ცხრილი №5.16 146 გვ. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა ხაზის სიგრძე 2-ჯერ მეტია (110 კვ ძაბვის გ/ხ)
- ცხრილი №5.17 147 გვ. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა დატვირთვა ხაზის ბოლოში 2-ჯერ გაიზარდა (110 კვ ძაბვის გ/ხ)
- ცხრილი №5.18 148 გვ. ცხრ.5.18. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა ხაზის სიგრძე 2-ჯერ გაიზარდა, ხოლო დატვირთვა არ შეცვლილა (110 კვ ძაბვის გ/ხ)
- ცხრილი №5.19 152 გვ. დატვირთვათა მნიშვნელობები (ფარდობით

- ერთეულებში)
- ცხრილი №5.20 153 გვ. 6-10 კვ ძაბვის კვანძების ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები მანაწილებელი ქსელის გაგლენის გარეშე
- ცხრილი №5.21 154 გვ. 6-10 კვ ძაბვის კვანძების ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლების მარეგულირებელი ეფექტი მანაწილებელი ქსელის გაგლენის გარეშე
- ცხრილი №5.22 154 გვ. ქსელის ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები ავტონომიური ქსელის გაგლენის გათვალისწინებით
- ცხრილი №5.23 154 გვ. ქსელის ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახა-სიათებლების მარეგულირებელი ეფექტი მანაწილებელი ქსელის გაგლენის გათვალისწინებით

ნახაზების ნუსხა

- ნახ.1.1 32 გვ. სიხშირის ცვლილება სისტემაში: ა – მხოლოდ რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას; ბ- აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის ერთდროული დარღვევისას.
- ნახ.1.2 36 გვ. გამარტივებული ენერგოგაერთიანება
- ნახ.1.3 38 გვ. მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის ექსპორტირებულ სიმძლავრეზე დამოკიდებულობის გრაფიკი
- ნახ.1.4 38 გვ. ეკვივალენტურ სისტემათა გამარტივებული სისტემათაშორისი კავშირი
- ნახ.1.5 41 გვ. სისტემათაშორისი კავშირის ავარიული გამორთვისას მიმღებ სისტემაში სიხშირისა და ძაბვის ცვლილების ხასიათი (ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა გამოყვანილია მოქმედებიდან)
- ნახ.1.6 42 გვ. სისტემათაშორისი კავშირის ავარიული გამორთვისას მიმღებ სისტემაში სიხშირისა და ძაბვის ცვლილების ხასიათი (ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა მოქმედებაშია)
- ნახ.1.7 43 გვ. სიხშირის ცვლილების ხასიათი
- ნახ.1.8 43 გვ. მიმღებ სისტემაში ძაბვის ცვლილება
- ნახ.2.1 55 გვ. განათების ნათურების პოლინომური (ა) და მანვენებლიანი (ბ) სტატიკური მახასიათებლები
- ნახ.2.2 55 გვ. ასინქრონული ძრავას პოლინომური სტატიკური მახასიათებელი
- ნახ.2.3 58 გვ. 110-220 კვ ძაბვის სალტეზე კომბინირებული რეაქტიული დატვირთვის სტსტიკური მახასიათებლები მომხმარებლის სხვა-დასხვა *cosφ* მნიშვნელობებისას
- ნახ.2.4 61 გვ. ერთი კონკრეტული ბინის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ნახ.2.5 62 გვ. საცხოვრებელი ბინის კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი
- ნახ.2.6 63 გვ. საცხოვრებელი ბინის კომპლექსური დატვირთვის ცალკეული ელექტრომიმღების სტატიკური მახასიათებლები: ა)ვარვარების ნათურები; ბ) მაცივარი; გ) სარეცხი მანქანა; დ)ტელევიზორი; ე) მტვერსასრუტი; ვ) წყლის გამაცხელებელი
- ნახ.2.7 65 გვ. 50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ნახ.2.8 66 გვ. ადმინისტრაციული შენობების და ოფისების დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები: ა) დღის პერიოდი; ბ) ღამის პერიოდი
- ნახ.2.9 67 გვ. ადმინისტრაციული შენობების და ოფისების აქტიური (ა) და რეაქტიული (ბ) დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი
- ნახ.2.10 68 გვ. მსხვილი სამრეწველო საწარმოს კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ნახ.2.11 69 გვ. ქალაქის საცხოვრებელი რაიონის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

- ნახ.2.12 70 გვ. ქალაქის სამრეწველო რაიონის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები
- ნახ.3.1 77 გვ. PSS/E პროგრამული კომპლექსის საშუალებით მოდელირებული გარდამავალი პროცესი სამ სხვადასხვა შემთხვევაში
- ნახ.3.2 78 გვ. მაგალითი 2-ის მიხედვით სიხშირის ცვლილების მრუდები
- ნახ.3.3 79 გვ. მაგალითი 3-ის მიხედვით სიხშირის ცვლილების მრუდები
- ნახ.3.4 79 გვ. ქსელის დატვირთვის ცვლილება დაბვის ცვლილებით
- ნახ.3.5 80 გვ. მაღალი დაბვის კვანძში მიერთებული ჯამური დატვირთვის ცვლილების კანონზომიერება
- ნახ.3.6 81 გვ. „უინვალი 220“ ქვესადგურის 110-35 კვ დაბვის ქსელი
- ნახ.3.7 82 გვ. სიხშირის ნაზრდი მომხმარებლის დატვირთვის ცვლილებისას
- ნახ.3.8 83 გვ. სისტემის მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე
- ნახ.3.9 83 გვ. დატვირთვის ცვლილება 110 კვ დაბვის “დილომის” ქვესადგურში
- ნახ.3.10 84 გვ. სიხშირის ცვლილება ელექტროსისტემაში
- ნახ.3.11 85 გვ. სიხშირის ცვლილება, როცა $P=0$ მგვტ
- ნახ.3.12 85 გვ. სიხშირის ცვლილება, როცა $P=63$ მგვტ
- ნახ.3.13 85 გვ. სიხშირის ცვლილება, როცა $P=-75$ მგვტ
- ნახ.3.14 85 გვ. სიხშირის გადახრის დამოკიდებულება ხაზში გამავალი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდესა და მიმართულებაზე
- ნახ.3.15 87 გვ. “მუხრანის” ხაზის ავარიული ამორთვის შემთხვევაში სისტემაში წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის მიზნით გამორთული სხვადასხვა $\cos\varphi$ -ის მქონე სხვადასხვა ΔP სიდიდის აქტიური დატვირთვები.
- ნახ.3.16 89 გვ. “მუხრანის” ხაზის ავარიულად გამორთვისას ელექტროსისტემაში სიხშირის ცვლილების მრუდი
- ნახ.3.17 90 გვ. “მუხრანის” ხაზის ავარიულად გამორთვისას გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სურათი როცა აზერბაიჯანიდან საქართველოს ელექტროსისტემაში შემოედინება $580+j100$ მგვა
- ნახ.3.18 90 გვ. “მუხრანის” ხაზის ავა რიულად გამორთვისას გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სურათი, როცა აზერბაიჯანიდან საქართველოს ელ.სისტემაში შემოედინება $1186+j117$ მგვა
- ნახ.4.1 97 გვ. 220/110 კვ დაბვის “დ.ბათუმის” ქვესადგურის 110/35 კვ დაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.2 99 გვ. ენგურჰესის 220/110 კვ დაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ დაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.3 100 გვ. 220/110 კვ დაბვის “ვარდნილიჰესი 1” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.4 101 გვ. 220/110 კვ დაბვის “ზუგდიდის” ქვესადგურის 110/35 კვ დაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.5 102 გვ. 220/110 კვ დაბვის “მენჯის” ქვესადგურის 110/35 კვ დაბვის ავტონომიური ქსელი

- ნახ.4.6 103 გვ. “ხორგას” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ქსელი
- ნახ.4.7 104 გვ. “დ.ქუთაისის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.8 105 გვ. “წყალტუბოს” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.9 106 გვ. “დ.ზესტაფონის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.10 107 გვ. ლაჯანურჰესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.11 108 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “ხაშურის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.12 108 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “გორის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.13 109 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “ქსანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.14 110 გვ. უინვალჰესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.15 111 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “გლდანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.16 112 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “ლისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.17 113 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “დიდუბის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.18 114 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “ნავთლულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.19 115 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “ხრამიჰესი 2-ის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.20 115 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “რუსთავის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.21 117 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “მარნეულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.22 118 გვ. 220/110 კვ ძაბვის “გურჯაანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.4.23 119 გვ. თბილსრესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი
- ნახ.5.1 127 გვ. აქტ. სიმძლავრის დანაარგების $\cos\varphi$ -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი
- ნახ.5.2 130 გვ. $\cos\varphi_{\text{მალ}}$ -ის დამოკიდებულება ტრ-რის დატვირთულობაზე (TM – 400/10/0.4)
- ნახ.5.3 130 გვ. $\cos\varphi_{\text{მალ}}$ -ის დამოკიდებულება ტრ-რის დატვირთულობაზე (TM – 400/35/11)
- ნახ.5.4 135 გვ. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ტრანსფორმატორის დაბალი და მაღალი ძაბვის მხარეს
- ნახ.5.5 136 გვ. დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ტრანსფორმატორის დაბალი და მაღალი ძაბვის მხარეს
- ნახ.5.6 142 გვ. რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური მახასიათებელი ტრანსფორმატორის დაბალ (1) და მაღალ (2) მხარეს: ა) 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ვარკეთილი”; ბ) 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ავანგარდი”

- ნახ.5.7 151 გვ. 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი
ნახ.5.8 152 გვ. 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელის ჩანაცვლების
საანგარიშო სქემა

შესავალი

მეცნიერული სიახლე. ელექტროსისტემაში მიმდინარე ნებისმიერი გარდამავალი პროცესის, როგორც გარდამავალი რეჟიმის შემადგენილი ნაწილის, კვლევა დღემდე ხშირ შემთხვევაში წარმოებს ანალიზის მეთოდით, რომელიც განსაზღვრავს რეჟიმის პარამეტრების დროში ცვალებადობის სიჩქარეს და ავლენს სხვადასხვა სახის ფაქტორების გავლენის მასშტაბებს ამ პროცესის მიმდინარეობაზე.

კომპიუტერული ტექნიკის ისეთი მიღწევების პირობებში, რომელსაც ადგილი აქვს დღეს, შესაძლებელი გახდა ანალიზის მეთოდიდან გადავიდეთ სინთეზის მეთოდზე, რაც გულისხმობს მას, რომ მოიძებნოს ისეთი ხერხები და საშუალებანი, რომელიც შესაძლებელს გახდის გაანალიზდეს სისტემის ნებისმიერი ელემენტის ქცევა მოულოდნელად წარმოქმნილი გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობისას, შეფასდეს პროცესის მიმდინარეობაზე სისტემაში არსებული გავლენის ფაქტორები, მოხდეს მათზე ზემოქმედება, რათა გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობას მიეცეს სასურველი მიმართულება და სისტემის მუშაობის მდგრადობის ხარისხი აყვანილი იქნეს უფრო მაღალ დონეზე. ასეთი მართვადი ელემენტებისა და მათზე ადეკვატური ზემოქმედების საშუალებათა მოძიება და რეალიზაცია მიიღწევა, სწორედ, სინთეზის ამოცანის გადაჭრის გზით.

ენერგეტიკა, როგორც კიბერნეტიკული ტიპის დიდი სისტემა, მოითხოვს ფუნქციონალური მართვის ახალი მეთოდებისა და ახალი მოდგომების გამოყენებას. გარდამავალი პროცესების სიღრმისეული შესწავლა, ანალიზი და მის მიმდინარეობაზე მთელი რიგი ფაქტორების გავლენის გამოკვლევა საშუალებას მოგვცემს შევაფასოთ და შევიმუშავოთ ამ ფაქტორებზე მიზანმიმართული ზემოქმედების ხერხები და მეთოდები პროცესის სასურველი მიმართულებით წარმართვისთვის, ანუ დასმული ამოცანის (პრობლემის) გადაწყვეტისას გამოვიყენოთ სინთეზის მეთოდი. რომლის დეტალური ანალიზის საშუალება მოგვცა ელექტრული სისტემების როგორც დამყარებული, ასევე გარდამავალი რეჟიმების გაანგარიშების კომპიუტერულმა პროგრამამ PSS/E.

კვლევის აქტუალობა. ელექტრული სისტემის მუშაობის საიმედოობისა და მდგრადობის საკითხი უშუალო დამოკიდებულებაშია აქტიური სიმძლავრის ბალანსის უზრუნველყოფის საკითხთან. აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევა შეიძლება გამოწვეული იქნას სხვადასხვა მიზეზითა და სხვადასხვა ხარისხით. უმრავლეს შემთხვევაში, აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას, ირღვევა რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსიც. კერძოდ, დატვირთული გენერატორის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტს, ხოლო სამრეწველო რეგიონის ავარიული გამორთვა კი იწვევს ამავე სიმძლავრეების სიჭარბეს.

კვლევის აქტუალობა მდგომარეობს მასში, რომ დღემდე სისტემათაშორისი ხაზის ავარიულად გამორთვისას აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი განიხილებოდა იმ აქტიური სიმძლავრის ტოლად, რომელიც გაედინებოდა აღნიშნულ ხაზში ავარიული გამორთვის წინა მომენტში. რადგანაც თანამედროვე სისტემათაშორისი კავშირები განხორციელებულია ზემოაღნიშნული ძაბვის ხაზებით, რომელშიც ადგილი აქვს დიდი სიდიდის რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციას, საჭიროა მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი შეფასებული იქნეს ამ ხაზში გამავალი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეთა მიხედვით.

ამ პრობლემის გადაწყვეტა მნიშვნელოვნად გაზრდის მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების საიმედოობის დონეს. შედეგად შემცირდება ენერჯის მიუწოდებლობით გამოწვეული მორალური თუ ეკონომიკური ზარალი.

შედეგი. გაკეთდა ქვეყნის მასშტაბით ელექტრომომხმარებელთა დატვირთვების სტრუქტურისა და ამ დატვირთვების ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლების დადგენა ჩატარდა ავტონომიური ქსელებისთვის ცალცალკე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად.

ყველა ავტონომიური ქსელისთვის მიღებულია პრინციპი, რომ ელექტრომომხმარებლები, ზოგადად, დაყოფილია ხუთი სხვადასხვა სახის კომბინირებულ მომხმარებლებად, რომელთათვის შედგენილი იქნა პოლინომური სახის (მესამე რიგის) სტატიკური მახასიათებლები.

მიღებულია საქართველოს ელექტროსისტემის ყველა 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომელიც გამოყენებული იქნება სისტემაში როგორც დამყარებული, ასევე გარდამავალი რეჟიმების გაანგარიშებისას.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №17 მიმართულების თემატურ სემინარზე, მე-3 კოლოქვიუმზე და მოწონებული იქნა.

2012 წელი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ელექტროენერგეტიკის სექცია – I ადგილი.

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 159 გვერდს და შედგება შესავლის, ხუთი თავის, დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Москва: Мастерство. 2002, 320 с.

განხილულია მომხმარებელთა დაყოფა მათი დანიშნულებისა და მუშაობის სახასიათო რეჟიმების მიხედვით. აქ განიხილება: საყოფაცხოვრებო-კომუნალური, საზოგადოებრივი-კომუნალური, სამრეწველო და მასთან გათანაბრებული მომხმარებლები.

დახასიათებულია თითოეული ამ ჯგუფის ელექტრომიმღებები და აღწერილია მათი მუშაობის სპეციფიურობა. საინჟინრო გაანგარიშებისთვის სემარისი სიზუსტით შეფასებულია ამ მომხმარებელთა მაქსიმუმში მოხვედრის ერთდროულობის კოეფიციენტები, რომლებიც მოცემულია შესაბამისი ცხრილის სახით.

2. გ.მახარაძე. ვ.ბეგიაშვილი, ბ.დარჩია, ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილება, გამ-ბა „უნივერსალი“, 2006, 532გვ.

განხილულია სიხშირის რეგულირების საკითხები სისტემის მუშაობის დამყარებულ რეჟიმებში. გაანალიზებულია სიხშირის დამყარების პროცესი აქტიური სიმძლავრის ცხელი რეზერვის უკმარისობის პირობებში.

3. Kerstin Lindén and Inger Segerqvist. Modelling of Load Devices and Studying Load/System Characteristics. Göteborg: Technical Report No.131L Department of Electrical Power Systems School of Electrical and Computer Engineering. 1992, 138 p.

როგორც მაგალითი, ნაჩვენებია შოტლანდის ორი ქალაქის ელექტრული დატვირთვის სტრუქტურა (პროცენტებში), რითაც შეფასებულია ქალაქის დატვირთვის ჯგუფის სახეობა. კერძოდ, ერთი მათგანი ძირითადად ინდუსტრიული (სამრეწველო) დატვირთვის ქალაქია, ხოლო მეორე მათგანი უფრო საცხოვრებლო-კომუნალური და სავაჭრო ორგანიზაციების დატვირთვის ქალაქია. ჩაწერილია შესაბამისი სახის დატვირთვის სტატისტიკური მახასიათებლები.

4. Raymond R. Shoults., Larry D. Swift. Power system loads. Mexico: New Mexico state university. 1995, IV, pp 3-13

მოცემულია დატვირთვების უფრო დეტალური სტატიკური მახასიათებლები. აქ დატვირთვები დაყოფილია უფრო მეტ ჯგუფებად (ტიპებად) და, ძაბვის ცვლილების გავლენის გარდა, გათვალისწინებულია გარემოს ტემპერატურისა და ძრავების დატვირთულობის კოეფიციენტები. ცალკეული ტიპის ელექტრომიმღებთა სტატიკური მახასიათებლები ჩაწერილია ფარდობით ერთეულებში.

5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Москва: Высшая школа. 1978, 320 с.

6. რუხვაძე მ. ელექტრული სისტემების მდგრადობა. თბილისი: უნივერსალი. 2009, 182 გვ.

[5] და [6]-ში გაანალიზებულია ელექტროსისტემაში მიმდინარე ელექტრომექანიკური პროცესები. ამ პროცესების მიმდინარეობის შეფასებისას გათვალისწინებულია მხოლოდ აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის ფაქტორი. მიღებულია სისტემის მოძრაობის განტოლება და ჩატარებულია სისტემის მდგრადობის ანალიზი.

7. მახარაძე გ., მახარაძე მ., სულაშვილი მ. ტრანსფორმატორული უბნის გავლენა აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტზე. ენერჯია. 2011, №1(57), გვ.100-102.

გამოკვლეულია ტრანსფორმატორის უბნის გავლენა აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილებაზე. აღგენილია ამ კოეფიციენტის გაუარესების (შემცირების) კანონზომიერება ტრანსფორმატორის უბნის დატვირთულობისაგან დამოკიდებულებაში.

8. Методические указания по определению устойчивости энергосистем, Часть 1. ВНИИЭ, МЭИ, ВГПИиНИИ Энергосетьпроект, ЦДУ ЕЭС СССР, ИЭД АН УССР и НИИПТ. Москва, 1977, 236 с.

მოცემულია რეკომენდაცია დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის ჩაწერის ფორმის მიმართ, როცა არ არის ცნობილი

კონკრეტული მონაცემები დატვირთვის სტრუქტურული შემადგენლობის შესახებ.

9. . მახარაძე მ., რუხვაძე მ. ელექტროსისტემაში სისშირის მართვის საკითხები რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას. ენერჯია. 2010, №2(54), გვ. 55-59.

განხილულია საქართველოს ელექტროსისტემაში სისშირის მართვის საკითხები რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას. ადგენილია რუსეთისა და საქართველოს ელექტროსისტემების დამაკავშირებელი 500 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზის სახასიათო რეჟიმები.

10. მახარაძე მ. რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა და გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზი. ენერჯია. 2011, №2(58), გვ. 23-25.

გაანალიზებულია სისტემათაშორისი ხაზის ავარიული ამორთვისას სიმძლავრის მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის მოსალოდნელი დეფიციტის წარმოქმნის ფარგლებში იმპორტირებულ სიმძლავრესთან დამოკიდებულებაში ამავე სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის შემოდინების გათვალისწინებით.

11. მახარაძე მ. საქართველოს ელექტროსისტემის 220 კვ ძაბვის კვანძებში მიერთებული კომბინირებული დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები. ენერჯია. 2012, №4(64), გვ. 11-15.

დადგენილია 110-35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელის გავლენის მასშტაბები კომბინირებული დატვირთვის ეკვივალენტურ სტატიკურ მახასიათებლებზე.

12. Веников В. А. и др, Электрические системы. Москва: Высшая школа. 1971, Т.2, 440 с.

13. . Глазунов А. А., Глазунов А. А. Электрические системы. М-Л: ГЭИ. 1960, 368 с.

[12] და [13]-ში გადმოცემულია ელექტროსისტემის მუშაობის დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშების მეთოდები, ჩამოყალიბებულია

სისწირისა და ძაბვის რეგულირების პრინციპები და შემოთავაზებულია ამ პარამეტრთა რეგულირების ყველაზე მეტად გავრცელებული საშუალებანი და ხერხები.

14. მახარაძე მ. კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები. სტუდენტთა მე-80 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისების კრებული. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2012, გვ. 51.

ჩატარებულია არსებული ლიტერატურის მიმოხილვა, მოყვანილია სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული სტატიკური მახასიათებლების ჩაწერის მოდელები და გაანალიზებულია ამ მახასიათებელთა სახასიათო პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები.

2. შედეგები და მათი განსჯა

შედგენილი იქნა კონკრეტული კომბინირებული დატვირთვის (საცხოვრებელი ბინა, ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები, მსხვილი სამრეწველო საწარმო, სამრეწველო კვარტალი, საცხოვრებელი კვარტალი) სტატიკური მახასიათებლები. მომხმარებელთა სტრუქტურული შემადგენლობის გათვალისწინებით დადგენილია აღნიშნული მახასიათებლები საქართველოს ელექტროსისტემის ყველა 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის 6-10 კვ ძაბვის სალტეზე.

მიღებულია საქართველოს ელექტროსისტემის ყველა 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომელიც გამოყენებული იქნება სისტემაში როგორც დამყარებული, ასევე გარდამავალი რეჟიმების გაანგარიშებისას. მახასიათებლები ჩაწერილია მეორე რიგის პოლინომის სახით, რაც საშუალებას იძლევა PSS/E პროგრამა გამოყენებული იქნეს მახასიათებლის ანალიზური ჩაწერის სახის შეცვლის გარეშე.

6-10 კვ ძაბვაზე დადგენილი მახასიათებლები დაარქივებულია, რაც საშუალებას გვაძლევს მარტივად გადაანგარიშდეს მანაწილებელი ქსელის სტატიკური მახასიათებლები დატვირთვაში სტრუქტურული შემადგენლობის ცვლილების შემთხვევაში.

3. ექსპერიმენტული ნაწილი

PSS/E კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით გაანალიზებული იქნა საქართველოს ელექტროსისტემაში სხვადასხვა სახის გარდამავალი რეჟიმები და დადგინდა, რომ რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის სიდიდეზე.

საქართველოს ენერგოსისტემის 110/35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელი პირობითად დაიყო 13 ავტონომიურ ქსელად (ელექტროენერგეტიკულ რეგიონებად), რომელთა შორის კავშირი განხორციელებულია 220 და 500 კვ ძაბვის ხაზებით და თითოეული მანაწილებელი ქსელი კონფიგურაციისა და მომხმარებელთა სახეობათა მიხედვით ხასიათდება ინდივიდუალური თავისებურებებით.

2009 წლის 16 დეკემბრის საქართველოს ელექტროსისტემაში ჩატარებული საკონტროლო გაზომვების საფუძველზე მიღებული მონაცემებით ცალკეული ელექტროენერგეტიკული რეგიონის სადაბლებელი ქვესადგურების 10 კვ ძაბაზე მიერთებული კომბინირებული დატვირთვისთვის მიღებული იქნა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომელთა საშუალებით დადგენილი იქნა ავტონომიური ქსელის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები.

PSS/E კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით თითოეული ავტონომიური ქსელისათვის ჩავატარე რეჟიმების გაანგარიშება (ანუ ამ ქსელის 220 კვ ძაბვის ქსელთან მიერთების წერტილში) მუშა ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობაზე $U^*=0,9 \div 1,1$, 0.05 ბიჯით.

მიღებული შედეგების მიხედვით ავაგე სტატიკური მახასიათებლები.

თავი 1. ამოცანის დასმა

1.1. სიმძლავრეთა ბალანსი ელექტროსისტემაში

საქართველო აქტიურადაა ჩართული შავი ზღვის აუზის ქვეყნების ენერგეტიკული ინტეგრაციის პროცესში. საქართველოს ენერგოსისტემა, დღეს არსებული და პერსპექტიული 500 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემის ქსელის გათვალისწინებით, მეზობელი ქვეყნების ენერგოსისტემებისათვის საიმედო პარტნიორს წარმოადგენს ელექტრული ენერჯის მიმოცვლის პროცესში.

ელექტრული სისტემის მდგრადი მუშაობა უზრუნველყოფილია მხოლოდ მაშინ, როცა ტურბინების მექანიკურ სიმძლავრეთა ჯამი მთელი ქსელის ჯამური ელექტრული დატვირთვის ტოლია. ამ ტოლობის დარღვევა, რაც ტექნიკურ ლიტერატურაში აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევის ტერმინით მოიხსენიება, იწვევს ტურბინა-გენერატორის ბრუნვითა რიცხვის შეცვლას. აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევა შეიძლება გამოწვეული იქნეს სხვადასხვა მიზეზითა და სხვადასხვა ხარისხით. უმრავლეს შემთხვევაში, აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას, ირღვევა რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსიც. კერძოდ, დატვირთული გენერატორის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტს, ხოლო სამრეწველო რეგიონის ავარიული გამორთვა კი იწვევს ამავე სიმძლავრების სიჭარბეს.

PSS/E კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით გაანალიზებული იქნა საქართველოს ელექტროსისტემაში ამა თუ იმ სახის გარდამავალი რეჟიმები და დადგინდა, რომ რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის სიდიდეზე.

კომპიუტერული მოდელირების დახმარებით შესაძლებელია მოიძებნოს ისეთი ხერხები და საშუალებანი, რომელიც შესაძლებელს გახდის გაანალიზდეს სისტემის ნებისმიერი ელემენტის ქცევა მოულოდნელად წარმოქმნილი გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობისას, შეფასდეს პროცესის მიმდინარეობაზე სისტემაში არსებული გავლენის ფაქტორები, მოხდეს მათზე ზემოქმედება, რათა გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობას მიეცეს სასურველი მიმართულება და სისტემის მუშაობის მდგრადობის ხარისხი აყვანილი იქნეს უფრო მაღალ დონეზე.

გარდამავალი პროცესის მართვის საუკეთესო საშუალებათა მოძიებისა და რეალიზაციის მათემატიკური მოდელი უნდა ითვალისწინებდეს ენერჯის სტემაში არსებულ ყველა იმ სხვადასხვა სახის ფაქტორებსა და ამ ფაქტორებზე ზემოქმედების მეთოდებსა და მასშტაბებს, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი გახდება მიზანდასახული გავლენა მოვახდინოთ გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობაზე. ერთერთ ასეთ ფაქტორს, რაც დღემდე გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის შეფასებისას, რაოდენობრივი მასშტაბებით, არ განიხილებოდა, წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობის ფაქტორი, რომელიც პირდაპირი თუ არაპირდაპირი გზით მოქმედებს ენერჯის სტემის მუშაობის მდგრადობასა და საიმედოობაზე.

აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას ელექტროსისტემაში აღვილი აქვს სიხშირის გადახრას თავისი ნომინალური (ნორმალური) მნიშვნელობიდან.

საერთო სასისტემო ავარიის თავიდან ასაცილებლად სისტემაში გათვალისწინებულია სიხშირული ავტომატური განტვირთვის (საგ) მოწყობილობა, რომელიც ავტომატურად გამორთავს ნაკლებად საპასუხისმგებლო მომხმარებლებს. ამ გამორთვების დროს გამოირთვება როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული დატვირთვა. აქტიური დატვირთვის გამორთვა ავარიის ლიკვიდაციაზე მოქმედებს პოზიტიურად, რადგანაც ეს გამორთვა განახორციელებს აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის შემცირებას და, შედეგად, გამოიწვევს სიხშირის შემდგომი დაცემის შემცირებას ან ამ დაცემის შეწყვეტას. რეაქტიული სიმძლავრის გამორთვა გამოიწვევს ძაბვის ამადლებას და, შედეგად, მუშაობაში დარჩენილი მომხმარებლების აქტიური დატვირთვის გაზრდას, რაც ზემოთ აღნიშნული გამორთული აქტიური დატვირთვის პოზიტიური ქმედების ხარისხს რამდენადმე შეამცირებს. აქედან გამომდინარე, საგის მოქმედება უნდა მივმართოთ იმ ნაკლებად საპასუხისმგებლო მომხმარებელთა გამორთვაზე, რომელთაც გააჩნიათ უფრო მაღალი $\cos\phi$.

ელექტროსისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია წარმოებს როგორც ელექტროსადგურებზე გენერატორების, ასევე სისტემაში ამ მხნით დაყენებული რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი წყაროების

მიერ. გარდა ამისა რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციას ადგილი აქვს, აგრეთვე, ელექტროგადაცემის ხაზების განივ ტევადურ გამტარობაში.

რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი წყაროები შეიძლება ქსელში გასცემდეს ან ქსელიდან ღებულობდეს რეაქტიულ სიმძლავრეს. ასეთ რეჟიმში მომუშავე დანადგარის ქსელში არსებობა აუცილებელია, რადგანაც, ერთი მხრივ, სინქრონული გენერატორების მიერ გენერირებული და მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე, მათი $tg\varphi$ -ის ($cos\varphi$ -ის) სხვადასხვაობის გამო, ერთმანეთის ტოლი არ არის და, მეორე მხრივ, ხაზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე არ არის დამოკიდებული დატვირთვის დენზე, მაშინ როცა ხაზებისა და ტრანსფორმატორების რეაქტიულ წინააღმდეგობებში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები ამ დენის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია. შესაბამისად, სისტემის მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში მოსალოდნელია რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი, ხოლო მინიმალური დატვირთვების რეჟიმში კი მისი სიჭარბე, რაც გაკომპენსირებული უნდა იქნეს რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი წყაროების მიერ.

ელექტროენერჯის მიმღები დაპროექტებულია ნომინალურ დაბნაზე სამუშაოდ. დასაშვებ ფარგლებში დაბნის გადახრისას ენერჯის მიმღები მუშაობს ნორმალურ რეჟიმში და წარმოებულ პროდუქციას წუნი არ აქვს, ანუ წარმოებულ პროდუქციის ხარისხის მახასიათებელი პარამეტრები ნორმის ფარგლებშია. დასაშვებზე მეტად დაბნის გადახრისას აღნიშნული პარამეტრები გამოდის მისთვის დასაშვებ ზღვრებს გარეთ და ადგილი აქვს წარმოებულ პროდუქციის წუნს.

12. აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების უბალანსობათა ურთიერთგავლენა

მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე იცვლება როგორც დროში, ასევე, რეჟიმის პარამეტრების, კერძოდ, დაბნისა და სიხშირის ცვლილებისას. დამყარებული რეჟიმებში დაბნისა და სიხშირის მდორედ ცვლილების გამო, ამ რეჟიმების გაანგარიშებისას, საკმარისია ვისარგებლოთ დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებით. გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობისას კი, რომლის დროსაც რეჟიმის პარამეტრები

მეტრები დიდ ფარგლებში და სწრაფად იცვლება, აუცილებელია ვისარგებლოთ დატვირთვის დინამიური მახასიათებლებით [4; 5].

რეჟიმის პარამეტრების მცირე და მდორე ცვლილებისას დატვირთვის ცვლილება შეიძლება გამოვსახოთ გამოსახულებებით:

$$\left. \begin{aligned} dP_* &= \frac{\partial P_*}{\partial u_*} \cdot du_* + \frac{\partial P_*}{\partial f_*} \cdot df_* \\ dQ_* &= \frac{\partial Q}{\partial u_*} \cdot du_* + \frac{\partial Q_*}{\partial f_*} \cdot df_* \end{aligned} \right\}$$

სიდიდეები: $\frac{\partial P_*}{\partial u_*}$; $\frac{\partial P_*}{\partial f_*}$; $\frac{\partial Q_*}{\partial u_*}$; $\frac{\partial Q_*}{\partial f_*}$ წარმოადგენენ აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს. ამასთან, პრიველი და მესამე აქტიურ და რეაქტიულ დატვირთვათა მარეგულირებელი ეფექტია ძაბვის მიხედვით, ხოლო მეორე და მეოთხე კი იგივე სიხშირის მიხედვით.

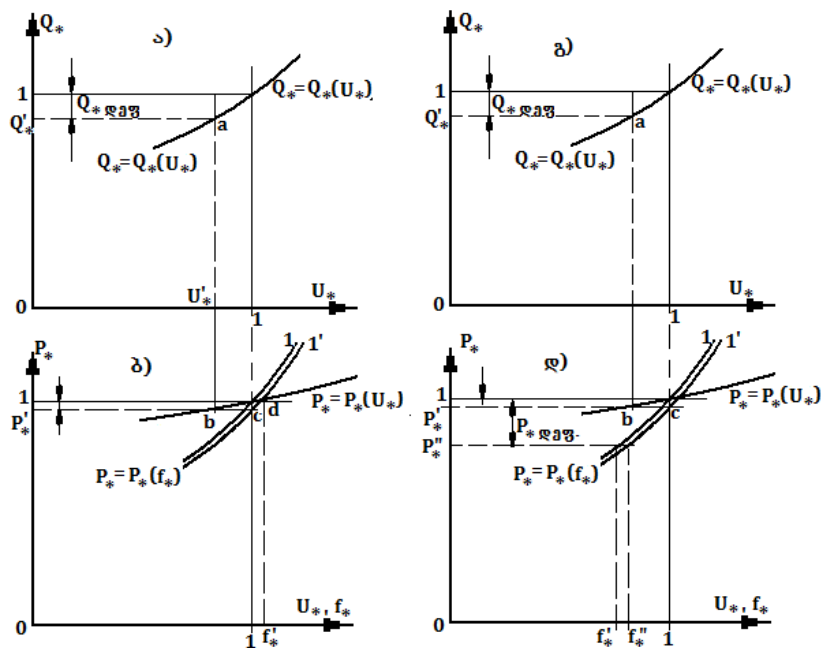
ელექტრულ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევა იწვევს სიხშირის შეცვლას და, შედეგად, სტატიკური მახასიათებლების მარეგულირებელი ეფექტის შესაბამისად, შეიცვლება მუშაობაში დარჩენილი მომხმარებლების როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული დატვირთვა. აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევას, პრაქტიკულად, ყოველთვის თან ახლავს რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევაც.

რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი, სტატიკური მახასიათებლების მარეგულირებელი ეფექტის $\frac{\partial Q_*}{\partial u_*} \neq 0$ შესაბამისად იწვევს ძაბვის შემცირებას გარკვეული სიდიდით (U'_* მნიშვნელობამდე, წერტილი a ნახ.1.1,ა), რაც შედეგად, აქტიური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის მარეგულირებელი ეფექტის $\frac{\partial P_*}{\partial u_*} \neq 0$ შესაბამისად, გამოიწვევს მუშაობაში დარჩენილ მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილ აქტიურ სიმძლავრეს P'_* მნიშვნელობამდე (წერტილი b ნახ.1.1,ბ). ეს კი ნიშნავს მას, რომ სიხშირის მიხედვით აქტიური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი 1 მდებარეობიდან გადაადგილდა 1' მდებარეობაში (ნახ.1.1,ბ) და, რადგანაც სისტემის აქტიური სიმძლავრის გენერაცია არ შემცირებულა, აქტიური სიმძლავრის ბალანსი სისტემაში დამყარდება d წერტილის შესაბამისად, ანუ სიხშირე ამაღლდება f'_* მნიშვნელობამდე (ნახ.1.1,ბ).

თუ ელექტროსისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნასთან ერთად ადგილი აქვს აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის

წარმოქმნასაც, მაშინ სიხშირე სისტემაში დაეცემა f_* მნიშვნელობამდე (ნახ.1.1,დ).

ანალოგიურად, რეაქტიული სიმძლავრის სიჭარბე რამდენადმე ამადლებს ძაბვას სისტემაში და, შესაბამისად, გაიზრდება მუშაობაში დარჩენილი მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრეც. მაშასადამე, ორივე შემთხვევაში აქტიური სიმძლავრის უბალანსობა, რამდენადმე კომპენსირდება იმავდროულად წარმოქმნილი რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობის შედეგად და ცხადია, რომ ეს ფაქტორი გათვალისწინებული უნდა იქნეს აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის ამოცანის გადაწყვეტისას.



ნახ.1.1. სიხშირის ცვლილება სისტემაში:

- ა - მხოლოდ რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას;
- ბ- აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის ერთდროული დარღვევისას

შედარებით მნიშვნელოვნად განსხვავებულ სიტუაციასთან გვაქვს საქმე აქტიური სიმძლავრით დატვირთული (ან დაუტვირთავი) ზემალაღი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის ავარიული გამორთვისას.

500 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზები განსაკუთრებული თავისებურებით გამოირჩევა. ამ ხაზის ყოველ ერთ კილომეტრ სიგრძეზე გენერირდება თითქმის 1 მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე. აქედან გამომდინარე, ასეთი ხაზები რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსში დიდი ხვედრითი წილით მონაწილეობენ და რომელიმე მათგანის (განსა-

კუთრებით გრძელი ხაზის) ავარიული გამორთვა მნიშვნელოვანი ხარისხით გამოიწვევს რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობას.

ელექტროსისტემაში აქტიური სიმძლავრით დაუტვირთავ რეჟიმში მომუშავე ხაზის ავარიული გამორთვისას აქტიური სიმძლავრის უბალანსობას, პრაქტიკულად, ადგილი არ ექნება, მაგრამ რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა აშკარაა, რადგანაც დაუტვირთავ რეჟიმში მომუშავე ხაზში გვაქვს ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრე, რაც ხაზის გამორთვის შედეგად დააკლდება სისტემას. დატვირთული ხაზის ავარიული გამორთვისას, თუ არსებობს ენერჯის გადაცემის ალტერნატიული გზა, მაშინ აქტიური სიმძლავრის დეფიციტს ადგილი არ ექნება, მაგრამ წარმოიქმნება რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგებისა და ავარიულად გამორთული ხაზის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის დაკარგვის გამო.

მაშასადამე მივიღეთ, რომ შიგა სასისტემო ქსელის მაღალი ძაბვის ხაზის ავარიული გამორთვისას, როგორც დატვირთვის რეჟიმშიც არ უნდა მუშაობდეს ის, ელექტროსისტემაში ადგილი აქვს რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტს. შედეგად ქსელში ძაბვა შემცირდება და, შესაბამისად შემცირდება მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე, რასაც შედეგად მიყვავართ აქტიური სიმძლავრის სიჭარბესთან ანუ სიხშირის ამადლებასთან.

განსაკუთრებით დიდი შეშფოთებაა მოსალოდნელი, როცა ავარიულად გამოირთვება სისტემათაშორისი ელექტროგადაცემის ხაზი. სიმძლავრის გამცემ და მიმღებ სისტემაში ძაბვათა მიმართ წაყენებული მოთხოვნები ამ ელექტროგადაცემაში აქტიურ სიმძლავრესთან ერთად განაპირობებს რეაქტიულ სიმძლავრეთა შესაბამის დინებას. კერძოდ, დაუტვირთავ ხაზში ($P=0$) რეაქტიულ სიმძლავრეთა დინება დიდია და, ამასთან, ეს რეაქტიული სიმძლავრე ორივე ელექტროსისტემაში შედის. ხაზის ავარიული გამორთვისას, სიმძლავრის გამცემ და მიმღებ სისტემებში წარმოიქმნება რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი და, შედეგად, ძაბვის შემცირების გამო ორივე სისტემაში გვექნება აქტიური სიმძლავრის სიჭარბე. არანატურალურ სიმძლავრემდე დატვირთულ რეჟიმში მომუშავე სისტემათაშორისი ელექტროგადაცემის ხაზის ავარიული გამორთვისას სიმძლავრის გამცემ სისტემაში წარმოიქმნება აქტიური

სიმძლავრის სიჭარბე აქტიური სიმძლავრის ექსპორტის შეწყვეტის გამო და ამავე სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნის შედეგად. სიმძლავრის მიმღებ სისტემაში გვექნება აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი იმპორტის შეწყვეტის გამო, მაგრამ ეს დეფიციტი რამდენადმე გაკომპენსირდება ამავე სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნის შედეგად.

მაშასადამე, დაუტვირთავი სისტემათაშორისი ხაზის ავარიული გამორთვისას ორივე სისტემაში წარმოიქმნება აქტიური სიმძლავრის სიჭარბე ამ სისტემებში რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნის გამო და, ამასთან, აქტიური სიმძლავრის ეს სიჭარბე ორივე სისტემაში, პრაქტიკულად, ერთი და იგივე სიდიდისაა. არანატურალურ სიმძლავრემდე დატვირთული ხაზის ავარიული გამორთვისას სიმძლავრის გამცემ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის სიჭარბე უფრო დიდი მოცულობისაა, ვიდრე იმპორტირებული სიმძლავრე ავარიის წინა რეჟიმში, ხოლო აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი სიმძლავრის მიმღებ სისტემაში უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე იმპორტირებული სიმძლავრე ავარიის წინა რეჟიმში. ეს სხვადასხვაობა ორივე სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნითაა გამოიწვეული.

ელექტროგადაცემის ხაზის თავსა და ბოლოში რეაქტიულ სიმძლავრეთა ნაკადი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებებით [2]

$$Q_1 = \frac{U_1^2}{Z_c} \left[\left(1 - \frac{U_2^2}{U_1^2} \right) \operatorname{ctg} \alpha_0 l - Q_2 \frac{Z_c}{U_1^2} \right] \quad (1.1)$$

$$Q_2 = \frac{U_2^2}{Z_c} \left[-\operatorname{ctg} \alpha_0 l + \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2 \sin \alpha_0 l} \right)^2 - \left(P_2 \frac{Z_c}{U_2^2} \right)^2} \right] \quad (1.2)$$

U_1, U_2 - ძაბვა ხაზის თავსა და ბოლოში, კვ;

P_2 - აქტიური სიმძლავრე ხაზის ბოლოში, მგვტ;

Z_c - ხაზის ტალღური წინაღობა, ომი;

α_0 - ძაბვის (დენის) ვექტორის შემობრუნების კუთხე ხაზის ერთ კილომეტრ სიგრძეზე, 1/კმ;

l - ხაზის სიგრძე, კმ.

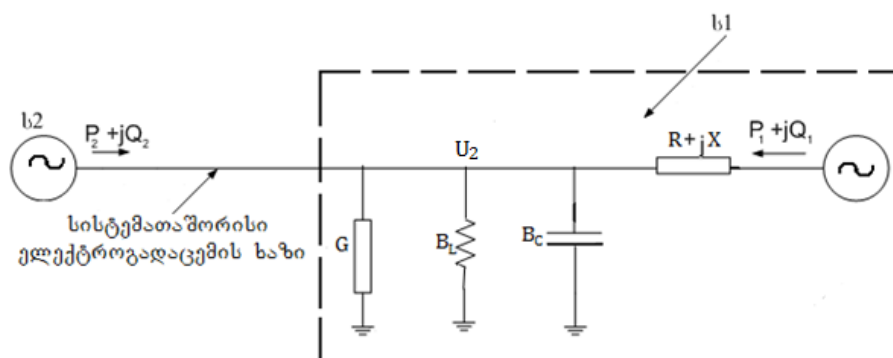
წარმოდგენილ გამოსახულებათა გამოყენებით გამოთვლილი იქნა რუსეთისა და საქართველოს ენერგოსისტემების დამაკავშირებელი 500 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის “კავკასიონი” („ცენტრალნაია-ენგურჰესი“) სახასიათო რეჟიმები, როცა $U_1 = 500$ კვ და $U_2 = 495$ კვ (ცხრ.1.2). ამ ცხრილში P_2 და Q_2 რუსეთიდან ენგურჰესის 500კვ ძაბვის კვანძში შემომავალი სიმძლავრეებია, ხოლო Q_1 რუსეთის ენერგოსისტემის შესაბამისი კვანძიდან („ცენტრალნაია“) ხაზში შემომავალი რეაქტიული სიმძლავრე (ნიშანი “-” მიუთითებს მასზე, რომ რეაქტიული სიმძლავრე Q_1 შედის ხაზიდან კვანძში, ხოლო Q_2 კვანძიდან ხაზში).

ცხრ.1.1. ეგხ “კავკასიონის” სახასიათო რეჟიმები, როცა $U_1 = 500$ კვ და $U_2 = 495$ კვ

P_2 , მგვტ	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Q_1 , მგვარ	- 168.1	- 165.7	- 158.4	- 146.2	- 129.0	- 106.6	-78.9	-45.7	-6.6	36.5	90.7
Q_2 , მგვარ	205.8	203.4	196.1	183.9	166.6	144.3	116.6	83.3	44.3	-1.03	-53.0

როგორც ვხედავთ, სისტემათაშორისი ხაზის დაუტვირთავ რეჟიმში მუშაობისას მიმდებ სისტემაში შემოედინება დიდი სიდიდის რეაქტიული სიმძლავრე და, პირიქით. კერძოდ, როცა საქართველოს ენერგოსისტემაში შემოედინება $P_2 = 100$ მგვტ აქტიური სიმძლავრე, მაშინ შემოედინება, აგრეთვე, $Q_2 = 203.4$ მგვარ რეაქტიული სიმძლავრეც, ხოლო $P_2 = 800$ მგვტ აქტიური სიმძლავრის შემოდინებისას შემოედინება $Q_2 = 44.3$ მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე. ამ რეჟიმებში “კავკასიონის” ავარიული გამორთვისას საქართველოს სისტემაში გაჩნდება როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი და, ამასთან, დატვირთული ხაზის გამორთვისას მიმდებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი მნიშვნელოვნად უფრო მაღალია, ვიდრე რეაქტიულისა და პირიქით.

რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი გამოიწვევს ძაბვის დაცემას და, შესაბამისად, გარკვეული სიდიდით შემცირდება მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრეც, რაც აქტიური სიმძლავრის დეფიციტს რამდენადმე გააკომპენსირებს. მაშასადამე, სისტემათაშორისი კავშირის ავარიული გამორთვისას სიმძლავრის მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი შემოდინებულ აქტიურ სიმძლავრესთან არაცალსახა დამოკიდებულებაშია. მასზე გავლენას ახდენს შემოდინებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდეც.



ნახ.1.2. გამარტივებული ენერგოგაერთიანება: ს-1 – სიმძლავრის მიმღები სისტემა; ს-2 – სიმძლავრის გამცემი სისტემა; $P_1 + jQ_1$ - მიმღები სისტემის გენერაცია; $P_2 + jQ_2$ - ექსპორტირებული აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე სიმძლავრის მიმღები სისტემის მიღების კვანძში; U_2 – მუშა ძაბვა მიმღები სისტემის სალტებზე; G – მიმღები სისტემის აქტიური დატვირთვის ეკვივალენტური აქტიური გამტარობა; B_L - მიმღები სისტემის რეაქტიული დატვირთვის ეკვივალენტური რეაქტიული (ინდუქციური) გამტარობა; B_C - მიმღები სისტემის ელექტროგადაცემის ხაზების ეკვივალენტური რეაქტიული (ტევადური) გამტარობა.

განვიხილოთ გამარტივებული სახის ენერგოგაერთიანება (ნახ.1.2). ამ ნახაზზე ელექტროენერგიის მიმღები სისტემა (ს-1) წარმოდგენილია ეკვივალენტური პარამეტრებით. კერძოდ, სისტემის აქტიური დატვირთვა მოცემულია მუდმივი სიდიდის აქტიური გამტარობით G , ინდუქციური ხასიათის რეაქტიული დატვირთვა, მათ შორის მაშუნტებელი რეაქტორები და ტრანსფორმატორების ფოლადში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები, მუდმივი სიდიდის რეაქტიული გამტარობით B_L , ელექტროგადაცემის ხაზის ტევადური გამტარობა წარმოდგენილია B_C მუდმივი პარამეტრით. ასევე მუდმივი პარამეტრებითაა წარმოდგენილი გადაცემის ქსელის გრძივი აქტიური R და რეაქტიული X წინაღობები.

მიმღები სისტემის ჯამური გენერაციაა $P_1 + jQ_1$, ხოლო სისტემა-
თაშორისი ელექტროგადაცემის საზით მეზობელი ენერგოსისტემიდან
(ს-2) მიმღები სისტემის ენერჯის მიღების კვანძში შემოედინება
 $P_2 + jQ_2$.

ნახ.1.2-ზე ნახვენები შეერთების სქემის თანახმად, მიმღებ სისტემაში
სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$P_1 + P_2 - P_{\text{დატვ}} - \Delta P_R = 0 \quad \text{და} \quad Q_1 + Q_2 - Q_{\text{დატვ}} - \Delta Q_X = 0 \quad \text{ანუ}$$

$$P_1 + P_2 - U_2^2 \cdot G - 3 \cdot I^2 \cdot R = 0 \quad \text{და} \quad Q_1 + Q_2 - U_2^2 \cdot (B_L - B_C) - 3 \cdot I^2 \cdot X = 0,$$

სადაც დატვირთვის დენი

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} U \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$$

და, შესაბამისად, ბალანსის განტოლებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$P_1 + P_2 - U_2^2 \cdot G - U_2^2 [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot R = 0 \quad (1.3)$$

და

$$Q_1 + Q_2 - U_2^2 \cdot (B_L - B_C) - U_2^2 [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X = 0. \quad (1.4)$$

(1.4) განტოლებიდან

$$U_2^2 = \frac{Q_1 + Q_2}{(B_L - B_C) + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X}$$

რომლის (1.3) განტოლებაში ჩასმით, მივიღებთ

$$P_1 + P_2 - \frac{(Q_1 + Q_2) \cdot \{G + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot R\}}{(B_L - B_C) + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X} = 0.$$

ამ ბოლო გამოსახულებიდან ჩანს, რომ სისტემათაშორისი
ელექტროგადაცემის საზის ავარიული გამორთვისას სიმძლავრის
მიმღებ სისტემაში დაირღვევა აქტიური სიმძლავრის ბალანსი და
უბალანსობა შეადგენს

$$P_{\text{უბ}} = P_1 - Q_2 \cdot A, \quad (1.5)$$

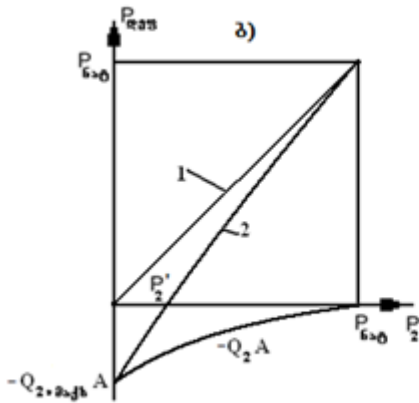
სადაც A მიმღები სისტემის მახასიათებელი სიდიდეა, რომლის
რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია, ერთი მხრივ, სისტემის
ჯამურ აქტიურ და რეაქტიულ დატვირთვებზე და, მეორე მხრივ, ქსელის
ეკვივალენტურ ელექტრულ პარამეტრებზე, მათ შორის მუშაობაში
ჩართული მაშუნტებელი რეაქტორების ელექტრულ პარამეტრებზე.

$$A = \frac{\{G + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot R\}}{(B_L - B_C) + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X} = \frac{P_{\text{დ}} + \Delta P_R}{Q_{\text{დ}} - \Delta Q_C + \Delta Q_X} \quad (1.6)$$

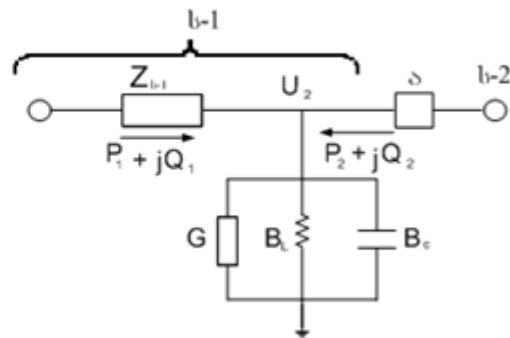
ამასთან (1.2) გამოსახულების თანახმად Q_2 დამოკიდებულია P_2 -ზე და, როცა $P_2 = 0$, მაშინ

$$Q_2 = Q_{2, \text{მაქს}} = \frac{U_2^2}{Z_c} \left(\frac{U_1}{U_2 \cdot \sin \alpha_0 l} - \text{ctg} \alpha_0 l \right) \quad (1.7)$$

(1.5) და (1.6) გამოსახულებების ზოგადი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სისტემათაშორისი ხაზის ავარიული გამორთვისას მიმდებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი არა თუ იმპორტირებული სიმძლავრის ტოლია (წირი 1, ნახ.1.3), არამედ განისაზღვრება (1.5) გამოსახულებით, რომელიც ნახ.1.3-ზე წარმოდგენილია წირი 2-ის სახით.



ნახ.1.3 მიმდებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის ექსპორტირებულ სიმძლავრეზე დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ.1.4. ეკვივალენტურ სისტემათა გამარტივებული სისტემათაშორისი კავშირი

როგორც ანალიზი გვიჩვენებს, სისტემათაშორისი ხაზის ავარიული გამორთვისას, როცა ამ ხაზით გადაეცემა მცირე სიდიდის აქტიური სიმძლავრე ($P_2 < P'_2$), მიმდებ სისტემაში ადგილი აქვს აქტიური სიმძლავრის არა თუ დეფიციტს, არამედ სიჭარბეს (ნახ.1.3-ის თანახმად, როცა $P_2 < P'_2$ აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი უარყოფითია). აქედან გამომდინარე, სისტემათაშორისი ხაზის ავარიული გამორთვისას მიმდებ სისტემაში გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის საკითხი დეტალურ შესწავლასა და შესაბამის სასისტემო ავტომატიკის შექმნას მოითხოვს, რაც მეცნიერული კვლევის საგანს წარმოადგენს.

1.3. ელექტრულ სისტემაში სიხშირის ცვალებადობა რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას

ელექტროსისტემაში სიხშირის ცვლილებაზე სიმძლავრის დეფიციტის გავლენის შესასწავლად განვიხილოთ ეკვივალენტური სიტემატაშორისი კავშირი (ნახ.1.4).

სიმძლავრის მიმღებ ს-1 სისტემის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას, ქსელში დანაკარგების გათვალისწინებით (გამოსახულება (1.3)), აქვს შემდეგი სახე:

$$T_j \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{P_1+P_2}{(1+s)} - U_2^2 \cdot G - U_2^2 [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot R \quad (1.8)$$

აქ ; T_j - სიმძლავრის მიმღები სისტემის ინერციის ეკვივალენტური

მუდმივა, წმ;

$$s = \frac{f - f_0}{f_0} = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} - \text{მოცემული სისტემის ეკვივალენტური გენერა-}$$

ტორის როტორის სრიალი, რომელიც სისტემის დამყარებულ რეჟიმში ნულის ტოლია ($s = 0$);

P_1, P_2 - სიმძლავრის მიმღები ს-1 და ექსპორტიორი ს-2 სისტემების ეკვივალენტური ტურბინის მექანიკური სიმძლავრე დამყარებულ ავარიისწინა რეჟიმში, მგვტ;

G - მიმღები სისტემის აქტიური დატვირთვის ეკვივალენტური აქტიური გამტარობა, სიმენსი.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ (გამოსახულება (1.4))

$$Q_1+Q_2- U_2^2 \cdot (B_L-B_C)-U_2^2 [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X = 0,$$

საიდანაც

$$U_2^2 = \frac{Q_1 + Q_2}{(B_L - B_C) + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X}$$

მიმღები სისტემის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას (1.8)

ავარიისწინა დამყარებულ რეჟიმში ექნება სახე

$$T_j \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{P_1+P_2}{(1+s)} - \frac{(Q_1+Q_2) \cdot \{G+[G^2+(B_L-B_C)^2]\} \cdot R}{(B_L-B_C)+[G^2+(B_L-B_C)^2] \cdot X} \quad (1.9)$$

სისტემატაშორისი ხაზის ავარიული ამორთვის შემდეგ ამ განტოლების მარჯვენა მხარეში სიმძლავრეთა ბალანსი დაირღვევა და,

შესაბამისად, $s \neq 0$. მაშინ სისტემის მოძრაობის განტოლებას ექნება სახე

$$T_j \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{P_1}{(1+s)} - \frac{Q_1 \cdot \{G + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot R\}}{(B_L - B_C) + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X} \neq 0. \quad (1.10)$$

ამ შემთხვევაში მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის წარმოქმნილი უბალანსობა გამოითვლება (1.5) და (1.6) გამოსახულებებით

$$P_{\text{უბ}} = P_2 - Q_2 \cdot A = P_2 - \frac{Q_2 \cdot \{G + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot R\}}{(B_L - B_C) + [G^2 + (B_L - B_C)^2] \cdot X}. \quad (1.11)$$

როგორც ვხედავთ, სისტემათაშორისი ელექტროგადაცემის ხაზის ავარიული გამორთვისას მიმღებ სისტემაში სისშირის ცვლილების სიჩქარეზე გავლენას ახდენს ავარიის წინა რეჟიმში ამ ხაზით მიმღებ სისტემაში შემომავალი რეაქტიული სიმძლავრე Q_2 .

Q_2 -ის მიმართ შეიძლება განვიხილოთ სამი შემთხვევა: ა) $Q_2 = 0$,
ბ) $Q_2 > 0$ და გ) $Q_2 < 0$ -

პირველ შემთხვევაში მიმღებ სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი არ ირღვევა და ამიტომ მუშა ძაბვა რჩება უცვლელი. აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი ცალსახად განისაზღვრება $P_{\text{დეფ}} = P_2$.

მეორე შემთხვევაში მიმღებ სისტემაში ადგილი ექნება რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტს, რაც გამოიწვევს მუშა ძაბვის შემცირებას და შედეგად შემცირდება მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე. აქედან გამომდინარე, მიმღებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი $P_{\text{დეფ}} < P_2$, რის გამოც სისშირის დაცემის სიჩქარე უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე პირველ შემთხვევაში.

მესამე შემთხვევაში მიმღებ სისტემაში ადგილი ექნება რეაქტიული სიმძლავრის სიჭარბეს, რაც მუშა ძაბვის ამაღლებას გამოიწვევს და შედეგად გაიზრდება მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე. სიმძლავრის დეფიციტი $P_{\text{დეფ}} > P_2$, რის გამოც სისშირის დაცემის სიჩქარე უფრო მეტი იქნება, ვიდრე პირველ შემთხვევაში.

ზემოთ მოყვანილი თეორიული მოსაზრების ანალიზი ჩატარდა რიცხვით მაგალითზე ნახ.1.3-ზე ნაჩვენები ელექტროკავშირისთვის.

საწყისი რეჟიმის პარამეტრებია: ბაზისური სიმძლავრე $S = 100$ მგვა; $P_1 = 1400$ მგვტ; $P_2 = 400$ მგვტ; $Q_1 = 700$ მგვარ და $Q_2 = 100$ მგვარ.

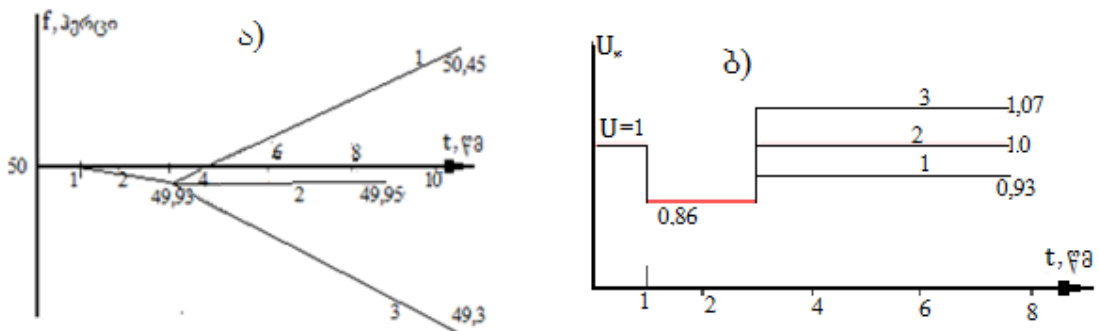
სისტემათაშორისი კავშირის ავარიული გამორთვის შედეგად მიმდებ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის წარმოქმნილი დეფიციტის აღმოფხვრა მიღწეული იქნა სასისტემო ავტომატიკის დახმარებით. ამასთან, მიმდებ სისტემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესი გაანალიზებული იქნა ავტომატიკით გამორთულ მომხმარებელთა დატვირთვის სამ სხვადასხვა ვარიანტში:

$$S = 400 + j50 \text{ ანუ } \cos \varphi = 0.992 ;$$

$$S = 400 + j100 \text{ ანუ } \cos \varphi = 0.97 ;$$

$$S = 400 + j150 \text{ ანუ } \cos \varphi = 0.936 .$$

თითოეული ამ ვარიანტისათვის მიმდებ სისტემაში სიხშირისა და ძაბვის ცვლილების ხასიათი ნაჩვენებია ქვემოთ ნახაზებზე: როცა მიმდებ სისტემაში ძაბვის რეგულირებას არა აქვს ადგილი (ნახ.1.5) და როცა ძაბვის რეგულატორები მოქმედებაშია (ნახ.1.6).



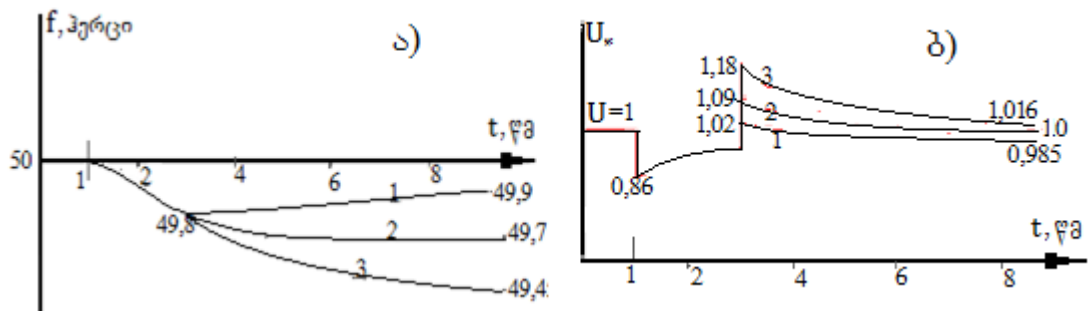
ნახ. 1.5. სისტემათაშორისი კავშირის ავარიული გამორთვისას მიმდებ სისტემაში სიხშირისა და ძაბვის ცვლილების ხასიათი (ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა გამოყვანილია მოქმედებიდან). საგ-ით გამოირთო: 1 – 50 მგვარ რეაქტიული დატვირთვა; 2 – 100 მგვარ; 3 – 150 მგვარ.

გაანგარიშების შედეგები გვიჩვენებს, რომ:

- პირველ შემთხვევაში, როცა სისტემაში ავტომატიკით გამო-ირთო უფრო ნაკლები რეაქტიული დატვირთვა, ვიდრე ექს-პორტი იყო, მაშინ სისტემაში ძაბვა მცირდება ($U_* = 0.93$, მრუდი 1, ნახ. 1.5,ბ). შედეგად მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრეც შემცირდა. ამის გამო გაჩნდა აქტიური სიმძლავრის სიჭარბე და სიხშირემ აიწია (მრუდი 1, ნახ.1.5,ა);
- მეორე შემთხვევაში, როცა მიმდებ სისტემაში ავტომატიკით გამორთული რეაქტიული სიმძლავრე ექსპორტის ტოლია, სისტემაში

ძაბვა არ იცვლება ($U_* = 1,0$, მრუდი 2, ნახ.1.5,ბ) და სისშირე პრაქტიკულად შენარჩუნდა იმ მნიშვნელობაზე, რაც იყო აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის სრული აღმოფხვრის მომენტში ($f=49,93-49,95$ ჰერცი, მრუდი 2, ნახ.1.5,ა);

- მესამე შემთხვევაში გვაქვს პირველი შემთხვევის საწინააღმდეგო მოვლენა.



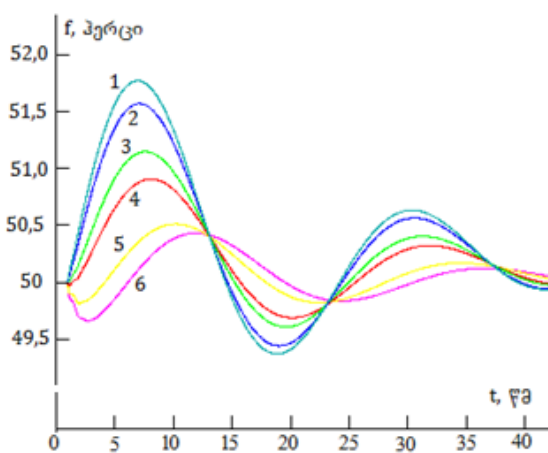
ნახ. 1.6. სისტემათაშორისი კავშირის ავარიული გამორთვისას მიმდებ სისტემაში სისშირისა და ძაბვის ცვლილების ხასიათი (ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა მოქმედებაშია). საგით გამოიროთ: 1 – 50 მგვარ რეაქტიული დატვირთვა; 2 – 100 მგვარ; 3 – 150 მგვარ.

როცა მიმდებ სისტემაში მოქმედებაშია ძაბვის რეგულატორები, მაშინ გარდამავალი პროცესი განსხვავებულად მიმდინარეობს. კერძოდ, საწყის ეტაპზე (საგ-ის მოქმედებამდე) ძაბვის რეგულატორები ზრდის ძაბვას, რაც იწვევს მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრის გაზრდას. ანუ იზრდება დეფიციტი, რაც სისშირის უფრო ღრმა დაცე-მას იწვევს ($f = 49.8$ ჰც). საგ-ის მოქმედებით დატვირთვის გამორთვის შემდეგ რეგულატორები ძაბვას ამცირებენ და სისშირე უფრო სტაბი-ლურია, თუმცა სხვადასხვა Q_2 -ის შემთხვევაში, როგორც სისშირე, ასევე ძაბვა სხვადასხვა სტაბილურ მნიშვნელობას აღწევს (ნახ.1.6,ა,ბ. მრუდი 1,2,3).

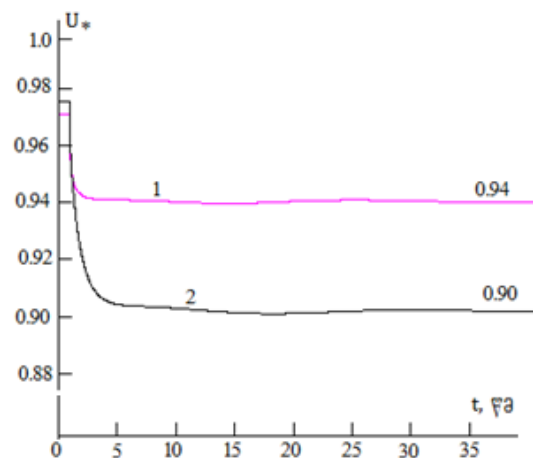
მიმდებ სისტემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესი (სისტემათა-შორისი ხაზის გამორთვა და მიმდებ სისტემაში სისშირის ცვლილება) გაანალიზებული და ურთიერთ შედარებული იქნა ისეთი შემთხვევები, როცა მიმდებ სისტემაში შემოედინებოდა მხოლოდ $Q_2=255$ მგვარ რეაქ-ტიული სიმძლავრე (ე.ი. $P_2=0$), ხოლო სხვა შემთხვევებში იმავე სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრესთან ერთად შემოედინებოდა აქტიური სიმძლავ-

რეც $P_2=50, 150, 200, 250, 300, 350$ მგვტ. ყველა ამ შემთხვევაში ჩავთვალეთ, რომ ძაბვის რეგულატორები მოქმედებაში არ არის და დატვირთვები წარმოდგენილია სტატიკური მახასიათებლების სახით. განხილულ შემთხვევებში სიხშირის ცვლილების ხასიათი ნაჩვენებია 1.7 ნახაზზე.

გაანგარიშების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პირველ შემთხვევაში ($P_2=0, Q_2=255$ მგვარ) რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის გამო მიმდებ სისტემაში იმდენად დაეცა ძაბვა და შედეგად შემცირდა მომხმარებელთა აქტიური დატვირთვა, რომ სიხშირემ აიწია 51,75 ჰერცამდე (ნახ.1.7, მრუდი 1). სხვა შემთხვევებში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი რამდენადმე კომპენსირდება რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის ეფექტით და სიხშირე სისტემაში უფრო ნაკლებად გადაიხარა ნომინალურიდან. უფრო მეტიც $P_2=300, 350$ მგვტ აქტიური სიმძლავრის დეფიციტისას რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის ეფექტი არასაკმარისი აღმოჩნდა და სიხშირე სისტემაში შემცირდა შესაბამისად 49,83 და 49,67 ჰერცამდე (ნახ.1.7, მრუდი 5, 6).



ნახ.1.7. სიხშირის ცვლილების ხასიათი



ნახ.1.8. მიმდებ სისტემაში ძაბვის ცვლილება

ცხადია, რომ რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტმა მიმდებ სისტემაში გამოიწვია ძაბვის შემცირება. აქტიური სიმძლავრის დეფიციტმა კი ძაბვის შემცირება კიდევ უფრო გაზარდა (ნახ.1.8). ამ ნახაზზე მრუდი 1 გვიჩვენებს მიმდებ სისტემაში ძაბვის შემცირებას იმ შემთხვევისთვის, როცა $P_2=0$ მგვტ და $Q_2=255$ მგვარ, ხოლო მრუდი 2 კი

ძაბვის შემცირებას იმ შემთხვევისთვის, როცა $P_2=350$ მკვტ და $Q_2=255$ მკვარ.

დასკვნა თავი 1-ის მიმართ

თავი 1-ში გაანალიზებულია ელექტროსისტემაში აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა უბალანსობის გავლენა აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის რიცხვით მნიშვნელობაზე და ნაჩვენებია, რომ სისტემათაშორისი ხაზის (ასევე, შიგასასისტემო ხაზის) ავარიული გამორთვისას, როცა ამ ხაზით გადაეცემა, შედარებით, მცირე სიდიდის აქტიური სიმძლავრე ($P_2 < P'_2$), მიმდებ სისტემაში ადგილი აქვს აქტიური სიმძლავრის არა თუ დეფიციტს, არამედ სიჭარბეს (ნახ.1.2). აქედან გამომდინარე, სისტემათაშორისი ხაზის ავარიული გამორთვისას მიმდებ სისტემაში გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის საკითხი დეტალურ შესწავლასა და შესაბამის სასისტემო ავტომატიკის შექმნას მოითხოვს, რაც მეცნიერული კვლევის საგანს წარმოადგენს.

ამავე თავში ნაჩვენებია, აგრეთვე, აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხვრის მიზნით აქტიური დატვირთვის გამორთვისთან ერთად, იმავდროულად გამორთული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდემ დეფიციტის აღმოფხვრაზე შეიძლება მოახდინოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი გავლენა.

ყველა განხილული შემთხვევა მიუთითებს მასზე, რომ აუცილებელია მაღალი სიზუსტით იქნეს დადგენილი მოცემული ელექტროსისტემის მომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები და, მათ შორის, დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ძაბვის მიხედვით $P^*=P^*(U^*)$ და $Q^*=Q^*(U^*)$, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება შევავასოთ როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის შესაბამისი მარეგულირებელი ეფექტი ძაბვის მიხედვით $\partial P^*/\partial U^*$ და $\partial Q^*/\partial U^*$.

თავი 2. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

2.1. მომხმარებელთა სტუქტურა და

ელექტრული დატვირთვის ერთდროულობის კოეფიციენტი

ელექტროენერჯის მომხმარებლები, მათი დანიშნულებისა და მუშაობის სახასიათო რეჟიმის მიხედვით, შეიძლება დავეყოთ შემდეგ ძირითად ჯგუფებად [1]:

- საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მომხმარებლები;
- საზოგადოებრივ-კომუნალური მომხმარებლები;
- სამრეწველო და მათთან გათანაბრებული მომხმარებლები.

მომხმარებელთა ესა თუ ის ჯგუფი გამოირჩევა თავისი მუშაობის სპეციფიურობით. მაგალითად, საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მომხმარებლების ელექტრული დატვირთვა ძირითადად განათების დატვირთვაა, რაც მკვეთრად არათანაბარია დღეღამის განმავლობაში. გარდა ამისა, აქ საკმარისად დიდი ხვედრითი წილით მონაწილეობს საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ელექტრომიმღებები: სამაცივრო დანადგარები; ოჯახის კონდიციონერები; მტვერსასრუტები; ელექტროგამახურებლები და ა. შ.

საზოგადოებრივ-კომუნალური დანიშნულების ელექტრომიმღებები, პრაქტიკულად, საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ელექტრომიმღებებს წარმოადგენს, მაგრამ ამ უკანასკნელთაგან განსხვავდება როგორც რაოდენობრივი თანაფარდობით, ასევე მუშაობის რეჟიმითა და ხანგრძლივობით დღეღამის ინტერვალში.

თავისი დანიშნულებისა და მუშაობის სპეციფიკიდან გამომდინარე სამრეწველო მომხმარებლებთან გათანაბრებულია: მშენებლობა; ტრანსპორტი; ნავთობისა და ბუნებრივი აირის მოპოვებისა და გადამუშავების საწარმოები; კავშირგაბმულობა; მაღაროები; საბადოები და ა.შ. ამ ჯგუფის მომხმარებლები შედარებით უფრო ენერგოტევადი მომხმარებლებია. ამ მომხმარებელთა ელექტრული დატვირთვის რეჟიმი დამოკიდებულია საწარმოს გვარობაზე და სამუშაო ცვლების რაოდენობაზე.

ელექტრული ქსელის სადაბლებელი ქვესადგურის დაბალი ძაბვის სალტეებზე, ზოგადად, მიერთებულია სხვადასხვა ჯგუფის მომხმარებელი და, აქედან გამომდინარე, ამ ქვესადგურის ჯამური დატვირთვა

წარმოადგენს ცალკეული მომხმარებლების მიერ მოთხოვნილ სიმძლავრეთა ჯამს დროის მოცემულ მომენტში. ქვესადგურის ჯამური დატვირთვის მაქსიმუმი ცალკეულ მომხმარებელთა მაქსიმალურ დატვირთვათა ჯამზე ნაკლებია, რაც მაქსიმალურ დატვირთვათა არაერთდროულობითაა განპირობებული. ცალკეული მომხმარებლის მონაწილეობას ჯამური დატვირთვის მაქსიმუმში ე.წ. მაქსიმუმში მოხვედრის ერთდროულობის კოეფიციენტით $K_{ერთდრ.}$ ახასიათებენ. მომხმარებლის მაქსიმუმში მოხვედრის ერთდროულობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ამ მომხმარებლის მუშაობის ხასიათსა და რეჟიმზე. ერთდროულობის კოეფიციენტს, როგორც წესი, განსაზღვრავენ დილისა და საღამოს მაქსიმუმისთვის. სამრეწველო ობიექტების დილის მაქსიმუმის ერთდროულობის კოეფიციენტი $K_{ერთდრ.}=0,70-0,95$, ხოლო განათების დატვირთვისთვის, როგორც დილის, ასევე საღამოს მაქსიმუმისთვის $K_{ერთდრ.}=0,80-1,0$.

სხვადასხვა გამოკვლევებისა და პრაქტიკული დაკვირვებების ანალიზის საფუძველზე [1], საინჟინრო გაანგარიშებისთვის საკმარისი სიზუსტით, შეფასებულია ამა თუ იმ სახის კომპლექსურ მომხმარებელთა მაქსიმუმში მოხვედრის ერთდროულობის კოეფიციენტი (ცხრ. 2.1, ცხრ.2.2). 6-10 კვ ძაბვის საქალაქო მანაწილებელი ქსელის საანგარიშო დატვირთვა განისაზღვრება ცალკეული სატრანსფორმატორო პუნქტის (სპ) საანგარიშო დატვირთვის ცხრ.2.2-ში ნაჩვენები ერთდროულობის კოეფიციენტებზე გამრავლებით.

საცხროვებელი სახლების ელექტრული დატვირთვა იანგარიშება საცხროვებელი ბინების რაოდენობისა (n) და ხვედრითი დატვირთვის ($P_{ხვ.ბინ}$) მიხედვით

$$P_{ბინ.} = P_{ხვ.ბინ} \cdot n.$$

ბინის ხვედრითი ელექტრული დატვირთვის საორიენტაციო მნიშვნელობები მოცემულია 2.3 ცხრილში [1]. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს რაც მეტია ბინების რაოდენობა სახლში, მით ნაკლებია ბინის ხვედრითი ელექტრული დატვირთვა. ეს კანონზომიერება განპირობებულია მომხმარებელთა დატვირთვის ერთდროულობის კოეფიციენტების არსებობით.

ცხრ.2.1. სამრეწველო საწარმოების მაქსიმალური დატვირთვის ერთდროულობის კოეფიციენტი

მაქსიმალური დატვირთვის პერიოდი	საწარმოო დატვირთვის ფარდობა საქალაქო კომუნალურ დატვირთვისთან				
	0,2	0,6	1,0	1,5	3,0
დილა	0,75/0,60	0,80/0,70	0,85/0,75	0,88/0,80	0,92/0,87
სადამო	0,85-0,90	0,65-0,85	0,55-0,80	0,45-0,76	0,30-0,70

შენიშვნა: 1. სტრიქონში “დილა” მრიცხველი გულისხმობს საცხოვრებელ სახლებს ელექტროქურებით, მნიშვნელი კი სახლებს ბუნებრივ აირზე ან მყარ სათბობზე.

2. სტრიქონში “სადამო” კოეფიციენტების დაბალი მნიშვნელობები გულისხმობს ერთცვლიან სამრეწველო საწარმოებს, მაღალი კი ორ- და სამცვლიან სამრეწველო საწარმოებს.

ცხრ.2.2. სატრანსფორმატორო პუნქტების (სპ) დატვირთვის ერთდროულობის კოეფიციენტები

დატვირთვის ხასიათი	სატრანსფორმატორო პუნქტების რიცხვი				
	1-2	3-5	6-10	11-20	>20
საცხოვრებელი უბანი (70% და მეტი საცხოვრებელი სახლები და 30%-მდე საზოგადოებრივი შენობები)	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
საზოგადოებრივი უბანი (70% და მეტი საზოგადოებრივი შენობები და 30%-მდე საცხოვრებელი სახლები)	0,90	0,70	0,65	0,60	0,55

ცხრ.2.3. საცხოვრებელი სახლის ბინის ხვედრითი ელექტრული დატვირთვა

სახლის გათბობის საშუალება	ბინების რაოდენობა				
	≤12	12-40	40-100	100-400	400-1000
ბუნებრივი აირი	1,45	0,8	0,6	0,45	0,4
თხევადი გაზი ან მყარი სათბობი	1,65	1,0	0,8	0,7	0,5
ელექტროენერგია	2,4	1,5	1,15	0,9	0,8

საცხოვრებელი სახლების ძალოვანი დატვირთვა დამოკიდებულია ამ სახლში ლიფტების რაოდენობაზე, მათ დადგმულ სიმძლავრეზე და სხვა სანიტარულ-ტექნიკურ მოწყობილობათა დატვირთვაზე

$$P_{\text{ძალ.}} = K_{\text{ლიფტ.}} \cdot \sum P_{\text{ლიფტ. დადგმ.}} + K_{\text{ს-ტ.}} \cdot \sum P_{\text{ს-ტ. დადგმ.}}$$

სადაც $K_{\text{ლიფტ.}}$, $K_{\text{ს-ტ.}}$ შესაბამის დანადგართა დატვირთვის ერთდროულობის კოეფიციენტი (ცხრ.2.4).

ცხრ.24. $K_{ლიფტ.}$ $K_{ს-ტ}$ კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები

$K_{ლიფტ.}$			$K_{ს-ტ}$			
ლიფტების რაოდენობა	სართულების რაოდენობა		ძრავების რაოდენობა	$K_{ს-ტ}$	ძრავების რაოდენობა	$K_{ს-ტ}$
	12-მდე	≥ 12	2	1,0	30	0,60
4-5	0,7	0,8	5	0,8	50	0,55
10-25	0,5	0,6	10	0,7		
>25	0,35	0,4	20	0,65		

საცხოვრებელი სახლების ჯამური დატვირთვა

$$P_{საცხ.სახლ.} = P_{ბინ} + K_{ერთდრ.} \cdot P_{ძალ}$$

აქ $K_{ერთდრ.}$ რეკომენდირებულია აღებული იქნეს 0,9-ის ტოლად.

დაწესებულებებისა და საზოგადოებრივი შენობების საანგარიშო დატვირთები დადგინდება ამ ობიექტების მახასიათებელი პარამეტრებისა (სასარგებლო ფართი, მოსწავლეთა რაოდენობა, სამუშაო ადგილების რაოდენობა, წარმოებული პროდუქციის მოცულობა და ა.შ.) და ხვედრითი ელექტრული დატვირთვების მიხედვით. ასეთი შენობების ხვედრითი ელექტრული დატვირთვები საორიენტაციო ნორმები ნაჩვენებია ქვემოთ ცხრილში (ცხრ.2.5). ამავე ცხრილში ნაჩვენებია ამ ჯგუფის მომხმარებელთა $\cos\phi$.

ცხრ.2.5. საზოგადოებრივი შენობებისა და დაწესებულებები ხვედრითი ელექტრული დატვირთვები

საზოგადოებრივი შენობა-დაწესებულებები, საზოგადოებრივი კვების ობიექტი	განზომილება	ხვედრითი დატვირთვა	$\cos\phi$
სასუსათო მაღაზია	კვტ/აღვილი	0,65-0,90	0,98
სამრეწველო საქონლის მაღაზია	კვტ/მ ²	0,22	0,8
სკოლა	კვტ/მოსწავლე	0,13-0,22	0,92
ბაგა-ბაღი	კვტ/აღვილი	0,4	0,97
კინო-თეატრი	კვტ/აღვილი	0,12	0,95
ადმინისტრაციული მართვის შენობები	კვტ/მ ²	0,045	0,87
სასტუმროები	კვტ/აღვილი	0,4	0,88
ქიმიური მცირე საწარმოები	კვტ/კვ პროდუქცია	0,065	0,8

[3]-ში ნაჩვენებია შოტლანდიის ორი ქალაქის ელექტრული დატვირთვის სტუქტურა (პროცენტებში) (ცხრ.2.6). ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ ელექტრული დატვირთვის სტუქტურის მიხედვით ეს ქალაქები მკვეთ-

რად განსხვავდებიან ერთმანეთისგან. კერძოდ, ერთი მათგანი (ქ.გოტლანდი) ძირითადად ინდუსტრიული (სამრეწველო) დატვირთვის ქალაქია, ხოლო მეორეში (ქ.სტოკჰოლმი) განთავსებულია უფრო სავაჭრო ორგანიზაციები და საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მომხმარებლები.

ცხრ.2.6. მომხმარებელთა სტრუქტურა ჯგუფების მიხედვით ინდუსტრიულ ქალაქ გოტლანდსა და სტოკჰოლმში

ქალაქი	ელექტრული გათბობა %	ბინები %	კომერციული %	ინდუსტრიული %
გოტლანდი	30	15	15	40
სტოკჰოლმი	-	38	50	12

2.2. მომხმარებელთა სტატიკური მახასიათებლები

ელექტრულ სისტემაში გარდამავალი რეჟიმების გაანგარიშებისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს სისტემის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი, რაც შესაძლებელია მხოლოდ ყოველი კონკრეტული მომხმარებლის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საფუძველზე. გაანგარიშებების ჩატარება, ყოველი კონკრეტული მომხმარებლის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით, პრაქტიკულად შეუძლებელია მომხმარებელთა საკმარისად დიდი სიმრავლისა და მათ შესახებ საწყისი ინფორმაციის მოპოვება-გადაამუშავების თვალსაზრისით. მიუხედავად ამისა, გაანგარიშებებში საკმარისი სიზუსტის შედეგების მისაღწევად, აუცილებელია მეტ-ნაკლები სიზუსტით მათი გათვალისწინება.

ანგარიშების გამარტივების მიზნით ხშირად შემოიფარგლებიან ნაკლებად მკაცრი მიდგომით და მომხმარებლებს, ძაბვისაგან დატვირთვის დამოკიდებულების თვალსაზრისით, პირობითად დაყოფენ სამ მთავარ ტიპად:

1. მუდმივი სიდიდის დატვირთვა;
2. ძაბვაზე წრფივად დამოკიდებული დატვირთვა;
3. ძაბვის კვადრატზე დამოკიდებული დატვირთვა.

დატვირთვის ამ სამი ტიპის საშუალებით, შესაძლებელია შევადგინოთ კომბინირებული დატვირთვის (სხვადასხვა სახის მომხმარე-

ბელთა ჯამური დატვირთვა) მახასიათებელი მეორე რიგის პოლინომის სახით:

$$\frac{P}{P_0} = a_0 + a_1 \left(\frac{U}{U_0}\right) + a_2 \left(\frac{U}{U_0}\right)^2 \quad \text{და} \quad \frac{Q}{Q_0} = b_0 + b_1 \left(\frac{U}{U_0}\right) + b_2 \left(\frac{U}{U_0}\right)^2$$

აქ a_0, a_1, a_2 და b_0, b_1, b_2 მუდმივი კოეფიციენტებია. მათი მნიშვნელობები დამოკიდებულია მოცემული ტიპის დატვირთვის სიდიდეზე და მის ხვედრით წილზე კომბინირებულ (ჯამურ) დატვირთვაში.

დატვირთვების, შედარებით, უფრო დეტალური სტატისტიკური მახასიათებლები მოცემულია [4]-ში. აქ დატვირთვები დაყოფილია უფრო მეტ ტიპებად და, ძაბვის ცვლილების გარდა, გათვალისწინებულია გარემოს ტემპერატურა და ძრავების დატვირთულობის კოეფიციენტები.

სტატისტიკური მახასიათებლების ჩაწერისას შემოღებულია შემდეგი აღნიშვნები (ფარდობითი ერთეულები):

$$\Delta V = V_{act} - 1 \quad - \text{ძაბვის გადახრა ნომინალურიდან;}$$

$$\Delta T = T_{act} - 95^\circ F \quad - \text{კონდიციონერებისთვის გარემოს ტემპერატურის გადახრა საანგარიშოდან;}$$

$$\Delta T = T_{act} - 47^\circ F \quad - \text{“ზამთარი-ზაფხული” მოდულებისათვის გარემოს ტემპერატურის გადახრა საანგარიშოდან;}$$

$$\Delta \tau = \tau_{act} - \tau_{rated} \quad - \text{ასინქრონული ძრავებისათვის ძრავას რეალური მომენტის } \tau_{act} \text{ გადახრა ნომინალური მომენტიდან } \tau_{rated}.$$

ქვემოთ მოყვანილია სხვადასხვა სახის საყოფაცხოვრებო ელექტრომომხმარებლების სტატისტიკური მახასიათებლები ფარდობით ერთეულებში $P_* = P/P_0$, $Q_* = Q/QP_0$:

1. ერთფაზა ცენტრალური კონდიციონერების სისტემის კონდიციონერი

$$P_* = 1,0 + 0,4311 * \Delta V + 0,9507 * \Delta T + 2,07 * \Delta V^2 + 2,388 * \Delta T^2 - 0,9 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,3152 + 0,6636 * \Delta V + 0,5437 * \Delta V^2 + 5,422 * \Delta V^3 + 0,839 * \Delta T^2 - 1,455 * \Delta V * \Delta T$$

2. სამფაზა ცენტრალური კონდიციონერების სისტემის კონდიციონერი

$$P_* = 1,0 + 0,42693 * \Delta V + 0,4879 * \Delta T + 1,005 * \Delta V^2 - 0,188 * \Delta T^2 - 0,154 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,6957 + 2,3717 * \Delta V + 0,0585 * \Delta T + 5,817 * \Delta V^2 - 0,199 * \Delta T^2 - 0,597 * \Delta V * \Delta T$$

3. ოთახის კონდიციონერი

$$P_* = 1,0 + 0,2876 * \Delta V + 0,68767 * \Delta T + 1,241 * \Delta V^2 + 0,089 * \Delta T^2 - 0,558 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,1485 + 0,3709 * \Delta V + 1,5773 * \Delta T + 1,286 * \Delta V^2 + 0,266 * \Delta T^2 - 0,438 * \Delta V * \Delta T$$

4. სამფაზა “ზამთარი-ზაფხული” –გათბობა

$$P_* = 1,0 + 0,4539 * \Delta V + 0,2860 * \Delta T + 1,314 * \Delta V^2 - 0,024 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,9399 + 3,013 * \Delta V - 0,1501 * \Delta T + 7,46 * \Delta V^2 - 0,312 * \Delta T^2 - 0,216 * \Delta V * \Delta T$$

5. სამფაზა “ზამთარი-ზაფხული” –გაცივება

$$P_* = 1,0 + 0,2333 * \Delta V + 0,5915 * \Delta T + 1,362 * \Delta V^2 + 0,075 * \Delta T^2 - 0,093 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,9399 + 3,013 * \Delta V - 0,1501 * \Delta T + 7,46 * \Delta V^2 - 0,312 * \Delta T^2 - 0,216 * \Delta V * \Delta T$$

6. ერთფაზა “ზამთარი-ზაფხული” გათბობა

$$P_* = 1,0 + 0,3953 * \Delta V + 0,3563 * \Delta T + 1,679 * \Delta V^2 + 0,083 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,3427 + 1,9522 * \Delta V - 0,0958 * \Delta T + 6,458 * \Delta V^2 - 0,225 * \Delta T^2 - 0,246 * \Delta V * \Delta T$$

7. ერთფაზა “ზამთარი-ზაფხული” გაცივება

$$P_* = 1,0 + 0,363 * \Delta V + 0,7673 * \Delta T + 2,101 * \Delta V^2 + 0,122 * \Delta T^2 - 0,759 * \Delta V * \Delta T$$

$$Q_* = 0,3605 + 1,683 * \Delta V + 0,2175 * \Delta T + 10,055 * \Delta V^2 - 0,17 * \Delta T^2 - 1,642 * \Delta V * \Delta T$$

8. მაცივარი

$$P_* = 1,0 + 1,3958 * \Delta V + 9,881 * \Delta V^2 + 84,72 * \Delta V^3 + 293 * \Delta V^4$$

$$Q_* = 1,25075 + 4,387 * \Delta V + 23,801 * \Delta V^2 + 154 * \Delta V^3 + 555 * \Delta V^4$$

9. საყინულე

$$P_* = 1,0 + 1,3286 * \Delta V + 12,616 * \Delta V^2 + 133,6 * \Delta V^3 + 380 * \Delta V^4$$

$$Q_* = 1,381 + 4,67027 * \Delta V + 27,276 * \Delta V^2 + 293,0 * \Delta V^3 + 995 * \Delta V^4$$

10. სარეცხი მანქანა

$$P_* = 1,0 + 1,2786 * \Delta V + 3,099 * \Delta V^2 + 5,939 * \Delta V^3$$

$$Q_* = 1,6388 + 4,5733 * \Delta V + 12,948 * \Delta V^2 + 55,677 * \Delta V^3$$

11. სარეცხის საშრობი

$$P_* = 1,0 - 0,1968 * \Delta V - 3,6372 * \Delta V^2 - 28,32 * \Delta V^3$$

$$Q_* = 0,209 + 0,518 * \Delta V + 0,363 * \Delta V^2 - 4,7574 * \Delta V^3$$

12. ტელევიზორი

$$P_* = 1,0 + 1.2471 * \Delta V + 0.562 * \Delta V^2$$

$$Q_* = 0.2431 + 0.983 * \Delta V + 1.647 * \Delta V^2$$

13. ფლუროსცენტური ნათურა

$$P_* = 1,0 + 0.6534 * \Delta V - 1.65 * \Delta V^2$$

$$Q_* = -0.1535 - 0.0403 * \Delta V + 2.734 * \Delta V^2$$

14. ვერცხლის ორთქლის ნათურა

$$P_* = 1,0 + 0.1309 * \Delta V + 0.504 * \Delta V^2$$

$$Q_* = -0.2524 + 2.3329 * \Delta V + 7.811 * \Delta V^2$$

15. ნატრიუმის ნათურა

$$P_* = 1,0 + 0.3409 * \Delta V - 2.389 * \Delta V^2$$

$$Q_* = 0.06 + 2.2173 * \Delta V + 7.62 * \Delta V^2$$

16 ვარვარების ნათურა

$$P_* = 1,0 + 1.5209 * \Delta V + 0.223 * \Delta V^2; \quad Q_* = 0.0$$

17. ელექტროლუმელი

$$P_* = 1,0 + 2.1018 * \Delta V + 5.876 * \Delta V^2 + 1.236 * \Delta V^3; \quad Q_* = 0.0$$

18. მიკროტალღური ღუმელი

$$P_* = 1,0 + 0.0974 * \Delta V + 2.071 * \Delta V^2$$

$$Q_* = 0.2039 + 1.313 * \Delta V + 8.738 * \Delta V^2$$

19. წყლის გამათბობელი

$$P_* = 1,0 + 2.03769 * \Delta V + 2.003 * \Delta V^2; \quad Q_* = 0.0$$

20. საოჯახო ელექტროგამათბობელი, უთო

$$P_* = 1,0 + 2 * \Delta V + \Delta V^2; \quad Q_* = 0.0$$

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი დატვირთვის სახეობებისა მოცემულია, აგრეთვე, ცალფაზა და სამფაზა ასინქრონული ძრავების სტატიკური მახასიათებლები:

21. ერთფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით

$$P_* = 1,0 + 0,35179 * \Delta V + 0.9122 * \Delta \tau + 3.721 * \Delta V^2 + 0.35 * \Delta \tau^2 - 1.326 * \Delta V * \Delta \tau$$

$$Q_* = 0.9853 + 2.7796 * \Delta V + 0.0859 * \Delta \tau + 7.368 * \Delta V^2 + 0.218 * \Delta \tau^2 - 1.799 * \Delta V * \Delta \tau$$

22. სამფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით (1-8 კვტ სიმძლავრის)

$$P_* = 1,0 + 0,225 * \Delta V + 0,9281 * \Delta \tau + 0,97 * \Delta V^2 + 0,086 * \Delta \tau^2 - 0,329 * \Delta V * \Delta \tau$$

$$Q_* = 0,781 + 2,3535 * \Delta V + 0,1023 * \Delta \tau + 5,951 * \Delta V^2 + 0,446 * \Delta \tau^2 - 1,48 * \Delta V * \Delta \tau$$

23. ერთფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით

$$P_* = 1,0 + 0,7101 * \Delta V + 0,9073 * \Delta \tau + 2,13 * \Delta V^2 + 0,245 * \Delta \tau^2 - 0,310 * \Delta V * \Delta \tau$$

$$Q_* = 0,9727 + 2,7621 * \Delta V + 0,077 * \Delta \tau + 6,432 * \Delta V^2 + 0,174 * \Delta \tau^2 - 1,412 * \Delta V * \Delta \tau$$

24. სამფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით (1-8 კვტ სიმძლავრის)

$$P_* = 1,0 + 0,3122 * \Delta V + 0,9286 * \Delta \tau + 0,489 * \Delta V^2 + 0,081 * \Delta \tau^2 - 0,079 * \Delta V * \Delta \tau$$

$$Q_* = 0,7785 + 2,3648 * \Delta V + 0,1025 * \Delta \tau + 5,706 * \Delta V^2 + 0,13 * \Delta \tau^2 - 1,0 * \Delta V * \Delta \tau$$

25. სამფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით (8 კვტ და მეტი)

$$P_* = 1,0 + 0,0199 * \Delta V + 1,0463 * \Delta \tau + 0,341 * \Delta V^2 + 0,116 * \Delta \tau^2 - 0,457 * \Delta V * \Delta \tau$$

$$Q_* = 0,6577 + 1,2078 * \Delta V + 0,339 * \Delta \tau + 54,097 * \Delta V^2 + 0,289 * \Delta \tau^2 - 1,477 * \Delta V * \Delta \tau$$

26. სამფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით (8 კვტ და მეტი)

$$P_* = 1,0 + 0,1628 * \Delta V + 1,0514 * \Delta \tau - 0,099 * \Delta V^2 + 0,107 * \Delta \tau^2 - 0,061 * \Delta V * \Delta \tau$$

$$Q_* = 0,6569 + 1,2467 * \Delta V + 0,3354 * \Delta \tau + 3,685 * \Delta V^2 + 0,258 * \Delta \tau^2 - 1,235 * \Delta V * \Delta \tau$$

ზემოთ ჩამოთვლილი სტატიკური მახასიათებლები გამოიყენება კომპლექსური დატვირთვის მახვენებლიანი ან პოლინომური მოდულების შესაქმნელად

$$P_* = \frac{P}{P_o} \left[\frac{V}{V_o} \right]^{\alpha_v} \left[\frac{f}{f_o} \right]^{\alpha_f} \quad Q_* = \frac{Q}{P_o} \left[\frac{V}{V_o} \right]^{\beta_v} \left[\frac{f}{f_o} \right]^{\beta_f}$$

შეფარდება $\frac{Q}{P_o}$ შეიძლება ვიპოვოთ როგორც

$$tg \varphi = \frac{Q}{P_o} = \mp \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} \text{ ანუ } Q_* = tg \varphi \left[\frac{V}{V_o} \right]^{\beta_v} \left[\frac{f}{f_o} \right]^{\beta_f}$$

მდგრადობის ანალიზის ჩატარებისას უფრო ხშირად გამოიყენება კომპლექსური დატვირთვის პოლინომური მოდელი

$$P = P_o \left[a_o + a_1 \left(\frac{V}{V_o} \right) + a_2 \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \right] [1 + d_p \Delta f]$$

$$Q = Q_o \left[b_o + b_1 \left(\frac{V}{V_o} \right) + b_2 \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \right] [1 + d_p \Delta f]$$

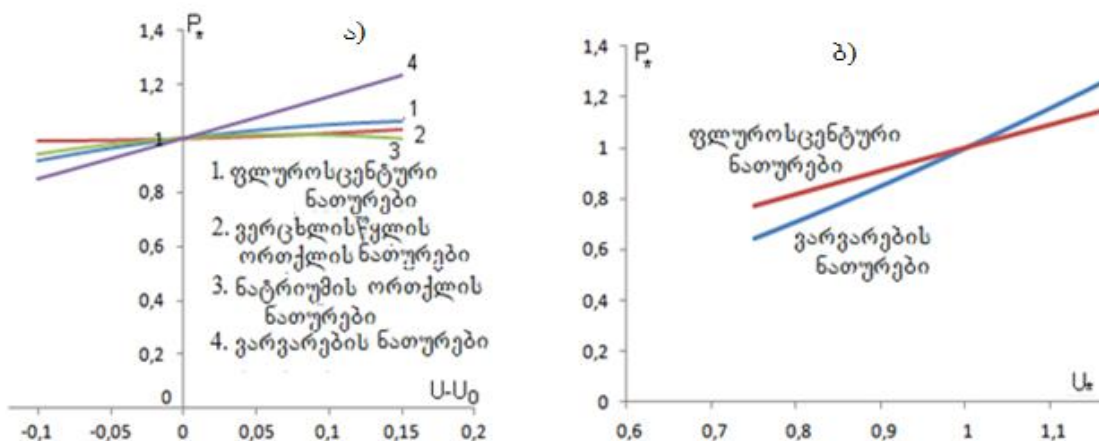
ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (ცხრ.2.7) მოცემულია სხვადასხვა ტიპის მომხმარებლის მაჩვენებლიანი მოდელების შესაბამისი პარამეტრები. აქვე ნაჩვენებია ამ მომხმარებელთა $\cos \varphi$. ამ ცხრილის მონაცემების მიხედვით შედგენილი იქნა სხვადასხვა ტიპის ნათურების პოლინომური (ნახ.2.1,ა) და მაჩვენებლიანი მოდელის (ნახ.2.1,ბ) სტატიკური მახასიათებლები. 2.2 ნახაზზე ნაჩვენებია ასინქრონული ძრავას პოლინომური მოდელის სტატიკური მახასიათებლები.

ცხრ.2.7. მაჩვენებლიანი მოდელების α_v , α_f , β_v , β_f პარამეტრები

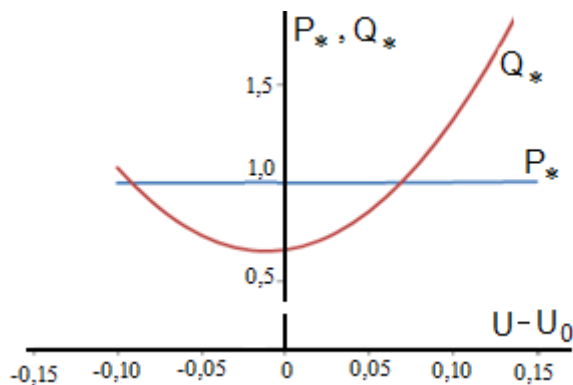
ელექტრომომხმარებელი	$\cos \varphi$	α_v	α_f	β_v	β_f
გათბობის ღუმელი	1	2			
“ზამთარი-ზაფხული” ოჯახის კონდიციონერი	0,84	0,2	0,9	2,5	-1,3
“ზამთარი-ზაფხული” ცენტრალური კონდიციონერი	0.81	0.2	0.9	2.5	-2.7
ოჯახის კონდიციონერი	0.75	0.5	0.6	2.5	-2.8
წყლის გამაცხელებელი	1	2			
მაცივარი	0.84	0.8	0.5	2.5	-1.4
ჭურჭლის სარეცხი მანქანა	0.99	1.8	0	3.5	-1.4
სარეცხი მანქანა	0.65	0.08	2.9	1.6	1.8
ვარვარების ნათურები	1	1.54			
თეთრეულის საშრობი	0.99	2	0	3.3	-2.6
ტელევიზორი	0.77	2.00	5.2	-4.6	0
ფენი	0.73	0.08	2.9	1.6	1.8
ფლუროსცენტული ნათურები	0.9	0.08	1	3	-2.8
ელექტროლიზი	0.9	1.8	-0.3	2.2	
რკალური ღუმელი	0.72	2.3	-1	1.61	-1
მცირე სიმძლავრის ძრავები	0.83	0.1	2.9	0.6	-1.8
დიდი სიმძლავრის ძრავები	0.89	0.05	1.9	0.5	1.2
სოფლის წყლის ტუმბოები	0.85	1.4	5.6	1.4	4.2
ელსადგურების საკუთარი მოხმარება	0.8	0.08	2.9	1.6	1.8

მომხმარებელთა ცალკეული სახეობების მიხედვით დადგენილი მახასიათებლები საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ დატვირთვის ცალკეული ტიპის (ბინის, მინიმარკეტის, სუპერმარკეტის, ქუჩის

განათების, ლიფტების, დაწესებულებების, საამქროების და დიდი საწარმოების) სტატიკური მახასიათებლები. ეს თავის მხრივ მოემსახურება სოფლის, დაბის და ქალაქის კომპლექსური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის მიღებას. ამ უკანასკნელის საფუძველზე შეიძლება აიგოს საქსელო რაიონის კომპლექსური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები 220 ან 110 კვ ძაბვის დონეზე.



ნახ.2.1. განათების ნათურების პოლინომური (ა) და მაჩვენებლიანი (ბ) სტატიკური მახასიათებლები



ნახ. 2.2. ასინქრონული ძრავას პოლინომური სტატიკური მახასიათებელი

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პრაქტიკული სიზუსტის თვალსაზრისით, ელექტრომომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებისთვის საკმარისია ვისარგებლოთ პოლინომის (მეორე ან მესამე რიგის) სახეში ჩაწერილი მათემატიკური მოდელით ძაბვის ფარდობითი მნიშვნელობის მიმართ. ვსარგებლობთ რა სხვადასხვა ავტორების მიერ

ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღებული რეზულტატებით, ყველაზე მეტად გავრცელებული ელექტრომომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, ჩაწერილი $P_*=P/P_0$ და $Q_*=Q/P_0$ სახეში, წარმოვადგინეთ შემდეგი გამოსახულებებით:

A. საყოფაცხოვრებო-კომუნალური მომხმარებლები:

1. ვარვარების ნათურები

$$P_*=-0,288+1,055*U_*+0,233*U_*^2; \quad Q_*=0.$$

2. ტელევიზორი

$$P_*=0,315+0,123*U_*+0,562*U_*^2; \quad Q_*=0,907-2,311*U_*+1,647*U_*^2.$$

3. წყლის გამაცხელებელი

$$P_*=0,965-1,968*U_*+2,003*U_*^2; \quad Q_*=0.$$

4. საოჯახო ელექტროგამათბობელი, უთო

$$P_*=1,0*U_*; \quad Q_*=0.$$

5. ელექტროლუმენი

$$P_*=4,767-9,677*U_*+5,91*U_*^2; \quad Q_*=0.$$

6. მაცივარი

$$P_*=-75,182+236,852*U_*-246,54*U_*^2+85,87*U_*^3;$$

$$Q_*=35,848-76,168*U_*+41,57*U_*^2.$$

7. სარეცხი მანქანა

$$P_*=2,48-4,58*U_*+3,1*U_*^2; \quad Q_*=8,82-20,13*U_*+12,95*U_*^2.$$

8. მტვერსასრუტი

$$P_*=4,204-6,924*U_*+3,72*U_*^2; \quad Q_*=5,58-11,96*U_*+7,368*U_*^2.$$

B. საზოგადოებრივი-კომუნალური მომხმარებლები:

1. დიდი და პატარა მოცულობის სამაცივრო დანადგარები

$$P_*=-0,124+0,75*U_*+0,374*U_*^2; \quad Q_*=1,0-3,03*U_*+3,03*U_*^2.$$

2. ფლუროსცენტური ნათურები

$$P_*=-1,303+3,953*U_*-1,65*U_*^2; \quad Q_*=2,621-5,508*U_*+2,734*U_*^2$$

3. ერთფაზა „ზამთარი-ზაფხული“ გათბობა

$$P_*=2,284-2,963*U_*+1,679*U_*^2; \quad Q_*=4,849-10,964*U_*+6,458*U_*^2.$$

4. ერთფაზა „ზამთარი-ზაფხული“ გაცივება

$$P_*=2,738-3,839*U_*+2,101*U_*^2; \quad Q_*=8,732-18,427*U_*+10,055*U_*^2.$$

5. ტელევიზორი

$$P_*=0,315+0,123*U_*+0,562*U_*^2; Q_*=0,907-2,311*U_*+1,647*U_*^2 .$$

6. მაცივარი

$$P_*=-75,182+236,852*U_*-246,54*U_*^2+85,87*U_*^3;$$

$$Q_*=35,848-76,168*U_*+41,57*U_*^2 .$$

7. ერთფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით

$$P_*=4,203-6,924*U_*+3,721*U_*^2; Q_*=5,57-11,96*U_*+7,37*U_*^2$$

8. ერთფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით

$$P_*=2,42-3,55*U_*+2,13*U_*^2; Q_*=4,64-10,10*U_*+6,43*U_*^2$$

C. სამრეწველო საწარმოები და მათთან გათანაბრებული მომხმარებლები:

1. სამფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით (1-8 კვტ)

$$P_*=1,745-1,715*U_*+0,97*U_*^2; Q_*=4,379-9,548*U_*+5,95*U_*^2$$

2. სამფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით (1-8 კვტ)

$$P_*=1,177-0,666*U_*+0,489*U_*^2; Q_*=4,126-9,047*U_*+5,706*U_*^2$$

3. სამფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით, $P>8$ კვტ

$$P_*=1,321-0,662*U_*+0,341*U_*^2; Q_*=3,547-6,986*U_*+4,097*U_*^2$$

4. სამფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით $P>8$ კვტ

$$P_*=0,738+0,361*U_*-0,099*U_*^2; Q_*=3,095-6,123*U_*+3,685*U_*^2$$

5. ერთფაზა ასინქრონული ძრავა მუდმივი მომენტით

$$P_*=4,203-6,924*U_*+3,721*U_*^2; Q_*=5,57-11,96*U_*+7,37*U_*^2$$

6. ერთფაზა ასინქრონული ძრავა ცვლადი მომენტით

$$P_*=2,42-3,55*U_*+2,13*U_*^2; Q_*=4,64-10,10*U_*+6,43*U_*^2$$

7. სამფაზა „ზამთარი-ზაფხული“ გათბობა

$$P_*=1,860-2,174*U_*+1,314*U_*^2; Q_*=5,387-11,907*U_*+7,46*U_*^2 .$$

8. სამფაზა „ზამთარი-ზაფხული“ გაცივება

$$P_*=2,129-2,491*U_*+1,362*U_*^2 Q_*=5,387-11,907*U_*+7,46*U_*^2 .$$

9. კარბორუნდის ღუმელები

$$P_*=-5,5+11,5*U_*-5,0*U_*^2; Q_*=2,5-1,75*U_* .$$

10. რკალური ღუმელები

$$P_*=-14,94+54,62*U_*-63,16*U_*^2+24,48*U_*^3; Q_*=0 .$$

11. ინდუქციური ღუმელები

$$P_*=U_*^2 Q_*=3,2*U_*^2 .$$

12. ელექტროლიზური დანადგარები

$$P_*=4,377-10,519*U_*+7,142*U_*^2; Q_*=5,958-14,041*U_*+8,567*U_*^2 .$$

13. ელექტროწვევა

$$P_*=U_*^2; Q_*=0,7*U_*^2 .$$

14. რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები ტრანსფორმატორების ფოლადში

$$Q=Q_{\text{ფ.ბ.}}*(0,4+0,6*U_*^{11});$$

აქ $Q_{\text{ფ.ბ.}}=(0,08\div 0,03)*S_n$ - რეაქტიული სიმძლავრის უქმი სვლის დანაკარგები ტრანსფორმატორში. კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობა აიღება დაბალი ძაბვის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, პატარა კი - მაღალი ძაბვის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში.

იმ შემთხვევაში, როცა ცალკეულ მომხმარებელთა შესახებ კონკრეტული მონაცემები არ არის ცნობილი, კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ძაბვის მიხედვით (110-220 კვ ძაბვის დონეზე), რეკომენდირებულია წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით [8]:

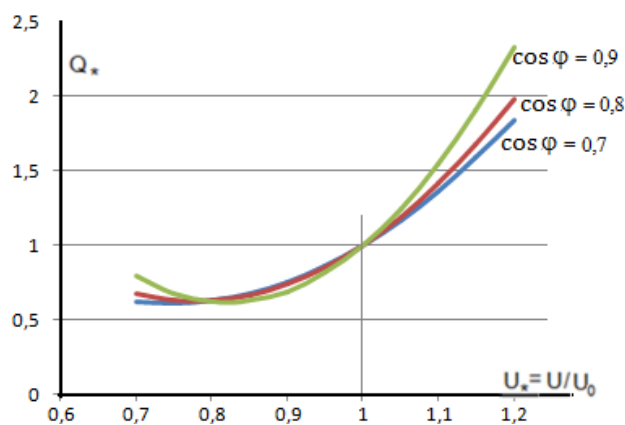
- აქტიური დატვირთვა

$$P_*=U_*;$$

- რეაქტიული დატვირთვა ($Q_*=Q/Q_0$ სახეში)

$$Q_*=\frac{4,15}{\text{tg}\varphi_5}-\frac{9,5}{\text{tg}\varphi_5}*U_*+\left(\frac{5,3}{\text{tg}\varphi_5}+1\right)*U_*^2 .$$

ამ ბოლო გამოსახულების მიხედვით აგებული მრუდები, სხვადასხვა $\text{tg}\varphi_5$ ($\cos\varphi_5$) მნიშვნელობებისთვის, ნაჩვენებია 2.3 ნახაზზე.



ნახ. 2.3. 110-220 კვ ძაბვის სალტეზე კომბინირებული რეაქტიული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები მომხმარებლის სხვადასხვა $\cos\varphi_5$ მნიშვნელობებისას.

ზემოთ მოყვანილი სხვადასხვა სახის ელექტრომიმღებთა სტატიკური მახასიათებლების საფუძველზე შეიძლება დავადგინოთ კონკრეტული სახის კომბინირებული (კომპლექსური) დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი და განვსაზღვროთ ამ მომხმარებელთა დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ძაბვის მიხედვით.

2.3. კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური

მახასიათებლები და მარეგულირებელი ეფექტი

კომბინირებულ მომხმარებელთა სტატიკური მახასიათებლების შესაფასებლად განხილული იქნა ელექტრომიმღებთა სხვადასხვა თანაფარდობის შემადგენლობა მათი მაქსიმუმში მოხვედრის კოეფიციენტის გავალისწინებით.

ერთი ოჯახის (ბინის) კომბინირებული დატვირთვის შემადგენლობა, მათი მაქსიმუმში მოხვედრის კოეფიციენტებით, მოცემულია ქვემოთ:

- ვარვარების ნათურები 450 ვატი; $K_{ნათ} = 0,75$
- მაცივარი 150 ვატი; $K_{მაც} = 0,70$
- სარეცხი მანქანა 1200 ვატი; $K_{სარ} = 0,15$
- ტელევიზორი 80 ვატი; $K_{ტელ} = 0,90$
- უთო 1400 ვატი; $K_{უთო} = 0,25$
- წყლის გამაცხელებელი 1200 ვატი; $K_{წყალი} = 0,6$
- ელექტროგამათბობელი 1500 ვატი; $K_{გათ} = 0,15$
- მტვერსასრუტი 1200 ვატი. $K_{მტვ} = 0,2$.

ბინის მაქსიმალური (დადგმული) დატვირთვა $\sum P = 7,18$ კვტ.

ამ ინფორმაციის მიხედვით ცალკეული ელექტრომიმღების სტატიკური მახასიათებელი (ფარდობით ერთულებში), შემდეგია:

- ვარვარების ნათურები

$$P = 0,45(-0,288 + 1,055 * U_* + 0,233 * U_*^2) \text{ კვტ}; \quad Q = 0$$

- მაცივარი

$$P = 0,15(-75,182 + 236,852 * U_* - 246,54 * U_*^2 + 85,87 * U_*^3) \text{ კვტ};$$

$$Q = 0,15(35,848 - 76,168 * U_* + 41,57 * U_*^2) \text{ კვარ};$$

- სარეცხი მანქანა

$$P=1,2(2,48-4,58* U_*+3,1* U_*^2) \text{ კვტ;}$$

$$Q=1,2(8,82-20,13* U_*+12,95* U_*^2) \text{ კვარ;}$$

- ტელევიზორი

$$P=0,08(0,315+0,123* U_*+0,562* U_*^2) \text{ კვტ;}$$

$$Q=0,08(0,907-2,311* U_*+1,647* U_*^2) \text{ კვარ;}$$

- უთო $P=1,4(1,0* U_*^2) \text{ კვტ; } Q = 0$

- წყლის გამაცხელებელი

$$P=1,2(0,965-1,968* U_*+2,003* U_*^2) \text{ კვტ; } Q = 0;$$

- ელექტროგამათბობელი $P=1,5(1,0* U_*^2) \text{ კვტ; } Q = 0$

- მტვერსასრუტი

$$P=1,2(4,204-6,924* U_*+3,72* U_*^2) \text{ კვტ;}$$

$$Q=1,2(5,58-11,96* U_*+7,368* U_*^2) \text{ კვარ;}$$

მიღებული გამოსახულებები საფუძველზე შეგვიძლია განვსაზღვროთ ერთი ბინის ჯამური დატვირთვა შემდეგი ფორმულებით:

$$P_{ნათ} = K_{ნათ}P_{ნათ} + K_{მაც}P_{მაც} + K_{სარ}P_{სარ} + K_{ტელ}P_{ტელ} + K_{უთო}P_{უთო} + K_{წყ.გ}P_{წყ.გ} + K_{ელ.გ}P_{ელ.გ} + K_{მტვ}P_{მტვ}$$

$$Q = K_{ნათ}Q_{ნათ} + K_{მაც}Q_{მაც} + K_{სარ}Q_{სარ} + K_{ტელ}Q_{ტელ} + K_{უთო}Q_{უთო} + K_{წყ.გ}Q_{წყ.გ} + K_{ელ.გ}Q_{ელ.გ} + K_{მტვ}PQ_{მტვ}$$

ბინის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი ჩაიწერება მაღალი რიგის პოლინომის სახით:

- აქტიური დატვირთვა

$$P=-2,807+12,449* U_*-13,209* U_*^2+5,796* U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვა

$$Q=5,409-11,791* U_*+7,017* U_*^2.$$

ამ გამოსახულებებთან თანახმად, როცა $U=U_0 = U_6$, გვაქვს

$$P_0=2,229 \text{ კვტ და } Q_0=0,634 \text{ კვარ.}$$

შესაბამისად, სტატიკური მახასიათებლების $P_*=P/P_0$ და $Q_*=Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

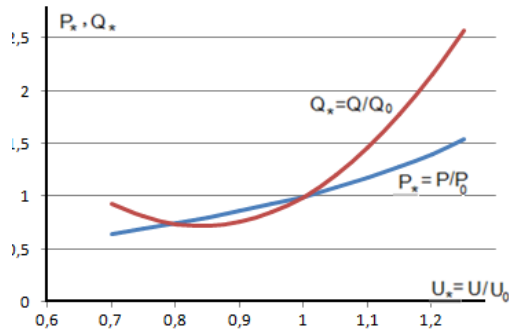
- აქტიური დატვირთვის

$$P_*=-1,259+5,585* U_*-5,926* U_*^2+2,600* U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვის

$$Q_* = 8,531 - 18,598 * U_* + 11,067 * U_*^2.$$

ამ გამოსახულებათა მიხედვით აგებული სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.4 ნახაზზე, სადაც P_0 და Q_0 აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების მნიშვნელობებია $U=U_0 = U_{\mathcal{E}}$ ძაბვისას.

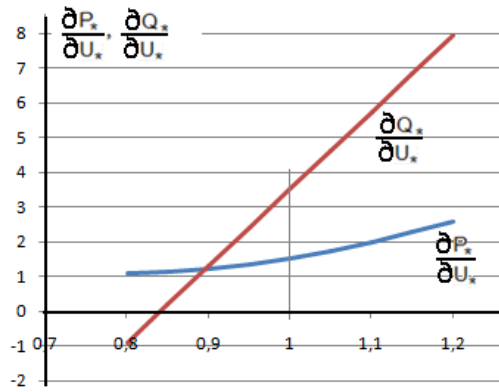


ნახ. 2.4. ერთი კონკრეტული ბინის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე;

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 5,585 - 11,852 * U_* + 7,8 * U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -18,598 + 22,134 * U_*$$

ამ გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი სხვადასხვა მუშა ძაბვისას სხვადასხვაა (ნახ.2.5), რაც მიუთითებს მასზე, რომ სხვადასხვა მუშა ძაბვისას ძაბვის ერთიდაიგივე სიდიდით გადახრა დატვირთვის სხვადასხვა სიდიდით შეიცვლას გამოიწვევს. კერძოდ, ამაღლებული მუშა ძაბვის დროს ძაბვის გადახრა უფრო მეტი სიდიდით გამოიწვევს მომხმარებლის დატვირთვის ცვლილებას, ვიდრე ძაბვის იგივე სიდიდით გადახრა უფრო დაბალი ძაბვის შემთხვევაში. ჩვენს კერძო შემთხვევაში, თუ მუშა ძაბვა $(0,80-0,85) U_{\mathcal{E}}$ -ის ფარგლებში იცვლება, მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვა, პრაქტიკულად, არ იცვლება, რადგანაც რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ძაბვის აღნიშნულ ფარგლებში თითქმის ნულის ტოლია.



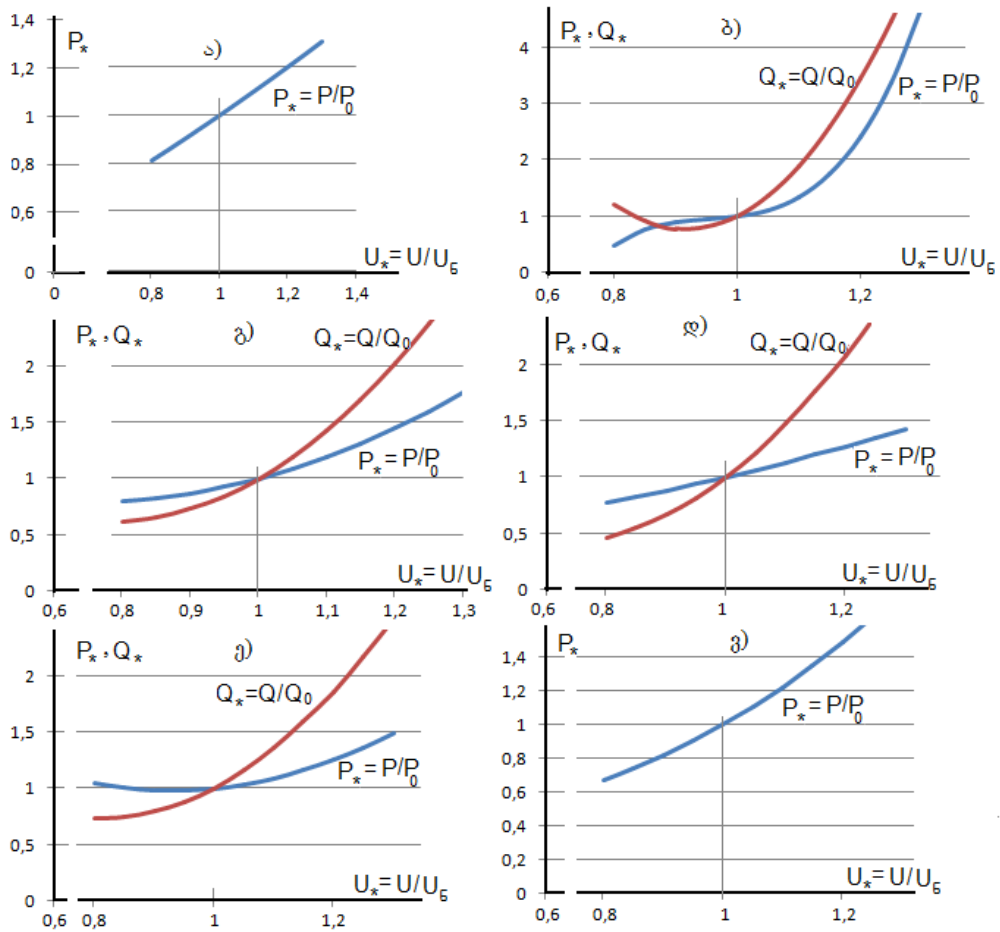
ნახ.2.5. საცხოვრებელი ბინის კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი

მარეგულირებელი ეფექტის გამოყენებით ძაბვის ცვლილების შედეგად გამოწვეული დატვირთვების ცვლილებები გამოითვლება ფორმულებით

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial U_*} \Delta U_* \quad \text{და} \quad \Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial U_*} \Delta U_*$$

საცხოვრებელი ბინის კომბინირებული დატვირთვის ცალკეული ელექტრომიმღების სტატიკური მახასიათებლები მოცემულია 2.6 ნახაზზე.

ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ყველა ელექტრომომხმარებლისთვის, გარდა მტვერსასრუტისა, ძაბვის მიხედვით აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი დადებითია. მტვერსასრუტის შემთხვევაში (ნახ.2.6,ე) $U_* < 0,90 \div 0,92$ ძაბვის მნიშვნელობებისას მარეგულირებელი ეფექტი უარყოფითია და $U_* > 0,98 \div 1,0$ ძაბვის მნიშვნელობებისას დადებითი, ძაბვის $U_* = 0,92 \div 0,98$ მნიშვნელობებისას კი, პრაქტიკულად, ნულის ტოლია. მაცივრის შემთხვევაში იგი, $U_* = 1$ -ის მახლობლობაში, თითქმის, ნულის ტოლია. სხვა ძაბვებზე კი დადებითი. რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი მნიშვნელოვნად სხვადასხვაა. კერძოდ: ვარვარების ნათურები, უთო, სახლის გამათბობელი, წყლის გასათბობი ავზი, რეაქტიულ სიმძლავრეს საერთოდ არ მოიხმარენ; ტელევიზორისთვის ეს ეფექტი დადებითია; მაცივრის შემთხვევაში $U_* < 0,92 \div 0,94$ ძაბვის მნიშვნელობებისას მარეგულირებელი ეფექტი უარყოფითია და $U_* > 0,92 \div 0,94$ ძაბვის მნიშვნელობებისას დადებითი, ძაბვის ამ მნიშვნელობებისას კი, პრაქტიკულად, ნულის ტოლია.



ნახ. 2.6. საცხოვრებელი ბინის კომპლექსური დატვირთვის ცალკეული ელექტრომიმდების სტატიკური მახასიათებლები: ა) ვარვარების ნათურები; ბ) მაცივარი; გ) სარეცხი მანქანა; დ) ტელევიზორი; ე) მტვერსასრუტი; ვ) წყლის გამაცხელებელი.

ამ მომხმარებელთა, როგორც კომბინირებული დატვირთვის, სტატიკური მახასიათებლის მიხედვით კი ჩანს, რომ რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი $U_* = 0,80 \div 1,12$ ძაბვის შუალედში დადებითია. ძაბვის ამ ქვედა ზღვრულ მნიშვნელობებისას ნულის ტოლი ხდება და მის უფრო დაბალ მნიშვნელობაზე უარყოფითია.

50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსის კომბინირებული დატვირთვის შემადგენლობა (ზამთრის სეზონი), მათი მაქსიმუმში მოხვედრის კოეფიციენტების გათვალისწინებით, მოცემულია ქვემოთ (ცხრ.2.8).

ცხრ.2.8. 50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსის დატვირთვა

ელექტრომიმღები	დატვირთვა $K_{მავს} \cdot n \cdot P$, კვტ.	
	სადამოს მაქსიმუმი	დილის მაქსიმუმი
ვარვარების ნათურები	$1,0 \cdot 50 \cdot 0,1 = 5,0$	$0,3 \cdot 50 \cdot 0,1 = 1,5$
ტელევიზორი	$1,0 \cdot 50 \cdot 0,08 = 4,0$	$0,3 \cdot 50 \cdot 0,08 = 1,2$
მაცივარი	$0,6 \cdot 50 \cdot 0,15 = 4,5$	$0,6 \cdot 50 \cdot 0,15 = 4,5$
სარეცხი მანქანა	$0,2 \cdot 50 \cdot 1,2 = 12,0$	$0,4 \cdot 50 \cdot 1,2 = 24,0$
მტვერსასრუტი	$0,1 \cdot 50 \cdot 1,2 = 6,0$	$0,3 \cdot 50 \cdot 1,0 = 15,0$
წყლის გამაცხელებელი	$0,2 \cdot 50 \cdot 3,0 = 30,0$	$0,1 \cdot 50 \cdot 3,0 = 15,0$
უთო	$1,0 \cdot 50 \cdot 1,2 = 6,0$	$0,2 \cdot 50 \cdot 1,2 = 12,0$
სახლის გამათბობელი	$0,8 \cdot 40 \cdot 1,5 = 48,0$	$0,1 \cdot 40 \cdot 1,5 = 6,0$
კონდიციონერი “ზამთარი-ზაფხული”	$0,8 \cdot 10 \cdot 4,0 = 32,0$	$0,1 \cdot 10 \cdot 4,0 = 4,0$
ლიფტები	$0,5 \cdot 2 \cdot 5 = 5,0$	$0,25 \cdot 2 \cdot 5 = 2,5$
სულ	152,5	85,7

სადამოს მაქსიმუმში ცალკეულ ელექტრომიმღების სტატიკური მახასიათებელთა გათვალისწინებით ვღებულობთ:

- აქტიური დატვირთვა

$$P = -160,457 + 786,621 \cdot U_* - 860,079 \cdot U_*^2 + 386,415 \cdot U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვა

$$Q = 459,432 - 1007,704 \cdot U_* + 599,917 \cdot U_*^2.$$

ამ გამოსახულებებათა თანახმად, როცა $U = U_0 = U_{\text{ფ}}$, გვაქვს

$$P_0 = 152,5 \text{ კვტ და } Q_0 = 51,645 \text{ კვარ.}$$

შესაბამისად, სტატიკური მახასიათებლების $P_* = P/P_0$ და $Q_* = Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

- აქტიური დატვირთვის

$$P_* = -1,052 + 5,158 \cdot U_* - 5,640 \cdot U_*^2 + 2,534 \cdot U_*^3;$$

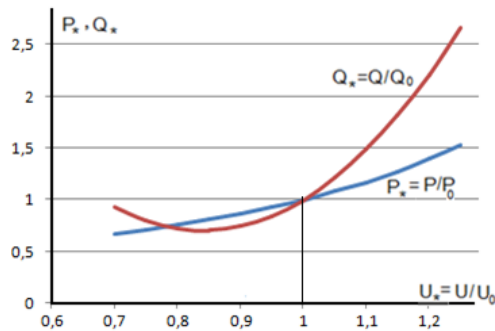
- რეაქტიული დატვირთვის

$$Q_* = 8,896 - 19,512 \cdot U_* + 11,616 \cdot U_*^2.$$

ამ გამოსახულებათა მიხედვით აგებული სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.7 ნახაზზე, სადაც P_0 და Q_0 აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების მნიშვნელობებია $U = U_0 = U_{\text{ფ}}$ ძაბვისას.

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ევექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე;

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 5,158 - 11,28 * U_* + 7,61 * U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -19,51 + 23,24 * U_*$$



ნახ.2.7. 50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

ანალოგიური გამოთვლებით შევადგინეთ ადმინისტრაციული შენობების და ოფისების კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების $P_* = P/P_0$ და $Q_* = Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები:

- აქტიური დატვირთვის

$$P_* = 2,292 - 3,108 * U_* + 1,692 * U_*^2 + 0,124 * U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვის

$$Q_* = 21,974 - 46,471 * U_* + 25,497 * U_*^2.$$

ამ გამოსახულებათა მიხედვით აგებული სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.8.ა ნახაზზე, სადაც P_0 და Q_0 აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის მნიშვნელობებია $U = U_0 = U_{\bar{}}$ ძაბვისას.

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე;

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = -3,108 + 3,384 * U_* + 0,372 * U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -46,471 + 50,994 * U_*$$

დამის პერიოდში, შესაბამისად, გვაქვს:

- აქტიური დატვირთვა

$$P = 3,766 + 98,4936 * U_* - 125,28 * U_*^2 + 60,109 * U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვა

$$Q = 226,768 - 488,702 * U_* + 281,238 * U_*^2.$$

ამ გამოსახულებებათა თანახმად, როცა $U = U_0 = U_{\bar{}}$, გვაქვს

$$P_0 = 37,089 \text{ კვტ} \text{ და } Q_0 = 19,304 \text{ კვარ.}$$

შესაბამისად, სტატიკური მახასიათებლების $P_*=P/P_0$ და $Q_*=Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

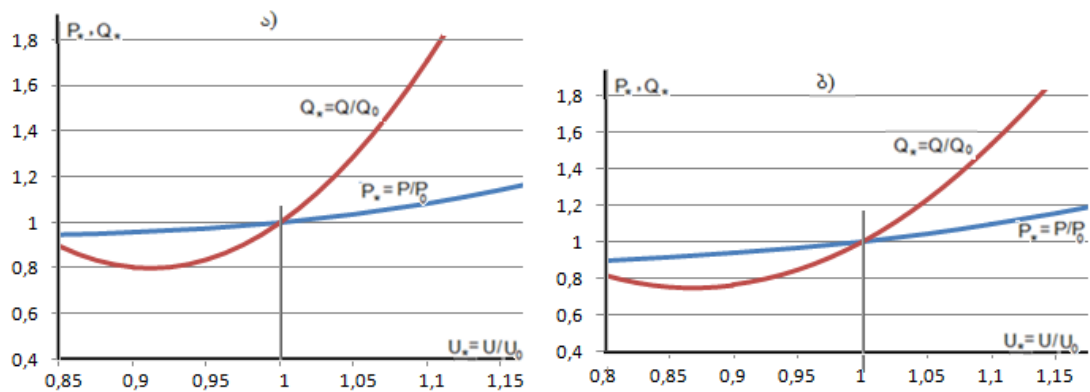
- აქტიური დატვირთვის

$$P_*=0,102+2,655*U_*-3,378*U_*^2+1,621*U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვის

$$Q_*=11,747-25,316*U_*+14,569*U_*^2.$$

ამ გამოსახულებათა მიხედვით აგებული სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.8.ბ ნახაზზე, სადაც P_0 და Q_0 აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის მნიშვნელობებია $U=U_0 = U_{\sigma}$ ძაბვისას.

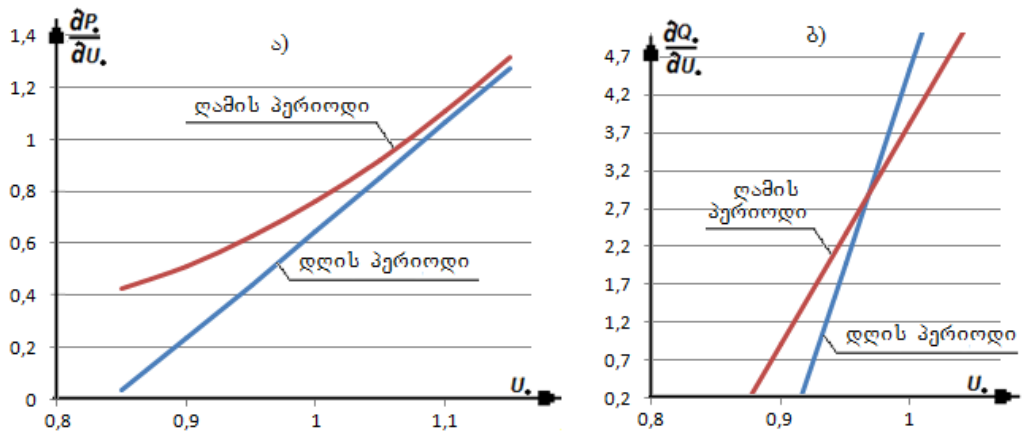


ნახ.2.8. ადმინისტრაციული შენობების და ოფისების დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები: ა) დღის პერიოდი; ბ) ღამის პერიოდი

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე:

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 2,655 - 6,756*U_* + 4,863*U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -25,316 + 29,138*U_*$$

შედარებისთვის, 2.9 ა,ბ ნახაზებზე ნაჩვენებია ადმინისტრაციული შენობების და ოფისების კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის ცვლილების გრაფიკები მუშა ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას.



ნახ.2.9. ადმინისტრაციული შენობების და ოფისების აქტიური (ა) და რეაქტიული (ბ) დატვირთვების მარეგულირებელი ეფექტი

როგორც 2.9 ნახაზიდან ჩანს, დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი დღისა და ღამის პერიოდებში სხვადასხვა სიდიდისაა, რადგანაც მნიშვნელოვნად იცვლება კომბინირებული დატვირთვის შემადგენლობა. კერძოდ, თუ დღის პერიოდში ჯამურ დატვირთვაში კონდიციონერების ხვედრითი წილი შეადგენდა 89%-ს, ღამის პერიოდში ეს წილი დაეცა 55%-მდე, მაშინ, როცა სამაცივრო დანადგარების ხვედრითი წილი 2,1%-დან (დღის პერიოდი) გაიზარდა 27,5%-მდე (ღამის პერიოდი).

მსხვილი სამრეწველო საწარმოს საწარმოს კომბინირებული დატვირთვის შემადგენლობაში შედის დიდი და პატარა სიმძლავრის სამფაზა ასინქრონული ძრავები, ერთფაზა ასინქრონული ძრავები, ელექტროლიზური დანადგარები, სამაცივრო დანადგარები, “ზამთარი-ზაფხული” ტიპის კონდიციონერები და ა.შ. საწარმოს ჯამური დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 1600 კვტ-ს.

საწარმოს კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებს აქვს შემდეგი სახე:

$$P=1568,82-1233,751*U_*+465,859*U_*^2+257,61*U_*^3;$$

$$Q=4454,24-9410,71*U_*+5724,47*U_*^2.$$

ამ გამოსახულებებათა თანახმად, როცა $U=U_0 = U_6$, გვაქვს

$$P_0=1058,0 \text{ კვტ და } Q_0=768,0 \text{ კვარ.}$$

შესაბამისად, სტატიკური მახასიათებლების $P_*=P/P_0$ და $Q_*=Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

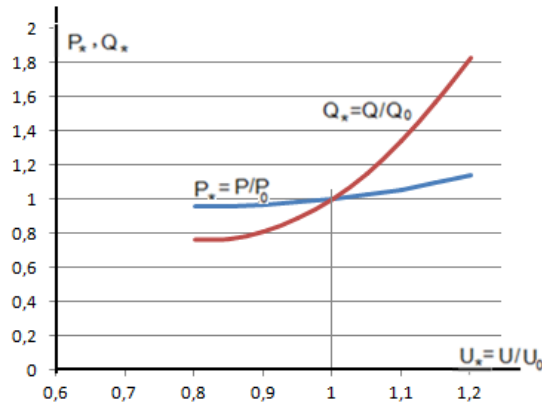
- აქტიური დატვირთვის

$$P_*=1,483-1,166*U_*+0,44*U_*^2+0,243*U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვის

$$Q_* = 5,8 - 12,254 * U_* + 7,454 * U_*^2.$$

სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.10 ნახაზზე, სადაც P_0 და Q_0 აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების მნიშვნელობებია $U=U_0 = U_{\mathcal{E}}$ დაბვისას.



ნახ.2.10. მსხვილი სამრეწველო საწარმოს კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე:

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = -1,166 + 0,88 * U_* + 0,729 * U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -12,254 + 14,908 * U_*$$

როგორც ვხედავთ, $U=U_0 = U_{\mathcal{E}}$ დაბვისას $\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 0,443$ და $\frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = 2,656$.

ეს იმას ნიშნავს, რომ თუ დაბვა შეიცვლება 1%-ით, მაშინ აქტიური დატვირთვა შეიცვლება 0,443%-ით ანუ $1058 \cdot 0,443/100 = 4,69$ მგვტ-ით და რეაქტიული დატვირთვა შეიცვლება 2,656%-ით ანუ $768 \cdot 2,656/100 = 20,4$ მგვარ-ით.

ქალაქის საცხოვრებელი რაიონის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის აგება და კვლევა ჩავატაროთ მომხმარებელთა შემდეგი შემადგენლობისთვის:

- 50 კერძო საცხოვრებელი ბინა $P = 50 \times 2,229 = 111,45$ კვტ - 0,5%;
- 100 50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსი $P = 100 \times 152,5 = 15250$ კვტ - 68,3%;
- 10 საწარმო ოფისი $P = 10 \times 483,7 = 4837$ კვტ - 21,7%;
- 2 მსხვილი სამრეწველო საწარმო $P = 2 \times 1058 = 2116$ კვტ - 9,5%.

კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებს აქვს შემდეგი სახე:

$$P = -1475,184 + 61781,29 * U_* - 78038,909 * U_*^2 + 40047,246 * U_*^3;$$

$$Q = 93977,767 - 202370,56 * U_* + 116892,715 * U_*^2.$$

ამ გამოსახულებებთან თანახმად, როცა $U_* = 1$, გვაქვს

$$P_0 = 22314,45 \text{ კვტ} \text{ და } Q_0 = 8499,9 \text{ კვარ.}$$

შესაბამისად, სტატიკური მახასიათებლების $P_* = P/P_0$ და $Q_* = Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

- აქტიური დატვირთვის

$$P_* = -0,066 + 2,769 * U_* - 3,497 * U_*^2 + 1,794 * U_*^3;$$

- რეაქტიული დატვირთვის

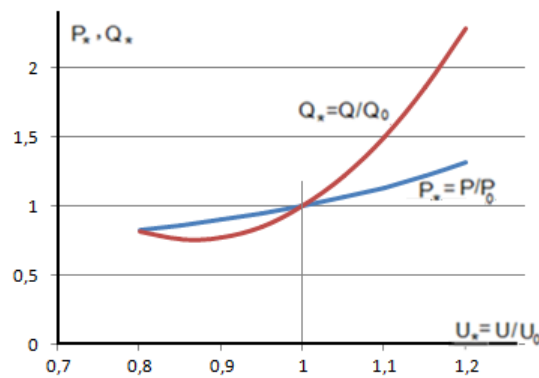
$$Q_* = 11,076 - 23,808 * U_* + 13,732 * U_*^2.$$

სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.11 ნახაზზე.

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე;

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 2,769 - 6,994 * U_* + 5,382 * U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -23,808 + 27,464 * U_*$$

შესაბამისად, $U_* = 1$ დაბვისას $\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 1,157$ და $\frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = 3,656$.



ნახ.2.11. ქალაქის საცხოვრებელი რაიონის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

ქალაქის სამრეწველო რაიონის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის აგება და კვლევა ჩავატაროთ მომხმარებელთა შემდეგი შემადგენლობისთვის:

- 30 კერძო საცხოვრებელი ბინა $P = 30 * 2,229 = 66,87$ კვტ - 0,27%;

- 20 50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსი $P = 20 \times 152,5 = 3050$ კვტ - 11,89%;
- 25 საწარმოო ოფისი $P = 25 \times 483,7 = 12092,5$ კვტ - 46,89%;
- 10 მსხვილი სამრეწველო საწარმო $P = 10 \times 1058 = 10580$ კვტ - 41,01%.

კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებს აქვს შემდეგი სახე:

$$P = 41320,307 - 33804,18 * U_* + 6297,344 * U_*^2 + 11977,734 * U_*^3;$$

$$Q = 151031,147 - 320062,028 * U_* + 182183,199 * U_*^2.$$

ამ გამოსახულებებთან თანახმად, როცა $U_* = 1$, გვაქვს

$$P_0 = 25791,21 \text{ კვტ და } Q_0 = 13152,32 \text{ კვარ.}$$

შესაბამისად, სტატიკური მახასიათებლების $P_* = P/P_0$ და $Q_* = Q/Q_0$ საანგარიშო გამოსახულებები ჩაიწერება შემდეგ სახეში:

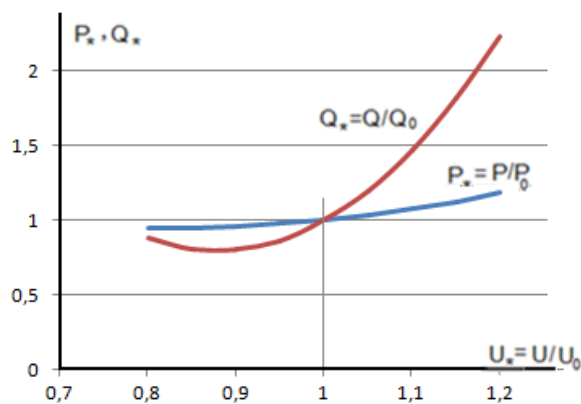
- აქტიური დატვირთვის $P_* = 1,602 - 1,311 * U_* + 0,245 * U_*^2 + 0,464 * U_*^3$;
- რეაქტიული დატვირთვის $Q_* = 11,483 - 24,335 * U_* + 13,852 * U_*^2$.

სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 2.12 ნახაზზე.

მიღებული მახასიათებლების მიხედვით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე:

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = -1,311 + 0,49 * U_* + 1,392 * U_*^2 \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -24,335 + 27,704 * U_*$$

შესაბამისად, $U_* = 1$ ძაბვისას $\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 0,571$ და $\frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = 3,369$.



ნახ.2.12. ქალაქის სამრეწველო რაიონის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

განხილული კონკრეტული შემთხვევების ზოგადი მაჩვენებლები მოცემულია ქვემოთ 2.9 ცხრილში.

განხილული კონკრეტული შემთხვევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ძაბვის მიხედვით აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი, $U_* = 1$ ძაბვის მახლობლობაში, როცა კომბინირებულ დატვირთვაში ჭარბობს საყოფაცხოვრებო-კომუნალური ელექტრომიმღებები, მოთავსებულია 1,3÷1,7 ფარგლებში, ხოლო როცა კომბინირებულ დატვირთვაში ჭარბობს საზოგადოებრივი-კომუნალური ან სამრეწველო ხასიათის ელექტრომიმღებები, მაშინ მარეგულირებელი ეფექტი მოთავსებულია 0,4÷0,7 ფარგლებში. უფრო მაღალი ძაბვებისას ($U_* = 1,1÷1,2$) აღნიშნული ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობა შესაბამისად იზრდება 2,0÷2,6-მდე და 1,0÷1,5-მდე, ხოლო უფრო დაბალი ძაბვებისას ($U_* = 0,8÷0,9$) მცირდება თითქმის 1-მდე და უფრო ქვევით. იმ შემთხვევაში, როცა კომბინირებულ დატვირთვაში ჭარბობს საზოგადოებრივი-კომუნალური ან სამრეწველო ხასიათის ელექტრომიმღებები, აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი, ($U_* = 0,8÷0,9$) ძაბვებისას, თითქმის ნულის ტოლია და შეიძლება უარყოფითიც კი გახდეს (საწარმოო ოფისი, ქალაქის სამრეწველო რაიონი). რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი $U_* = 1$ ძაბვის მახლობლობაში 2,5÷4,5 ფარგლებში იცვლება. უფრო მაღალი ძაბვებისას ($U_* = 1,1÷1,2$) 4-6 და უფრო მეტ მნიშვნელობებს აღწევს, $U_* = 0,83÷0,85$ მნიშვნელობებისას ნულამდე მცირდება და კიდევ უფრო დაბალი ძაბვებისას ხდება უარყოფითი (ცხრ.2.10).

ცხრ.2.9. კომბინირებული დატვირთვების მახასიათებელი პარამეტრები

დასახელება	პარამეტრები											
	კერძო საცხოვრებელი ბინა		50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსი		ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები		სამრეწველო საწარმო		ქალაქის საცხოვრებელი რაიონი		ქალაქის სამრეწველო რაიონი	
	კვტ	%	კვტ	%	კვტ	%	კვტ	%	კვტ	%	კვტ	%
ვარვარების ნათურები	0,337	15,1	5,0	3,3	-		-		518	2,3	110	0,4
მაცივარი	0,105	4,7	4,5	3,0	0,7	0,1	12,0	1,1	487	2,2	230	0,9
სარეცხი მანქანა	0,18	8,1	12,0	7,8	-		-		1209	5,4	245	0,9
თელევიზორი	0,072	3,2	4,0	2,6	0,8	0,2	3,0	0,3	415	1,9	132	0,6
უთო	0,35	15,7	6,0	3,9	-		-		618	2,8	131	0,6
წყლის გამაცხელებელი	0,72	32,3	30,0	19,7	5,0	1,1	30,0	2,8	3146	14,1	1047	4,1
მტვერსასრუტი	0,24	10,8	6,0	3,9	-		-		612	2,7	127	0,5
სახლის გამათბობელი	-		48,0	31,5	-		-		4800	21,5	960	3,7
ელექტროგამათბობელი	0,225	10,1	-		-		-		11,0	0,1	7,0	0
კონდიციონერები	-		32,0	21,0	430	88,8	220	20,8	7940	35,6	13590	53
ფლუროსცენტური ნათურები	-		-		11,5	2,4	85,0	8,0	285	1,3	1139	4,4
დიდი მოც. მაცივრები	-		-		10,0	2,1	35,0	3,3	170	0,8	600	2,3
კომპიუტერები	-		-		16,0	3,3	25,0	2,4	210	0,9	650	2,5
ლიფტები	-		5,0	3,3	9,0	1,9	15,0	1,4	120	0,5	375	1,6
სამფაზა ასინქ. ძრავები	-		-		-		210	19,8	420	1,9	2100	9,2
ერთფაზა ასინქრონული ძრავები	-		-		-		350	33,2	700	3,1	3500	13,6
ელექტროლიზური დანადგ.	-		-		-		55,0	5,2	110	0,5	550	2,1
სხვადასხვა	-		-		0,7	0,1	18,0	1,7	543	2,4	7,0	0
ჯამური დატვირთვა	2,229	100	152,5	100	484	100	1058	100	22315	100	25791	100
$\frac{\partial P_*}{\partial U_*}$, როცა $U_* = 1$	1,53		1,49		0,65		0,44		1,16		0,57	
$\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}$, როცა $U_* = 1$	3,54		3,73		4,52		2,65		3,66		3,37	

ცხრ.2.10. კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი

კომბინირებული დატვირთვის სახეობა	მარეგულ. ეფექტი	U_*						
		0,8	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,2
კერძო საცხოვრებელი ბინა	$\partial P_*/\partial U_*$	1,095	1,236	1,365	1,533	1,74	1,986	2,595
	$\partial Q_*/\partial U_*$	-0,891	1,323	2,429	3,536	4,643	5,75	7,96
50-ბინიანი საცხოვრებელი კორპუსი	$\partial P_*/\partial U_*$	0,999	1,164	1,303	1,48	1,70	1,95	2,57
	$\partial Q_*/\partial U_*$	-0,94	1,38	2,54	3,70	4,86	6,06	8,34
ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები	$\partial P_*/\partial U_*$	-0,163	0,239	0,443	0,648	0,855	1,064	1,488
	$\partial Q_*/\partial U_*$	-5,68	-0,576	1,973	4,523	7,073	9,62	14,72
სამრეწველო საწარმო	$\partial P_*/\partial U_*$	0,005	0,216	0,328	0,443	0,562	0,684	0,94
	$\partial Q_*/\partial U_*$	-0,326	1,165	1,91	2,656	3,402	4,15	5,64
ქალაქი საცხოვრებელი რაიონი	$\partial P_*/\partial U_*$	0,619	0,835	0,983	1,158	1,36	1,59	2,13
	$\partial Q_*/\partial U_*$	-1,837	0,91	2,283	3,656	5,029	6,402	9,15
ქალაქის სამრეწველო რაიონი	$\partial P_*/\partial U_*$	-0,025	0,261	0,415	0,575	0,743	0,917	1,286
	$\partial Q_*/\partial U_*$	-2,172	0,599	1,984	3,369	4,754	6,139	8,91

როგორც აღნიშნული იყო, ელექტრული სისტემის დინამიკური მდგრადობის მოდელირება ხორციელდება მაღალი (500-220 კვ) ძაბვის ქსელისთვის. ამ შემთხვევაში უფრო დაბალი ძაბვის საღებებზე მიერთებული სხვადასხვა სახის მომხმარებელთა ჯამური დატვირთვა მიერთებული უნდა იქნეს მაღალი ძაბვის კვანძებში და, ამასთან, მათთვის დადგენილი უნდა იქნეს ადეკვატური სახის სტატიკური მახასიათებლები. ცალკეული მომხმარებლის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები კი, როგორც წესი, ცნობილია 6-10 კვ ძაბვის დონეზე.

აქედან გამომდინარე, დღის წესრიგში დგას ამოცანა, რომელიც გულისხმობს:

- სამომხმარებლო ქვესადგურების 6-10 კვ ძაბვის დონეზე დადგენილი იქნეს კომბინირებული დატვირთვის სტრუქტურა;
- ელექტრომიმღებების დატვირთვის რეალური სტატიკური მახასიათებელთა ბაზაზე დადგინდეს სამომხმარებლო ქვესადგურების 6-10 კვ ძაბვაზე მიერთებული კომბინირებული დატვირთვის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლები;
- მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილი იქნეს იმ კომბინირებული დატვირთვის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლები, რომლებიც კვებას ღებულობს ელექტროსისტემის 220/110 კვ ძაბვის კონკრეტული ქვესადგურიდან;
- გამოკვლეული იქნეს და შეფასდეს კომბინირებული დატვირთვის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებელზე ელექტროსისტემის 220/110 კვ ძაბვის მოცემული ქვესადგურიდან გამავალი 110-35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელის გავლენა.

დასკვნა თავი 2-ის მიმართ

თავი 2-ში ჩატარებულია არსებული ტექნიკური ლიტერატურის მიმოხილვა, მოყვანილია სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული სტატიკური მახასიათებლების მათემატიკურად ჩაწერის მოდელები და გაანალიზებულია ამ მახასიათებელთა სახასიათო პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები.

ამ თავში განხილულია კომბინირებული დატვირთვის კონკრეტული კერძო შემთხვევები. მათთვის შედგენილი იქნა პოლინომური სახის (მეორე-მესამე რიგის) სტატიკური მახასიათებლები და ყველა კონკრეტული შემთხვევისთვის გამოთვლილი იქნა დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობები.

დასმულია კომბინირებული დატვირთვის პოლინომური სახის სტატიკური მახასიათებლების დადგენის ამოცანა და ჩამოყალიბებულია ამ ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდოლოგია ყოველი კონკრეტული ელექტრული ქსელისთვის.

დადგენილი იქნა, რომ ადმინისტრაციული შენობებისა და საწარმოო ოფისებისთვის დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი დღისა და ღამის პერიოდებში სხვადასხვა სიდიდისაა (ნახ. 2.9). რაც განპირობებულია კომბინირებული დატვირთვის შემადგენლობის მნიშვნელოვანი ცვლილებით. ეს განსხვავება, როცა $U_*=1$, აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტისთვის შეადგენს 16,17%-ს, ხოლო რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტისთვის კი - 20,1%-ს. როცა $U_*=0,95$, შესაბამისად გვაქვს 34,2% და 18,07%, ხოლო $U_*=1,05$ ძაბვისას კი გვაქვს 7,65% და 29,05%.

თავი 3. საქართველოს ენერგოსისტემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესების ზოგადი ანალიზი

3.1. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის გავლენა გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობაზე

ენერგოსისტემაში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობაზე, როგორც ავნიშნეთ (§2.3), მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ის, თუ რა სახის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების მქონე მომხმარებლებია მიერთებული ელექტრულ ქსელზე. ქვემოთ განხილულია რამდენიმე მაგალითი, რომელთა განხილვის მიზანია მომხმარებელთა სხვადასხვა სახის დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებით წარმოდგენის შემთხვევაში გამოვავლინოთ რა მასშტაბებისა და ხასიათის გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობას აქვს ადგილი ენერგოსისტემაში.

მაგალითი 1. საქართველოს ენერგოსისტემის პარალელური მუშაობა რუსეთის ენერგოსისტემასთან. სისტემათაშორისი ელექტროგადაცემის ხაზით “კაკასიონით” რუსეთის ენერგოსისტემიდან საქართველოს ენერგოსისტემაში შემოედინება 497+j10 მგვა სიმძლავრე, ხოლო ახალციხის ქვესადგურიდან, მუდმივი დენის ჩანართის გავლით, თურქეთის ენერგოსისტემაში გაედინება 600 მგვტ. შეერთების ელექტრული სქემა, რომლის დროსაც განხილული იქნა სისტემის დინამიკური მდგრადობის მოდელირება და გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზი, შეიცავს საქართველოს ენერგოსისტემის 500-220 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ქსელს, ქვესადგურებს, უშუალოდ ამ ქსელზე მიერთებულ ელექტროსადგურებს და 110 კვ ძაბვის იმ ქსელსა და ელექტროგადაცემის ხაზებს, რომელთა საშუალებით სისტემის დანარჩენი ელექტროსადგურები მიერთებულია მაღალი ძაბვის ქსელთან.

ეგს “კაკასიონის” ავარიული გამორთვა საქართველოს ელექტროსისტემაში იწვევს აქტიური სიმძლავრის დეფიციტს და სიხშირე იწვებს შემცირებას. შემდგომში, სიხჩარის რეგულატორების ზემოქმედებით, სიხშირე უბრუნდება ნორმალურ სიდიდეს. გარდამავალი პროცესი მოდელირებული იქნა PSS/E პროგრამული კომპლექსის საშუალებით სამ სხვადასხვა შემთხვევაში (ნახ.3.1). ერთ შემთხვევაში დატვირთვა წარმოდგენილი იყო მუდმივი სიდიდის გამტარობით, მეორე შემთხვე-

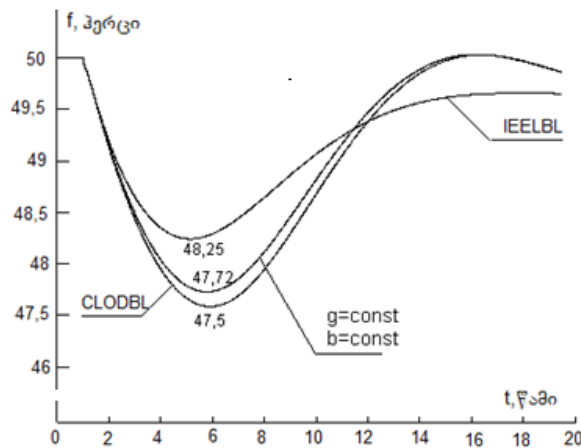
ვაში CLODBL (მაჩვენებლიანი სტატიკური მახასიათებელი) მოდელით და მესამეში შემთხვევაში IEELBL (პოლინომური სტატიკური მახასიათებელი) მოდელით. CLODBL და IEELBL დატვირთვის მოდელები PSS/E პროგრამული კომპლექსის თანდართული მოდელებია.

CLODBL მოდელი (ნახ.3.3)-ზე ნაჩვენები სახისაა, ხოლო IEELBL შემდეგი სახის ფუნქციაა:

$$P = P_{load}(a_1U^{n1} + a_2U^{n2} + a_3U^{n3})(1 + a_7\Delta f)$$

$$Q = Q_{load}(a_4U^{n4} + a_5U^{n5} + a_6U^{n6})(1 + a_8\Delta f).$$

a_1, a_2, \dots, a_8 კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები დატვირთვის ტიპის მიხედვით აიღება შესაბამისი ცხრილებიდან.

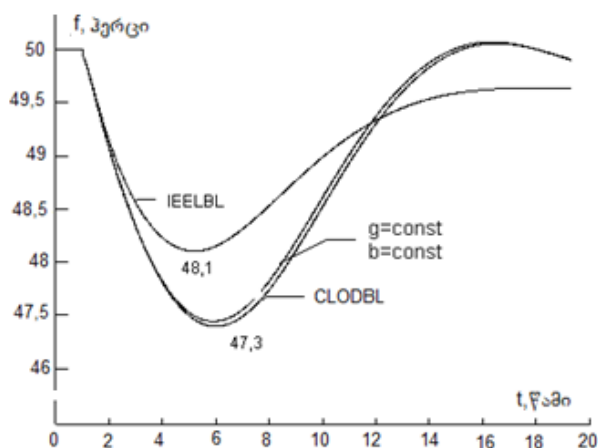


ნახ.3.1. PSS/E პროგრამული კომპლექსის საშუალებით მოდელირებული გარდამავალი პროცესი სამ სხვადასხვა შემთხვევაში

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს მუშა დაბვისაგან დამოკიდებულებაში მომხმარებლის დატვირთვის ცვლილებას საგრძნობი გავლენა აქვს გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის მასშტაბებზე. კერძოდ, სხვა ერთნაირ პირობებში, თუ დაბვის ცვლილებისას დატვირთვა იცვლება პოლინომური სტატიკური მახასიათებლის (IEELBL) კანონზომიერებით, მაშინ ენერგოსისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტისას სიხშირის დაცემა ნაკლებად მოსალოდნელია, ვიდრე როცა დატვირთვის ცვლილების კანონზომიერება დაბვის კვადრატის პროპორციულია ($g=const, b=const$) ან დატვირთვა იცვლება მაჩვენებლიანი სტატიკური მახასიათებლის კანონზომიერებით (CLODBL). ნახ.3.1-დან ჩანს, რომ CLODBL მოდელის შემთხვევაში სიხშირე 0,75 ჰერცით მეტად შემცირდა (47,5 ჰც), ვიდრე IEELBL მოდელის შემთხვევაში (48,25 ჰც). $g=const, b=const$ და

CLODBL მოდელის შემთხვევაში სისშირის დაცემებს შორის განსხვავება შედარებით ნაკლებია (0,22 პც).

მაგალითი 2. სისტემათაშორისი ელექტროგადაცემის ხაზით “კავკასიონით” რუსეთის ენერგოსისტემიდან საქართველოს ენერგოსისტემაში შემოედინება 500 მგვტ აქტიური სიმძლავრე და საქართველოს ენერგოსისტემიდან რუსეთის ენერგოსისტემაში გაედინება 234 მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე



ნახ.3.2 მაგალითი 2-ის მიხედვით სისშირის ცვლილების მრუდები

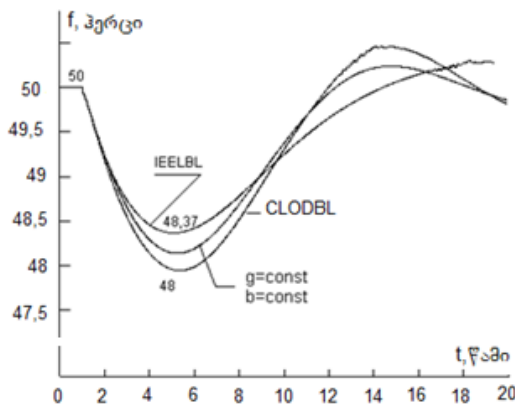
„კავკასიონის“ ავარიული გამორთვისას საქართველოს ენერგოსისტემაში წარმოიქმნა აქტიური სიმძლავრის იგივე სიდიდის დეფიციტი, რაც წინა მაგალითში (500 მგვტ) და რეაქტიული სიმძლავრის დიდი სიჭარბე (234 მგვარ). რეაქტიული სიმძლავრის სიჭარბემ საქართველოს ენერგოსისტემაში გამოიწვია მუშა ძაბვის დონის რამდენადმე ამაღლება, რამაც, სტატიკური მახასიათებლის შესაბამისად, მომხმარებელთა დატვირთვის გაზრდა გამოიწვია. შედეგად, აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი კიდევ უფრო გაიზარდა და სისშირე უფრო მეტად დაეცა, ვიდრე წინა მაგალითის შემთხვევებში. კერძოდ, IEELBL მოდელის შემთხვევაში სისშირე დაეცა 48,1 პც-მდე, ნაცვლად 48,25 პერცისა წინა მაგალითის მიხედვით. ასევე, CLODBL მოდელის შემთხვევაში სისშირე დაეცა 47,3 პც-მდე, ნაცვლად 47,5 პერცისა წინა მაგალითის მიხედვით (ნახ.3.2).

მაგალითი 3. სისტემათაშორისი ელექტროგადაცემის ხაზით “კავკასიონით” რუსეთის ენერგოსისტემიდან საქართველოს ენერგოსისტემაში შემოედინება 500 მგვტ აქტიური სიმძლავრე და, აგრეთვე, 240

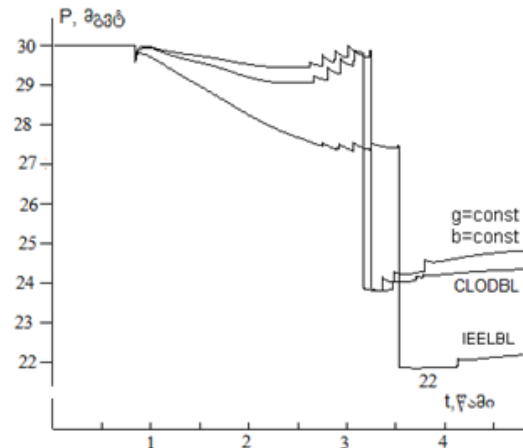
მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე, რაც მკვეთრად განსხვავებულია წინა მაგალითებთან შედარებით.

„კავკასიონის“ ავარიული გამორთვისას საქართველოს ენერგოსისტემაში წარმოიქმნა როგორც აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი (500 მგვტ), ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი (240 მგვარ).

რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტმა, როგორც ეს მოსალოდნელია, საქართველოს ენერგოსისტემაში გამოიწვია მუშა ძაბვის დონის რამდენადმე შემცირება და, სტატიკური მახასიათებლის შესაბამისად, გამოიწვია მომხმარებელთა დატვირთვის შემცირება. შედეგად, აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი რამდენადმე გაკომპენსირდა და სისშირე შედარებით ნაკლები სიდიდით დაეცა, ვიდრე წინა მაგალითების შემთხვევებში. კერძოდ, IEELBL მოდელის შემთხვევაში სისშირე დაეცა 48,37 ჰც-მდე, ნაცვლად 48,25 და 48,1 ჰერცისა წინა მაგალითების მიხედვით. ასევე, CLODBL მოდელის შემთხვევაში სისშირე დაეცა 48,0 ჰც-მდე, ნაცვლად 47,5 და 47,3 ჰერცისა წინა მაგალითების მიხედვით (ნახ.3.3).



ნახ.3.3. მაგალითი 3-ის მიხედვით სისშირის ცვლილების მრუდები



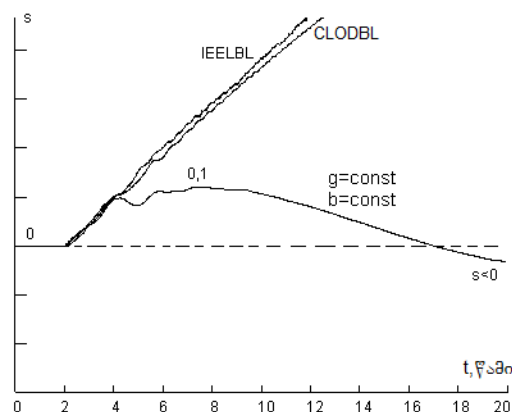
ნახ.3.4. ქსელის დატვირთვის ცვლილება ძაბვის ცვლილებით

განხილული მაგალითების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ მომხმარებელთა დატვირთვის ძაბვისაგან დამოკიდებულების ხასიათს გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის მასშტაბებზე მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს.

პირველ მაგალითში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობისას გაანალიზებული იქნა, აგრეთვე, ავარიის ლიკვიდაციის სასისტემო ავტომატიკის მოქმედება. კერძოდ, „ზუგდიდი-220“ ქვესადგურზე სისშირული ავტომატური განტვირთვის (საგ) მოწყობილობის მოქმედება

(ნახ.3.4). ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ საგ-ების მოქმედება დაგვიანებულია და ქვესადგურის დატვირთვის ცვლილებაც სხვადასხვაა სტატიკური მახასიათებელთა შესაბამისად.

500 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზზე “ქართლი-2”-ზე მოკლე შერთვის შემთხვევაში, დატვირთვის ცვლილების კანონზომიერება სხვადასხვა შედეგს იძლევა (ნახ.3.5). კერძოდ, თუ დატვირთვა იცვლება ძაბვის კვადრატის პროპორციულად ($g=const$, $b=const$), მაშინ ორთაჭაღალაჰესის გენერატორი რჩება სინქრონიზმში, სხვა შემთხვევაში - არა.



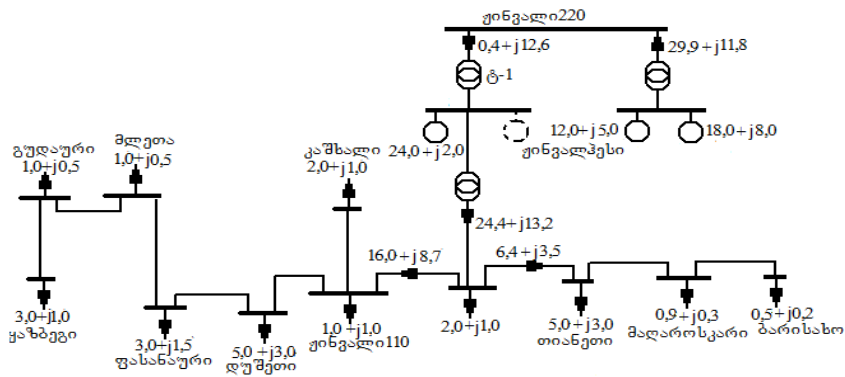
ნახ.3.5 მაღალი ძაბვის კვანძში მიერთებული ჯამური დატვირთვის ცვლილების კანონზომიერება

სასისტემო ავარიების შემთხვევაში, როცა სისტემა მთლიანად “ქრება”, ძალიან მნიშვნელოვანია რომელიმე ელექტროსადგურის მუშაობაში შენარჩუნება, იმ მიზნით, რომ მისგან დაიწყოს სისტემის “აწყობა”. ასეთ სადგურად შეიძლება განვიხილოთ უინვალჰესი.

ელექტროსისტემას უინვალჰესი უკავშირდება 220 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზით „ლომისი“ და გარდა ამისა ეს სადგური ელექტროენერგიას აწვდის მცხეთა-თიანეთის რეგიონს 110-35 კვ ძაბვის ქსელით (ნახ.3.6). ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა, რომელიც ამ სადგურზე უნდა განხორციელდეს, ითვალისწინებს უინვალჰესის ერთი გენერატორის გამოყოფას ელექტროსისტემიდან და გადართვას ზემოთ აღნიშნულ ავტონომიურ ქსელზე მუშაობის მდგრადობის შენარჩუნებით. ამ ამოცანის მოდელირებამ გვიჩვენა რომ ასეთ სიტუაციებშიც დატვირთვების ადეკვატური ასახვა ასრულებს მნიშვნელოვან როლს.

სასისტემო ავარიის წარმოქმნისას, გენერატორის გამომყოფი ავტომატიკა გამორთავს ტ-1 ტრანსფორმატორს და ჰესის გამოყოფილი

გენერატორი აღმოჩნდება მიერთებული მხოლოდ არნიშნულ ავტონომიურ ქსელზე.

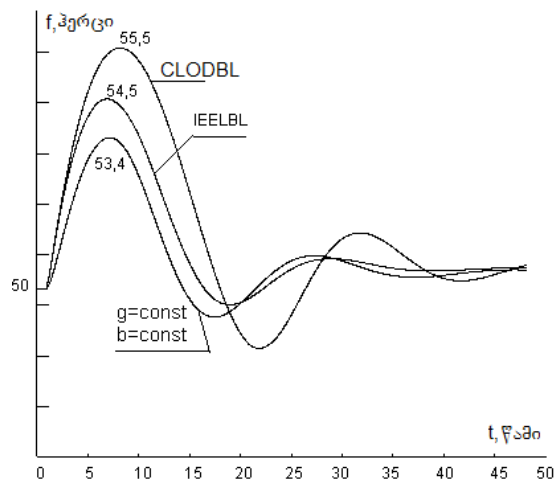


ნახ.3.6. „უიწვალა 220“ ქვესადგურის 110-35 კვ ძაბვის ქსელი

ნახდან ჩანს, ტ-1 ტრანსფორმატორის გამორთვის შემდეგ გამოყოფილ ავტონომიურ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტი შეადგენს 0,4 მგვტ-ს, ხოლო რეაქტიული სიმძლავრისა - 13,2 მგვარ-ს. რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი გამოიწვევს ქსელში ძაბვის შემცირებას და შედეგად მცირდება მომხმარებლის აქტიური დატვირთვა. სიხშირე ამ ავტონომიურ ქსელში გაიზრდება. იმისდა მიხედვით თუ როგორია დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი, სიხშირის ეს ნაზრდი, სხვადასხვა იქნება. ნახ.3.7-დან ჩანს, რომ ეს განსხვავება საკმარისად მნიშვნელოვანია. კერძოდ: თუ მოცემულ ავტონომიურ ქსელში მომხმარებლის დატვირთვა ძაბვის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია ($g=const$, $b=const$ მოდელი), მაშინ სიხშირის მაქსიმალური ნაზრდი აღწევს 3,4 ჰც-ს; თუ დატვირთვის ძაბვისაგან დამოკიდებულება პოლინომური ხასიათისაა, მაშინ სიხშირის მაქსიმალური ნაზრდი აღწევს 4,5 ჰც-ს; ხოლო თუ დატვირთვის ძაბვისაგან დამოკიდებულება მაჩვენებლიანი ხასიათისაა, მაშინ სიხშირის მაქსიმალური ნაზრდი აღწევს 5,5 ჰც-ს.

დატვირთვის ძაბვისაგან დამოკიდებულების რეალური ასახვა აუცილებელია, აგრეთვე, ელექტროსისტემის n-1 რეჟიმების ანალიზისთვის. კერძოდ, საქართველოს ელექტროსისტემის ერთერთი სახასიათო რეჟიმში განხილული იქნა 500 კვ ძაბვის „იმერეთის“ ავარიული ამორთვის შემთხვევა (ავარიისწინა რეჟიმში ეგზ „იმერეთში“ ენგუჰესიდან ზესტაფონის მიმართულებით გაედინებოდა 373+ j66 მგვა სიმძლავრე), რამაც მოგვცა შემდეგი სახის შედეგები:

- თუ მომხმარებელთა დატვირთვები გამოსახულია მუდმივი გამტარობებით ($g=\text{const}$, $b=\text{const}$ მოდელი), მაშინ ეგს “კოლხიდა-2” დაიტვირთება 218-j40 მგვა-მდე, ეგს “კოლხიდა 2ა” კი 270+j14 მგვა-მდე;
- თუ დატვირთვები გამოსახულია პოლინომური მახასიათებლის სახით $P = P_0(0.25 + 0.25U + 0.5U^2)$ და $Q = Q_0(0.25 + 0.25U + 0.5U^2)$ პოლინომებით, მაშინ ეგს “კოლხიდა-2”.



ნახ.3.7. სისშირის ნაზრდი მომხმარებლის დატვირთვის ცვლილებისას

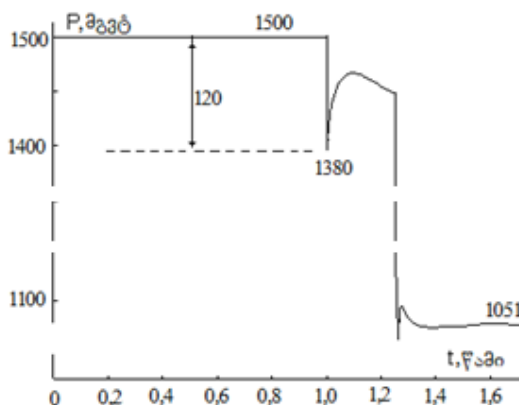
3.2. რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა და გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზი

ელექტრულ სისტემაში ავარიული სიტუაციის დროული და ეფექტური ლიკვიდაციის ერთერთ ღონისძიებად განიხილება აქტიური დატვირთვის ავტომატური გამორთვა.

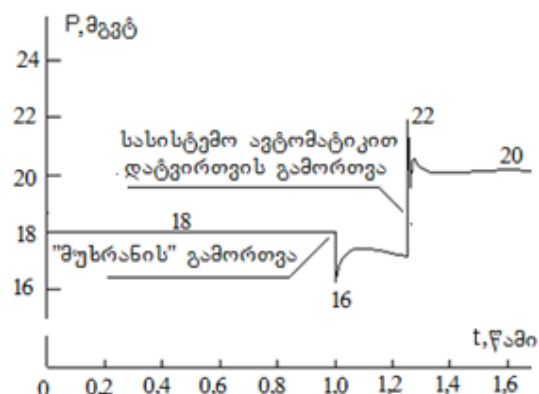
განვიხილოთ შემთხვევა, როცა საქართველოს ელექტრული სისტემა დაკავშირებულია თურქეთის სისტემასთან მუდმივი დენის ჩანართით და, იმედროულად, სინქრონულად მუშაობს აზერბაიჯანის ელექტროსისტემასთან. თურქეთში გაედინება 200 მგვტ აქტიური სიმძლავრე, ეგს „მუსრანის“ სახით აზერბაიჯანიდან საქართველოში შემოედინება 640+j106 მგვა სიმძლავრე. გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობა შესწავლილია იმ დაშვებით, რომ მომხმარებელთა დატვირთვა ძაბვის კვადრატის პროპორციულია ($g=\text{const}$, $b=\text{const}$).

„მუხრანის“ ავარიული გამორთვა საქართველოს ენერჯისისტემაში იწვევს აქტიური სიმძლავრის დეფიციტს და სიხშირე იწვევს მკვეთრ შემცირებას. ავარიის ლიკვიდაციის სასისტემო ავტომატიკის მუშაობის პრინციპი თანახმად, “მუხრანის” გამორთვის ფაქტით, ავტომატურად გამოირთვება გარკვეული სიდიდის აქტიური დატვირთვა.

“მუხრანის” გამორთვის შემდეგ სისტემაში წარმოიქმნა არა მარტო აქტიური, არამედ რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტიც (106 მგვარ). რაც სამომხმარებლო კვანძებში იწვევს ძაბვების შემცირებას და შედეგად მცირდება სისტემის მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრეც. ეს შემცირება შეადგენს 120 მგვტ-ს (ნახ.3.8). ძაბვის რეგულატორების მოქმედებით ქსელში ძაბვები რამდენადმე ამაღლდა და დატვირთვაც მცირედ (დაახლოებით 60 მგვტ-ით) გაიზარდა. ნახ.3.9-ზე ნაჩვენებია დატვირთვის ცვლილება 110 კვ ძაბვის „დილომის“ ქვესადგურში. „მუხრანის“ გამორთვის მომენტიდან 0,25 წამში, ავტომატიკის მოქმედებით გამორთული იქნა 440+J220 მგვა დატვირთვა. ამ მაგალითის მოდელირებისას არ გავითვალისწინეთ საგების შესაძლო მოქმედება, რათა არ „დაგვეჩრდილა“ პროცესი. სიხშირე ელექტროსისტემაში იცვლება ნახ.3.10-ზე ნაჩვენები კანონზომიერებით.



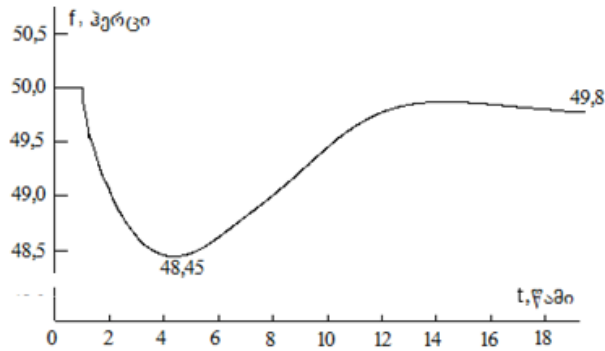
ნახ.3.8. სისტემის მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე ნახ.3.9. დატვირთვის ცვლილება 110 კვ ძაბვის “დილომის” ქვესადგურში



თუ დატვირთვებს გამოვსახავთ პოლინომური სტატიკური მახასიათებლებით, მაშინ მივიღებთ სიხშირი ცვლილების განსხვავებულ კანონზომიერებას. ამ კანონზომიერების დასადგენად ჩატარებული იქნა “მუხრანის” ხაზის გამორთვის შემთხვევები, როცა ამ ხაზში გამავალი

აქტიური სიმძლავრე უცვლელია და იცვლება რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე და მიმართულება (ცხრ.3.1):

- გადადინება “მუხრანზე” $P=0$;
- გადადინება “მუხრანზე” $P=62$ მგვტ აზერბაიჯანისკენ;
- გადადინება “მუხრანზე” $P=75$ მგვტ საქართველოსკენ.



ნახ.3.10. სიხშირის ცვლილება ელექტროსისტემაში

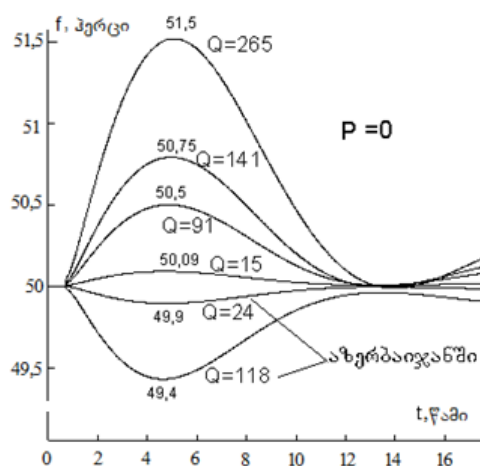
ცხრ.3.1. “მუხრანის” ხაზზე აქტ. და რეაქტ. სიმძლავრის სიდიდეები სამ სხვადასხვა რეჟიმში

აქტიური სიმძლავრის დინება “მუხრანის” ხაზზე		
რეჟიმი 1	რეჟიმი 2	რეჟიმი 3
$P=0$ მგვტ	$P=63$ მგვტ, (ექსპორტი)	$P=-75$ მგვტ, (იმპორტი)
რეაქტიული სიმძლავრის იმპორტი		
$Q=265$ მგვარ	$Q=286$ მგვარ	$Q=227$ მგვარ
$Q=141$ მგვარ	$Q=177$ მგვარ	$Q=164$ მგვარ
$Q=91$ მგვარ	$Q=57$ მგვარ	$Q=116$ მგვარ
$Q=15$ მგვარ	$Q=0$ მგვარ	$Q=34$ მგვარ
$Q=24$ მგვარ	$Q=74$ მგვარ	$Q=33$ მგვარ
$Q=118$ მგვარ	$Q=184$ მგვარ	$Q=83$ მგვარ

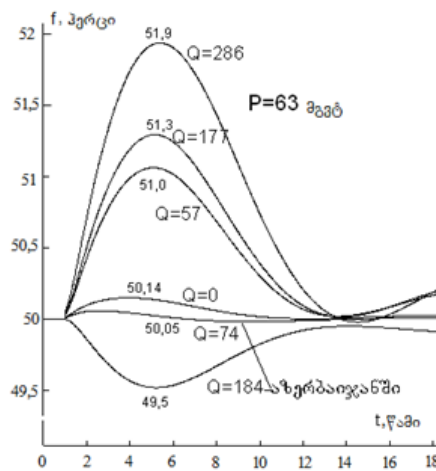
გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის სურათი ნაჩვენებია ქვემოთ ნახაზებზე (ნახ.3.11, 3.12, 3.13) სისტემაში სიხშირის ცვლილების სახით. როგორც ვხედავთ სიხშირის გადახრაზე გავლენას ახდენს რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე, რომელიც გაედინება “მუხრანის” ხაზში მის ამორთვამდე.

მომდევნო ნახაზზე (ნახ.3.14) ნაჩვენებია, მოცემული სიდიდის აქტიური სიმძლავრის გადადინებისას, სიხშირის გადახრის დამოკიდებულება ხაზში გამავალი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდესა და მიმართულებაზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ თუ მოცემული სიდიდის აქტიური სიმძ-

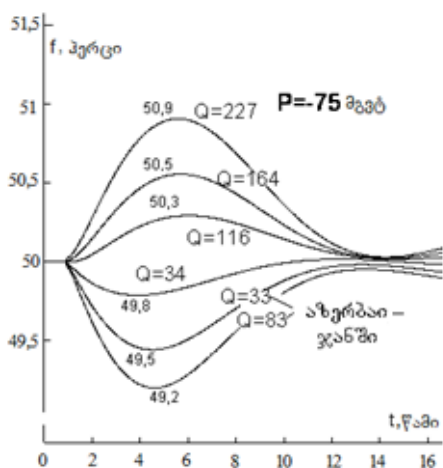
ლაერის დინებას თან ახლავს გარკვეული სიდიდის რეაქტიული სიმძლავრის დინება, მაშინ სიმძლავრის მიმდებ სისტემაში სიხშირის ცვლილებას ადგილი არ აქვს. კერძოდ საქართველოს ენერგოსისტემაში სიხშირის გადახრას ადგილი არ ექნება თუ 63 მგვტ აქტიური სიმძლავრის გადინებისას ადგილი აქვს, აგრეთვე, 79 მგვარ რეაქტიული სიმძლავრის გადინებას. ხოლო, 75 მგვტ აქტიური სიმძლავრის შემოდინებისას ადგილი აქვს 61 მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე.



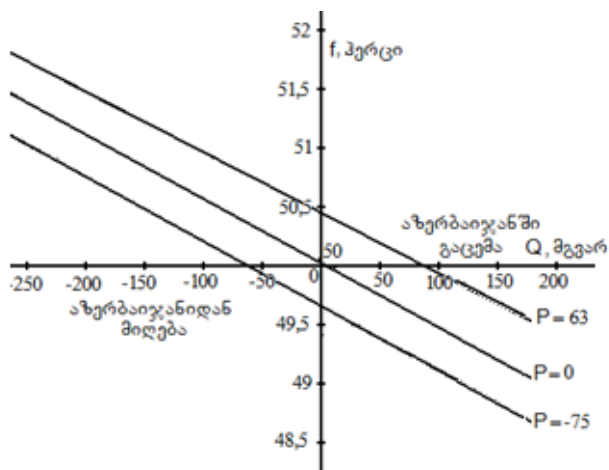
ნახ.3.11. სიხშირის ცვლილება, როცა P=0მგვტ



ნახ.3.12. სიხშირის ცვლილება, როცა P=63 მგვტ



ნახ.3.13. სიხშირის ცვლილება, როცა P= -75 მგვტ



ნახ.3.14. სიხშირის ცვლილება ხაზში გამავალი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდესა და მიმართულების მიხედვით

სიხშირის სტაბილურობის პირობით ხაზში გამავალ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა ზემოთ აღნიშნული თანაფარდობა გამომდინარეობს დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტით.

3.3. აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის ამოცანა რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობის გათვალისწინებით

სისტემათაშორის ელექტროგადაცემის ხაზის ავარიული გამორთვისას, სიმძლავრის მიმღებ სისტემაში წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის უბალანსობა განისაზღვრებს (1.11) გამოსახულებით (პარ. 1.3)

$$P_{\text{უბ}} = P_2 - \frac{Q_2 \cdot G}{B_L - B_C} .$$

ცხადია, რომ სისშირის სტაბილურობის მიზნით, მიმღებ სისტემაში უნდა აღმოფხვრათ სიმძლავრის უბალანსობა $P = P_{\text{უბ}}$ სიდიდით. ამ შემთხვევაში სისშირე სისტემაში სტაბილური გახდება.

რეალურად მომხმარებლის აქტიური დატვირთვის გამორთვას (აქტიური სიმძლავრის გენერაციის შემცირებას) თან სდევს რეაქტიული დატვირთვის გამორთვაც (რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციის შემცირებაც). თუ აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის ($P = P_2 - \frac{Q_2 \cdot G}{B_L - B_C} > 0$) აღმოფხვრის მიზნით გამორთული დატვირთვის ეკვივალენტური გამტარობებია G' და B' , მაშინ სისტემის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება (1.10) ჩაიწერება შემდეგ სახეში

$$T_j \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{P_1}{(1+s)} - \frac{Q_1 \cdot (G-G')}{(B_L - B_C) - B'} \neq 0$$

ანუ

$$T_j \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{P_1}{(1+s)} - \frac{Q_1 \cdot (G-G')}{(B_L - B_C) - G' \operatorname{tg} \varphi} \neq 0, \quad (3.1)$$

სადაც

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B'}{G'} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} .$$

აქ $\cos \varphi$ გამორთული მომხმარებლის აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი.

(3.1) გამოსახულებიდან ჩანს გამორთული მომხმარებლის $\cos \varphi$ გაუღენას ახდენს ავარიის შემდგომ რეჟიმში დამყარებული სისშირის სიდიდეზე, რადგანაც აქტიური დატვირთვის გამორთვასთან ერთად ადგილი აქვს რეაქტიული დატვირთვის გამორთვასაც და შედეგად, ძაბვის ამალღების გამო იზრდება რა მუშაობაში დარჩენილი მომხმარებლების

აქტიური დატვირთვა, ვერ ვღებულობთ აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის სრულ აღმოფხვრას.

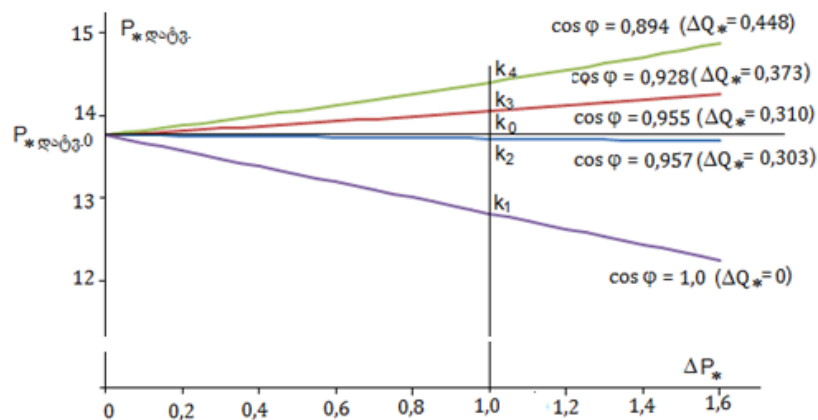
ჩატარებული იქნა გაანგარიშებები აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის მიზნით შემდეგი საწყისი მონაცემების პირობებში:

- საქართველოს გენერაცია $P_1+jQ_1=1100+j405$ მგვა;
- იმპორტი აზერბაიჯანიდან $P_2+jQ_2=275+j31$ მგვა.

თუ ბაზისურ სიმძლავრედ ავიღებთ $S_{ბაზ.0}=100$ მგვა, მაშინ გვაქვს:

$$P_1^*=11; \quad Q_1^*=4,05; \quad P_2^*=2,75; \quad Q_2^*=0,31; \quad P_{დატვ.0}^*=13,75.$$

ხაზის ავარიული ამორთვის შემთხვევაში წარმოქმნილი სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის მიზნით, რიგრიგობით გამოვრთეთ სხვადასხვა $\cos\varphi$ -ის მქონე სხვადასხვა ΔP სიდიდის დატვირთვები. მივიღეთ, რომ როცა $\cos\varphi=1$, მაშინ სისტემის ჯამური დატვირთვა ზუსტად გამორთული დატვირთვის სიდიდით შემცირდა (მონაკვეთი k_0k_1 , ნახ.3.15). ხოლო, როცა $\cos\varphi \neq 1$, მაშინ სისტემის ჯამური დატვირთვა ნაკლები სიდიდით შემცირდა, ვიდრე გამორთული დატვირთვაა. უფრო მეტიც, როცა $\cos\varphi = 0,894$, მაშინ სისტემის ჯამური დატვირთვა არა თუ შემცირდა, არამედ გაიზარდა კიდევ (მონაკვეთი k_0k_4). ცხადია, რომ ამ ბოლო შემთხვევაში აქტიური დატვირთვის გამორთვასთან (100 მგვტ) ერთად, შედარებით, დიდი სიდიდის რეაქტიული დატვირთვის გამორთვამ (44,8 მგვარ) იმდენად აამაღლა ძაბვის დონე, რომ მუშაობაში დარჩენილი მომხმარებლების დატვირთვა უფრო მეტად გაიზარდა, ვიდრე გამორთული აქტიური დატვირთვაა (ნახ.3.15).



ნახ.3.15. “მუხრანის” ხაზის ავარიული ამორთვის შემთხვევაში სისტემაში წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის მიზნით გამორთული სხვადასხვა $\cos\varphi$ -ის მქონე სხვადასხვა ΔP სიდიდის აქტიური დატვირთვები

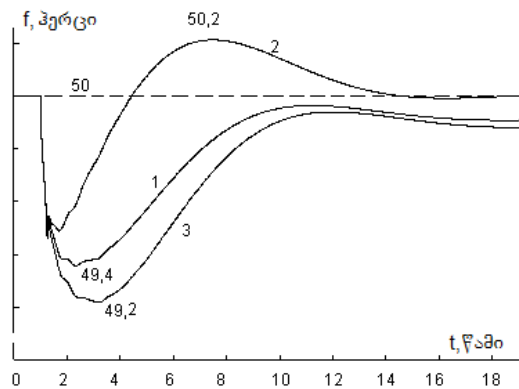
უნდა ავლნიშნოთ, რომ ეს დასკვნა გაკეთებულია იმ შემთხვევისთვის, როცა საანგარიშო სქემაზე მომხმარებელთა დატვირთვები წარმოდგენილია მუდმივი გამტარებლობებით ($g=const$, $b=const$). ცხადია, რომ დატვირთვების სხვა სახის სტატიკური მახასიათებლებით წარმოდგენის შემთხვევაში შედეგები განსხვავებული იქნება.

ამრიგად მივიღეთ, რომ აქტიური სიმძლავრის დეფიციტისას, განსაზღვრული სიდიდის აქტიური დატვირთვის გამორთვის ეფექტი იქნება მაქსიმალური, თუ გამორთული მომხმარებლის სიმძლავრის კოეფიციენტი, ავარიის წინა მომენტში, $\cos\varphi=1$ ან 1-თან მიახლოებულია.

ზემოთ თქმულის საილუსტრაციოდ განვიხილეთ გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის კანონზომიერება საქართველოს ენერგოსისტემაში, როცა ის პარალელურად მუშაობს ზერბაიჯანის ენერგოსისტემასთან ეგზ “მუხრანის” გავლით და ამ ხაზით საქართველოს ენერგოსისტემაში შემოედინება 365+j107 მგვა სიმძლავრე.

“მუხრანის” ხაზის ავარიულად გამორთვის შემდეგ 0,25 წამში სასისტემო ავტომატიკამ გამორთო 360+j204 მგვა ჯამური დატვირთვა. ანუ გამორთული აქტიური დატვირთვა შეესაბამება აქტიური სიმძლავრის დეფიციტს, ხოლო გამორთული რეაქტიული დატვირთვა (204 მგვარ) თითქმის ორჯერ მეტია, ვიდრე მისი დეფიციტი (107 მგვარ). ამ შემთხვევაში სისტემაში სიხშირის ცვლილება მიმდინარეობს მრუდი 1-ის კანონზომიერებით (ნახ.3.16). თუ გამოსართავი მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვა ავარიისწინა რეჟიმში სრულად გაკომპენსირებული იქნებოდა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ავტომატიკა გამორთავს 360+j0 მგვა ჯამურ დატვირთვას, მაშინ სიხშირის ცვლილებას ექნება ნახ.3.16-ზე ნაჩვენები მრუდი 2-ის ფორმა. აშკარად ჩანს, რომ რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტმა ადეკვატური კორექტირება შეიტანა აქტიური სიმძლავრის დეფიციტში და სიხშირე სისტემაში უფრო მაღალია. თუ გაკომპენსირებული რეაქტიული დატვირთვის დროს სასისტემო ავტომატიკით გამოვრთავთ არა 360 მგვტ აქტიურ დატვირთვას, არამედ 300 მგვტ-ს, მაშინ სისტემაში სიხშირის ცვლილებას ექნება ნახ.3.16-ზე ნაჩვენები მრუდი 3-ის ფორმა, რაც ბევრად არ განსხვავდება მრუდი 1-საგან. მაშასადამე, გაკომპენსირებული რეაქტიული დატვირთვის მქონე

მომხმარებლის გამორთვამ საშუალება მოგვცა შეგვემცირებინა ავარიულად გამორთული მომხმარებლების დატვირთვა 60 მგვტ-ით.

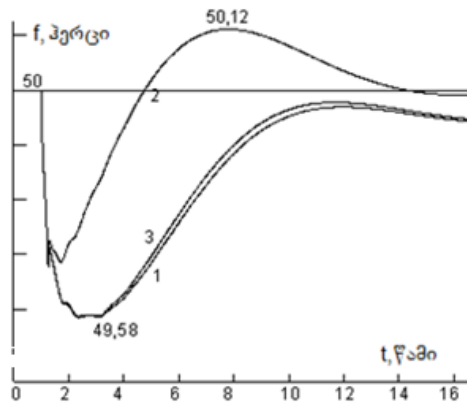


ნახ.3.16. “მუხრანის” ხაზის ავარიულად გამორთვისას ელექტროსისტემაში სიხშირის ცვლილების მრუდი

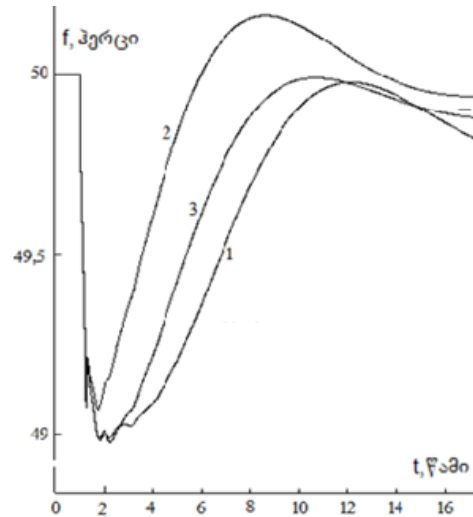
როცა საქართველოს ელექტროსისტემაში შემოედინება $580+j100$ მგვა, მაშინ “მუხრანის” ხაზის ავარიულად გამორთვისას გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სურათი ნაჩვენებია ნახ.3.17-ზე. აქ მრუდი 1 შეესაბამება ავტომატიკით $575+j312$ მგვა ჯამური დატვირთვის გამორთვის შემთხვევას, მრუდი 2 - მხოლოდ 575 მგვტ-ის გამორთვას (რეაქტიული დატვირთვა გაკომპენსირებულია) და მრუდი 3 – შემთხვევას, როცა გაკომპენსირებული რეაქტიული დატვირთვის პირობებში ავტომატიკით გამოირთო 65 მგვტ-ით ნაკლები აქტიური დატვირთვა. ანალოგიური სურათია (ნახ.3.18), როცა აზერბაიჯანიდან შემოედინება $1186+j117$ მგვა სიმძლავრე და სასისტემო ავტომატიკის მოქმედებით გამოირთვება:

1. $1175+j362$ მგვა ჯამური დატვირთვა;
2. $1175+j0$ მგვტ ჯამური დატვირთვა;
3. $1115+j0$ მგვტ ჯამური დატვირთვა.

განხილული მაგალითებში აზერბაიჯანიდან საქართველოს ენერგოსისტემაში შემოედინებოდა 110-117 მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე და “მუხრანის” ავარიული ამორთვისას რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტმა ისეთი მასშტაბით იმოქმედა ძაბვის დონეზე, რომ გაკომპენსირებული რეაქტიული დატვირთვის პირობებში შესაძლებელი ხდებოდა ავარიის ლიკვიდაციისას რამდენადმე შეგვემცირებინა მიუწოდებელი ელექტროენერჯის მოცულობა. რაც მომხმარებელთა ელექტრომომარაგების საიმედოობის ამადლების ტოლფასია.



ნახ.3.17. “მუხრანის” საზის ავარიულად გამორთვისას გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სურათი როცა აზერბაიჯანიდან საქართველოს ელექტროსისტემაში შემოედინება $580+j100$ მგვა



ნახ.3.18 “მუხრანის” საზის ავარიულად გამორთვისას გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობის სურათი, როცა აზერბაიჯანიდან საქართველოს ელ.სისტემაში შემოედინება $1186+j117$ მგვა

დასკვნა თავი 3-ის მიმართ

თავი 3-ში გაანალიზებულია საქართველოს ენერგოსისტემაში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობა სხვადასხვა სახეში (მოდულით) ჩაწერილი დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით.

შეფასებულია ამ პროცესების მიმდინარეობა რეაქტიული სიმძლავრის სხვადასხვა ხარისხით უბალანსობის პირობებში.

დადგინდა, აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხვრის მიზნით, გამორთული მომხმარებლების $\cos\varphi$ -ის გავლენა ამ მიზნის მიღწევაზე.

$\cos\varphi$ -ის გავლენის გათვალისწინებით, ავარიის საწინააღმდეგო სასისტემო ავტომატიკის მოქმედების ლოგიკის სათანადო შერჩევის შესაბამისად, დადგენილი იქნა კონკრეტული ავარიის ლიკვიდაციისას მომხმარებლებისადმი მიუწოდებელი ელექტროენერჯის მოცულობის მინიმუმამდე დაყვანის შესაძლებლობა.

თავი 4. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული რეგიონების დატვირთვითა სტრუქტურისა

4.1. საქართველოს ენერგოსისტემის ელექტროენერგეტიკული რეგიონები

საქართველოს ელექტროსისტემის გადაცემის ქსელის კონფიგურაციის თავისებურებიდან გამომდინარე, 220/110 კვ ძაბვის სადაბლებელ ქვესადგურებს შორის 110 კვ ძაბვის კავშირი ნორმალურ რეჟიმში არ ფუნქციონირებს (ნორმალურად გამორთულია). აქედან გამომდინარე, ქვეყნის ელექტრომიმღებები, პრაქტიკულად, დაყოფილია 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელ (ავტონომიურ) ელექტროქსელებად და მათი ელექტროენერგით კვების წყაროებს წარმოადგენენ ზემოთ აღნიშნული ქვესადგურები და ამ ქსელებში არსებული ელექტროსადგურები.

მაშასადამე, საქართველოს ენერგოსისტემის გადაცემის ქსელი შეიძლება პირობითად დავეყოთ 13 რეგიონად, რომელთაგანაც თითოეული ხასიათდება ინდივიდუალური თავისებურებებით:

1. აფხაზეთი - დიდი ჰიდროპოტენციალით, დაბალი გენერაციითა და შედარებით მაღალი მოხმარებით;
2. სამეგრელო-სვანეთი - არსებული და პოტენციური მძლავრი ჰიდროგენერაციით, შედარებით უფრო დაბალი მოხმარებით;
3. აჭარა – დაბალი არსებული გენერაციით, მაგრამ უფრო მაღალი პოტენციური ჰიდროგენერაციით, შედარებით მაღალი მოხმარებით;
4. გურია – მცირე არსებული და შედარებით მაღალი პოტენციური ჰიდროგენერაციით, შედარებით დაბალი მოხმარებით;
5. იმერეთი - არსებული და პესპექტიული ჰიდროგენერაციით და თითქმის არსებული გენერაციის ტოლი მოხმარებით;
6. რაჭა-ლეჩხუმი - არსებული და დიდი პოტენციური ჰიდროგენერაციით და მნიშვნელოვნად დაბალი მოხმარებით;
7. შიდა ქართლი – შედარებით დაბალი მოხმარებითა და უფრო დაბალი გენერაციით;
8. სამცხე-ჯავახეთი – დაბალი მოხმარებითა და დაბალი არსებული გენერაციით, შედარებით მაღალი პოტენციური ჰიდროგენერაციით;

9. მცხეთა-თიანეთი – დაბალი მოხმარებითა და შედარებით უფრო მაღალი გენერაციით;
10. ქვემო ქართლი – შედარებით დაბალი მოხმარებით, მაგრამ უფრო მაღალი ჰიდროგენერაციით;
11. თბილისი – დაბალი ჰიდროგენერაციით და მნიშვნელოვნად მაღალი მოხმარებით;
12. რუსთავი-გარდაბანი – ძირითადად თბოგენერაციით, მაღალი მოხმარებით;
13. კახეთი – დაბალი მოხმარებითა და უფრო დაბალი არსებული და პოტენციური ჰიდროგენერაციით.

ენერგოსისტემის ელექტროენერგეტიკულ რეგიონებად დაყოფა საშუალებას გვაძლევს გავაანალიზოთ ამ რეგიონების ენერგობალანსის არსებული მდგომარეობა, შევაფასოთ ცალკეული რეგიონის დატვირთვის სტრუქტურა, თითოეული მათგანის სტატიკური მახასიათებელი და მაქსიმუმში მოხვედრის კოეფიციენტი. აღნიშნულ რეგიონებს შორის არსებობს ელექტრული კავშირები 500, 220 ან 110 კვ ძაბვის ხაზებით, ხოლო სხვადასხვა რეგიონის გავლით საქართველოს ელექტროსისტემას კავშირი აქვს მეზობელ ელექტროსისტემებთან.

ამ რეგიონების მაქსიმალური დატვირთვა მოცემულია 4.1 ცხრილში, რომელიც ეყრდნობა საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ეროვნული სადისპეტჩერო ცენტრის ოპერატიულ მონაცემებს და მრავალ სხვა სტატისტიკურ ინფორმაციას, სადაც გათვალისწინებულია ამავე რეგიონების ტერიტორიაზე განთავსებული როგორც პირდაპირი მომხმარებლების, ასევე შპს “საქრკინიგზის” შესაბამისი ენერგობიექტების მახასიათებელი პარამეტრები. ამასთან, ენერგეტიკულ რეგიონებს შორის “საქრკინიგზის” თვის მაქსიმალური დატვირთვა განაწილებულია შემდეგი პროპორციით: აფხაზეთი – 0%; სამეგრელო-სვანეთი – 8%; აჭარა – 6%; გურია – 6%; იმერეთი – 20%; რაჭა-ლეჩხუმი – 0%; შიდა ქართლი – 12%; სამცხე-ჯავახეთი – 6%; მცხეთა-თიანეთი – 12%; ქვემო ქართლი – 5%; თბილისი – 15%; რუსთავი-გარდაბანი 10%; კახეთი – 0%.

ცხრილი 4.1. საქართველოს ენერგეტიკული რეგონების მაქსიმალური დატვირთვები (2008/2009/2010 წ.წ)

	რეგონის დასახელება	იანვარი	თებერვალი	მარტი	აპრილი	მაისი	ივნისი	ივლისი	აგვისტო	სექტემბერი	ოქტომბერი	ნოემბერი	დეკემბერი
1	აფხაზეთი	284	285	265	190	185	150	145	140	130	145	215	270
		270	260	260	230	190	125	145	145	155	175	240	270
		285	285	280	245	200	130	125	145	165	166	210	275
2	სამცხე-ჯავახეთი	95	88	73	73	68	63	60	68	64	58	69	76
		73	74	74	68	68	59	59	64	60	63	74	69
		69	79	78	73	68	69	73	83	62	60	73	71
3	აჭარა	97	90	80	72	72	72	62	67	73	82	73	88
		87	78	78	67	67	63	63	73	68	67	73	73
		91	88	87	77	67	68	67	78	73	78	72	80
4	იმერეთი	20	20	18	18	17	24	20	20	18	20	25	28
		20	19	19	16	17	17	17	17	15	17	19	21
		21	21	18	17	17	17	18	16	14	16	21	24
5	მცხეთა-მთიანეთი	280	253	253	243	243	238	230	238	224	188	190	230
		238	240	205	193	183	189	198	209	200	203	210	224
		250	224	253	258	263	224	205	210	220	214	224	230
6	რაჭა-ლეჩხუმი	9	8	8	8	9	8	8	8	7	9	15	12
		12	8	8	7	8	7	8	8	8	8	15	8
		10	8	8	8	8	8	10	12	9	9	14	13
7	შიდა ქართლი	56	54	56	53	55	52	47	53	40	45	49	44
		50	45	48	45	62	39	49	49	45	48	48	48
		50	50	50	52	53	48	48	48	46	49	50	48
8	სამცხე-ჯავახეთი	26	27	23	24	24	24	25	27	25	27	28	35
		33	25	27	17	19	20	22	22	22	24	23	30
		28	25	27	27	30	21	25	25	23	25	24	31
9	მცხეთა-მთიანეთი	48	49	49	47	49	44	41	46	41	36	55	52
		57	49	51	45	41	46	44	47	44	50	50	53
		50	56	49	52	54	52	48	49	42	46	45	52
10	ქვემო ქართლი	66	68	66	61	62	62	64	67	61	63	66	77
		77	67	69	66	61	57	60	56	65	66	62	66
		73	72	69	74	72	55	63	65	66	6	65	70
11	თბილისი	536	533	427	364	342	326	304	336	322	356	436	497
		476	438	432	388	356	327	362	380	360	420	518	462
		440	464	447	404	398	370	313	320	357	400	450	480
12	რუსთაველი	89	87	72	89	89	91	80	88	87	86	65	80
		90	82	83	80	42	48	85	87	85	102	100	89
		118	116	115	98	103	85	108	97	90	105	103	110
13	კახეთი	45	43	34	39	38	35	35	38	37	38	38	38
		40	37	38	37	34	35	37	37	40	38	40	40
		40	38	44	40	36	35	38	38	41	39	40	38
სულ		1651	163	142	1281	125	1189	1122	1196	1129	1153	132	152
		1513	1422	1323	1259	1148	1032	1149	1194	1167	1281	1472	1453
		1525	1526	1525	1425	1369	1137	1141	1186	1147	1230	1407	1490

შენიშვნა: ამ ცხრილში ნაჩვენებია მაქსიმალური დატვირთვის რიცხვითი მნიშვნელობები საორიენტაციო სიდიდეებია, რადგანაც ჯამური მაქსიმალური დატვირთვისთვის არ არის გათვალისწინებული მაქსიმუმში მოხვედრის კოეფიციენტები.

საქართველოს ამა თუ იმ რეგიონში განთავსებულია შედარებით მსხვილი (ენერგოტევადი) საწარმოები, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება: ზესტაფონის “ჯორჯია მანგანუმი”; “საქ.რკინიგზა”; “თბილწყალი”; “ენერჯი ინვესტი” - რუსთავის აზოტი; “საქ.ცემენტი”; “თბილისის მეტრო”; მეტალურგიული საწარმოები (“რუსმეტალი”, “ჯეოსთილი”, “მეტექსი”); “მადნეული”; და სხვ.

ამ საწარმოთა მიერ ელექტროენერჯის მოხმარება ქვეყნის ჯამური მოხმარების თითქმის (20-25)%-ს აღწევს.

4.2. საქართველოს ენერგოსისტემის ავტონომიური

ელექტრული ქსელების კვანძების დატვირთვები

ენერგოსისტემის მსხვილი კვანძების ჯამური დატვირთვის სტატისტიკური მახასიათებლების დასადგენად ვისარგებლეთ ენერგოსისტემაში ჩატარებული 2009 წლის 16 დეკემბრისა საკონტროლო გაზომვებისა და ენერგოსისტემის ცენტრალური სადისპეტჩეროს ოპერატიული მონაცემებით, რომელიც გადამუშავებული და გაანალიზებული იქნა ელექტროენერგეტიკული რეგიონებისა და 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურების 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელების სამომხმარებლო კვანძების მიხედვით (ცხრ.4.2).

ცხრ.4.2. ენერგოსისტემის კვანძების აქტიური დატვირთვები (მგვტ)

დატვირთვის კვანძების დასახელება	2009 წ. 16.XII	
	10 სთ	19 სთ
1. აფხაზეთის ენერგეტიკული რეგიონი	250	260
2. აჭარა-გურიის ენერგეტიკული რეგიონი	61,7	90,1
3. სამეგრელოს ენერგეტიკული რეგიონი	167,3	184,7
ა) ენგურჰესის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	5,6	7,8
ბ) “ზუგდიდი“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	18,7	22,2
გ) “მენჯი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	32,8	42,7
დ) “ხორგა 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	110,2	112,2
4. იმერეთის ენერგეტიკული რეგიონი	132,7	175,5
ა). “ქუთაისი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	48,9	71,1
ა) „წყალტუბო 220“	11,7	14,8
გ). “დ.ზესტაფონი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	72,1	89,6
5. “ლაჯანური 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	2,1	3,2
6. შიდა ქართლისა და სამცხე-ჯავახეთის ენერგეტიკული რეგიონი	49,1	65,8
ა) „ხაშური 220“	27,2	39,0
ბ). “გორი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	21,9	26,8
7. მცხეთა-თიანეთის ენერგეტიკული რეგიონი	29,7	35,8
ა) ქსანი 220	24,0	29,5
ბ). “ეინვალიძესი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	5,7	6,3
8. ქთბილისის ენერგეტიკული რეგიონი	304,3	383,2
ა). “გლდანი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	57,6	79,2
ბ). “ღისი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	76,3	90,3
გ). “დიდუბე 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	72,7	94,9
დ). “ნავთლული 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	97,7	118,8
9. ქვემო ქართლის ენერგეტიკული რეგიონი	117,9	146,3
ა). “ხრამიძესი 2“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	7,1	9,9
ბ). “რუსთავი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	94,7	115,5
გ). “მარნეული 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	16,1	20,9
10. “თბილსრესი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	28,8	33,1
11. “გურჯაანი 220“-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	28,0	35,5
სულ	1172	1413

4.3. ენერგოსისტემის ავტონომიური ელექტრული ქსელების დატვირთვების სტრუქტურისა

ქვეყნის მასშტაბით ელექტრომომხმარებელთა დატვირთვების სტრუქტურისა და ამ დატვირთვების ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლების დადგენა ჩატარდა ენერგეტიკული რეგიონების 220/110

კვ ძაბვის სადაბლებელ ქვესადგურებთან მიერთებული ცალკეული ავტონომიური ქსელებისთვის.

ყველა ავტონომიური ქსელისთვის მივიღეთ პრინციპი, რომ ელექტრომომხმარებლები, ზოგადად, დაყოფილია ხუთი სხვადასხვა სახის კომპლექსურ მომხმარებლებად, რომელთა დატვირთვის სტატიკურ მახასიათებლებს (პარ.2.2) აქვთ შემდეგი სახე:

1. საყოფაცხოვრებო-კომუნალური

$$P_* = -1,052 + 5,158 * U_* - 5,640 * U_*^2 + 2,534 * U_*^3; \quad Q_* = 8,897 - 19,51 * U_* + 11,62 * U_*^2.$$

2. ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები

$$P_* = 2,292 - 3,108 * U_* + 1,692 * U_*^2 + 0,124 * U_*^3; \quad Q_* = 21,974 - 46,471 * U_* + 25,497 * U_*^2.$$

3. სამრეწველო საწარმოები

$$P_* = 1,483 - 1,166 * U_* + 0,44 * U_*^2 + 0,243 * U_*^3; \quad Q_* = 5,8 - 12,254 * U_* + 7,454 * U_*^2.$$

4. ქალაქის საცხოვრებელი რაიონი

$$P_* = -0,066 + 2,769 * U_* - 3,497 * U_*^2 + 1,794 * U_*^3; \quad Q_* = 11,076 - 23,808 * U_* + 13,732 * U_*^2.$$

5. ქალაქის სამრეწველო რაიონი

$$P_* = 1,602 - 1,311 * U_* + 0,245 * U_*^2 + 0,464 * U_*^3; \quad Q_* = 11,483 - 24,335 * U_* + 13,852 * U_*^2.$$

ცალკეული ავტონომიური ქსელისთვის დადგენილი იქნა მომხმარებელთა თითოეული სახასიათო ჯგუფის ხვედრითი წილი $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ და β_5 ამ ქსელის ჯამური დატვირთვის მიმართ. შესაბამისად, თითოეული ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები გამოთვლილი იქნა შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

$$P_* = \beta_1 \cdot P_{*1} + \beta_2 \cdot P_{*2} + \beta_3 \cdot P_{*3} + \beta_4 \cdot P_{*4} + \beta_5 \cdot P_{*5} \quad (4.1)$$

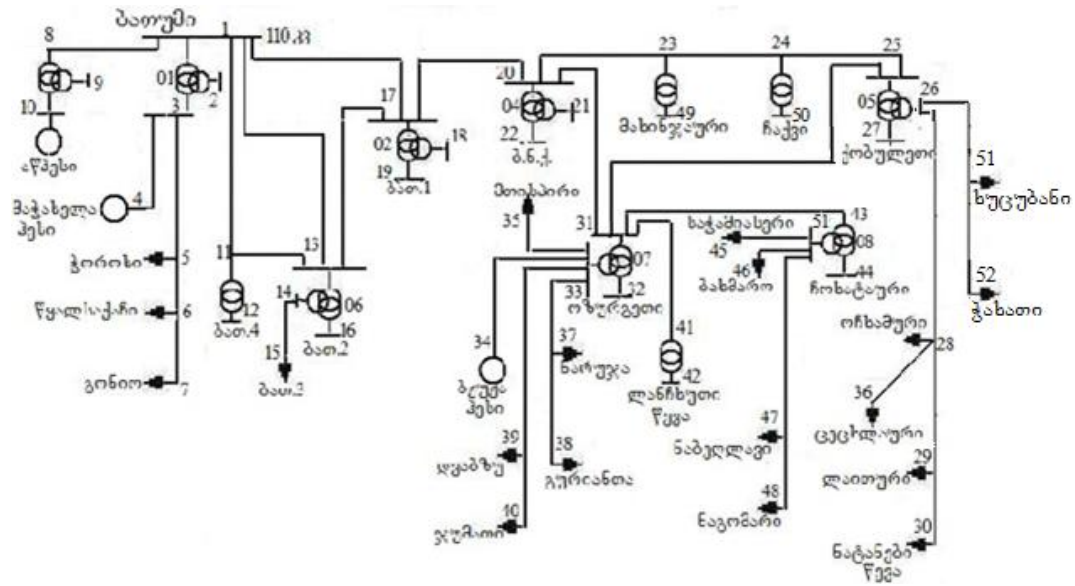
$$Q_* = \beta_1 \cdot Q_{*1} + \beta_2 \cdot Q_{*2} + \beta_3 \cdot Q_{*3} + \beta_4 \cdot Q_{*4} + \beta_5 \cdot Q_{*5} \quad (4.2)$$

4.3.1. 220/110 კვ ძაბვის “დ.ბათუმის” ქვესადგურის

ავტონომიური ქსელი

“დ. ბათუმის” ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის სალტეებიდან იკვებება 110/35 კვ ძაბვის ქსელი, რომელიც მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 12 და 35/10 კვ ძაბვის 19 ქვესადგურს (ნახ.4.1). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა

ზამთრის პიკში აღწევს 88-90 მგვტ-ს. (ცხრ.4.2). ამავე ქსელზე მიერთებულია აწვევის და ბუჟაჰესი.



ნახ. 4.1. 220/110 კვ ძაბვის “დ.ბათუმის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

“დ.ბათუმის” ქვესადგური ელექტროენერგიით ამარაგებს აჭარის ავტონომიურ რესპუბლიკას (ქალაქ ბათუმს და ხულოს, ხელვაჩაურის, ქობულეთის, ქედის, შუახევის რაიონებს) და გურიის მხარეს (ოზურგეთის, ლანჩხუთისა და ჩოხატაურის რაიონებს). ქვესადგური სისტემაში ჩართულია “პალიასტომი-1” და “პალიასტომი-2” 220 კვ ძაბვის ხაზებით.

ცალკეული ჯგუფის მომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების მხვედველობაში მიღებით, “დ.ბათუმი 220” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ქსელზე მიერთებული მომხმარებლების სტატიკური მახასიათებლებისთვის, გვაქვს:

საყოფაცხოვრებო-კომუნალური

$$P = 27,16 \cdot P_* = 27,16 \cdot (-1,052 + 5,158 \cdot U_* - 5,640 \cdot U_*^2 + 2,534 \cdot U_*^3) =$$

$$= -28,572 + 140,091 \cdot U_* - 153,182 \cdot U_*^2 + 68,823 \cdot U_*^3 ;$$

$$Q = 27,16 \cdot tg \varphi \cdot Q_* = 27,16 \cdot 0,6 \cdot (8,897 - 19,51 \cdot U_* + 11,62 \cdot U_*^2) =$$

$$= 144,886 - 317,934 \cdot U_* + 189,36 \cdot U_*^2$$

ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები

$$P = 17,51 \cdot (2,292 - 3,108 \cdot U_* + 1,692 \cdot U_*^2 + 0,124 \cdot U_*^3) =$$

$$= 40,133 - 54,42 \cdot U_* + 29,627 \cdot U_*^2 + 2,171 \cdot U_*^3 ;$$

$$Q = 17,51 \cdot 0,6 \cdot (21,974 - 46,471 \cdot U_* + 25,497 \cdot U_*^2) =$$

$$= 230,859 - 488,224 * U_* + 267,871 * U_*^2.$$

სამრეწველო საწარმო

$$\begin{aligned} P &= 11,87 * (1,483 - 1,166 * U_* + 0,44 * U_*^2 + 0,243 * U_*^3) = \\ &= 17,603 - 13,840 * U_* + 5,223 * U_*^2 + 2,884 * U_*^3; \\ Q &= 11,87 * 0,6 * (5,8 - 12,254 * U_* + 7,454 * U_*^2) = \\ &= 41,308 - 87,273 * U_* + 53,087 * U_*^2. \end{aligned}$$

ქალაქის საცხოვრებელი რაიონი

$$\begin{aligned} P &= 26,1 * (-0,066 + 2,769 * U_* - 3,497 * U_*^2 + 1,794 * U_*^3) = \\ &= -1,723 + 72,271 * U_* - 91,272 * U_*^2 + 46,823 * U_*^3; \\ Q &= 26,1 * 0,6 * (11,076 - 23,808 * U_* + 13,732 * U_*^2) = \\ &= 173,45 - 372,833 * U_* + 215,043 * U_*^2. \end{aligned}$$

ქალაქის სამრეწველო რაიონი

$$\begin{aligned} P &= 7,36 * (1,602 - 1,311 * U_* + 0,245 * U_*^2 + 0,464 * U_*^3) = \\ &= 11,791 - 9,649 * U_* + 1,803 * U_*^2 + 3,415 * U_*^3; \\ Q &= 7,36 * 0,6 * (11,483 - 24,335 * U_* + 13,852 * U_*^2) = \\ &= 50,709 - 107,463 * U_* + 61,170 * U_*^2. \end{aligned}$$

ამ მახასიათებელთა საფუძველზე „დ.ბათუმი 220” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელ ქსელზე მიერთებული მომხმარებლების ჯამური დატვირთვა

$$\begin{aligned} P &= 39,232 + 134,453 * U_* - 207,801 * U_*^2 + 124,116 * U_*^3; \\ Q &= 641,212 - 1373,727 * U_* + 786,531 * U_*^2. \end{aligned}$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$\begin{aligned} P_* &= 0,436 + 1,494 * U_* - 2,309 * U_*^2 + 1,379 * U_*^3 \\ Q_* &= 11,874 - 25,439 * U_* + 14,565 * U_*^2. \end{aligned}$$

დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი

$$\frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 1,494 - 4,618 * U_* + 4,137 * U_*^2 \text{ და } \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = -25,439 + 29,13 * U_*$$

$$\text{როცა } U_* = 1, \quad \frac{\partial P_*}{\partial U_*} = 1,013 \quad \text{და} \quad \frac{\partial Q_*}{\partial U_*} = 3,691.$$

ანალოგიურად, დადგენილი იქნა ქსელის ცალკეული კვანძების დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებები. ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

აბსოლუტურ და ფარდობით ერთეულებში წარმოდგენილია ქვემოთ ცხრილში (ცხრ. 4.3).

ცხრ.4.3. „დბათუმის“ ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

მოხმარება	P_*	Q_*
ჯამური	$159,6-234,2 * U_*+164,5 * U_*^2$	$641,212-1373,727 * U_*+786,531 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$P_*=1,774-2,602 * U_*+1,828 * U_*^2$	$Q_*=11,874-25,439 U_*+14,565 * U_*^2$

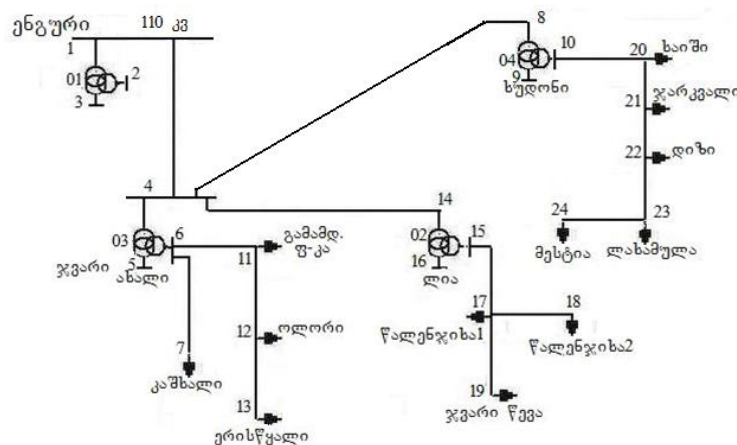
4.3.2. ენგურჭესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ენგურჭესის 110 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს წალენჯიხის, ჩხოროწყუსა და მესტიის რაიონები.

ენგურჭესის 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 4 და 35/10 კვ ძაბვის 12 ქვესადგურს (ნახ.4.2). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 6-7 მგვტ-ს. ამ ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახა-სიათებლები აბსოლიტურ და ფარდობით ერთეულებში წარმოდგენილია 4.4 ცხრილში.

ცხრ.4.4. “ენგურჭესის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

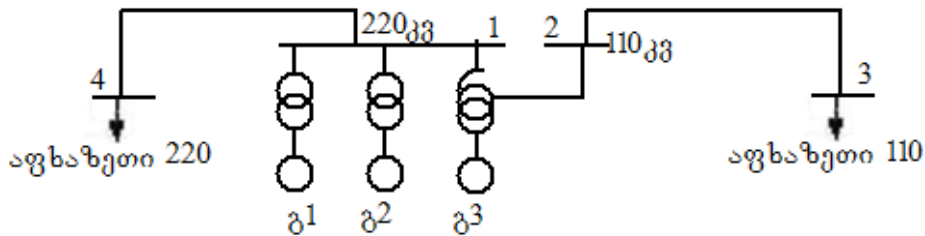
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$12,58-19,71 * U_*+14,89 * U_*^2$	$50,912-110,016 * U_*+63,803 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$P_*=1,621-2,539 * U_*+1,918 * U_*^2$	$Q_*=10,835-23,413 U_*+13,578 * U_*^2$



ნახ. 4.2. ენგურჭესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

4.3.3. 220/110 კვ ძაბვის “ვარდნილიძესი 1” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“ვარდნილიძესი 1” ქვესადგურიდან ელექტროენერგიას იღებს აფხაზეთი. “ვარდნილიძესი 1” ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის სალტეებიდან იკვებება გალის რაიონი, ხოლო 220 კვ ძაბვის სალტეებიდან კი აფხაზეთის დანარჩენი მომხმარებლები (ნახ.4.3). ქვესადგური სისტემაში ჩართულია “ეგრისი 1,2”, კოლხიდა 2” და “პალიასტომი-2” 220 კვ ძაბვის ხაზებით. ამ ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები წარმოდგენილია 4.5 ცხრილში.



ნახ.4.3. 220/110 კვ ძაბვის “ვარდნილიძესი 1” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

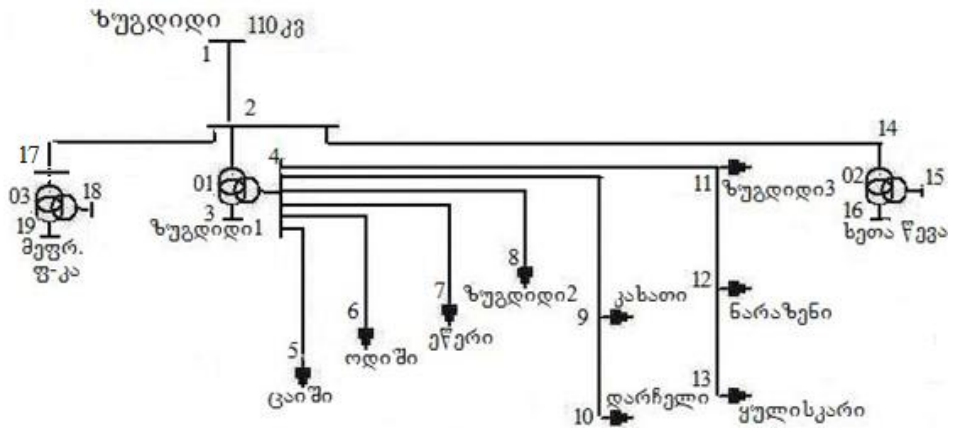
ცხრ.4.5. “ვარდნილიძესი 1” 220/110 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$480,6-693,5 * U_* + 471,9 * U_*^2$	$1801,596-3848,35 * U_* + 2192,561 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,848-2,663 * U_* + 1,815 * U_*^2$	$12,355-26,392 * U_* + 15,037 * U_*^2$

4.3.4. 220/110 კვ ძაბვის “ზუგდიდის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

220/110 კვ ძაბვის “ზუგდიდის” ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ზუგდიდის და ხობის რაიონები.

ქვესადგური “ზუგდიდის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 3 და 35/10 კვ ძაბვის 9 ქვესადგურს (ნახ.4.4). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 20-25 მგვტ-ს.



ნახ. 4.4. 220/110 კვ ძაბვის “ზუგდიდის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

ამ ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.6 ცხრილში.

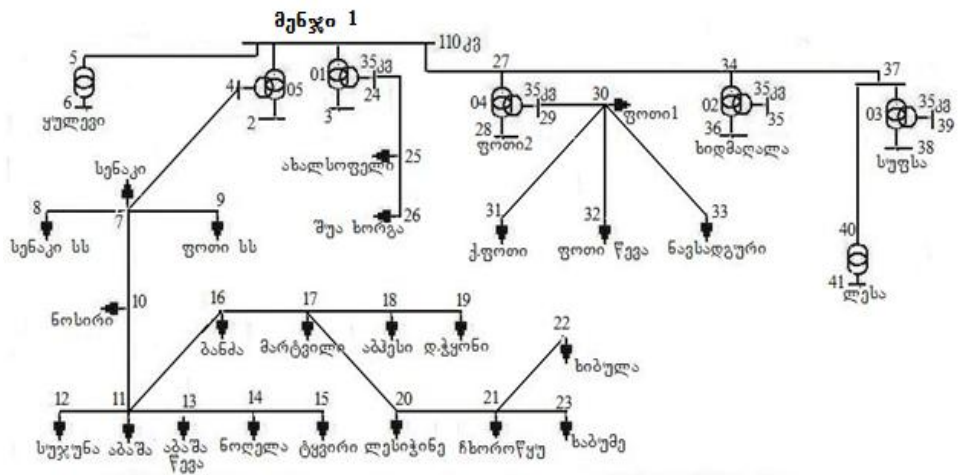
ცხრ.4.6. “ზუგდიდის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$39,83-56,87 * U_*+39,24 * U_*^2$	$132,634-283,743 * U_*+162,232 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,794-2,562 * U_*+1,768 * U_*^2$	$11,949-25,562 * U_*+14,615 * U_*^2$

4.3.5. 220/110 კვ ძაბვის “მენჯის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

220/110 კვ ძაბვის “მენჯის” ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს სენაკის, ფოთის, მარტვილის, აბაშის რაიონები.

ქვესადგური “მენჯის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 5 და 35/10 კვ ძაბვის 23 ქვესადგურს (ნახ.4.5). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 38-40 მგვტ-ს მუნიციპალიტეტში ელექტროენერგიის ძირითადი მომხმარებლები საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივი კომუნალური ხასიათისაა.



ნახ. 4.5. 220/110 კვ ძაბვის “მენჯის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

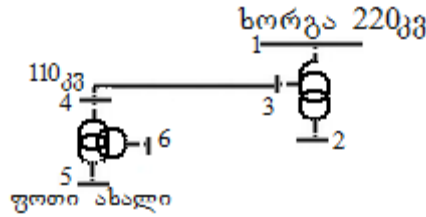
ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.7 ცხრილში.

ცხრ.4.7. “მენჯის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთ.	P_*	Q_*
ჯამური	$78,49-112,2 * U_* + 76,5 * U_*^2$	$313,675-670,127 * U_* + 382,166 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,835-2,625 * U_* + 1,79 * U_*^2$	$12,199-26,061 * U_* + 14,862 * U_*^2$

4.3.6. 220/110 კვ ძაბვის “ხორგას” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“ხორგას” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელიდან ელექტროენერგიას იღებს ქალაქ ფოთის თავისუფალი ინდუსტრიული ზონა (თიზი). ამ ქვესადგურის ავტონომიურ ქსელზე მიერთებულია მისი საკუთარი მოხმარება 10 კვ-ზე და 110/35 კვ ძაბვის ახალი ქვესადგურის “ფოთი ახალი”, საიდანაც კვებას მიიღებს ფოთის თავისუფალი ინდუსტრიული ზონის ყველა მომხმარებელი (ძირითადად სამრეწველო მომხმარებლები) (ნახ.4.6). ქვესადგურის ექსპლუატაციაში შეყვანა სრული დატვირთვით ნავარაუდევია 2013 წლის ბოლოსთვის, რომლის მაქსიმალური დატვირთვა მიაღწევს 110-115 მგვტ-ს (დანართი 1).



ნახ.4.6. “ხორგას” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ქსელი

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.8 ცხრილში.

ცხრ.4.8. “ ხორგა 220” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$196,7-245,6* U_*+161,0* U_*^2$	$389,96-829,872* U_*+485,645* U_*^2$
ვარდ. ერთ.	$1,753-2,188* U_*+1,435* U_*^2$	$8,527-18,146* U_*+10,619* U_*^2$

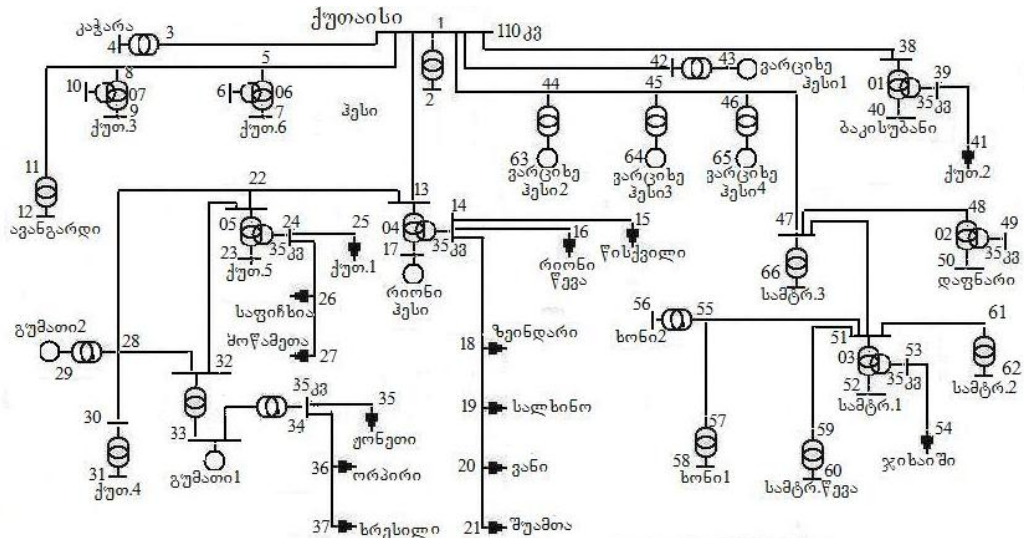
4.3.7. 220/110 კვ ძაბვის “დ.ქუთაისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“დ.ქუთაისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელიდან ელექტროენერგიას იღებს ქალაქ ქუთაისი, ვანის, სამტრედიისა და ხონის რაიონები.

ქ. ქუთაისი იმერეთის მხარის ადმინისტრაციული ცენტრია. მისი მოსახლეობა 186 ათას კაცს შეადგენს. ქალაქში არის ჯანდაცვის, კულტურის, განათლებისა და ადმინისტრაციული დაწესებულებები. 600-მდე მოქმედი სამრეწველო საწარმოებია.

ქვესადგური “დ.ქუთაისის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 16 და 35/10 კვ ძაბვის 14 ქვესადგურს (ნახ.4.7). ამავე ქსელზე მიერთებულია რიონის, გუმათის და ვარციხე პესები. ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 75-80 მგვტ-ს.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.9 ცხრილში.



ნახ.4.7. “დ.ქუთაისის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

ცხრ.4.9. “დ.ქუთაისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

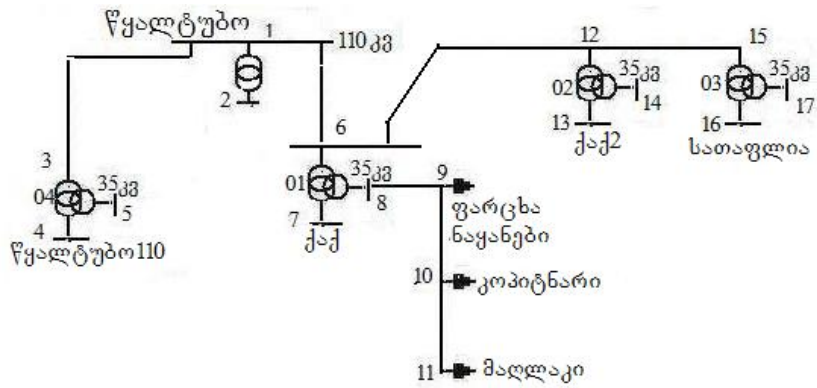
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$129,7-185,4* U_*+126,6* U_*^2$	$487,975-1042,49* U_*+595,05* U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,827-2,612* U_*+1,785* U_*^2$	$12,037-25,715* U_*+14,678* U_*^2$

4.3.8. 220/110 კვ ძაბვის “წყალტუბოს” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

220/110 კვ ძაბვის “წყალტუბოს” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის საღ-ტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს წყალტუბოს რაიონი და ქალაქ ქუთაისის მომხმარებელთა ნაწილი.

ქვესადგური “წყალტუბოს” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 5 და 35/10 კვ ძაბვის 3 ქვესადგურს (ნახ.4.8). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 15-18 მგვტ-ს.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.10 ცხრილში.



ნახ.4.8. “წყალტუბოს” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

ცხრ.4.10. “წყალტუბოს” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

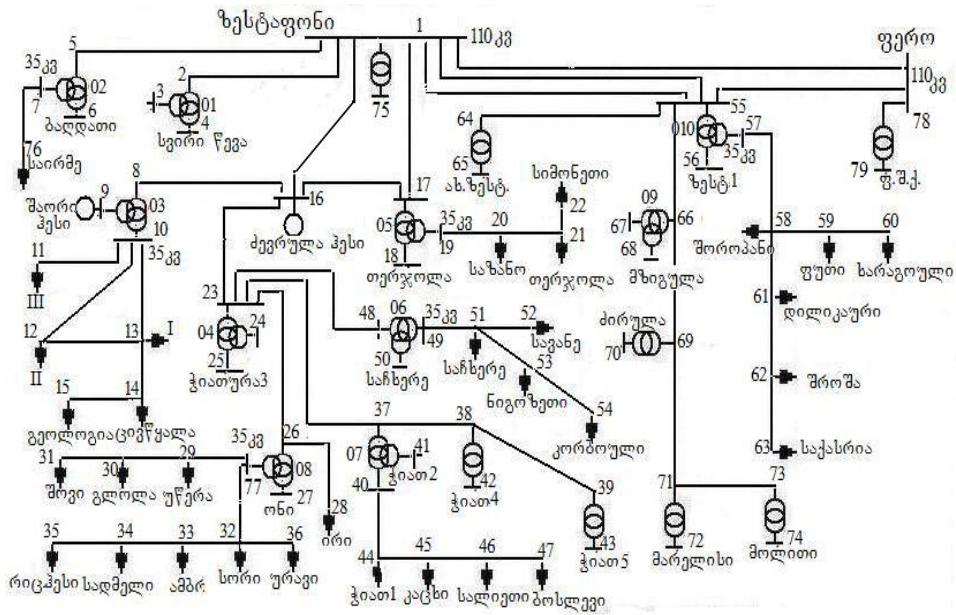
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$26,7-36,35 * U_* + 24,45 * U_*^2$	$93,991-200,503 * U_* + 115,109 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,804-2,456 * U_* + 1,652 * U_*^2$	$10,929-23,314 * U_* + 13,385 * U_*^2$

4.3.9. 220/110 კვ ძაბვის “დ.ზესტაფონის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“დ.ზესტაფონის” ქვესადგურის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ზესტაფონის, ბაღდადის, თერჯოლის, ჭიათურის, საჩხერის, ტყიბულის, ამბროლაურის, ონისა და ხარაგოულის რაიონები.

ქვესადგური “დ.ზესტაფონის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 17 და 35/10 კვ ძაბვის 32 ქვესადგურს (ნახ.4.9). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა, რომელიც მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნის მუშაობის რეჟიმზე, ზამთრის პიკში აღწევს 90-150 მგვტ-ს. ამავე ქსელზე მიერთებულია შაორის და ტყიბულის ჰესები.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.11 ცხრილში.



ნახ.4.9. “დ.ზესტაფონის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

ცხრ.4.11. “ზესტაფონის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

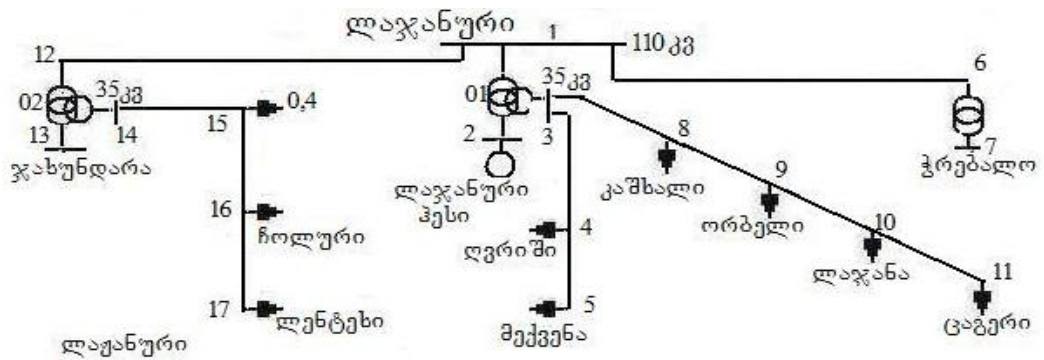
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$165,4-226,0 * U_* + 150,2 * U_*^2$	$595,717-1269,58 * U_* + 725,022 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,846-2,522 * U_* + 1,676 * U_*^2$	$11,644-24,816 * U_* + 14,172 * U_*^2$

4.3.10. ლაჯანურჭესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ლაჯანურის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის სალტებიდან ელექტროენერგიას იღებს ლენტეხისა და ცაგერის რაიონები.

ქვესადგური “ლაჯანურის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 3 და 35/10 კვ ძაბვის 9 ქვესადგურს (ნახ.4.10).

ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 3-5 მგვტ-ს. ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.12 ცხრილში.



ნახ.4.10. ლაჯანურპესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურისავტონომიური ქსელი

ცხრ.4.12. “ლაჯანურის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$5,356-8,235 * U_*+6,078 * U_*^2$	$20,001-43,082 * U_*+24,817 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,674-2,577 * U_*+1,903 * U_*^2$	$11,521-24,817 * U_*+14,296 * U_*^2$

4.3.11. 220/110 კვ ძაბვის “ხაშურის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

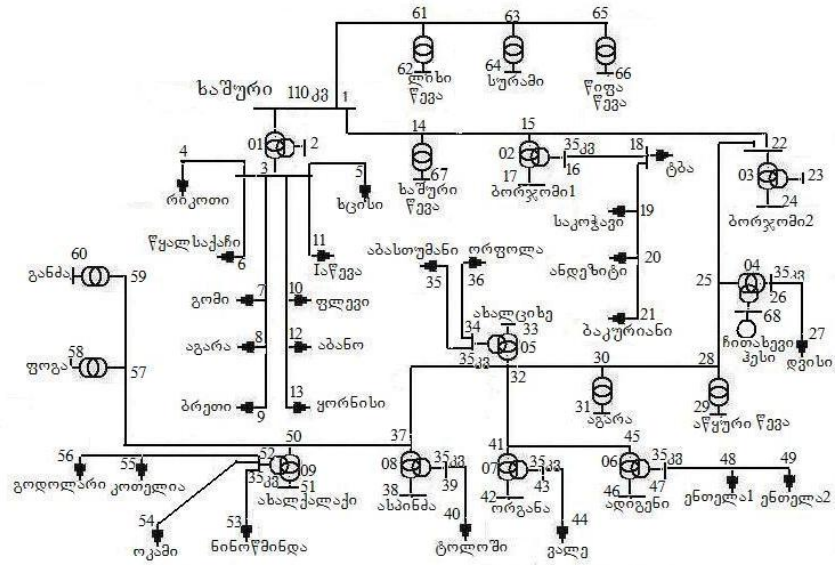
“ხაშურის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ხაშურის, ბორჯომის, ახალციხის, ადიგენის, ასპინძის, ახალქალაქის და ნინოწმინდის რაიონები.

ქვესადგური “ხაშურის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 17 და 35/10 კვ ძაბვის 25 ქვესადგურს (ნახ.4.11). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 40-45 მგვტ-ს. ამავე ქსელზეა მიერთებული ჩითახევის პესი.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.13 ცხრილში.

ცხრ.4.13 “ხაშურის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$71,46-100,8 * U_*+68,46 * U_*^2$	$260,658-556,796 * U_*+318,466 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,827-2,578 * U_*+1,751 * U_*^2$	$11,674-24,937 * U_*+14,263 * U_*^2$

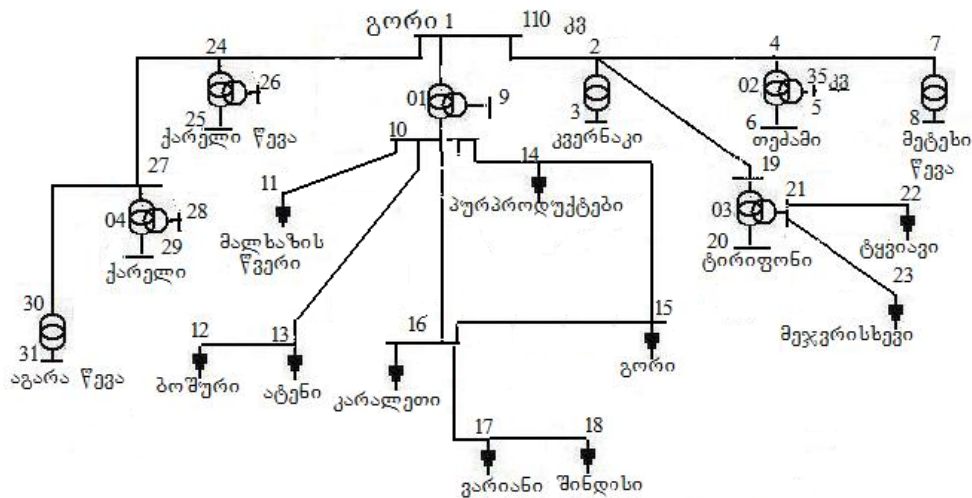


ნახ. 4.11. 220/110 კვ ძაბვის “სამშურის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

4.3.12. 220/110 კვ ძაბვის “გორის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“გორის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტებიდან ელექტროენერგიას იღებს გორის, კასპის (ნაწილობრივ) და ქარელის რაიონები.

ქვესადგური “გორის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 8 და 35/10 კვ ძაბვის 10 ქვესადგურს (ნახ.4.12). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 30-35 მგვტ-ს. ამავე ქსელზეა მიერთებული ტირიფონის მცირე სიმძლავრის ჰესი.



ნახ. 4.12. 220/110 კვ ძაბვის “გორის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

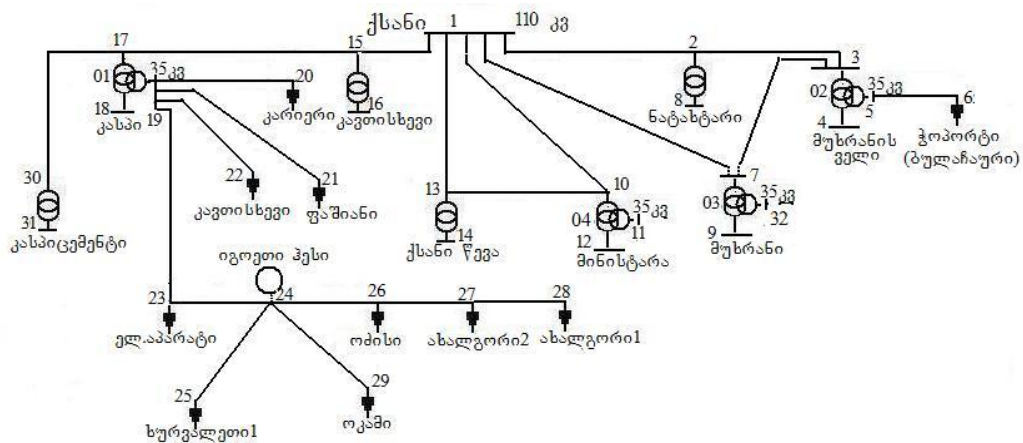
ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.14 ცხრილში.

ცხრ.4.14. “გორის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$46,85-69,2*U_*+49,15*U_*^2$	$177,426-380,592*U_*+218,224*U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,747-2,581*U_*+1,834*U_*^2$	$11,783-25,275*U_*+14,492*U_*^2$

4.3.13. 220/110 კვ ძაბვის “ქსანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“ქსანის” ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს კასპის (ნაწილობრივ) და ახალგორის რაიონები. ქვესადგური “ქსანის” 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 8 და 35/10 კვ ძაბვის 11 ქვესადგურს (ნახ.4.13). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 30-35 მგვტ-ს.



ნახ. 4.13. 220/110 კვ ძაბვის “ქსანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

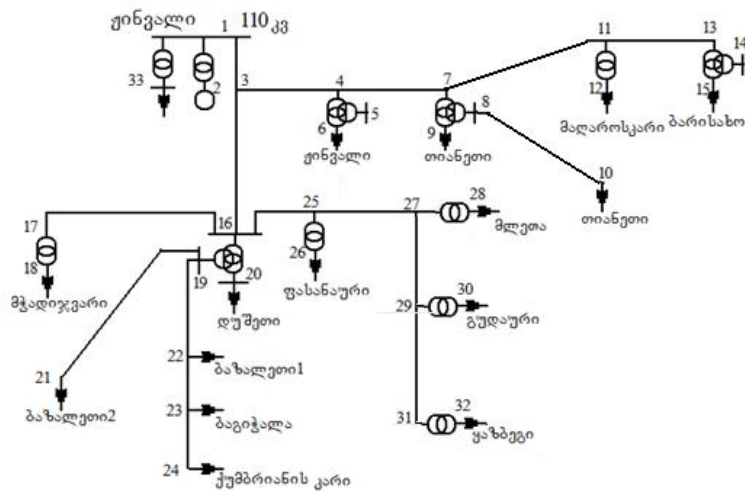
ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.15 ცხრილში.

ცხრ.4.15. “ქსანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$52,85-70,37*U_*+47,02*U_*^2$	$182,92-390,052*U_*+224,86*U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,791-2,384*U_*+1,593*U_*^2$	$10,318-22,002*U_*+12,684*U_*^2$

4.3.14. შინგალჰესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

შინგალჰესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს დუშეთის, თიანეთის და ყაზბეგის რაიონები. ქვესადგური “შინგალის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 12 და 35/10 კვ ძაბვის 4 ქვესადგურს (ნახ.4.14). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 6-8 მგვტ-ს.



ნახ. 4.14. შინგალჰესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.16 ცხრილში.

ცხრ.4.16 “შინგალის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

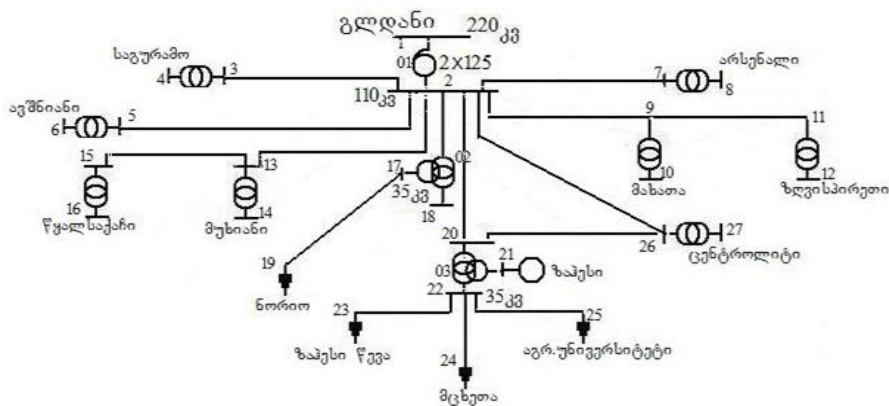
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$10,97-16,55* U_*+11,88* U_*^2$	$43,098-92,521* U_*+52,964* U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,742-2,629* U_*+1,887* U_*^2$	$12,171-26,128* U_*+14,957* U_*^2$

4.3.15. 220/110 კვ ძაბვის “გლდანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“გლდანის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქ. თბილისის გლდანის რაიონი და მცხეთის რაიონი. ქვესადგური “გლდანის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური

მიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 9 და 35/10 კვ ძაბვის 4 ქვესადგურს (ნახ.4.15). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 80-90 მგვტ-ს. ამავე ქსელზეა მიერთებული 36 მგვტ სიმძლავრის ზაჰესი.

გლდანის რაიონი ძირითადად საცხოვრებელ რაიონს წარმოადგენს, არის ადმინისტრაციული შენობები, სკოლები, ოფისები, სასტუმროები, დასასვენებელი პარკები, კულტურისა და სპორტის ობიექტები, მცირე და საშუალო ბიზნესის საწარმოები და ა.შ. ელექტრომომხმარებლები მცირე საწარმოო და კომუნალური ხასიათისაა.



ნახ. 4.15. 220/110 კვ ძაბვის “გლდანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.17 ცხრილში.

ცხრ.4.17. “გლდანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

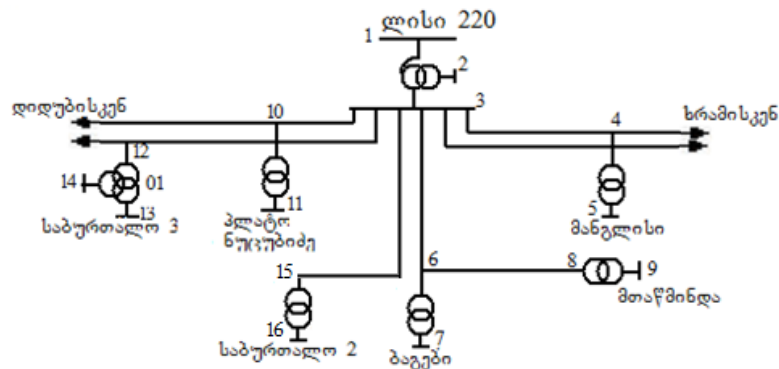
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$150,3-209,2 * U_* + 138,0 * U_*^2$	$593,89-1264,8 * U_* + 718,477 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,898-2,64 * U_* + 1,742 * U_*^2$	$12,485-26,59 * U_* + 15,105 * U_*^2$

4.3.16. 220/110 კვ ძაბვის “ლისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“ლისის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის (ნახ.4.16) 110 კვ ძაბვის სალტებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქ. თბილისის მთაწმინდის, ვაკისა და საბურთალოს (დიდმის რეგიონის გარდა) რაიონები.

ქვესადგური “ლისის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 6 ქვესადგურს. ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 90-100 მგვტ-ს.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.18 ცხრილში.



ნახ. 4.16. 220/110 კვ ძაბვის “ლისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

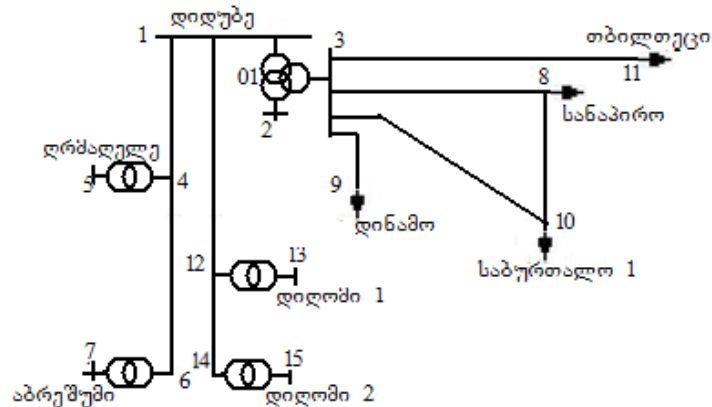
ცხრ.4.18. “ლისის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$168,7-248,8* U_*+170,3* U_*^2$	$760,598-1624,41* U_*+919,892* U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,868-2,752* U_*+1,884* U_*^2$	$13,563-28,966* U_*+16,403* U_*^2$

4.3.17. 220/110 კვ ძაბვის “დიდუბის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“დიდუბის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქ. თბილისის დიდუბის, საბურთალოს (დიდმის რეგიონი), ნაძალადევისა და ჩუღურეთის რაიონები. ქვესადგური “დიდუბის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 5 და

35/10 კვ ძაბვის 4 ქვესადგურს (ნახ.4.17). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 90-100 მგვტ-ს.



ნახ. 4.17. 220/110 კვ ძაბვის “დიდუბის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.19 ცხრილში.

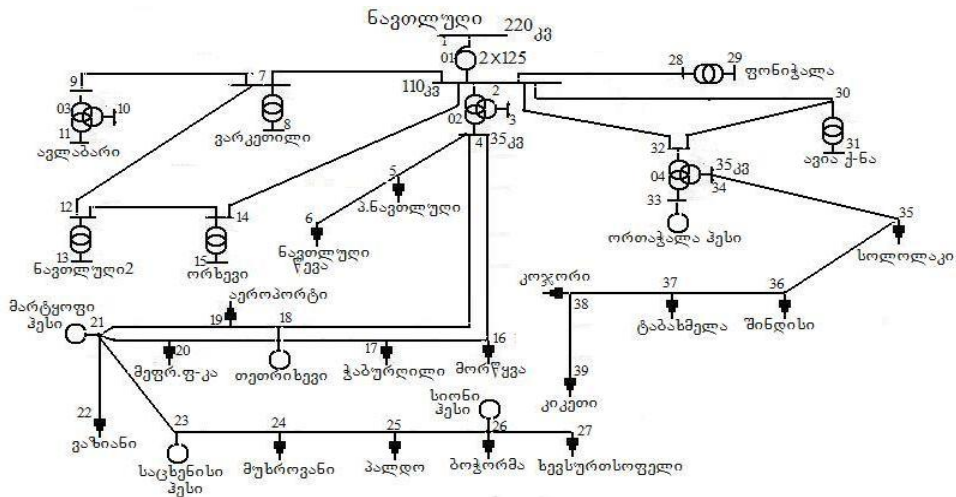
ცხრ.4.19. “დიდუბის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის კვანძების დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$178,8-257,8* U_*+173,8* U_*^2$	$743,596-1586,65U+900,074*U_*^3$
ფარდ. ერთ.	$1,885-2,716* U_*+1,831* U_*^2$	$13,041-27,826 U_*+15,785* U_*^2$

4.3.18. 220/110 კვ ძაბვის “ნავთლულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“ნავთლულის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის საღ-ტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქ. თბილისის სამგორის, ისნის, კრწანისის რაიონების ელექტრომომხმარებლები.

ქვესადგური “ნავთლულის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 7 და 35/10 კვ ძაბვის 16 ქვესადგურს (ნახ.4.18). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 110-115 მგვტ-ს. ამავე ქსელში ჩართულია ორთაჭალისა და სამგორის ჰესების კასკადი.



ნახ. 4.18. 220/110 კვ ძაბვის “ნავთლულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.20 ცხრილში.

ცხრ.4.20. “ნავთლულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$212,6-308,07 * U_* + 214,1 * U_*^2$	$806,345 - 1726,13 * U_* + 988,84 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,79-2,593 * U_* + 1,802 * U_*^2$	$11,677 - 24,997 * U_* + 14,32 * U_*^2$

4.3.19. 220/110 კვ ძაბვის “ხრამიჭესი 2-ის”

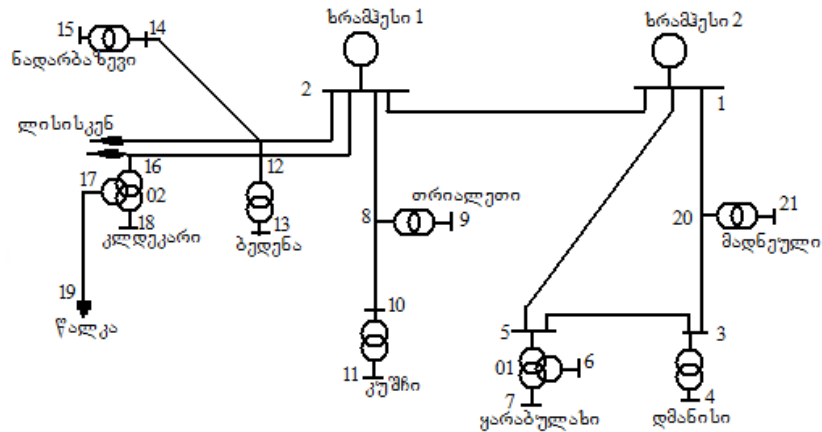
ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“ხრამიჭესი 2-ის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქ. თბილისის წაღკისა და დმანისის რაიონები. ქვესადგური “ხრამიჭესი 2”-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 8 და 35/10 კვ ძაბვის 1 ქვესადგურს (ნახ.4.19). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 10-15 მგვტ-ს. ამავე ქსელში ჩართულია ხრამიჭესი 1.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.21 ცხრილში.

ცხრ.4.21. “ ხრამიჭესი 2-ის ” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

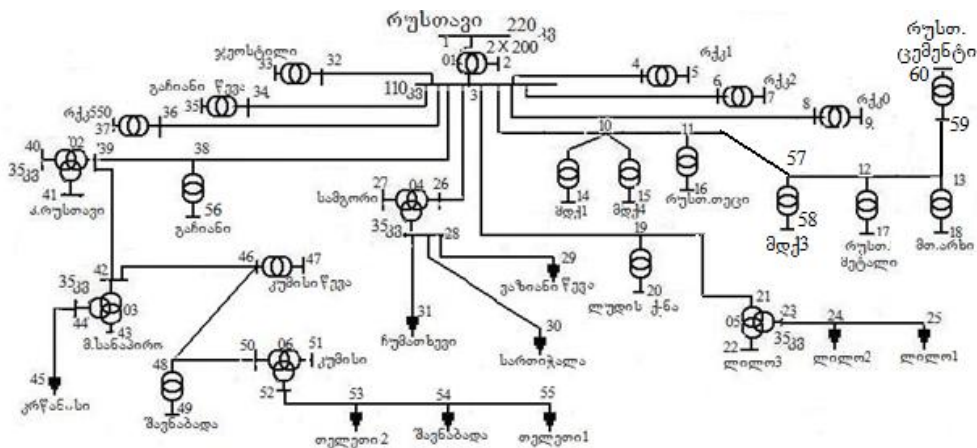
დატვირტვა	P_*	Q_*
ჯამური	$16,71-24,57* U_*+17,75* U_*^2$	$59,004-126,861* U_*+73,323* U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,688-2,482* U_*+1,793* U_*^2$	$10,795-23,207* U_*+13,414* U_*^2$



ნახ. 4.19. 220/110 კვ ძაბვის “ხრამიჭესი 2-ის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

4.3.20. 220/110 კვ ძაბვის “რუსთავის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“რუსთავის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის (ნახ.4.20) 110/35 კვ ძაბვის სალ-ტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქ. რუსთავი და გარდაბნის რაიონი.



ნახ. 4.20. 220/110 კვ ძაბვის “რუსთავის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ქალაქ რუსთავის სამრეწველო საწარმოთა ნაწილი ელექტროენერგიას იღებს თბილსრესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელიდან.

ქვესადგური “რუსთავის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 20 და 35/10 კვ ძაბვის 9 ქვესადგურს. ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 115-120 მგვტ-ს.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები აბსოლიტურ და ფარდობით ერთეულებში ნაჩვენებია 4.22 ცხრილში.

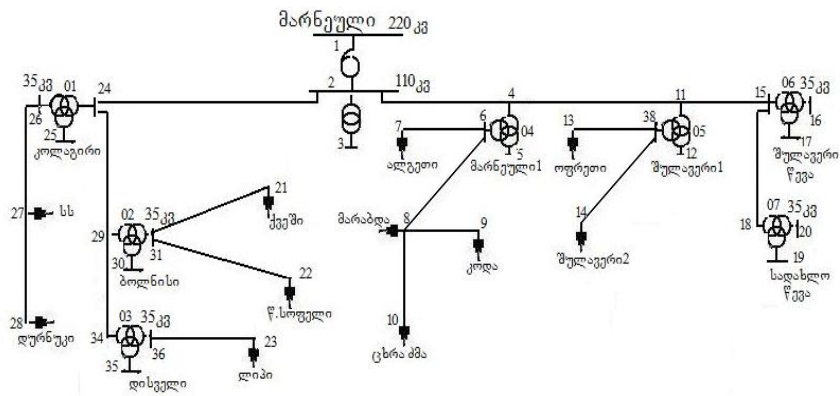
ელექტრომომხმარებლები სამრეწველო, ელექტროწვევის, სასოფლო-სამეურნეო, საყოფაცხოვრებო-კომუნალური და საზოგადოებრივ-კომუნალური ხასიათისაა.

ცხრ.4.22. “ რუსთავის ” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$208,7-279,2* U_*+185,9* U_*^2$	$748,176-1595,26* U_*+918,804* U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,808-2,419* U_*+1,611* U_*^2$	$10,432-22,243* U_*+12,811* U_*^2$

4.3.21. 220/110 კვ ძაბვის “მარნეულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“მარნეულის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ბოლნისის, თეთრი წყაროს და მარნეულის რაიონები. ქვესადგური “მარნეულის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 8 და 35/10 კვ ძაბვის 12 ქვესადგურს (ნახ.4.21). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 20-23 მგვტ-ს.



ნახ. 4.21. 220/110 კვ ძაბვის “მარნეულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.23 ცხრილში.

ცხრ.4.23. “მარნეულის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის კვანძების დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები

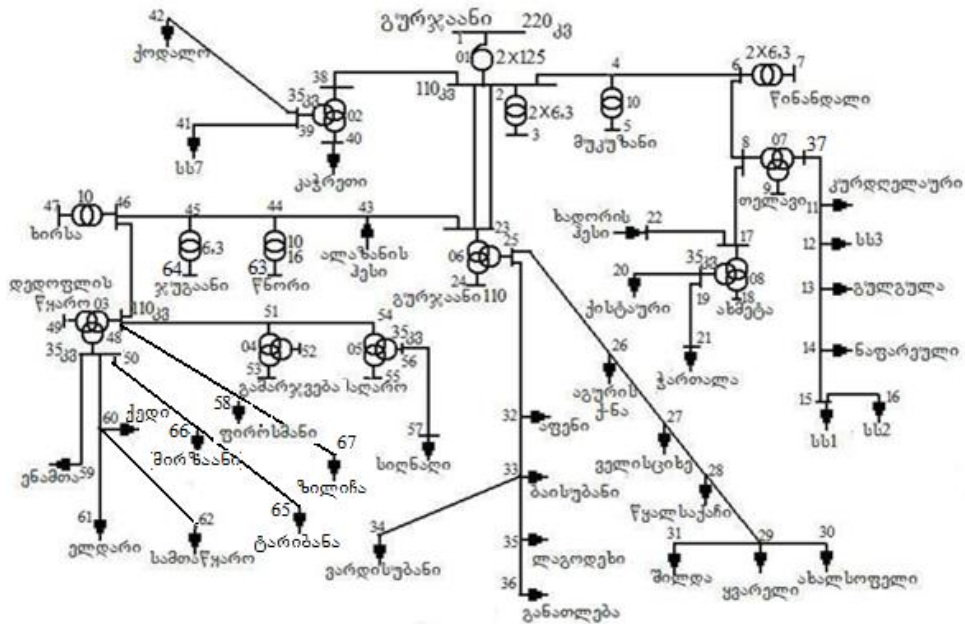
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$38,04-53,65 * U_* + 36,5 * U_*^2$	$136,05-290,583 * U_* + 166,053 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,82-2,568 * U_* + 1,7485 * U_*^2$	$11,81-25,224 * U_* + 14,414 * U_*^2$

4.3.22. 220/110 კვ ძაბვის “გურჯაანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

“გურჯაანის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის საღ-ტეებიდან ელექტროენერგიას იღებს ახმეტის, გურჯაანის, დედოფლის-წყაროს, თელავის, ლაგოდეხის, სიღნაღის და ყვარლის რაიონები.

ქვესადგური “გურჯაანის” 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 13 და 35/10 კვ ძაბვის 31 ქვესადგურს (ნახ.4.22). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 35-40 მგვტ-ს. “გურჯაანი 220”-ის 110/35 კვ ძაბვის ავტონომიურ ქსელზე მიერთებულია ხალორიძესი 24 მგვტ დადგმული სიმძლავრით. ქსელზე მიერთებული ელექტრომომხმარებლები მცირე სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო და კომუნალური ხასიათისაა.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.24 ცხრილში



ნახ. 4.22. 220/110 კვ ძაბვის “გურჯაანის” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ცხრ.4.24. “ გურჯაანის ” ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

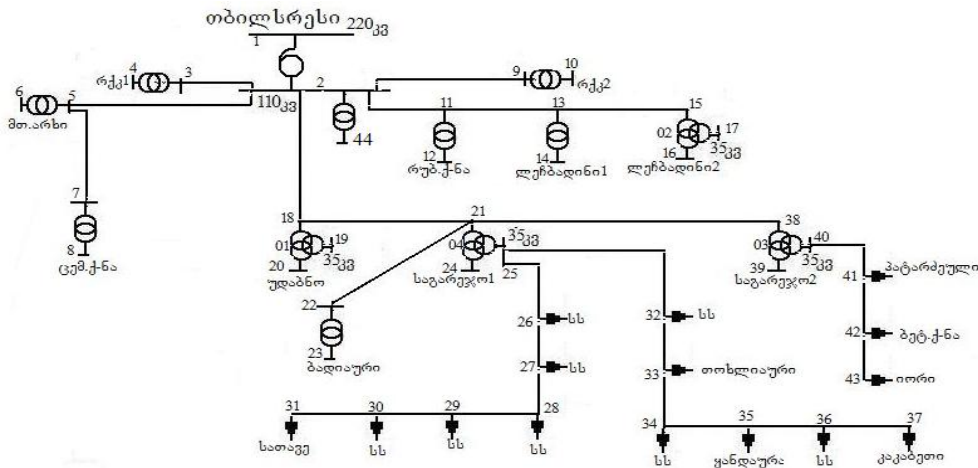
დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$60,73-89,48 * U_* + 64,05 * U_*^2$	$224,764-482,529 * U_* + 277,597 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,72-2,533 * U_* + 1,8139 * U_*^2$	$11,334-24,331 * U_* + 13,997 * U_*^2$

4.3.23. თბილსრესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

თბილსრესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის 110/35 კვ ძაბვის სალტებებიდან ელექტროენერგიას იღებს ქალაქ რუსთავის სამრეწველო საწარმოთა ნაწილი (მეტალურგიული კომბინატი, აზოტის, ქიმბოჭკოს, ცემენტის ქარხნები) და საგარეჯოს რაიონი.

ქვესადგური თბილსრესის 110/35 კვ ძაბვის ქსელი მოიცავს 110/35/10 კვ ძაბვის 12 და 35/10 კვ ძაბვის 15 ქვესადგურს (ნახ.4.23). ამ ქსელის ჯამური დატვირთვა ზამთრის პიკში აღწევს 50-60 მგვტ-ს.

ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 4.25 ცხრილში.



ნახ. 4.23. თბილსრესის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელი

ცხრ.4.25. თბილსრესის ქვესადგურის ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები

დატვირთვა	P_*	Q_*
ჯამური	$59,83-80,1 * U_* + 53,56 * U_*^2$	$201,022-428,779 * U_* + 247,103 * U_*^2$
ფარდ. ერთ.	$1,797-2,406 * U_* + 1,609 * U_*^2$	$10,391-22,164 * U_* + 12,773 * U_*^2$

4.4 დატვირთვების სტატიკურ მახასიათებელთა ანალიზი

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული რეგიონების 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურების 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომლებიც წარმოდგენილია 4.26 ცხრილში (ფარდობით ერთეულებში).

ცხრ.4.26. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული რეგიონების 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურების 110/35 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის კომბინირებული დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები

N°N°	კვანძი	P_*	Q_*
4.4.1	დ.ბათუმი	$P_* = 1,774 - 2,602 * U_* + 1,828 * U_*^2$	$11,874 - 25,439 * U_* + 14,565 * U_*^2$
4.4.2	ენგურჰესი	$P_* = 1,621 - 2,539 * U_* + 1,918 * U_*^2$	$10,835 - 23,413 * U_* + 13,578 * U_*^2$
4.4.3	ვარდნილ	$1,848 - 2,663 * U_* + 1,815 * U_*^2$	$12,355 - 26,392 * U_* + 15,037 * U_*^2$
4.4.4	ზეგდიდი	$1,794 - 2,562 * U_* + 1,768 * U_*^2$	$11,949 - 25,562 * U_* + 14,615 * U_*^2$
4.4.5	მენჯი	$1,835 - 2,625 * U_* + 1,79 * U_*^2$	$12,199 - 26,061 * U_* + 14,862 * U_*^2$
4.4.6	ხორგა	$1,753 - 2,188 * U_* + 1,435 * U_*^2$	$8,527 - 18,146 * U_* + 10,619 * U_*^2$
4.4.7	დ.ქუთაისი	$1,827 - 2,612 * U_* + 1,785 * U_*^2$	$12,037 - 25,715 * U_* + 14,678 * U_*^2$
4.4.8	წყალტუბო	$1,804 - 2,456 * U_* + 1,652 * U_*^2$	$10,929 - 23,314 * U_* + 13,385 * U_*^2$

4.4.9	ზესტაფონი	$1,846-2,522* U_*+1,676* U_*^2$	$11,644-24,816* U_*+14,172* U_*^2$
4.4.10	ლაჯანური	$1,674-2,577* U_*+1,903* U_*^2$	$11,521-24,817* U_*+14,296* U_*^2$
4.4.11	ხაშური	$1,827-2,578* U_*+1,751* U_*^2$	$11,674-24,937* U_*+14,263* U_*^2$
4.4.12	გორი	$1,747-2,581* U_*+1,834* U_*^2$	$11,783-25,275* U_*+14,492* U_*^2$
4.4.13	ქსანი	$1,791-2,384* U_*+1,593* U_*^2$	$10,318-22,002* U_*+12,684* U_*^2$
4.4.14	ჟინვალჰესი	$1,742-2,629* U_*+1,887* U_*^2$	$12,171-26,128* U_*+14,957* U_*^2$
4.4.15	გლდანი	$1,898-2,64* U_*+1,742* U_*^2$	$12,485-26,59* U_*+15,105* U_*^2$
4.4.16	ღისი	$1,868-2,752* U_*+1,884* U_*^2$	$13,563-28,966* U_*+16,403* U_*^2$
4.4.17	დიდუბე	$1,885-2,716* U_*+1,831* U_*^2$	$13,041-27,826* U_*+15,785* U_*^3$
4.4.18	ნავთლული	$1,79-2,593* U_*+1,802* U_*^2$	$11,677-24,997* U_*+14,32* U_*^2$
4.4.19	ხრამჰესი 2	$1,688-2,482* U_*+1,793* U_*^2$	$10,795-23,207* U_*+13,414* U_*^2$
4.4.20	რუსთავი	$1,808-2,419* U_*+1,611* U_*^2$	$10,432-22,243* U_*+12,811* U_*^2$
4.4.21	მარნეული	$1,82-2,568* U_*+1,7485* U_*^2$	$11,81-25,224* U_*+14,414* U_*^2$
4.4.22	გურჯაანი	$1,72-2,533* U_*+1,8139* U_*^2$	$11,334-24,331* U_*+13,997* U_*^2$
4.4.23	თბილსრესი	$1,797-2,406* U_*+1,609* U_*^2$	$10,391-22,164* U_*+12,773* U_*^2$

ამ მახასიათებელთა საფუძველზე გამოთვლილი იქნა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტთა რიცხვითი მნიშვნელობები ძაბვათა სხვადასხვა მნიშვნელობებისას (ცხრ.4.27), სადაც მრიცხველი წარმოადგენს ძაბვის მიხედვით აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს - $\partial P_*/\partial U_*$, ხოლო მნიშვნელი კი რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს - $\partial Q_*/\partial U_*$.

ცხრ.4.27. კომბინირებული დატვირთვების მარეგულირებელი ეფექტი

№№	რეგიონი	U_*						
		0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
4.4.1	დ.ბათუმი	0,558	0,689	0,841	1,013	1,206	1,420	1,655
		-0,68	0,778	2,235	3,691	5,148	6,604	8,061
4.4.2	ენგურ-ჰესი	0,794	0,914	1,063	1,24	1,446	1,681	1,945
		-0,33	1,027	2,385	3,743	5,101	6,459	7,816
4.4.3	ვარდნილ-ჰესი	0,467	0,604	0,758	0,931	1,121	1,33	1,556
		-0,83	0,68	2,178	3,682	5,186	6,689	8,193
4.4.4	ზუგდიდი	0,491	0,622	0,77	0,938	1,124	1,329	1,553
		-0,72	0,745	2,207	3,668	5,13	6,59	8,053
4.4.5	მენჯი	0,461	0,597	0,751	0,921	1,109	1,313	1,535
		-0,80	0,691	2,177	3,663	5,149	6,635	8,122
4.4.6	ხორგა	0,75	0,869	0,997	1,136	1,284	1,443	1,611
		-0,09	0,968	2,03	3,092	4,154	5,216	6,278
4.4.7	ქუთაისი	0,466	0,601	0,753	0,923	1,11	1,315	1,537
		-0,76	0,705	2,173	3,641	5,109	6,577	8,044
4.4.8	წყალ-ტუბო	0,388	0,518	0,662	0,82	0,992	1,179	1,379
		-0,56	0,779	2,118	3,456	4,795	6,133	7,472
4.4.9	დ.ზესტაფონი	0,36	0,495	0,643	0,804	0,978	1,165	1,366
		-0,724	0,694	2,111	3,528	4,945	6,362	7,78

4.4.10	ლაჯანურ ჰესი	0,723	0,848	1,00	1,177	1,38	1,61	1,865
		-0,51	0,92	2,345	3,775	5,205	6,634	8,064
4.4.11	ხაშური	0,44	0,574	0,724	0,891	1,074	1,274	1,491
		-0,69	0,736	2,163	3,589	5,015	6,442	7,868
4.4.12	გორი	0,59	0,72	0,871	1,044	1,238	1,454	1,69
		-0,64	0,811	2,26	3,709	5,158	6,607	8,057
4.4.13	ქსანი	0,356	0,483	0,623	0,776	0,942	1,12	1,312
		-0,44	0,829	2,098	3,366	4,634	5,903	7,171
4.4.14	ჟინვალ- ჰესი	0,637	0,718	0,922	1,099	1,299	1,523	1,769
		-0,70	0,795	2,29	3,786	5,282	6,777	8,273
4.4.15	გლდანი	0,356	0,496	0,65	0,817	0,998	1,193	1,409
		-0,91	0,599	2,11	3,62	5,131	6,641	8,152
4.4.16	ღისი	0,498	0,639	0,80	0,979	1,177	1,393	
		-1,08	0,559	2,20	3,84	5,48	7,121	8,761
4.4.17	დიღუბე	0,439	0,58	0,738	0,913	1,104	1,312	1,537
		-0,99	0,587	2,166	3,744	5,323	6,901	8,48
4.4.18	ნავთ- ღული	0,521	0,653	0,804	0,974	1,164	1,373	1,602
		-0,65	0,779	2,211	3,643	5,075	6,507	7,939
4.4.19	ხრამ- ჰესი 2	0,624	0,747	0,893	1,061	1,252	1,465	1,70
		-0,40	0,938	2,28	3,621	4,962	6,304	7,645
4.4.20	რუსთავი	0,352	0,481	0,622	0,777	0,945	1,125	1,319
		-0,47	0,816	2,097	3,378	4,659	5,94	7,221
4.4.21	მარნეუ- ლი	0,444	0,578	0,728	0,895	1,078	1,277	1,493
		-0,72	0,721	2,163	3,604	5,045	6,487	7,928
4.4.22	გურჯაანი	0,605	0,731	0,88	1,05	1,242	1,456	1,692
		-0,54	0,864	2,263	3,663	5,063	6,462	7,862
4.4.23	თბილ- სრესი	0,363	0,491	0,632	0,786	0,954	1,134	1,328
		-0,45	0,827	2,105	3,382	4,657	5,937	7,214

ამ ცხრილიდან ჩანს, $U_* = 1$ დაბვის მახლობლობაში, როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ენერგოსისტემის ელექტროენერგეტიკული რეგიონიებსთვის, ზოგადად სხვადასხვაა, და მოთავსებულია: - $0,8 \div 1,15$ ფარგლებში (აქტიური დატვირთვის) და $3,35 \div 3,80$ ფარგლებში (რეაქტიული დატვირთვის). უფრო მაღალი დაბვისას ($U_* = 1,1$) აღნიშნული ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობა შესაბამისად იზრდება: აქტიური დატვირთვის თითქმის $1,3 \div 1,6$ -მდე, ხოლო რეაქტიული დატვირთვის თითქმის $6,0 \div 7,0$ -მდე. უფრო დაბალი დაბვისას ($U_* = 0,9$) კი აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი მცირდება $0,5 \div 0,6$ -მდე, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა თითქმის $0,5 \div 0,9$ -მდე. $U_* < 0,865 \div 0,883$ დაბვისას რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი უარყოფით მნიშვნელობებს ღებულობს, რაც მიუთითებს მასზე, რომ დაბვის ამ მნიშვნელობიდან და უფრო ქვევით ენერგოსისტემაში უკვე მოსალოდნელია დაბვის ზეავი.

ძაბვის ის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ნიშანს იცვლის, შეიძლება განვსაზღვროთ განტოლებიდან

$$\frac{\partial Q_*}{\partial S_*} = 0.$$

ამ განტოლების მიხედვით “რუსთავის”, “თბილსრესის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურების ჯამური მომხმარებლისთვის $U_* = 0,868$, „მენჯის“, “დ.ქუთაისის”, “დ.ზესტაფონის”, “ნავთლულის”, “მარნეულის” და სხვ. ქვესადგურების ჯამური მომხმარებლისთვის $U_* = 0,873 \div 0,877$, ხოლო “გლდანის”, “ლისის”, “დიდუბის” ქვესადგურების ჯამური მომხმარებლისთვის $U_* = 0,880 \div 0,883$.

ძაბვის ცვლილებისას (ფარდობით ერთეულებში) დატვირთვის ცვლილების (პროცენტებში) სიდიდე შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი გამოსახულებებით $\Delta P_* = (P_* - 1) \cdot 100$ და $\Delta Q_* = (Q_* - 1) \cdot 100$.

გამოთვლების შედეგები წარმოდგენილია 4.28 ცხრილში.

ცხრ.4.28. კომბინირებული დატვირთვის ცვლილება (პროცენტებში) ძაბვის ცვლილებისას (ფარდობით ერთეულებში)

№№	კვანძი	U_*								
		0,90	0,94	0,96	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06	1,10
4.4.1	ბათუმ ი	-8,4	-5,45	-3,77	-1,95	0	2,1	4,4	6,8	1,21
		-22,3	-16,9	-12,4	-6,8	0	8,0	17,1	27,4	51,5
4.4.2	ენგურ ჰესი	-10,7	-6,8	-4,7	-2,4	0	2,6	5,3	8,2	14,5
		-23,9	-17,6	-12,8	-6,9	0	8,0	17,1	27,3	51,0
4.4.3	ვარდ- ნილი	-7,6	-5,0	-3,4	-1,8	0	1,9	4,0	6,3	11,2
		-21,8	-16,7	-12,3	-6,8	0	8,0	17,1	27,5	51,9
4.4.4	ზუგდი დი	-7,6	-4,9	-3,4	-1,7	0	2,0	4,1	6,4	11,4
		-21,8	-16,5	-12,1	6,5	0	8,2	17,3	27,5	51,6
4.4.5	მენჯი	-7,5	-4,9	-3,4	-1,8	0	1,9	4,0	6,2	11,1
		-21,8	-16,6	-12,3	-6,7	0	7,9	17,0	27,3	51,5
4.4.6	ხორვა	-5,3	-3,5	-2,4	-1,3	0	1,4	2,9	4,5	8,1
		-20,3	-14,7	-10,7	-5,8	0	6,6	14,1	22,4	41,5
4.4.7	ქუთაი- სი	-7,5	-4,9	-3,4	-1,8	0	1,9	4,0	6,2	11,1
		-21,7	-16,6	-12,2	-6,7	0	7,9	16,9	27,1	51,1
4.4.8	წყალ- ტუბო	-6,6	-4,3	-3,0	-1,6	0	1,7	3,6	5,5	9,9
		-21,2	15,9	11,7	6,4	0	7,4	16,0	25,6	47,9
4.4.9	ზესტა ფონი	-6,5	4,2	3,0	1,5	0	1,7	3,5	5,4	9,8
		-21,1	-16,1	11,8	6,5	0	7,6	16,4	26,3	49,5
4.4.1 0	ლაჯა- ნურ	-10,0	-6,4	-4,4	2,3	0	2,4	5,0	7,8	13,8
		-23,5	-17,5	-12,8	-7,0	0	8,1	17,4	27,8	52,0

4.4.11	საშუა- რი	-7,3	-4,7	-3,3	-1,7	0	1,9	3,9	6,0	10,8
		-21,6	-16,4	-12,1	-6,6	0	7,7	16,6	26,7	50,2
4.4.1 2	გორი	-8,7	-5,6	-3,9	-2,0	0	2,2	4,5	7,0	12,4
		-22,6	-17,0	-12,5	-6,8	0	8,0	17,2	27,5	51,6
4.4.1 3	ქსანი	-6,3	-4,1	-2,9	-1,5	0	1,6	3,4	5,2	9,4
		-21,0	-15,6	-11,4	-6,2	0	7,2	15,5	24,8	46,3
4.4.1 4	ეინვა- ლი	-9,3	-5,9	-4,1	-2,1	0	2,3	4,7	7,3	13,0
		-22,9	17,3	-12,8	-7,0	0	8,2	17,5	28,1	52,8
4.4.1 5	გლდა- ნი	-6,5	-4,3	-3,0	-1,6	0	1,7	3,6	5,5	10,0
		-21,1	-16,3	-12,1	-6,6	0	7,8	16,9	27,2	51,3
4.4.1 6	ლისი	-8,0	-5,2	-3,6	-1,9	0	2,0	4,2	6,6	11,8
		-22,0	-17,1	-12,7	-7,0	0	8,3	18,0	28,9	54,8
4.4.1 7	დიდუ- ბე	-7,4	-4,8	-3,4	-1,8	0	1,9	4,0	6,2	11,1
		-21,7	-16,8	-12,5	-6,9	0	8,1	17,5	28,1	53,2
4.4.1 8	ნაეთ- ლული	-8,1	-5,2	-3,6	-1,9	0	2,0	4,2	6,5	11,7
		-22,2	-16,8	-12,3	-6,7	0	7,9	16,9	27,1	50,9
4.4.1 9	ხრამ- პესი 2	-9,0	-5,8	-4,0	-2,1	0	2,2	4,5	7,0	12,6
		-22,8	-16,9	-12,3	-6,7	0	7,8	16,6	26,6	49,6
4.4.2 0	რუს- თავი	-6,3	-4,1	-2,9	-1,5	0	1,6	3,4	5,3	9,5
		-21,0	-15,7	-11,5	-6,2	0	7,3	15,6	24,9	46,6
4.4.2 1	მარნე- ული	-7,3	-4,8	-3,3	-1,7	0	1,9	3,9	6,0	10,8
		-21,6	-16,4	-12,1	-6,6	0	7,8	16,7	26,8	50,5
4.4.2 2	გურჯ ა-ანი	-8,8	-5,7	-3,9	-2,0	0	2,2	4,5	7,0	12,5
		-22,6	-16,9	-12,4	-6,8	0	7,9	16,9	27,0	50,6
4.4.2 3	თბილ- სრესი	-6,3	-4,2	-2,9	-1,5	0	1,6	3,4	5,3	9,6
		-21,0	-15,7	-11,5	-6,3	0	7,3	15,6	24,9	46,6

2009 წლის 16 დეკემბრის საქართველოს ელექტროსისტემაში ჩატარებული საკონტროლო გაზომვების საფუძველზე მიღებული მონაცემებისა მიხედვით დავადგინეთ ელექტროსისტემის მომხმარებელთა სახასიათო ჯგუფების (§2.1) ჯამური დატვირთვები და მათი შესაბამისი ხვედრითი წილი (ცხრ.4.29).

ცხრ.4.29. საქართველოს ელექტროსისტემის მომხმარებელთა სახასიათო ჯგუფების ჯამური დატვირთვები და ხვედრითი წილი

მომხმარებელთა სახასიათო ჯგუფები	ჯამური დატვირთვა, მგვტ	ხვედრითი წილი, %
საყოფაცხოვრებო-კომუნალური	623,2	44,1
საზოგადოებრივ-კომუნალური	304,3	21,5
სამრეწველო	485,5	34,4
სულ	1413	100,0

მომხმარებელთა ამ ჯგუფებისთვის მივიღეთ შემდეგი სახის სტატიკური მახასიათებლები (§2.3):

- საყოფაცხოვრებო-კომუნალური

$$P_* = -1,052 + 5,158 * U_* - 5,640 * U_*^2 + 2,534 * U_*^3;$$

$$Q_* = 8,896 - 19,512 * U_* + 11,616 * U_*^2.$$

- საზოგადოებრივ-კომუნალური

$$P_* = 2,292 - 3,108 * U_* + 1,692 * U_*^2 + 0,124 * U_*^3; \quad Q_* = 21,974 - 46,471 * U_* + 25,497 * U_*^2.$$

- სამრეწველო და მათთან გათანაბრებული

$$P_* = 1,483 - 1,166 * U_* + 0,44 * U_*^2 + 0,243 * U_*^3; \quad Q_* = 5,8 - 12,254 * U_* + 7,454 * U_*^2.$$

ამ მომხმარებელთა ხვედრითი წილის გათვალისწინებით (ცხრ.4.32) მთლიანად ელექტროსისტემის ჯამური დატვირთვის ეკვივალენტურ სტატიკურ მახასიათებლებს ექნებათ შემდეგი სახე:

$$P_* = 0,539 + 1,205 * U_* - 1,972 * U_*^2 + 1,225 * U_*^3;$$

$$Q_* = 10,642 - 22,811 * U_* + 13,169 * U_*^2.$$

ამ მახასიათებელთა შესაბამისად, მუშა ძაბვის საანგარიშო დიაპაზონში ($U_* = 0,9 \div 1,1$) სისტემის აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი იცვლება $0,632 \div 1,313$ ფარგლებში, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა კი - $0,893 \div 6,161$ ფარგლებში (ცხრ.4.30).

ცხრ.4.30. ელექტროსისტემის ჯამური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი

U_*	0,9	1,0	1,1
$\partial P_* / \partial U_*$	0,632	0,936	1,313
$\partial Q_* / \partial U_*$	0,893	3,527	6,161

დასკვნა თავი 4-ის მიმართ

1. საქართველოს ენერგოსისტემის 110/35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელი პირობითად დაიყო 13 ავტონომიურ ქსელად (ელექტროენერგეტიკულ რეგიონად), რომელთა შორის კავშირი განხორციელებულია 220 და 500 კვ ძაბვის ხაზებით და რომელთაგანაც თითოეული მანაწილებელი ქსელის კონფიგურაციისა და მომხმარებელთა სახეობათა მიხედვით ხასიათდება ინდივიდუალური თავისებურებებით. თითოეული

ავტონომიური ქსელი ენერგოსისტემაში შემოდის მხოლოდ ერთი 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის საშუალებით.

2. ქვეყნის მასშტაბით ელექტრომომხმარებელთა დატვირთვების სტრუქტურისა და ამ დატვირთვების ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლების დადგენა ჩატარდა ავტონომიური ქსელებისთვის ცალცალკე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად.

ყველა ავტონომიური ქსელისთვის მიღებულია პრინციპი, რომ ელექტრომომხმარებლები, ზოგადად, დაყოფილია ხუთი სხვადასხვა სახის კომბინირებულ მომხმარებლებად, რომელთათვის, წინასწარ მე-2 თავში, შედგენილი იქნა პოლინომური სახის (მეორე-მესამე რიგის) სტატიკური მახასიათებლები.

3. თითოეული ელექტროენერგეტიკული რეგიონის სადაბლებელი ქვესადგურების 10 კვ ძაბაზე მიერთებული კომბინირებული დატვირთვისთვის მიღებული იქნა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომელთა საშუალებით მიღებული იქნა ავტონომიური ქსელის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები.

4. ენერგოსისტემის ყველა ელექტროენერგეტიკული რეგიონისთვის მუშა ძაბვის ყველა შესაძლო მნიშვნელობაზე ($U_* = (0,8 \div 1,2)$) დადგენილი იქნა როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი. $U_* = 1,1$ ძაბვაზე აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი მოთავსებულია $0,8 \div 1,15$ ფარგლებში, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა კი – $3,35 \div 3,80$ ფარგლებში. უფრო მაღალი ძაბვებისას ($U_* = 1,1$) აღნიშნული ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობა შესაბამისად იზრდება: აქტიური დატვირთვისა თითქმის $1,3 \div 1,6$ -მდე, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა თითქმის $6,0 \div 7,0$ -მდე. უფრო დაბალი ძაბვებისას ($U_* = 0,9$) კი აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი მცირდება $0,5 \div 0,6$ -მდე, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა თითქმის $0,5 \div 0,9$ -მდე.

5. მუშა ძაბვის საანგარიშო დიაპაზონში ($U_* = 0,9 \div 1,1$) სისტემის აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი იცვლება $0,632 \div 1,313$ ფარგლებში, ხოლო რეაქტიული დატვირთვისა კი – $0,893 \div 6,161$ ფარგლებში.

6. დადგენილი იქნა, რომ $U_* < 0,865 \div 0,883$ ძაბვისას რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი უარყოფით მნიშვნელობებს დებულობს, რაც მიუთითებს მასზე, რომ ძაბვის ამ მნიშვნელობიდან და უფრო ქვევით ენერგოსისტემაში უკვე მოსალოდნელია ძაბვის ზეავი.

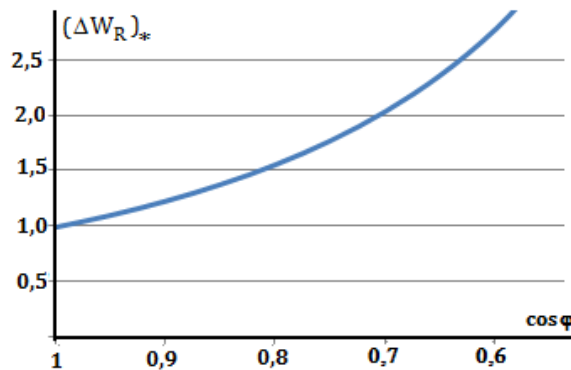
7. ცალკეული ელექტროენერგეტიკული რეგიონისთვის დადგენილი იქნა ძაბვის ის მინიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ნიშანს იცვლის. კერძოდ: “რუსთავის”, “თბილსრესის” 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურების ჯამური მომხმარებლისთვის იგი შეადგენს $U_* = 0,868$; „მენჯის“, “დ.ქუთაისის”, “დ.ზესტაფონის”, “ნავთლულის”, “მარნეულის” და სხვ. ქვესადგურების ჯამური მომხმარებლისთვის არის $U_* = 0,873 \div 0,877$, ხოლო “გლდანის”, “ლისის”, “დიდუბის” ქვესადგურების ჯამური მომხმარებლისთვის კი $-U_* = 0,880 \div 0,883$.

**თავი 5. ავტონომიური ქსელის გავლენა
დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე
5.1. ტრანსფორმატორული გავლენა
აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტზე**

ელექტრული ქსელის ნებისმიერი ელემენტის გრძივ აქტიურ (R) წინააღობაში აქტიური ენერჯის (სიმძლავრის) დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებიდან [2, 12, 13]

$$\Delta W_R = \frac{R}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \int [P(t)]^2 dt$$

ჩანს, რომ ეს დანაკარგები, სხვა ერთნაირ პირობებში, აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ($\cos \varphi$) კვადრატის უკუპროპორციულია (ნახ.5.1).



ნახ.5.1. აქტ. სიმძლავრის დანაკარგების $\cos \varphi$ -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი

მაგისტრალური ქსელის წინა უბნებში $\cos \varphi$ -ის სიდიდე დამოკიდებულია მომდევნო უმნებში აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა დანაკარგების თანაფარდობაზე, რაც ამ მომდევნო უბნების აქტიური და რეაქტიული განივი გამტარობებისა და აქტიური და რეაქტიული გრძივი წინააღობების თანაფარდობათა პროპორციულია.

10 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზების აქტიურ განივ გამტარობებს მხედველობაში არ ღებულობენ მათი სიმცირის გამო, ხოლო აქტიური და რეაქტიული გრძივი წინააღობები თითქმის თანაზომადი სიდიდეებია ან, 50 მმ² და უფრო დაბალი განიკვეთის ალუმინის (ფოლად-ალუმინის) სადენების შემთხვევაში, $R > X$. აქედან გამომდინარე, ამ ძაბვის ხაზებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები უფრო მეტია, ვიდრე რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები. ეს გარემოება მიუთითებს მასზე, რომ ამ ძაბვის ხაზებით ელექტროენერჯის

გადაცემისას ქსელის წინა უბნებზე აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი არ უარესდება (არ მცირდება) ანუ, პრაქტიკულად, იგივე რჩება.

სულ სხვა გარემოებასთან გვაქვს საქმე ტრანსფორმატორული უბნის შემთხვევაში. ტრანსფორმატორებში (როგორც ფოლადში, ასევე სპილენძში) რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები უფრო მეტია, ვიდრე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები. შედეგად, სადაბლებელი ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხარეს და, შესაბამისად მაღალი ძაბვის ქსელში, აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი უფრო დაბალია (გაუარესებულია), ვიდრე დაბალ მხარეს ანუ დაბალი ძაბვის ქსელში

$$\cos\varphi_{\text{ბლ}} < \cos\varphi_{\text{დაბ.}}$$

თუ, მოცემული ქსელის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშებებისას აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუარესების ეს ფაქტორი მხედველობაში არ იქნა მიღებული, მაშინ მაღალი ძაბვის მანაწილებელი ქსელის უბნებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების გამოთვლაში გვექნება ცდომილებები, რამაც შეიძლება გარკვეული ნეგატიური გავლენა მოახდინოს ამ ქსელში ტექნიკური თუ კომერციული ხასიათის საკითხის გადაჭრისას.

ტრანსფორმატორებში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეთა დანაკარგები გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებებით

$$\Delta P_{\sigma} = \Delta P_{\text{უბ.}} + \Delta P_{\text{აშ.}} \cdot K_{\text{დატვ.}}^2 \quad \text{და} \quad \Delta Q_{\sigma} = \Delta Q_{\text{უბ.}} + \Delta Q_{\text{აშ.}} \cdot K_{\text{დატვ.}}^2$$

სადაც: $\Delta P_{\text{უბ.}}$ და $\Delta Q_{\text{უბ.}}$ - ტრანსფორმატორის უქმი სვლის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები;

$\Delta P_{\text{აშ.}}$ და $\Delta Q_{\text{აშ.}}$ - ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები;

$K_{\text{დატვ.}}$ - ტრანსფორმატორის დატვირთულობის კოეფიციენტი

$$K_{\text{დატვ.}} = \frac{S_{\text{დატვ.}}}{S_{\sigma}} = \frac{S_{\text{დაბ.}}}{S_{\sigma}} = \frac{P_{\text{დაბ.}}}{S_{\sigma} \cdot \cos\varphi_{\text{დაბ.}}}$$

ამ ბოლო გამოსახულებიდან ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეს აქტიური დატვირთვა

$$P_{\text{დაბ.}} = K_{\text{დატვ.}} \cdot S_{\sigma} \cdot \cos\varphi_{\text{დაბ.}} \quad (5.1)$$

ტრანსფორმატორის უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები, საინჟინრო გაანგარიშებისთვის დასაშვები სიზუსტის ფარგლებში, გამოითვლება ფორმულებით

$$\Delta Q_{\text{ტ.ს.}} = I_{\text{ტ.ს.}} \% \cdot S_{\text{წ}} \cdot 10^{-2} \quad \text{და} \quad \Delta Q_{\text{ა.შ.}} = U_{\text{ა.შ.}} \% \cdot S_{\text{წ}} \cdot 10^{-2}.$$

ამრიგად, ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხარეს აქტიური და რეაქტიული დატვირთვა, შესაბამისად, იქნება

$$P_{\text{მღ.}} = P_{\text{დაბ.}} + \Delta P_{\text{ტ.ს.}} + \Delta P_{\text{ა.შ.}} \cdot K_{\text{დატვ.}}^2 \quad \text{და} \quad Q_{\text{მღ.}} = Q_{\text{დაბ.}} + (I_{\text{ტ.ს.}} \% + U_{\text{ა.შ.}} \% \cdot K_{\text{დატვ.}}^2) \cdot S_{\text{წ}} \cdot 10^{-2}.$$

ამ გამოსახულებათა მიხედვით

$$\text{tg}\varphi_{\text{მღ.}} = \frac{Q_{\text{მღ.}}}{P_{\text{მღ.}}} = \frac{Q_{\text{დაბ.}} + (I_{\text{ტ.ს.}} \% + U_{\text{ა.შ.}} \% \cdot K_{\text{დატვ.}}^2) \cdot S_{\text{წ}} \cdot 10^{-2}}{P_{\text{დაბ.}} + \Delta P_{\text{ტ.ს.}} + \Delta P_{\text{ა.შ.}} \cdot K_{\text{დატვ.}}^2}. \quad (5.2)$$

თუ გავისთვალისწინებთ, რომ

$$Q_{\text{დაბ.}} = P_{\text{დაბ.}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{დაბ.}} \quad \text{და} \quad \text{tg}\varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi} - 1},$$

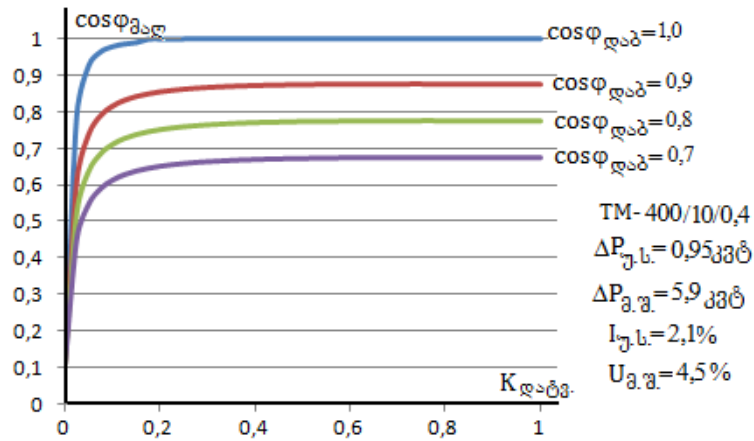
მაშინ, (5.1) გამოსახულების მხედველობაში მიღებით, (5.2) გამოსახულებიდან ვღებულობთ

$$\cos\varphi_{\text{მღ.}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{K_{\text{დატვ.}} \cdot S_{\text{წ}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2\varphi_{\text{დაბ.}}} + (I_{\text{ტ.ს.}} \% + U_{\text{ა.შ.}} \% \cdot K_{\text{დატვ.}}^2) \cdot S_{\text{წ}} \cdot 10^{-2}}{K_{\text{დატვ.}} \cdot S_{\text{წ}} \cdot \cos\varphi_{\text{დაბ.}} + \Delta P_{\text{ტ.ს.}} + \Delta P_{\text{ა.შ.}} \cdot K_{\text{დატვ.}}^2} \right)^2}}$$

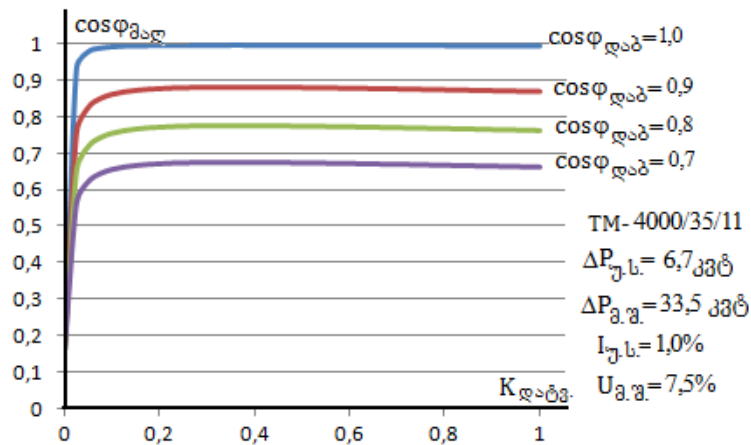
ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ტრანსფორმატორული უბნის გავლენით $\cos\varphi$ -ის გაუარესების ხარისხი დამოკიდებულია სადაბლებელი ტრანსფორმატორის ტექნიკურ პარამეტრებზე, მის დატვირთულობაზე და დაბალ მხარეს $\cos\varphi_{\text{დაბ.}}$ -ის რიცხვით მნიშვნელობაზე.

როგორც რიცხვითმა გაანგარიშებებმა გვიჩვენა, 10/0,4 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, $\cos\varphi_{\text{დაბ.}}$ -თან შედარებით $\cos\varphi_{\text{მღ.}}$ მცირდება დაახლოებით 0,03÷0,08 სიდიდით (ნახ.5.2). განსაკუთრებით მკვეთრად მცირდება სიმძლავრის კოეფიციენტი, როცა ტრანსფორმატორის დატვირთულობა არ აღემატება 15÷20%-ს. დატვირთულობის შემდგომი ზრდისას $\cos\varphi_{\text{მღ.}}$ პრაქტიკულად, მუდმივ მნიშვნელობას ინარჩუნებს.

უფრო მაღალი ძაბვისა და უფრო დიდი სიმძლავრის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში $\cos\varphi_{\text{მღ.}}$ იმავე კანონზომიერებითა და ხარისხით იცვლება, მაგრამ სტაბილურ მნიშვნელობას აღწევს ტრანსფორმატორის 10÷15%-მდე დატვირთულობისას (ნახ.5.3) და შემდეგ, თითქმის, უცვლელია, მაგრამ უფრო მეტად შემცირებულია, ვიდრე უფრო დაბალი ძაბვისა და სიმძლავრის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში.



ნახ5.2 $\cos\varphi_{\text{მდ}}$ -ის დამოკიდებულება ტრ-რის დატვირთულობაზე (TM – 400/10/0.4)



ნახ5.3 $\cos\varphi_{\text{მდ}}$ -ის დამოკიდებულება ტრ-რის დატვირთულობაზე (TM – 400/35/11)

უნდა აღინიშნოს, რომ როცა $\cos\varphi_{\text{დაბ}}$ შედარებით დიდია, მაშინ მისი გაუარესების ხარისხი შედარებით დაბალია. ასე მაგალითად, 10/0,4 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, როცა $\cos\varphi_{\text{დაბ}}=0,9$, მაშინ $\cos\varphi_{\text{მდ}}$ -ის დამყარებული მნიშვნელობა აღწევს $\approx 0,872$ -ს ანუ შემცირდა $\approx 0,028$ ერთეულით. ხოლო როცა $\cos\varphi_{\text{დაბ}}=0,7$, მაშინ $\cos\varphi_{\text{მდ}}$ -ის დამყარებული მნიშვნელობა შეადგენს $\approx 0,668$ -ს ანუ შემცირდა $\approx 0,032$ ერთეულით. უფრო მაღალი ძაბვისა და უფრო დიდი სიმძლავრის ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, როცა $\cos\varphi_{\text{დაბ}}=0,9$, მაშინ $\cos\varphi_{\text{მდ}}$ -ის დამყარებული მნიშვნელობა აღწევს $\approx 0,868$ -ს ანუ შემცირდა $\approx 0,032$ ერთეულით. ხოლო როცა $\cos\varphi_{\text{დაბ}}=0,7$, მაშინ $\cos\varphi_{\text{მდ}}$ -ის დამყარებული მნიშვნელობა შეადგენს $\approx 0,664$ -ს ანუ შემცირდა $\approx 0,036$ ერთეულით.

მაშასადამე, $\cos\varphi$ -ის გაუარესების ზემოთაღნიშნული ფაქტორის გაუთვალისწინებლობა მაღალი ძაბვის ქსელში დანაკარგების გაანგარიშებისას გამოიწვევს დაახლოებით 6%-იან ცდომილებას.

5.2. სადაბლებელი ტრანსფორმატორების გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე

სიმძლავრის დანაკარგები ტრანსფორმატორთა გრაგნილებში გამოითვლება ფორმულებით:

$$\Delta P_R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \quad \text{და} \quad \Delta Q_X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X,$$

სადაც: P და Q - ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარის დატვირთვა;

R და X - ტრანსფორმატორის გრძივი აქტიური და რეაქტიული წინაღობა.

სიმძლავრისა და ძაბვის ფარდობითი მნიშვნელობების გამოყენებით შეიძლება დავწეროთ:

$$\Delta P_R = \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_B)^2} \cdot R \quad \text{და} \quad \Delta Q_X = \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_B)^2} \cdot X$$

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები ტრანსფორმატორების ფოლადში (განივ G გამტარობაში) პირველადი გრაგნილის ხვიაზე მოსული ძაბვის კვადრატის პროპორციულია. მაშასადამე,

$$\Delta P_{ფლ} = U^2 \cdot G = \Delta P_{ჯ.ბ.} \left(\frac{U}{U_B}\right)^2 = \Delta P_{ჯ.ბ.} \cdot U_*^2$$

რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები ტრანსფორმატორების ფოლადში (განივ B გამტარობაში) [3]-ის თანახმად გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta Q_{ფლ} = Q_{ჯ.ბ.} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot U_*^{11}).$$

მაშასადამე, სადაბლებელი ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხარეს დატვირთვის სიმძლავრე იქნება

$$P_{ბლ} = P + \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_B)^2} R + \Delta P_{ჯ.ბ.} \cdot U_*^2 \quad (5.3)$$

$$Q_{ბლ} = Q + \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_B)^2} X + Q_{ჯ.ბ.} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot U_*^{11}). \quad (5.4)$$

ამ გამოსახულებათა საშუალებით, ცნობილი P და Q სიდიდეთა მიხედვით, მივიღებთ სადაბლებელი ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის

მხარეს დატვირთვის სტატკური მახასიათებლის გამოსახულებას. მისი შემდგომი წარმოდგენით ფარდობით ერთეულებში საშუალება გვექნება შევადაროთ ის დაბალი ძაბვის მხარეს დატვირთვის სტატკური მახასიათებელს და გავაკეთოთ დასკვნები დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე ტრანსფორმატორის გავლენის შესახებ.

საილუსტრაციოდ განვიხილოთ რამდენიმე რიცხვითი მაგალითი.

მაგალითი 1. 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ავანგარდი”. აქ დგას 2x16 მგვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორები, რომელთა საპასპორტო მონაცემები შემდეგია: $2x\Delta P_{\text{ტ.ბ.}}=0.04$ მგვტ; $2x\Delta Q_{\text{ტ.ბ.}}=0.22$ მგვარ; $(R/2)=2,19$ ომი; $(X/2)=43,3$ ომი.

როცა $U_* = 1$, მაშინ დაბალი ძაბვის მხარეს ქვესადგურის დატვირთვაა $P=6,0$ მგვტ და $Q=3,602$ მგვარ, შესაბამისად დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებია (დანართი 2.14):

$$P=4,773+3,738*U_*-9,188*U_*^2+6,677*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q=45,329-96,699*U_*+54,972*U_*^2$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$P_* = 0,795 + 0,623*U_* - 1,531*U_*^2 + 1,113*U_*^3 \quad (5.5,ა)$$

$$Q_* = 12,584 - 26,846*U_* + 15,262*U_*^2 \quad (5.5,ბ)$$

(5.3) და (5.4) გამოსახულებათა საშუალებით გამოვთვალოთ $P_{\text{ბლ}}$ და $Q_{\text{ბლ}}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას და შედეგები შევიტანოთ ცხრილში (ცხრ.5.1).

ცხრ.5.1. $P_{\text{ბლ}}$ და $Q_{\text{ბლ}}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (ქ/ს „ავანგარდი“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{\text{ბლ}}$, მგვტ	5,45	5,603	5,801	6,049	6,352	6,715	7,79
$Q_{\text{ბლ}}$, მგვარ	3,147	3,128	3,409	3,997	4,907	6,161	7,79

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს (ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეს) აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=4,889+3,493*U_*-9,0*U_*^2+6,667*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q=53,66-114,44*U_*+64,777*U_*^2 ,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$P_* = 0,808 + 0,578 * U_* - 1,488 * U_*^2 + 1,102 * U_*^3 \text{ და } Q_* = 13,425 - 28,631 * U_* + 16,206 * U_*^2$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ქვესადგურის დატვირთვა (დაბალ მხარეს) გახდა 2-ჯერ მეტი, ანუ $P=12,0$ მგვტ და $Q=7,204$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.2 ცხრილში.

ცხრ.5.2. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 2-ჯერ გაზრდისას(ქ/ს „ავანგარდი“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მღ}$, მგვტ	10,889	11,191	11,583	12,075	12,679	13,403	14,259
$Q_{მღ}$, მგვარ	6,555	6,471	6,993	8,125	9,884	12,296	15,401

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P = 9,984 + 6,581 * U_* - 17,82 * U_*^2 + 13,33 * U_*^3 \text{ და } Q = 104,92 - 222,7 * U_* + 125,905 * U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$P_* = 0,827 + 0,545 * U_* - 1,476 * U_*^2 + 1,104 * U_*^3 \text{ და } Q_* = 12,913 - 27,409 * U_* + 15,496 * U_*^2.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ქვესადგურის დატვირთვა (დაბალ მხარეს) გახდა 3-ჯერ მეტი, ანუ $P=18,0$ მგვტ და $Q=10,806$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.3 ცხრილში.

ცხრ.5.3. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 3-ჯერ გაზრდისას(ქ/ს ავანგარდი,,)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მღ}$, მგვტ	16,302	16,753	17,341	18,079	18,985	20,073	21,359
$Q_{მღ}$, მგვარ	10,333	10,158	10,914	12,603	15,244	18,871	23,535

ამ ბოლო შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგაროშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P = 13,73 + 13,64 * U_* - 30,621 * U_*^2 + 21,33 * U_*^3 \text{ და } Q = 160,35 - 339,0 * U_* + 191,253 * U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$P_* = 0,76 + 0,754 * U_* - 1,694 * U_*^2 + 1,18 * U_*^3 \text{ და } Q_* = 12,723 - 26,898 * U_* + 15,175 * U_*^2.$$

მიღებული გამოსახულებების თანახმად ძაბვის ცვლილებისას (ფარდობით ერთეულებში) დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები (პროცენტებში) ნაჩვენებია 5.4 ცხრილში.

ცხრ.5.4 დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები პროცენტებში (ქ/ს „ავანგარდი“)

რეჟიმი		U_*	0,90	0,94	0,96	1,0	1,04	1,06	1,10
და	P=6, 12, 18 მგვტ	ΔP_*	-7,3	-4,77	-3,32	0	3,9	6,07	10,92
		ΔQ_*	-21,5	-16,6	-12,3	0	17,15	27,6	52,0
მაღალი მხარე	P=6,049 მგვტ	ΔP_*	-7,37	-4,82	-3,35	0	3,93	6,13	11,01
		ΔQ_*	-21,6	-16,85	-12,53	0	17,71	28,5	54,0
	P=12,603 მგვტ	ΔP_*	-7,32	-4,79	-3,33	0	3,92	6,11	11,0
		ΔQ_*	-20,33	-15,92	-11,85	0	16,81	27,1	51,3
	P=18,12 მგვტ	ΔP_*	-7,36	-4,81	-3,35	0	3,94	6,15	11,06
		ΔQ_*	-19,35	-15,25	-11,38	0	16,24	26,18	49,7

ამ ცხრილიდან აშკარად ჩანს, რომ ძაბვის ცვლილებისას დატვირთვის ცვლილების ხასიათზე ტრანსფორმატორი დიდ გავლენას ვერ ახდენს, ანუ დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი მცირედ იცვლება. ეს ცვლილება უფრო მეტად შეიმჩნევა რეაქტიული დატვირთვის ცვლილების ხასიათზე. მაგალითად, ძაბვის 6%-ით ამადლება დაბალ ძაბვაზე აქტიურ დატვირთვას ზრდის 6,07%-ით, რეაქტიულ დატვირთვას კი 27,6%-ით. ძაბვის იმავე სიდიდით ამადლება მაღალ ძაბვაზე აქტიურ დატვირთვას ზრდის 6,13%-ით, რეაქტიულ დატვირთვას კი 28,5%-ით.

დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები წარმოდგენილია 5.4 ნახაზზე. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს ტრანსფორმატორი აქტიური დატვირთვის სტატიკურ მახასიათებელზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენს, ხოლო რეაქტიული დატვირთვის მახასიათებელზე კი მისი გავლენა უფრო მეტად შესამჩნევია.

ქვემოთ მოცემულია დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ყველა განხილული შემთხვევისთვის (პირველი მათგანი მარეგულირებელი ეფექტი ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეს, დანარჩენი სამი მარეგულირებელი ეფექტი ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეს, როცა მის დაბალ მხარეს სხვადასხვა სიდიდის დატვირთვებია 6, 12 და 18 მგვტ):

როცა $U_*=0,95$, გვაქვს:

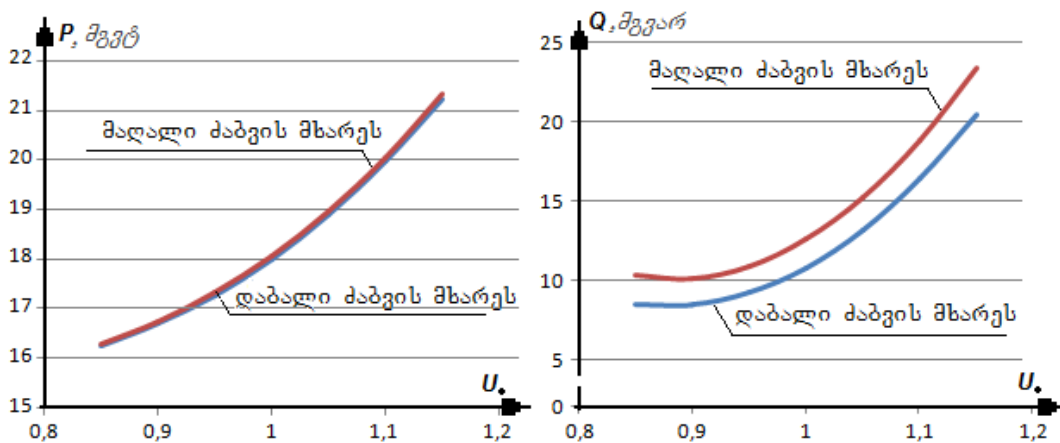
$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right)=0.728; 0,735; 0,730; 0,730 \quad \text{და} \quad \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right)=2,150; 2,160; 2,033; 1,935.$$

როცა $U_*=1$, გვაქვს:

$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right)=0.9; 0,908; 0,905; 0,906 \quad \text{და} \quad \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right)=3,678; 3,781; 3,583; 3,452.$$

როცა $U_*=1,05$, გვაქვს:

$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right)=1,089; 1,098; 1,097; 1,099 \quad \text{და} \quad \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right)=5,204; 5,402; 5,133; 4,970.$$

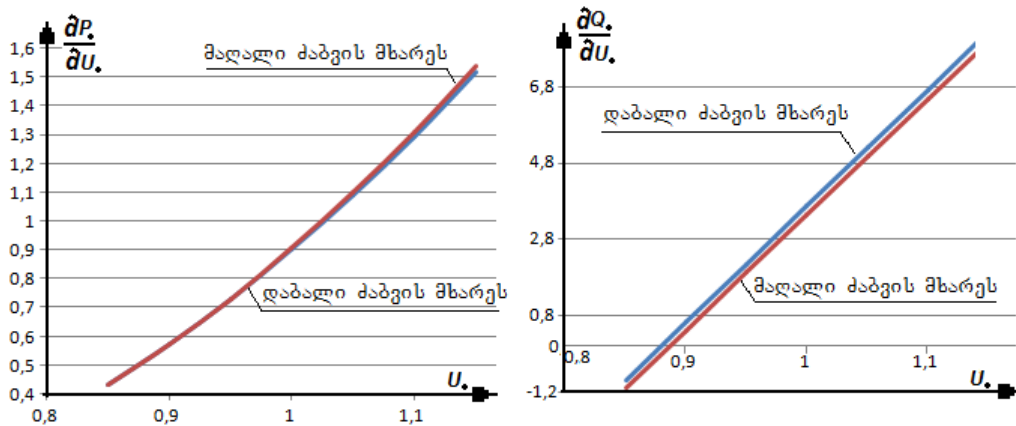


ნახ.5.4. დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ტრანსფორმატორის დაბალი და მაღალი ძაბვის მხარეს

მიღებული შედეგების ურთიერთ შედარება გვიჩვენებს, რომ $U_*=1$ ძაბვისას ტრანსფორმატორში სიმძლავრის დანაკარგებმა აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის გაზრდა გამოიწვია 0,89%-ით, ხოლო რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტისა კი - 2,8%-ით. $U_*=0,95$ ძაბვისას შესაბამისად გვაქვს 0,96% და 0,47%, ხოლო $U_*=1,05$ ძაბვისას კი - 0,83% და 3,8%. ამასთან, $U_*=0,95$ ძაბვაზე რეაქტიული დატვირთვა სიდიდით შემცირდა $\approx(13\div 14\%)$ -ით, ხოლო $U_*=1,05$ ძაბვაზე კი გაიზარდა $\approx(21\div 22\%)$ -ით.

ნახ. 5.5-ზე ნაჩვენებია ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეს დატვირთვისას ($P=18,0$ მგვტ და $Q=10,806$ მგვარ, როცა $U_*=1$) ტრანსფორმატორში სიმძლავრის დანაკარგების გაველნით დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის ცვლილების სურათი. ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეს უფრო დიდია, ვიდრე მაღალ მხარეს. ეს განსხვავება მით უფრო

მცირა, რაც უფრო მცირეა ტრანსფორმატორის დატვირთვა და ძალიან დაბალი დატვირთვისას ნახაზზე ნაჩვენები წირები ადგილებს ცვლიან.



ნახ.5.5. დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ტრანსფორმატორის დაბალი და მაღალი ძაბვის მხარეს

მაგალითი 2. 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ვარკეთილი”. აქ დგას 2x25 მგვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორები, რომელთა საპასპორტო მონაცემები შემდეგია: $2x\Delta P_{ტ.ს.}=0.054$ მგვტ; $2x\Delta Q_{ტ.ს.}=0.35$ მგვარ; $(R/2)=1,27$ ომი; $(X/2)=27,9$ ომი.

როცა $U_n=1$, მაშინ დაბალი ძაბვის მხარეს ქვესადგურის დატვირთვაა $P=13,5$ მგვტ და $Q=7,43$ მგვარ, შესაბამისად დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლებია (დანართი 2.36):

$$P=10,579+8,606*U_n-20,411*U_n^2+14,726*U_n^3 \text{ და } Q=89,272-190,471*U_n+108,629*U_n^2$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$P_n=0,784+0,637*U_n-1,512*U_n^2+1,091*U_n^3 \text{ და } Q_n=12,015-25,635*U_n+14,62*U_n^2$$

(5.3) და (5.4) გამოსახულებათა საშუალებით გამოვთვალოთ $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას და შედეგები შევიტანოთ ცხრილში (ცხრ.5.5).

ცხრ.5.5. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას(ქ/ს „ვარკეთილი“)

U_n	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მღ}$, მგვტ	12,256	12,595	13,033	13,579	14,246	15,044	15,986
$Q_{მღ}$, მგვარ	6,615	6,587	7,154	8,327	10,13	12,599	15,785

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების

საანგარიშო გამოსახულებებს (ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეს) აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=10,18+10,03*U_*-21,96*U_*^2+15,33*U_*^3 \text{ და } Q=104,9-223,2*U_*+126,63*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$P_*=0,75+0,738*U_*-1,617*U_*^2+1,129*U_*^3 \text{ და } Q_*=12,593-26,795*U_*+15,202*U_*^2.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ქვესადგურის დატვირთვა (დაბალ მხარეს) გახდა 2-ჯერ მეტი, ანუ $P=27,0$ მგვტ და $Q=14,86$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.6 ცხრილში.

ცხრ.5.6. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 2-ჯერ გაზრდისას(ქ/ს „ვარკეთილი“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მღ}$, მგვტ	24,53	25,2	26,06	27,14	28,49	30,08	31,97
$Q_{მღ}$, მგვარ	14,22	14,06	15,1	17,4	20,94	25,79	32,01

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=22,28+14,93*U_*-39,4*U_*^2+29,33*U_*^3 \text{ და } Q=-211,1-446,0*U_*+252,3*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$P_*=0,821+0,55*U_*-1,452*U_*^2+1,081*U_*^3 \text{ და } Q_*=-12,132-25,632*U_*+14,5*U_*^2.$$

ასევე, იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ქვესადგურის დატვირთვა (დაბალ მხარეს) გახდა 3-ჯერ მეტი, ანუ $P=40,5$ მგვტ და $Q=22,3$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.7 ცხრილში.

ცხრ.5.7. $P_{მღ}$ და $Q_{მღ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 3-ჯერ გაზრდისას(ქ/ს „ვარკეთილი,“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მღ}$, მგვტ	36,85	37,85	39,15	40,778	42,779	45,18	48,026
$Q_{მღ}$, მგვარ	23,01	22,621	24,15	27,579	32,95	40,32	48,80

ამ ბოლო შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგაროშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=31,58+28,843*U_*-66,31*U_*^2+46,665U_*^3 \text{ და } Q=328,5-690,5*U_*+389,579*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$P_* = 0,774 + 0,707 * U_* - 1,626 * U_*^2 + 1,145 U_*^3 \text{ და } Q_* = 11,911 - 25,037 * U_* + 14,126 * U_*^2.$$

მიღებულ გამოსახულებათა თანახმად ძაბვის ცვლილებისას (ფარდობით ერთეულებში) დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები (პროცენტებში) ნაჩვენებია 5.8 ცხრილში.

ცხრ.5.8. დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები პროცენტებში (ქ/ს „გარკეთილი“)

რეჟიმი	U_*	0,90	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04	1,06	1,10	
და	$P=13,5, 27, 40,5$	ΔP_*	-7,21	-4,71	-3,27	-1,7	0	1,84	3,83	5,97	10,73
		ΔQ_*	-21,43	-16,37	-12,08	-6,63	0	7,79	16,76	26,9	50,7
მაღალი მხარე	$P=13,58$ მგვტ	ΔP_*	-7,25	-4,73	-3,29	-1,71	0	1,85	3,85	6,01	10,79
		ΔQ_*	-20,89	-16,18	-12,0	-6,61	0	7,83	16,87	27,13	51,29
	$P=27,0$ მგვტ	ΔP_*	-7,21	-4,71	-3,28	-1,71	0	1,85	3,85	6,00	10,79
		ΔQ_*	-19,18	-14,99	-11,15	-6,16	0	7,32	15,59	25,4	48,18
$P=40,5$ მგვტ	ΔP_*	-7,21	-4,71	-3,28	-1,71	0	1,85	3,85	6,02	10,82	
	ΔQ_*	-18,02	-14,21	-10,6	-5,87	0	7,0	15,12	24,4	46,3	

ამ ცხრილიდანაც აშკარად ჩანს, რომ ძაბვის ცვლილებისას დატვირთვის ცვლილებაზე ტრანსფორმატორი დიდ გავლენას ვერ ახდენს, ანუ დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელი, მცირედ, იცვლება. კერძოდ, ძაბვის 6%-ით ამადლება დაბალ ძაბვაზე აქტიურ დატვირთვის ზრდის 5,97%-ით, რეაქტიულ დატვირთვის კი 26,9%-ით. ძაბვის იმავე სიდიდით ამადლება მაღალ ძაბვაზე აქტიურ დატვირთვის ზრდის 6,01%-ით, რეაქტიულ დატვირთვის კი 27,13%-ით.

განხილულ შემთხვევებში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი – დაბალ მხარეს, ბოლო სამი - მაღალ მხარეს):

როცა $U_*=0,95$, გვაქვს:

$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right) = 0,718; 0,722; 0,718; 0,718 \text{ და } \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right) = 2,143; 2,089; 1,918; 1,802.$$

როცა $U_*=1$, გვაქვს:

$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right) = 0,886; 0,891; 0,889; 0,890. \text{ და } \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right) = 3,605; 3,609; 3,368; 3,215.$$

როცა $U_*=1,05$, გვაქვს:

$$(\partial P^*/\partial U_*)=1,070; 1,076; 1,076; 1,079 \text{ და } (\partial Q^*/\partial U_*)=5,067; 5,129; 4,818; 4,628.$$

ორივე მაგალითში განხილული ქვესადგურები („ავანგარდი“/“ვარკეთილი“) გაადგილებულია ქალაქების (ქუთაისი/თბილისი) ტერიტორიაზე და მათი კომბინირებული დატვირთვები თითქმის თანაბარი პროცენტული თანაფარდობისაა (დანართი 2.14 და დანართი 2.36). კერძოდ, ამ ქვესადგურების კომბინირებული დატვირთვები შესაბამისად შეადგენს: საყოფაცხოვრებო-კომუნალური – 10%/10%; ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები – 20%/20%; სამრეწველო საწარმოები – 10%/20%; ქალაქის საცხოვრებელი რაიონი – 40%/40%; ქალაქის სამრეწველო რაიონი – 20%/10%. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ქვესადგურებზე სხვადასხვა სომძღაგრის (სხვადასხვა ელექტრული პარამეტრების) ტრანსფორმატორები დგას, მათი გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე, პრაქტიკულად, ერთიდაიგივეა.

მაგალითი 3. 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ჯუგაანი”. აქ დგას 1x6,3 მგვა სიმძღაგრის ტრანსფორმატორი, რომლის საპასპორტო მონაცემები შემდეგია: $\Delta P_{\text{ტკ}}=0.015$ მგვტ; $\Delta Q_{\text{ტკ}}=0.050$ მგვარ; $R=14,7$ ომი; $X=220,4$ ომი. ამ ქვესადგურის კომბინირებულ დატვირთვაში შედის: საყოფაცხოვრებო-კომუნალური – 70%; ადმინისტრაციული შენობები და ოფისები – 20%; სამრეწველო საწარმოები – 10%.

როცა $U_*=1$, მაშინ დაბალი ძაბვის მხარეს ქვესადგურის დატვირთვაა $P=0,5$ მგვტ და $Q=0.25$ მგვარ. შესაბამისად დატვირთვის სტატიკური მახასითებლებია (დანართი 2.44):

$$P=-0.065+1,436*U_*-1,783*U_*^2+0,912*U_*^3 \text{ და } Q=2,801-6,044*U_*+3,493*U_*^2$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში:

$$P_*=-0.13+2,872*U_*-3,566*U_*^2+1,824*U_*^3 \text{ და } Q_*=11,204-24,176*U_*+13,972*U_*^2$$

(5.3) და (5.4) გამოსახულებათა საშუალებით გამოვთვალოთ $P_{\text{ბლ}}$ და $Q_{\text{ბლ}}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას და შედეგები შევიტანოთ ცხრილში (ცხრ.5.9).

ცხრ.5.9. $P_{მლ}$ და $Q_{მლ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (ქ/ს „ჯუგაანი“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მლ}$, მგვტ	0,439	0,461	0,486	0,515	0,55	0,59	0,64
$Q_{მლ}$, მგვარ	0,218	0,225	0,254	0,306	0,383	0,492	0,638

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს (ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეს) აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=0,238+0,581*U_*-0,971*U_*^2+0,667*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q=4,265-9,245*U_*+5,286*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$P_*=0,462+1,128*U_*-1,885*U_*^2+1,295*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q_*=13,938-30,212*U_*+17,274*U_*^2.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ქვესადგურის დატვირთვა (დაბალ მხარეს) გახდა 2-ჯერ მეტი, ანუ $P=1,0$ მგვტ და $Q=0,5$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.10 ცხრილში.

ცხრ.5.10. $P_{მლ}$ და $Q_{მლ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 2-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ჯუგაანი“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{მლ}$, მგვტ	0,867	0,91	0,959	1,016	1,084	1,162	1,253
$Q_{მლ}$, მგვარ	0,422	0,432	0,482	0,573	0,708	0,892	1,132

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=0,407+1,303*U_*-2,028*U_*^2+1,334*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q=7,211-15,57*U_*+8,932*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$P_*=0,401+1,282*U_*-1,996*U_*^2+1,313*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q_*=12,585-27,173*U_*+15,588*U_*^2.$$

ასევე, იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ქვესადგურის დატვირთვა (დაბალ მხარეს) გახდა 3-ჯერ მეტი, ანუ $P=1,5$ მგვტ და $Q=0,75$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.11 ცხრილში.

ცხრ.5.11. $P_{ბლ}$ და $Q_{ბლ}$ სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას დატვირთვის 3-ჯერ გაზრდისას (ქ/ს „ჯუგანნი“)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{ბლ}$, მგვტ	1,297	1,359	1,433	1,518	1,619	1,736	1,871
$Q_{ბლ}$, მგვარ	0,636	0,65	0,721	0,851	1,045	1,307	1,644

ამ ბოლო შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგაროშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P = -0,752 + 6,023 * U_* - 7,085 * U_*^2 + 3,332 * U_*^3 \quad \text{და} \quad Q = 10,32 - 22,21 * U_* + 12,741 * U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში

$$P_* = -0,495 + 3,968 * U_* - 4,667 * U_*^2 + 2,194 * U_*^3 \quad \text{და} \quad Q_* = 12,127 - 26,099 * U_* + 14,972 * U_*^2.$$

მიღებულ გამოსახულებათა თანახმად ძაბვის ცვლილებისას (ფარდობით ერთეულებში) დატვირთვის ცვლილება (პროცენტებში) შემდეგი სახისაა (ცხრ.5.12).

ცხრ.5.12. დატვირთვის ცვლილებათა მნიშვნელობები პროცენტებში (ქ/ს „ჯუგანნი“)

რეჟიმი	U_*	0,92	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04	1,06	1,10	
და	$P=0,5, 1,0, 1,5$	ΔP_*	-8,57	-6,63	-4,55	-2,35	0	2,5	5,16	8,0	14,21
		ΔQ_*	-21,2	-15,56	-12,84	-6,98	0	8,09	17,31	27,6	51,65
მაღალი მხარე	$P=0,52$ მგვტ	ΔP_*	-8,66	-6,70	-4,61	-2,38	0	2,54	5,24	8,1	14,36
		ΔQ_*	-22,05	-18,41	-13,52	-7,38	0	8,63	18,51	29,6	55,6
	$P=1,02$ მგვტ	ΔP_*	-8,65	-6,69	-4,6	-2,38	0	2,53	5,22	8,07	14,33
		ΔQ_*	-22,05	-18,4	-13,51	-7,38	0	8,62	18,49	29,6	55,55
$P=1,52$ მგვტ	ΔP_*	-8,62	-6,65	-4,57	-2,36	0	2,52	5,18	8,03	14,29	
	ΔQ_*	-21,18	-17,68	-12,98	-7,09	0	8,29	17,78	28,5	53,4	

განხილულ შემთხვევებში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი, შეადგენს (პირველი – დაბალ მხარეს, ბოლო სამი - მაღალ მხარეს):

როცა $U_*=0,95$, გვაქვს:

$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right) = 1,035; 1,053; 1,045; 1,041 \quad \text{და} \quad \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right) = 2,375; 2,609; 2,444; 2,348.$$

როცა $U_*=1$, გვაქვს:

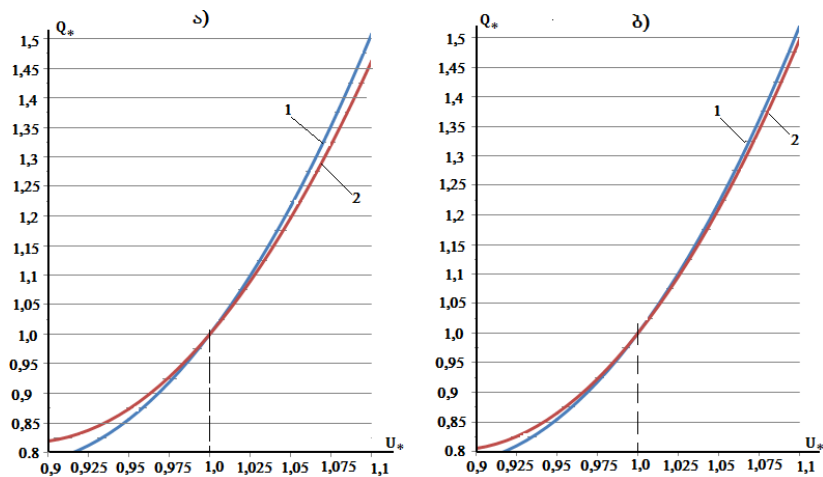
$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right) = 1,212; 1,243; 1,229; 1,216. \quad \text{და} \quad \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right) = 3,768; 4,336; 4,003; 3,935.$$

როცა $U_*=1,05$, გვაქვს:

$$\left(\frac{\partial P_*}{\partial U_*}\right)=1,416; 1,453; 1,433; 1,424 \quad \text{და} \quad \left(\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}\right)=6,204; 6,063; 5,562; 5,432.$$

როგორც ვხედავთ, მცირე დატვირთვის ქვესადგურზეც კი, სადაც განცხვავებული სახის კომბინირებული დატვირთვაა, ტრანსფორმატორების გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე, უმნიშვნელოა.

უნდა აღინიშნოს, რომ რაც მეტია ქვესადგურის დატვირთვა მით ნაკლებია რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობა მაღალ მხარეს, ხოლო აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი პრაქტიკულად არ იცვლება. კერძოდ, დატვირთვის სამჯერ გაზრდისას რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი მაღალ მხარეს $\approx(9-10)\%$ -ით ნაკლებია ამავე დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტთან შედარებით დაბალ მხარეს, აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის ცვლილება კი არ აღემატება $\approx(1-2)\%$ -ს.



ნახ.5.6. რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური მახასიათებელი ტრანსფორმატორის დაბალ (1) და მაღალ (2) მხარეს:
 ა) 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ვარკეთილი”;
 ბ) 110/10 კვ ძაბვის ქვესადგური “ავანგარდი”.

5.3. ელექტროგადაცემის ხაზის გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე

სიმძლავრის დანაკარგები ელექტროგადაცემის ხაზის გრძივ პარამეტრებში გამოითვლება ფორმულებით:

$$\Delta P_R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \quad \text{და} \quad \Delta Q_X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X,$$

სადაც: P და Q - ხაზის ბოლოს დატვირთვა;

R და X - ხაზის გრძივი აქტიური და რეაქტიული წინაღობა.

სიმძლავრისა და ძაბვის ფარდობითი მნიშვნელობების გამოყენებით შეიძლება დავწეროთ:

$$\Delta P_R = \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_\delta)^2} \cdot R \quad \text{და} \quad \Delta Q_X = \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_\delta)^2} \cdot X$$

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის განივ G და B გამტარობაში ძაბვის კვადრატის პროპორციულია. მაშასადამე,

$$\Delta P_G = U^2 \cdot G = \Delta P_{\text{გვ.0}} \cdot U_*^2 \cdot L \quad \text{და} \quad \Delta Q_C = U^2 \cdot B = U_*^2 \cdot b_0 \cdot L,$$

სადაც: $\Delta P_{\text{გვ.0}}$ - 1 კმ სიგრძის ხაზზე გვირგვინის მოვლენაზე აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები;

b_0 - კმ სიგრძის ხაზის რეაქტიული გამტარობა;

L - ხაზის სიგრძე, კმ.

სიმძლავრის დანაკარგები ხაზში

$$\Delta P = \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_\delta)^2} \cdot R + \Delta P_{\text{გვ.0}} \cdot U_*^2 \cdot L$$

$$\Delta Q = \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_\delta)^2} \cdot X - (U_* U_\delta)^2 \cdot b_0 \cdot L.$$

მაშასადამე, სიმძლავრე ხაზის თავში

$$P_{\text{თავი}} = P \cdot P_* + \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_\delta)^2} \cdot R + \Delta P_{\text{გვ.0}} \cdot U_*^2 \cdot L \quad (5.6)$$

$$Q_{\text{თავი}} = Q \cdot Q_* + \frac{(P_* P)^2 + (Q_* Q)^2}{(U_* U_\delta)^2} \cdot X - (U_* U_\delta)^2 \cdot b_0 \cdot L. \quad (5.7)$$

განვიხილოთ რამდენიმე რიცხვითი მაგალითი.

მაგალითი 1. 35 კვ ძაბვის $L=20$ კმ სიგრძის საჰაერო ხაზის ბოლოში მიერთებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელია

$$P=4,773+3,738 \cdot U_* - 9,188 \cdot U_*^2 + 6,677 \cdot U_*^3 \quad \text{და} \quad Q=45,329-96,699 \cdot U_* + 54,972 \cdot U_*^2$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=6$ მგვტ და $Q_0=3,602$ მგვარ):

$$P_*=0,795+0,623*U_*-1,531*U_*^2+1,113*U_*^3 \text{ და } Q_*=12,584-26,846*U_*+15,262*U_*^2.$$

ხაზზე გამოყენებულია AC-95/16 მარკის სადენი, რომლის ელექტრული პარამეტრებია: $r_0=0,306$ ომი/კმ; $x_0=0,421$ ომი/კმ; $b_0=2,7\cdot 10^{-6}$ სიმ/კმ და $\Delta P_{გვ,0}=0$.

(5.6) და (5.7) გამოსახულებათა საშუალებით გამოვთვალოთ $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას და შედეგები შევიტანოთ ცხრილში (ცხრ.5.13).

ცხრ.5.13. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (35 კვ ძაბვის გ/ხ)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{თავი}$, მგვტ	5,670	5,802	5,992	6,245	6,565	6,962	7,442
$Q_{თავი}$, მგვარ	3,160	3,104	3,342	3,872	4,697	5,818	7,210

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს ხაზის თავში აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=4,947+6,221*U_*-14,25*U_*^2+9,333*U_*^3 \text{ და } Q=49,19-104,2*U_*+58,882*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=6,245$ მგვტ და $Q_0=3,872$ მგვარ):

$$P_*=0,792+0,995*U_*-2,28*U_*^2+1,493*U_*^3 \text{ და } Q_*=12,704-26,911*U_*+15,207*U_*^2.$$

განხილულ შემთხვევებში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი სიდიდე წარმოადგენს დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს ხაზის ბოლოში, მეორე კი – ხაზის თავში):

$$U_*=0,95, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,728; 0,705 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)=2,152; 1,982.$$

$$U_*=1, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,952; 0,914 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)=3,678; 3,503.$$

$$U_*=1,05, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=1,089; 1,145 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)=5,204; 5,024.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ხაზის ბოლოს დატვირთვა გახდა 2-ჯერ მეტი, ანუ $P=12,0$ მგვტ და $Q=7,204$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.14 ცხრილში.

ცხრ.5.14. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა დატვირთვა გახდა 2-ჯერ მეტი (35 კვ ძაბვის გ/ხ)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{თავი}$, მგვტ	11,858	12,084	12,456	12,979	13,666	14,537	15,614
$Q_{თავი}$, მგვარ	7,079	6,922	7,392	8,484	10,203	12,560	15,575

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=12,132+11,644*U_*-32,8*U_*^2+22,003*U_*^3 \text{ და } Q=106,0-223,276*U_*+125,76*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=12,979$ და $Q_0=8,484$)

$$P_*=0,935+0,897*U_*-2,527*U_*^2+1,695*U_*^3 \text{ და } Q_*=12,494-26,317*U_*+14,823*U_*^2.$$

განხილულ შემთხვევებში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი სიდიდე წარმოადგენს დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს ხაზის ბოლოში, მეორე კი – ხაზის თავში):

$$U_*=0,95, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,728; 0,685 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)= 2,152; 1,847.$$

$$U_*=1, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 0,952; 0,928 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)= 3,678; 3,329.$$

$$U_*=1,05, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 1,089; 1,197 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)= 5,204; 4,811.$$

მაგალითი 2. 110 კვ ძაბვის $L=20$ კმ სიგრძის საჰაერო ხაზის ბოლოში მიერთებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებელია

$$P=11,933+9,344*U_*-22,97*U_*^2+16,693*U_*^3$$

$$Q=125,842-268,456*U_*+152,613*U_*^2$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=15$ მგვტ და $Q_0=10$ მგვარ):

$$P_*=0,795+0,623*U_*-1,531*U_*^2+1,113*U_*^3 \text{ და } Q_*=12,584-26,846*U_*+15,261*U_*^2.$$

ხაზზე გამოყენებულია AC-150/24 მარკის სადენი, რომლის ელექტრული პარამეტრებია: $r_0=0,199$ ომი/კმ; $x_0=0,42$ ომი/კმ; $b_0.=2,7\cdot 10^{-6}$ სიმ/კმ და $\Delta P_{გვ0}=0$.

(5.6) და (5.7) გამოსახულებათა საშუალებით გამოვთვალოთ $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას და შედეგები შევიტანოთ ცხრილში (ცხრ.5.15).

ცხრ.5.15. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას (110 კვ ძაბვის გ/ხ)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{თავი}$, მგვტ	13,641	14,008	14,493	15,107	15,863	16,776	17,859
$Q_{თავი}$, მგვარ	7,681	7,537	8,168	9,572	11,750	14,705	18,440

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს ხაზის თავში აქვთ შემდეგი სახე: $P=11,3+12,622*U_*-27,478*U_*^2+18,663*U_*^3$ და $Q=128,61-273,92*U_*+154,882*U_*^2$, ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=15,107$ მგვტ და $Q_0=9,572$ მგვარ):

$$P_*=0,748+0,836*U_*-1,819*U_*^2+1,235*U_*^3 \text{ და } Q_*=13,436-28,617*U_*+16,181*U_*^2.$$

განხილულ შემთხვევაში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი სიდიდე წარმოადგენს დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს ხაზის ბოლოში, მეორე კი – ხაზის თავში):

$$U_*=0,95, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,728; 0,724 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)=2,150; 2,127.$$

$$U_*=1, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,90; 0,903 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)=3,676; 3,745.$$

$$U_*=1,05, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=1,089; 1,101 \text{ და } (\partial Q_*/\partial U_*)=5,202; 5,363.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ხაზის ბოლოში დატვირთვა იგივეა, ხოლო ხაზის სიგრძე არის 2-ჯერ მეტი - $L=40$ კმ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.16 ცხრილში.

ცხრ.5.16. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა ხაზის სიგრძე 2-ჯერ მეტია (110 კვ ძაბვის გ/ხ)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{თავი}$, მგვტ	13,753	14,112	14,595	15,214	15,982	16,914	18,026
$Q_{თავი}$, მგვარ	7,445	7,227	7,794	9,144	11,28	14,206	17,928

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=12,635+9,994*U_*-26,075*U_*^2+18,66*U_*^3 \text{ და } Q=-131,53-279,606*U_*+157,22*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=15,214$ და $Q_0=9,144$)

$$P_*=0,830+0,657*U_*-1,714*U_*^2+1,227*U_*^3 \text{ და } Q_*=14,384-30,578*U_*+17,194*U_*^2.$$

განხილულ შემთხვევაში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი სიდიდე წარმოადგენს დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს ხაზის ბოლოში, მეორე კი – ხაზის თავში):

$$U_*=0,95, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,728; 0,723 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 2,150; 2,091.$$

$$U_*=1, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 0,90; 0,910 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 3,676; 3,81.$$

$$U_*=1,05, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 1,089; 1,116 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 5,202; 5,529.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ხაზის სიგრძე არის $L=20$ კმ, ხოლო ხაზის ბოლოს დატვირთვა გახდა 2-ჯერ მეტი, ანუ $P=30,0$ მგვტ და $Q=20$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.17 ცხრილში.

ცხრ.5.17. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა დატვირთვა ხაზის ბოლოში 2-ჯერ გაიზარდა (110 კვ ძაბვის გ/ხ)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{თავი}$, მგვტ	27,505	28,223	29,19	30,428	31,964	33,828	36,052
$Q_{თავი}$, მგვარ	16,306	16,041	17,357	20,249	24,721	30,784	38,449

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=24,448+22,1*U_*-54,22*U_*^2+38,0*U_*^3 \text{ და } Q=-262,928-559,11*U_*+316,431*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=30,428$ და $Q_0=20,249$)

$$P_*=0,805+0,727*U_*-1,781*U_*^2+1,249*U_*^3 \text{ და } Q_*=12,985-27,612*U_*+15,627*U_*^2.$$

განხილულ შემთხვევაში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი სიდიდე წარმოადგენს დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს ხაზის ბოლოში, მეორე კი – ხაზის თავში):

$$U_*=0,95, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,728; 0,725 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 2,152; 2,089.$$

$$U_*=1, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 0,952; 0,912 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 3,678; 3,670.$$

$$U_*=1,05, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 1,089; 1,118 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 5,204; 5,252.$$

იგივე გამოთვლები ჩატარდა იმ შემთხვევისთვის, როცა ხაზის სიგრძე არის $L=40$ კმ, ხოლო ხაზის ბოლოს დატვირთვა კი იგივეა, ანუ $P=30,0$ მგვტ და $Q=20$ მგვარ. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 5.18 ცხრილში.

ცხრ.5.18. $P_{თავი}$ და $Q_{თავი}$ სიმძლავრეთა სიდიდეები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისას, როცა ხაზის სიგრძე 2-ჯერ გაიზარდა, ხოლო დატვირთვა არ შეცვლილა (110 კვ ძაბვის გ/ხ)

U_*	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
$P_{თავი}$, მგვტ	27,953	28,637	29,598	30,855	32,438	34,381	36,720
$Q_{თავი}$, მგვარ	16,778	16,386	17,629	20,50	25,001	31,159	38,996

ამ შემთხვევაში დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების საანგარიშო გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$P=25,325+25,43*U_*-62,565*U_*^2+42,665*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q=-274,2-581,2*U_*+327,5*U_*^2,$$

ანუ ფარდობით ერთეულებში ($P_0=30,855$ და $Q_0=20,5$)

$$P_*=0,821+0,824*U_*-2,028*U_*^2+1,383*U_*^3 \quad \text{და} \quad Q_*=13,376-28,351*U_*+15,975*U_*^2.$$

განხილულ შემთხვევებში დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი შეადგენს (პირველი სიდიდე წარმოადგენს დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტს ხაზის ბოლოში, მეორე კი – ხაზის თავში):

$$U_*=0,95, \quad (\partial P_*/\partial U_*)=0,728; 0,715 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 2,152; 2,002.$$

$$U_*=1, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 0,952; 0,917 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 3,678; 3,599.$$

$$U_*=1,05, \quad (\partial P_*/\partial U_*)= 1,089; 1,139 \quad \text{და} \quad (\partial Q_*/\partial U_*)= 5,204; 5,197.$$

განხილული მაგალითების მიხედვით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე ხაზის გავლენა არაცალსახაა. კერძოდ, დაბალი მუშა ძაბვებისას მარეგულირებელი ეფექტი ხაზის

თავში უფრო ნაკლებია, ვიდრე მის ბოლოში, ხოლო მაღალი მუშა დაბრუნებისას პირიქით. ეს მიუთითებს მასზე, რომ დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის გრაფიკი ხაზის თავში ნაკლებად ციცაბოა, ვიდრე მის ბოლოში. ხაზის სიგრძესა და მის დატვირთულობას მცირე რაოდენობრივი კორექტივები შეაქვს ამ კანონზომიერებაში.

5.4. მანაწილებელი ქსელის გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე

ელექტრული სისტემის როგორც დამყარებული რეჟიმის პარამეტრების, ასევე გარდამავალი პროცესების (დინამიკური მდგრადობის) გაანგარიშება ტარდება კვანძური პოტენციალების (დაბრუნების) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის გზით. მთელ რიგ შემთხვევებში ეს გაანგარიშებები სრულდება გარკვეული დაშვებებით. კერძოდ, ცალკეული მომხმარებელი ქსელის საანგარიშო სქემაზე წარმოდგენილია მაღალი დაბრუნების სალტებზე მოდებული მუდმივი სიდიდის (დაბრუნებისგან დამოუკიდებელი) ჯამური (კომბინირებული) დატვირთვის სახით. ამ შემთხვევაში კვანძური დაბრუნების განტოლებათა სისტემა წრფივია, მარტივია მისი ამოხსნა, მაგრამ ამოხსნის შედეგები (დაბრუნების ქსელის კვანძებში) ცდომილებების შემცველია.

იმ შემთხვევაში, როცა კვანძური დატვირთვები წარმოდგენილია პოლინომური სახის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებლებით

$$P_{Li} = a_i U_i^2 + b_i U_i + c_i \quad \text{და} \quad Q_{Li} = d_i U_i^2 + f_i U_i + k_i,$$

მაშინ გვაქვს:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 Y_{11} - \dot{U}_2 Y_{12} - \dot{U}_3 Y_{13} - \dots - \dot{U}_n Y_{1n} &= \\ &= \dot{U}_0 Y_{10} + \frac{P_{g1} - jQ_{g1}}{\check{U}_1} \\ &\quad - \frac{[a_1 |U_1|^2 + b_1 |U_1| + c_1] - j[d_1 |U_1|^2 + f_1 |U_1| + k_1]}{\check{U}_1} \\ -\dot{U}_1 Y_{21} + \dot{U}_2 Y_{22} - \dot{U}_3 Y_{23} - \dots - \dot{U}_n Y_{2n} &= \\ &= \dot{U}_0 Y_{20} + \frac{P_{g2} - jQ_{g2}}{\check{U}_2} \\ &\quad - \frac{[a_2 |U_2|^2 + b_2 |U_2| + c_2] - j[d_2 |U_2|^2 + f_2 |U_2| + k_2]}{\check{U}_2} \end{aligned}$$

.....

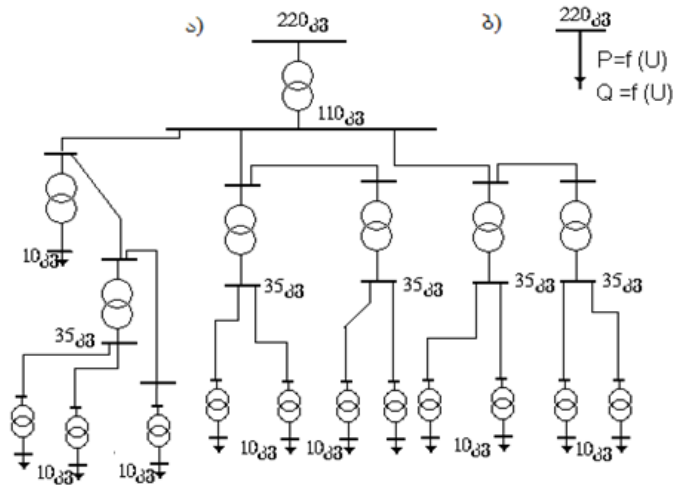
$$\begin{aligned}
 -\dot{U}_{1n}Y_{n1} - \dot{U}_2Y_{n2} - \dot{U}_3Y_{n3} \dots + \dot{U}_nY_{nn} &= \\
 = \dot{U}_0Y_{n0} + \frac{P_{gn} - jQ_{gn}}{\check{U}_n} & \\
 - \frac{[a_n |U_n|^2 + b_n |U_n| + c_n] - j[d_n |U_n|^2 + f_n |U_2| + k_n]}{\check{U}_n} &
 \end{aligned}$$

აქ: $P_{gi} + jQ_{gi}$ - i -ურ კვანძში მიერთებული გენერატორის სიმძლავრე;
 $P_{Li} + jQ_{Li}$ - i -ურ კვანძში მიერთებული მომხმარებლის დატვირთვა.

მიღებული განტოლებათა სისტემა არაწრფივია, მაგრამ მისი ამონახსნი უფრო მაღალი სიზუსტით ხასიათდება და, შესაბამისად, ელექტროსისტემის მდგრადობა-არამდგრადობის შესახებ დასკვნა უფრო ადეკვატური იქნება.

სხვადასხვა სახის ამოცანის მაღალი სიზუსტით ამოხსნის მიზნით, პირველ რიგში საკმარისად მაღალი სიზუსტით დადგენილი უნდა იქნეს ელექტრო-სისტემის 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ელექტროქსელის 6-10 კვ ძაბვაზე მიერთებულ მომხმარებელთა სტატიკური მახასიათებლები.

ცალკეული მომხმარებლის სტატიკური მახასიათებელი როგორც წესი ცნობილია მანაწილებელი ავტონომიური ქსელის 6-10 კვ ძაბვაზე (ნახ.5.7,ა) ან, უკეთეს შემთხვევაში, სამომხმარებლო ქვესადურის მაღალი ძაბვის (110 კვ) სალტეზე. რეჟიმების გაანგარიშების გამარტივების მიზნით თითქმის ყველა ავტონომიური ქსელის დატვირთვა საანგარიშო სქემაზე წარმოდგენილია შესაბამისი მაღალი ძაბვის სალტეებზე მოდებული კომბინირებული დატვირთვის სახით (ნახ.5.7,ბ).



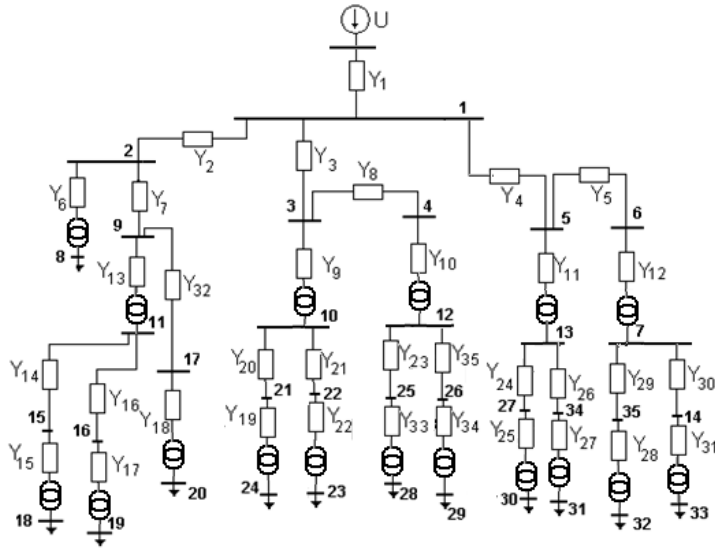
ნახ.5.7. 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელი

ამოცანის ასეთი სახით დასმა და მისი ამოხსნისადმი მაღალი სიზუსტის მოთხოვნა, მოითხოვს დადგენილი იქნეს 110-35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელის გავლენის მასშტაბები კომბინირებული დატვირთვის ეკვივალენტურ სტატიკურ მახასიათებლებზე. ამ გავლენის მასშტაბების დასადგენად ვისარგებლეთ ქვემოთ მოცემული მეთოდით.

განსახილველი ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა წარმოვადგინოთ მისი ელემენტების გრძივი გამტარობით (ნახ.5.8).

ვიცით, რა №№ 8, 18, 19, 20, 24, 23, 28, 29, 30, 31, 32 და 33 კვანძებში მიერთებული ცალკეული მომხმარებლების დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები $P_i = f_i(U)$ და $Q_i = F_i(U)$, შეგვიძლია შევადგინოთ კვანძური პოტენციალების (ძაბვების) შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_1 \dot{Y}_{1,1} - \dot{U}_2 \dot{Y}_{1,2} - \dot{U}_3 \dot{Y}_{1,3} - \dots - \dot{U}_{35} \dot{Y}_{1,35} &= \dot{U} \dot{Y}_1 \\
 -\dot{U}_1 \dot{Y}_{2,1} + \dot{U}_2 \dot{Y}_{2,2} - \dot{U}_3 \dot{Y}_{2,3} - \dots - \dot{U}_{35} \dot{Y}_{2,35} &= 0 \\
 -\dot{U}_1 \dot{Y}_{3,1} - \dot{U}_2 \dot{Y}_{3,2} + \dot{U}_3 \dot{Y}_{3,3} - \dots - \dot{U}_{35} \dot{Y}_{3,35} &= 0 \\
 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\
 -\dot{U}_1 \dot{Y}_{8,1} - \dot{U}_2 \dot{Y}_{8,2} + \dot{U}_8 \dot{Y}_{8,8} - \dots - \dot{U}_{35} \dot{Y}_{8,35} &= -\frac{P_8(U) + jQ_8(U)}{\dot{U}_8} \\
 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\
 -\dot{U}_1 \dot{Y}_{33,1} - \dot{U}_2 \dot{Y}_{33,2} - \dot{U}_3 \dot{Y}_{33,3} - \dots + \dot{U}_{33} \dot{Y}_{33,33} - \dots - \dot{U}_{35} \dot{Y}_{33,35} &= -\frac{P_{33}(U) + jQ_{33}(U)}{\dot{U}_{33}} \\
 -\dot{U}_1 \dot{Y}_{35,1} - \dot{U}_2 \dot{Y}_{35,2} - \dot{U}_3 \dot{Y}_{35,3} - \dots + \dot{U}_{35} \dot{Y}_{35,35} &= 0.
 \end{aligned} \tag{5.8}$$



ნახ.5.8. 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ქსელის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა

ბაზისური \dot{U} ძაბვის (ჯამური დატვირთვის მოდების კვანძის ძაბვა) სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის ჩავატაროთ გაანგარიშებათა სერია და ძაბვის ყოველი ამ მნიშვნელობისთვის განვსაზღვროთ მახალანსებელი კვანძის დატვირთვა ფორმულით

$$P + jQ = U * (U - \check{U}_1) * \check{Y}_1.$$

გაანგარიშებით მიღებულ დატვირთვათა მნიშვნელობები გამოვთვალოთ ფარდობით ერთეულებში ($P_* = P/P_0$ და $Q_* = Q/P_0$) და შედეგები წარმოვადგინოთ ცხრ.5.19-ის სახით.

ცხრ.5.19. დატვირთვათა მნიშვნელობები (ფარდობით ერთეულებში)

U*	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20
P*									
Q*									

ამ ცხრილის მონაცემების საფუძველზე, ინტერპოლაციის რომელიმე მეთოდით, დავადგენთ საძიებელი მახასიათებლების ანალიზურ სახეს.

აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით დავადგინეთ საქართველოს ელექტროსისტემის 110-35 კვ ძაბვის ყველა ავტონომიური ელექტროქსელის 6-10 კვ ძაბვაზე მიერთებულ მომხმარებელთა სტატიკური მახასიათებლებზე ავტონომიური ქსელის გავლენის მასშტაბები.

თავდაპირველად გამოკვლეული და დადგენილი იქნა საქართველოს ელექტროსისტემის 110-35 კვ ძაბვის ყველა ავტონომიური ელექტროქსელის 6-10 კვ ძაბვის კვანძებში მიერთებულ მომხმარებელთა სტატიკური მახასიათებლები და, შესაბამისად, მათი მარეგულირებელი ეფექტები ძაბვის მიხედვით $\frac{\partial P_*}{\partial U_*}$ და $\frac{\partial Q_*}{\partial U_*}$.

საიულუსტრაციოდ, ცხრ.5.20-ში ნაჩვენებია „ხაშური 220“ და „გურჯაანი 220“ ქვესადგურების ავტონომიური ქსელის 6-10 კვ ძაბვის კვანძების კომბინირებული დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები, რომელიც ჩაწერილია მეორე რიგის პოლინომის სახით, ხოლო ცხრ.5.21-ში ნაჩვენებია ამავე ქვესადგურების კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების მარეგულირებელი ეფექტი სხვადასხვა მუშა ძაბვაზე.

ცხრ.5.20. 6-10 კვ ძაბვის კვანძების ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები მანაწილებელი ქსელის გავლენის გარეშე

110-35 კვ ძაბვის ქსელი		P	Q
“ხაშური 220”	აბს.ერთ.	$71,46-100,8*U_*+68,46*U_*^2$	$260,658-556,796*U_*+318,466*U_*^2$
	ფარდ. ერთ	$1,827-2,578*U_*+1,751*U_*^2$	$11,674-24,937*U_*+14,263*U_*^2$
გურჯაანი “220”	აბს.ერთ.	$60,73-89,48*U_*+64,05*U_*^2$	$224,764-482,529*U_*+277,597*U_*^2$
	ფარდ. ერთ	$1,72-2,533*U_*+1,814*U_*^2$	$11,334-24,331*U_*+13,997*U_*^2$

გაანგარიშებები ჩატარებული იქნა საქართველოს ელექტროსისტემის ყველა 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ელექტროქსელისთვის და, საიულუსტრაციოდ, „ხაშური 220“ და „გურჯაანი 220“ ქვესადგურების ავტონომიური ქსელის შემთხვევაში მიღებული შედეგები (კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები) ნაჩვენებია ცხრ.5.23-ში. ცხრ.5.24-ში ნაჩვენებია აღნიშნული ქვესადგურების ჯამური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის მნიშვნელობები მანაწილებელი ქსელის გავლენის გათვალისწინებით.

ცხრ.5.21 6-10 კვ ძაბვის კვანძების ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლების მარეგულირებელი ეფექტი მანაწილებელი ქსელის გავლენის გარეშე

110-35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	$\partial P_*/\partial U_*$			$\partial Q_*/\partial U_*$		
	$U_*=0,95$	$U_*=1,0$	$U_*=1,05$	$U_*=0,95$	$U_*=1,0$	$U_*=1,05$
“ხაშური 220”	0,747	0,922	1,097	2,163	3,589	5,015
გურჯაანი “220”	0,913	1,095	1,276	2,263	3,663	5,063

ცხრ.5.22. ქსელის ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები ავტონომიური ქსელის გავლენის გათვალისწინებით

110-35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი		P	Q
“ხაშური 220”	აბს.ერთ.	$81,2-119,5*U_*+78,4*U_*^2$	$279,9-593,7*U_*+338,09*U_*^2$
	ფარდ. ერთ	$2,025-2,98*U_*+1,955*U_*^2$	$11,523-24,442*U_*+13,919*U_*^2$
გურჯაანი “220”	აბს.ერთ.	$70,28-108,1*U_*+74,0*U_*^2$	$240,9-513,7*U_*+294,4*U_*^2$
	ფარდ. ერთ	$1,943-2,988*U_*+2,045*U_*^2$	$11,152-23,782*U_*+13,63*U_*^2$

ცხრ.5.23 ქსელის ჯამური დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლების მარეგულირებელი ეფექტი მანაწილებელი ქსელის გავლენის გათვალისწინებით

110-35 კვ ძაბვის ავტ. ქსელი	$\partial P_*/\partial U_*$			$\partial Q_*/\partial U_*$		
	$U_*=0,95$	$U_*=1,0$	$U_*=1,05$	$U_*=0,95$	$U_*=1,0$	$U_*=1,05$
“ხაშური 220”	0,735	0,930	1,126	2,006	3,396	4,788
გურჯაანი “220”	0,898	1,102	1,307	2,115	3,478	4,841

ცხრ.5.22 და ცხრ.5.23-ის მონაცემების შედარება გვიჩვენებს, რომ მანაწილებელი ქსელის გავლენით კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ავტონომიური ქსელის გავლენით იცვლება რამდენიმე ერთეული პროცენტის ფარგლებში. მაშასადამე, დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომლებიც დადგენილი იქნება 6-10 კვ ძაბვაზე, სისტემაში მიმდინარე ნებისმიერი სახის გარდამავალი პროცესების ანალიზისთვის, პრაქტიკულად, არ მოითხოვს რაიმე კორექტირებას იმ მიზნით, რომ ანგარიშებით მიღებული შედეგები არ გამოვიდეს საინჟინრო გაანგარიშებებისთვის დასაშვები ცდომილებების ფარგლებს გარეთ.

დასკვნა თავი 5-ის მიმართ

1. კერძოდ, დაბალი მუშა ძაბვებისას დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ხაზის თავში უფრო ნაკლებია, ვიდრე მის ბოლოში, ხოლო მაღალი მუშა ძაბვებისას პირიქით. ეს მიუთითებს მასზე, რომ დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის გრაფიკი ხაზის თავში უფრო მეტად ციცაბოა, ვიდრე მის ბოლოში. ხაზის სიგრძესა და მის დატვირთულობას ამ კანონზომიერებაში მცირეოდენი კორექტივები შეაქვს.

2. გამოკვლეული იქნა სადაბლებელი ტრანსფორმატორის (110/10 კვ) გავლენა დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტზე და დაგენილი იქნა, რომ მცირე სიდიდის დატვირთვისას ეს გავლენა უმნიშვნელოა. რაც მეტია ქვესადგურის დატვირთვა მით ნაკლებია რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის რიცხვითი მნიშვნელობა მაღალ მხარეს, ხოლო აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი, პრაქტიკულად, არ იცვლება. კერძოდ, დატვირთვის სამჯერ გაზრდისას რეაქტიული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი მაღალ მხარეს $\approx(9-10)\%$ -ით ნაკლებია ამავე დატვირთვის მარეგულირებელ ეფექტთან შედარებით დაბალ მხარეს, აქტიური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტის ცვლილება კი არ აღემატება $\approx(1-2)\%$ -ს.

3. ძაბვის ცვლილებისას ტრანსფორმატორი გავლენა დატვირთვის ცვლილებაზე, პრაქტიკულად, უმნიშვნელოა. ეს გავლენა რეაქტიული დატვირთვის მიმართ უფრო მეტად შესამჩნევია.

4. დადგენილია 110-35 კვ ძაბვის ავტონომიური ელექტროქსელის გავლენის მასშტაბები ამ ქსელის მომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკურ მახასიათებლებზე.

5. როგორც მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს მანაწილებელი ქსელის გავლენით ჯამური დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი რამდენმე ერთეული პროცენტით იცვლება. ეს მიუთითებს მას, რომ ამ ანგარიშებით მიღებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები დასაშვებია გამოყენებული იქნეს სისტემაში მიმდინარე ნებისმიერი სახის გარდამავალი პროცესების ანალიზისას, თუ კი ამ ავტონომიური ქსელის დატვირთვის შემადგენლობაში ადგილი არ აქვს მკვეთრ სტუქტურულ ცვლილებებს.

4. დასკვნა

ელექტრული სისტემის მდგრადი მუშაობა პირდაპირ კავშირშია აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევასთან. აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევა შეიძლება გამოწვეული იქნეს სხვადასხვა მიზეზითა და სხვადასხვა ხარისხით. უმრავლეს შემთხვევაში, აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას, ირღვევა რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსიც. კერძოდ, დატვირთული გენერატორის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტს, ხოლო სამრეწველო რეგიონის ავარიული გამორთვა კი იწვევს ამავე სიმძლავრეების სიჭარბეს.

PSS/E კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით გაანალიზებული იქნა საქართველოს ელექტროსისტემაში ამა თუ იმ სახის გარდამავალი რეჟიმები და დადგინდა, რომ რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს აქტიური სიმძლავრის უბალანსობის სიდიდეზე.

აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის აღმოფხვრის მიზნით აქტიური დატვირთვის გამორთვასთან ერთად, იმავდროულად გამორთული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდემ დეფიციტის აღმოფხვრაზე შეიძლება მოახდინოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი გავლენა.

ნაშრომში განხილული ყველა შემთხვევა მიუთითებს მასზე, რომ აუცილებელია მაღალი სიზუსტით იქნას დადგენილი მოცემული ელექტროსისტემის მომხმარებელთა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, მათ შორის, დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები ძაბვის მიხედვით $P^*=P^*(U^*)$ და $Q^*=Q^*(U^*)$, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება შევაფასოთ როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის შესაბამისი მარეგულირებელი ეფექტი ძაბვის მიხედვით $\partial P^*/\partial U^*$ და $\partial Q^*/\partial U^*$.

საქართველოს ენერგოსისტემის 110/35 კვ ძაბვის გადაცემის ქსელი პირობითად დაიყო 13 ავტონომიურ ქსელად (ელექტროენერგეტიკულ რეგიონად), რომელთა შორის კავშირი განხორციელებულია 220 და 500 კვ ძაბვის ხაზებით და რომელთაგანაც თითოეული მანაწილებელი ქსელის კონფიგურაციისა და მომხმარებელთა სახეობათა მიხედვით ხასიათდება ინდივიდუალური თავისებუ-

რებებით. თითოეული ავტონომიური ქსელი ენერგოსისტემაში შემოდის მხოლოდ ერთი 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის საშუალებით. თითოეული ელექტროენერგეტიკული რეგიონის სადაბლებელი ქვესადგურების 10 კვ ძაბაზე მიერთებული კომბინირებული დატვირთვისთვის მიღებული იქნა დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები, რომელთა საშუალებით მიღებული იქნა ავტონომიური ქსელის კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები.

მდგრადობის ანალიზისათვის 110/35 კვ ძაბვის ცალკეული დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლების საფუძველზე დადგენილი იქნა ამ ქსელის მაღალი ძაბვის ქსელთან მიერთების კვანძში ავტონომიური ქსელის ჯამური დატვირთვის ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებელი.

თითოეული ავტონომიური ქსელისათვის ჩავატარე რეჟიმების გაანგარიშება (ანუ ამ ქსელის 220 კვ ძაბვის ქსელთან მიერთების წერტილში) მუშა ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობაზე $U^*=0,9 \div 1,1, 0,05$ ბიჯით.

მიღებული შედეგების მიხედვით ავაგე სტატიკური მახასიათებლები, რაც ცხადია ქსელის გავლენას ითვალისწინებს.

მონაცემების შედარებამ გვიჩვენა, რომ მანაწილებელი ქსელის გავლენით კომბინირებული დატვირთვის მარეგულირებელი ეფექტი ავტონომიური ქსელის გავლენით იცვლება რამდენიმე ერთეული პროცენტის ფარგლებში.

მაშასადამე, სისტემის მდგრადობის ანალიზისას, თავისუფლად შეიძლება ავიღოთ მომხმარებელთა ეკვივალენტური სტატიკური მახასიათებელი ქსელის გავლენის გათვალისწინების გარეშე. კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლების გადაანგარიშება საჭირო გახდება მაშინ, თუ ამ ავტონომიური ქსელის დატვირთვის შემადგენლობაში ადგილი ექნება მკვეთრ სტუქტურულ ცვლილებებს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Москва: Издательство «Мастерство». 2002, 320 с.
2. მახარაძე გ., ბეგიაშვილი ვ., დარჩია ბ. ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილება. თბილისი: „უნივერსალი“. 2006, 532გვ.
3. Kerstin Lindén and Inger Segerqvist. Modelling of Load Devices and Studying Load/System Characteristics. Göteborg : Technical Report No. 131LDepartment of Electrical Power Systems School of Electrical and Computer Engineering. 1992, 138 p.
4. Raymond R. Shoults., Larry D. Swift. Power system loads. Mexico: New Mexico state university. 1995, IV, pp 3-13.
5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Москва: “Высшая школа”. 1978, 320 с.
6. რუხვაძე მ. ელექტრული სისტემების მდგრადობა. თბილისი: უნივერსალი. 2009, 182 გვ.
7. მახარაძე გ., მახარაძე მ., სულაშვილი მ. ტრანსფორმატორული უბნის გავლენა აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტზე. ენერჯია. 2011, №1(57), გვ.100-102.
8. Методические указания по определению устойчивости энергосистем, Часть 1. ВНИИЭ, МЭИ, ВГПИиНИИ Энергосетьпроект, ЦДУ ЕЭС СССР, ИЭД АН УССР и НИИПТ. Москва, 1977, 236 с.
9. მახარაძე მ., რუხვაძე მ. ელექტროსისტემაში სიხშირის მართვის საკითხები რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევისას. ენერჯია. 2010, №2(54), გვ. 55-59.
10. მახარაძე მ. რეაქტიული სიმძლავრის უბალანსობა და გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზი. ენერჯია. 2011, №2(58), გვ. 23-25.
11. მახარაძე მ. საქართველოს ელექტროსისტემის 220 კვ ძაბვის კვანძებში მიერთებული კომბინირებული დატვირთვების სტატიკური მახასიათებლები. ენერჯია. 2012, №4(64), გვ. 11-15.
12. Веников В. А. и др, Электрические системы. Москва: Высшая школа. 1971, Т.2, 440 с.

13. Глазунов А. А., Глазунов А. А. Электрические системы. М-Л: ГЭИ. 1960, 368 с.
14. მახარაძე მ. კომბინირებული დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლები. სტუდენტთა მე-80 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისების კრებული. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2012, გვ. 51.