

ალექსანდრე პეტროსიანი

რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების
მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივნისი, 2014

© საავტორო უფლება „ალექსანდრე პეტროსიანი, 2014“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით ალექსანდრე პეტროსიანის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

. . 2014

ხელმძღვანელი: ტექ. მეც. დოქ., პროფესორი
ბადურ ჭუნაშვილი

რეცენზენტი: ტექ. მეც. დოქ., პროფესორი
ნუგზარ ბერიძე

რეცენზენტი: ტექ. მეც. დოქ., პროფესორი
იაკირ ბიჯამოვი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2014

ავტორი: ალექსანდრე პეტროსიანი
დასახელება: „რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება“
ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: 28.06.2014

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

მსოფლიოში შექმნილი ენერგეტიკული კრიზისის პირობებში, ერთერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას ელექტრომომარაგების ქსელისა და ელექტრომომხმარებლების ენერგოეფექტურობის ამაღლება წარმოადგენს. თავის მხრივ, ენერგოეფექტურობა ქსელისა და მომხმარებლების ენერგეტიკულ მაჩვენებლებზეა დამოკიდებული.

ამასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ელექტრომომარაგების ქსელსა და ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებში სიმძლავრისა (ეტდ) და ელექტროენერჯის დანაკარგების მინიმუმამდე შემცირებას. შესაბამისად, ელექტრომომარაგების სისტემის მიერ, ელექტრომომხმარებლების მიმართ წაყენებული მოთხოვნებიდან ერთერთ ძირითადს ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაზრდა, განსაკუთრებით კი რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება წარმოადგენს, რათა განიტვირთოს ელექტრომომარაგების ქსელი რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან და გამოირიცხოს, ან მინიმუმამდე შემცირდეს ამ მიზეზით გამოწვეული ძაბვის, სიმძლავრისა და შესაბამისად აქტიური და რეაქტიული ენერჯის დანაკარგები.

ქვეყანაში არ არსებობს არანაირი მოთხოვნა რეაქტიული სიმძლავრის შეზღუდვის ან რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესებისა და ლიმიტირების შესახებ. უფრო მეტიც, რიგ შემთხვევებში საერთოდ არ ხდება რეაქტიული ენერჯის აღრიცხვა. მაშინ როდესაც, ევროპის მრავალი ქვეყნის სატარიფო პოლიტიკა, ძირითადად, რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტზეა დაფუძნებული.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ეტდ-სა და კომპლექსებს ელექტროენერგეტიკული სისტემიდან წაყენებული მოთხოვნებიდან, ერთერთ ძირითადს მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის შეზღუდვა წარმოადგენს. ეს მოთხოვნა განსაკუთრებით მწვავედ დგას დიდი და საშუალო სიმძლავრის ელექტრომომხმარებლების მიმართ, რადგან ისინი მნიშვნელოვნად აუარესებენ ქსელის ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს.

ცვლადი დენის ელექტრომაგნიტურ მოქმედების პრინციპზე დაფუძნებული ყველა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარი და მოწყობილობა მაგნიტური ველის შესაქმნელად, მკვებავი ქსელიდან, აქტიურთან ერთად, მოითხოვს გარკვეული სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრეს. თანაფარდობა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მიერ მოთხოვნილ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებს შორის დამოკიდებულია ეტდ-ის მოქმედების პრინციპზე, მუშაობის რეჟიმზე, დადგმული სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტზე და დატვირთვის დიაგრამაზე. მაგალითად, მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავებისათვის ნომინალური დატვისთვის პირობებში იგი 65-75%-ია, ხოლო ძალოვანი ტრანსფორმატორებისათვის-5-10%.

ყველაზე გავრცელებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება. მაშასადამე, რეაქტიული სიმძლავრის მიერ გამოწვეული ძაბვის სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგების შემცირების,

სიმძლავრის ასეთი მეთოდით რეგულირების ნაკლია ის, რომ მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის დიდ დიაპაზონში ცვლილებისას, მთლიანად გაუკომპენსირებელი რჩება კონდენსატორული ბლოკის ჩართვამდე არსებული და გენერირებულ საკომპენსაციოზე ზევით გაზრდილი მოთხოვნილი სიმძლავრე. აქედან გამომდინარე, ასეთი საკომპენსაციო მოწყობილობების გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ უცვლელი რეაქტიული დატვირთვის მქონე მომხმარებლებისათვის.

საფეხუროვანი რეგულირებით აღჭურვილი საკომპენსაციო მოწყობილობების რეგულირების ხარისხი, ერთსაფეხუროვანთან შედარებით მაღალია და მით უფრო მაღალია, რაც მეტია საფეხურების რაოდენობა. შესაბამისად, რეგულირების ხარისხის გაზრდისათვის საჭიროა კონდენსატორთა ბატარეების რაოდენობის გაზრდა. თავის მხრივ, კონდენსატორთა ბატარეების რაოდენობის გაზრდა შეზღუდულია, რადგან იგი გამოიწვევს კომპენსატორის ძალოვანი ნაწილის – კონდენსატორთა ბატარეის ბლოკებისა და მათი ქსელთან მიერთების, საკომპლუტაციო აპარატების რაოდენობის გაზრდას. ამასთან ერთად, რთულდება დანადგარის კონსტრუქცია და მართვის სისტემა, იზრდება საკომპენსაციო მოწყობილობის გაბარიტული ზომები და ფასი.

ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია და შესაბამისად ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრული განტვირთვა შეიძლება განხორციელდეს, მხოლოდ საკომპენსაციო სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების საშუალებით.

ელექტრომომარაგების ქსელების ძალოვან ელემენტებში მიმდინარე ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ქსელის ელემენტები გადატვირთულია რეაქტიული სიმძლავრის გატარებით, დაბალია რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი, შესაბამისად დიდია ამ მიზეზით გამოწვეული ელექტროენერჯისა და ძაბვის დანაკარგები, დაბალია ენერგეტიკული მაჩვენებლები-ენერგოეფექტურობა და მაღალია ქსელის ელემენტების ცვეთა.

ჩატარებულია საერთაშორისოდ აღიარებული მეცნიერების მიერ შემოთავაზებული რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის მეთოდებისა და მართვის პრინციპების ანალიზი. აგრეთვე, გამოკვლეულია მოწინავე ფირმების მიერ წარმოებული მოწყობილობები და მართვის სისტემები და დასაბუთებულია, რომ რადგან მათ მიერ შემოთავაზებული მოწყობილობები დაფუძნებულია საფეხუროვანი მართვის პრინციპზე, ამიტომ ისინი ვერ უზრუნველყოფენ რეაქტიული სიმძლავრის სრულ კომპენსაციას და ამ მიზეზით საშუალოდ გაუკომპენსირებელი რჩება მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის 30%.

შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის პრინციპი, რომელიც დაფუძნებულია დაუსეციონირებელი კონდენსატორული ბატარეის ძალოვან წრედში მიმდევრობით ჩართული შემზღუდავი ბლოკის საშუალებით ტევადური დენის რეგულირების პრინციპზე.

დამუშავებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ორი ვარიანტი. პირველ შემთხვევაში სისტემა გახსნილია და დაფუძნებულია, მხოლოდ მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლზე. მეორე ვარიანტისას, სისტემა შეკრულია და კონტროლირდება ქსელიდან გადმოდინებული რეაქტიული სიმძლავრე.

შედგენილია მდოვრე რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემების ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემები და მოცემულია მათი მათემატიკური აღწერილობა.

საკომპენსაციო მოწყობილობის ოროვე ვარიანტისათვის ჩატარებულია ექსპერიმენტული გამოკვლევა. შედეგებმა დაადასტურა, რომ საკომპენსაციო დანადგარის შემოთავაზებული მართვის სისტემას გააჩნია გამომუშავებული საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის, დიდ დიაპაზონი (0-1), მდოვრე რეგულირების უნარი და მისი პრაქტიკული რეალიზაცია საშუალებას მოგვცემს, განვახორციელოთ ელექტრომომხმარებლების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია. განვტვირთოთ ელექტრომომარაგების ქსელი რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან. შესაბამისად შევამციროთ ძაბვის, სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები, გავზარდოთ ენერგეტიკული მაჩვენებლები და ავამაღლოთ ენერგოეფექტურობა.

Abstract

In terms of global energy crisis, the one of the most important task is to increase energy efficiency of power supply system. Energy efficiency depends on indicators of network and consumers. That is a reason, why is very important to minimize loses of capacity and electricity in power supply system and electrical technological machines. Consequently one of the main requirement by power supply system to electricity consumers is to increase energy indicators specially rising reactive capacity coefficient for unloading power supply system with reactive capacity transmission and minimizing or exclusion loses of voltage, capacity and consequently active and reactive energies caused by above mentioned reason.

There is no any requirement of limit reactive capacity or increase reactive capacity coefficient in our country. Even more, in some cases there is no reactive energy metering, while many of European countries' tariff policy is mainly based on reactive power coefficient.

Therefore, for electrical technological machines and the complexes requirements by the electric power system, one of the main request is limitation of reactive capacity. This requirement is particularly acute in large and medium capacity power consumers, since they are significantly worsening energy indicators of the network.

Every electrical technological machines based on the principle of alternating current's electro-magnetic action for creation magnetic field request both of active and reactive capacity from power supply network. The ratio of active and reactive capacity depends on principle of action, mode of operation, utilization coefficient of the installed capacity and the load diagram of electrical technological machines. For example, for asynchronous engines with short-cut circuit rotor, in terms of nominal loading conditions the ratio of active and reactive capacity is 65-75%, while for the power transformers is 5-10%.

The most common electrical and technological installations and complex power factor within the average 0,8 - 0,85. Therefore, power regulation disadvantage of such a method is that the required reactive load vary in the large range causes not to compensate of existing capacity until the condenser block switching on and generated increased requested capacity than compensation. Therefore, it is recommended to use devices such compensation only consumers with invariable reactive load.

The quality of stepped regulated equipped compensation device is more effective than one-stepped one. Accordingly, to rise quality of the regulation is necessary to increase the number of battery of condenser. On the other hand, increasing the number of condenser battery is limited, because it will cause increasing number of the power part of the compensator - condenser battery blocks and their connection to the network and switching devices. In addition, system design and control system becomes complicated, increases the compensation device dimensions and price.

Compensation of reactive capacity requested by the electrical machinery and technological complexes and consequently complete discharging of the power

supply network elements from transmission of the reactive capacity, can be implemented only by flowing regulation of the compensational capacity.

There is proposed principle of controlling of flowing regulation of static compensation device of reactive capacity. This principle is based on principles of regulation of capacity current by limiting block in not sectional condenser battery power circuit.

There is developed two versions of control system of flowing regulation of static compensation device of reactive capacity. In the first case, there is open system and based on only controlling of requested reactive capacity by consumer. The second option, the system is closed and controlled transmitted reactive capacity from the network.

There is created functional and structural schemes of control systems of flowing regulation compensatory device and also, their mathematical description is given.

We conducted an experimental study for both of the compensation device. The results proved that the proposed control system of compensation device has got a large range of produced reactive capacity (0-1), flowing regulation gives us ability of implementation of complete compensation of reactive capacity requested by electricity consumers; To unload power supply network from transmission of reactive capacity; Consequently reduce loses of the voltage, power and electricity; increase energy indicators and rise energy efficiency.

შინაარსი

შინაარსი	ix
ანბანური საძიებელი	xv
შესავალი	xvii
ლიტერატურის მიმოხილვა	20
1. რეაქტიული სიმძლავრე და სიმძლავრის კოეფიციენტი	22
1.1. რეაქტიული დატვირთვა და მისი შეფასება	22
1.2. ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების რეაქტიული დატვირთვის გრაფიკები	32
1.3. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის სახეები და მათი შეფასება	36
თავი 2. რეაქტიული სიმძლავრის წყაროები და საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემები	39
2.1 რეაქტიული სიმძლავრის წყაროები	39
2.1.1. სინქრონული კომპენსატორი	41
2.1.2. სტატიკური კონდენსატორები	43
2.2. ძალური კონდენსატორები	48
2.3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანიშნულების ძალური კონდენსატორები	49
2.4. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემები	51
2.4.1. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობები	51
2.4.2. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემები	56
თავი 3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის დამუშავება	61
3.1. საკომპენსაციო მოწყობილობის რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება	61
3.2. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია	66
3.3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის რელეური დაცვის სისტემა	69
3.4. მაღალი რიგის ჰარმონიკების აღმოჩენა და მათი აღმოფხვრა	73
დასკვნები	81
დანართი 1	84
დანართი 2	85
დანართი 3	86
დანართი 4	87

დანართი 5.....	88
დანართი 6.....	89
დანართი 7.....	90
დანართი 8.....	91
დანართი 9.....	92
დანართი 10.....	93
დანართი 11.....	94
დანართი 12.....	95
დანართი 13.....	96
დანართი 14.....	97
დანართი 15.....	98
დანართი 16.....	99
დანართი 17.....	100
დანართი 18.....	101
დანართი 19.....	102
დანართი 20.....	103
გამოყენებული ლიტერატურა	104

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. კონდენსატორული დანადგარების დაზიანებების სახეობები და დაცვები.....	72
ცხრილი 2. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის Varpact -ის რეგულირების საფეხურთა შესაძლო რაოდენობა (კომბინაცია).....	94
ცხრილი 3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის სიმძლავრის შერჩევის ცხრილი.....	95
ცხრილი 4. რეაქტიული სიმძლავრის „Varpact CLASSIC“ ტიპის საკომპენსაციო დანადგარის რეგულირების საფეხურთა რაოდენობა და სიმძლავრეები	97
ცხრილი 5. რეაქტიული სიმძლავრის „Varpact COMFORT“ და “Varpact HARMONY” ტიპის საკომპენსაციო დანადგარის რეგულირების საფეხურთა რაოდენობა და სიმძლავრეები	98
ცხრილი 6. ჰარმონიკების მაქსიმალური დასაშვები დონეები	102
ცხრილი 7. მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტებზე	102

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები აქტიური დატვირთვის შემთხვევაში.....	24
ნახ. 2. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები ინდუქციური დატვირთვის შემთხვევაში.....	25
ნახ. 3. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები ტევადური დატვირთვის შემთხვევაში.....	27
ნახ. 4. მანქანათმშენებელი ქარნის რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გრაფიკი.....	34
ნახ. 5. მანქანათმშენებელი ქარნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი.....	35
ნახ. 6. რეაქტიული სიმძლავრის ინდივიდუალური კომპენსაცია.....	37
ნახ. 7. რეაქტიული სიმძლავრის ჯგუფური კომპენსაცია.....	38
ნახ. 8. რეაქტიული სიმძლავრის ცენტრალიზებული კომპენსაცია.....	38
ნახ. 9. ვექტორული დიაგრამა.....	40
ნახ. 10 0,4 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის ძალური ნაწილის ცალხაზოვანი სქემა: ა) ფილტრების გარეშე, ბ) ფილტრებით	53
ნახ. 11. 10 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის ძალური ნაწილის შეერთების სქემები.....	54
ნახ. 12. საკომპენსაციო მოწყობილობის ცალხაზოვანი სქემა.....	58
ნახ. 13. 0,4 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა (მართვის გახსნილი სისტემით).....	62
ნახ.14. რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის ძალური ნაწილის სქემა.....	64
ნახ.15. საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა.....	65
ნახ. 16. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა.....	67

ნახ. 17. საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა.....	68
ნახ. 18. კონდენსატორული დანადგარის დაცვა მცველების საშუალებით.....	72
ნახ. 19. არასინუსოიდალური დენის დიოგრამა.....	78
ნახ. 20. არასინუსოიდალური დენის კოეფიციენტი 250% მნისვნელობის დროს.....	78
ნახ. 21. ძაბვის და დენის მრუდეები გამორთული საკომპენსაციო მოწყობილობის.....	79
ნახ. 22. სიმძლავრეების მრუდეები ჩართული საკომპენსაციო მოწყობილობის დროს.....	80

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

ემს – ელექტრომომარაგების სისტემა;

ეტდ – ელექტროტექნოლოგიური დანადგარები;

ეტკ – ელექტროტექნოლოგიური კომპლექსები;

რდგ – რეაქტიული დატვირთვის გრაფიკი;

რდდშბ – რეაქტიული დატვირთვის დენის შემზღუდავი ბლოკი;

რსსმ – რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობა;

სსმ – სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობა;

მსმ – მანქანური საკომპენსაციო მოწყობილობა;

სმმს – საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემა;

მდდ – მაქსიმალური დენური დაცვა;

ANSI – American National Standards Institute (სტანდარტების ამერიკული
ეროვნული ინსტიტუტი);

ანბანური საძიებელი

83.

- აქტიური დატვირთვა 28, 33
- დამცავი ფილტრი 75
- დენის შემზღუდავი ბლოკი..... 65
- ელექტროტექნოლოგიური კომპლექსები 34
- ვექტორული დიაგრამა 40
- ინდივიდუალური კომპენსაცია 37
- მანქანური საკომპენსაციო მოწყობილობა 42
- მართვის სისტემა..... 57, 62, 66
- მაღალი რიგის ჰარმონიკები 74, 78
- მაქსიმალური დენური დაცვა 70, 72
- მდოვრე რეგულირება 63
- ოპტიმიზირებული მართვის სისტემა 66, 68
- რეაქტიული დატვირთვა..... 23, 33
- რეაქტიული დატვირთვის გრაფიკი 33, 35
- რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობა..... 42, 37
- რეაქტიული სიმძლავრის წყაროები 40
- საფეხუროვანი რეგულირება..... 53
- საკომპენსაციო მოწყობილობა 37, 50, 52
- სიმძლავრის კოეფიციენტი..... 30, 41
- სინქრონული კომპენსატორი 42
- სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობა 44, 49
- ტევადური დენი..... 27
- ჯგუფური კომპენსაცია 37
- ცენტრალიზებული კომპენსაცია 38

მადლიერება

დიდ მადლობას ვუხდის სს „თელასის“ სადისპეტჩერო სამსახურში, რელეური დაცვისა და აღრიცხვის სისტემებში მომსახურე ყველა თანამშრომლების მიერ გაწეული ღვაწლი, რომელთაც გამიწიეს უდიდესი დახმარება ქალაქის დაბალი და მაღალი ძაბვის ქსელებში მიმდინარე მუშაობის რეჟიმების შესახებ ინფორმაციის მოპოვებაში.

აგრეთვე, უღრმესი მადლიერებით მინდა ავღნიშნო სს „თბილხელსაწყოს“ თანამშრომლებს მიერ ექსპერიმენტული გამოკვლევების ჩატარებაში გაწეული ღვაწლი. განსაკუთრებით აღსანიშნავია, მისი ხელმძღვანელების მიერ გაწეული დახმარება მათი ტექნიკური აღჭურვილობით სარგებლობისას.

შესავალი

თანამედროვე ეტაპზე, მსოფლიოში არსებული ენერგეტიკული კრიზისის პირობებში, ერთ ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას ელექტროენერჯის წარმოება, გადაცემა, განაწილება, მოხმარების ტრაქტის ყველა ეტაპზე ენერგოეფექტურობის ამაღლება წარმოადგენს [3]. ამ მხრივ, განსაკუთრებით მწვავედ დგას საკითხი ელექტრომომარაგების ქსელისა და ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების (ელექტრომომხმარებლების) ძალოვან ელემენტებში, სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეული ძაბვის, სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგების მინიმუმამდე შემცირების შესახებ. აქედან გამომდინარე, ელექტრომომარაგების სისტემის (ემს) მიერ, ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა (ეტდ) და კომპლექსების მიმართ წაყენებული მოთხოვნებიდან ერთერთ ძირითადს ელექტროენერჯის ეფექტური მოხმარება წარმოადგენს. თავის მხრივ, ძირითადს ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაზრდა, განსაკუთრებით კი რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება წარმოადგენს, რათა განიტვირთოს ემს ძალოვანი ელემენტები რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან და გამოირიცხოს, ან მინიმუმამდე შემცირდეს ამ მიზეზით გამოწვეული ძაბვის, სიმძლავრისა და შესაბამისად აქტიური და რეაქტიული ენერჯის დანაკარგები.

ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი ელექტროენერჯის მოხმარების ციკლშია და მისი რეალიზაცია აგრეთვე, უზრუნველყოფს მკვებავი ელექტრომომარაგების ქსელის ენერგოეფექტურობის ამაღლებას.

ქვეყანაში, ელექტრომომხმარებლების მიმართ, არ არსებობს არანაირი მოთხოვნა რეაქტიული სიმძლავრის ან რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის შეზღუდვის – ლიმიტირების შესახებ. უფრო მეტიც, რიგ შემთხვევებში საერთოდ არ ხდება მოხმარებული რეაქტიული ენერჯის აღრიცხვა. მაშინ როდესაც, ევროპის მრავალი ქვეყნის სატარიფო პოლიტიკა, ძირითადად, რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტზეა დაფუძნებული.

ყველაზე გავრცელებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება. მაშასადამე, რეაქტიული სიმძლავრის მიერ გამოწვეული ძაბვის სიმძლავრის და ენერგიის დანაკარგების შემცირების,

ცვლადი დენის ელექტრომაგნიტურ მოქმედების პრინციპზე დაფუძნებული ყველა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარი და მოწყობილობა მაგნიტური ველის შესაქმნელად, მკვებავი ქსელიდან, აქტიურთან ერთად, გარკვეული სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრეს მოითხოვს. ელექტრომოწყობილობების ამ კლასს განეკუთვნებიან: ძალოვანი ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები, რეაქტორები, ასინქრონული ძრავები, ინდუქტორები, გაზური განმუხტვის ნათურები და სხვა [1, 2].

თანაფარდობა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მიერ მოთხოვნილ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებს შორის დამოკიდებულია ეტდ-ის მოქმედების პრინციპზე, მუშაობის რეჟიმზე, დადგმული სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტზე და დატვირთვის დიაგრამაზე. მაგალითად, მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავებისათვის ნომინალური დატვისთვის პირობებში იგი 65-75%-ია, ხოლო ელექტრომომარაგების 6-110 კვ ძაბვის ქსელებში გამოყენებული ძალოვანი ტრანსფორმატორებისათვის-5-10% [5].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ელექტრომომარაგების ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნების პირობებში, ეტდ-სა და კომპლექსებს ელექტროენერგეტიკული სისტემიდან წაყენებული ერთერთ ძირითად მოთხოვნას რეაქტიული სიმძლავრის შეზღუდვა წარმოადგენს. ეს მოთხოვნა განსაკუთრებით მწვავედ დგას დიდი და საშუალო სიმძლავრის ელექტრომომხმარებლების მიმართ, რომლებიც ტექნოლოგიური პროცესების მიერ განპირობებული მუშაობის რეჟიმების გამო დიდი რაოდენობის რეაქტიულ ენერგიას მოიხმარენ და აქედან გამომდინარე, დაბალი ენერგეტიკული მაჩვენებლები გააჩნიათ.

ელექტრომომარაგების ქსელებში ტევადური რეაქტიული სიმძლავრის შესაქმნელად იშვიათად, სინქრონული კომპენსატორები და ხშირ შემთხვევაში კი სტატიკური კონდენსატორების ბატარეები გამოიყენება, რადგან მათ მცირე ელექტროენერჯის ხარჯი და დაბალი ღირებულება გააჩნიათ. აქედან გამომდინარე, ყველა საერთაშორისოდ ცნობილი ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მწარმოებელი კომპანია „შნიდერ ელექტრიკი“, „Siemens“-ი, „ABB“, „Сервис Монтаж Интеграция“ და ა.შ., სტატიკური კონდენსატორების ბაზაზე დაფუძნებულ, საფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობებს აწარმოებს.

თავის მხრივ, ამ მოწყობილობების დიდი ნაკლია ის, რომ მათ არ შეუძლიათ გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირება და მოთხოვნილის სრული კომპენსაცია.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საჭიროა, რომ სტატიკური კონდენსატორებზე დაფუძნებული საკომპენსაციო მოწყობილობებისათვის შეიქმნას მართვის სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს კომპენსატორის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირებას, რათა განხორციელდეს მოთხოვნილის ადგილზე სრული კომპენსაცია და ელექტრომომარაგების ქსელის რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან სრული განტვირთვა.

ლიტერატურის მიმოხილვა

ცნობილი ავტორების მონოგრაფიებსა და სახელმძღვანელოებში [1,2,3,4,11,14,15,16,30,31] დეტალურადაა აღწერილი ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის პრინციპებისა და ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამომდინარე, რეჟიმების გავლენა ელექტრომომარაგების ქსელის მუშაოაზე. დეტალურად მოცემულია რეაქტიული სიმძლავრის ბუნება და სიმძლავრის კოეფიციენტის არსი, დასაბუთებულია მისი შემოღების აუცილებლობა. შეფასებულია რეაქტიული სიმძლავრის გატარების შედეგად, ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტებში, გამოწვეული ძაბვის, სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგებით განპირობებული უარყოფითი ეკონომიკური შედეგები. დასაბუთებულია რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისა და მისი საშუალებით ქსელის განტვირთვის აუცილებლობა. განხილულია კომპენსაციის ბუნებრივი და ხელოვნური გზები. შემოთავაზებულია საკომპენსაციო დანადგარების სიმძლავრის განსაზღვრისა და მისი ქსელთან ეკონომიკურად მიზანშეწონილ ადგილზე მიერთების სქემის შერჩევის მეთოდები.

ნაშრომებში [18,19,26,36,37,38,39,40], შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობების ძალური ნაწილის შესრულების სქემების ვარიანტები და ნორმატივები. შეფასებულია მათი ღირსებები. მნიშვნელოვანია, რომ ყველა შემოთავაზებული საკომპენსაციო მოწყობილობა დაფუძნებულია სტატიკურ კომპენსატორებზე.

საავტორო მოწმობებსა [6,13,32] და მონოგრაფიებში [21,22], შემოთავაზებულია სტატიკური კონდენსატორების ბაზზე დაფუძნებული საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის პრინციპები და ამ პრინციპების პრაქტიკული რეალიზაციის გზები. აღსანიშნავია, რომ ყველა ამ დანადგარის მართვის სისტემა დაფუძნებულია საფეხუროვანი რეგულირების პრინციპზე. შესაბამისად, საფეხურების მაქსიმალური რაოდენობა სამია (გამონაკლის შემთხვევაში ოთხი).

ამ საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემების სართო ნაკლია ის, რომ შეუძლებელია მათ მიერ გენერირებული საკომპენსაციო სიმძლავრის მდოვრე რეგულირება და შესაბამისად მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია.

სასამეცნიერო შრომებში [5,7,8,27] ძირითადი ყურადღება დათმობილი აქვს, ელექტრომომარაგების ქსელში სხვადასხვა მიზეზით წარმოქმნილი მაალალი რიგის ჰარმონიკების უარყოფით ზეგავლენას საკომპენსაციო მოწყობილობების კონდენსატორებზე. განხილულია მათგან დაცვის ტექნიკური საშუალებანი. შემოთავაზებულია ინდუქტიური ფილტრების გამოყენების პირობები. მოცემულია დამცავი ფილტრების ანგარიშისა და შერჩევის მეთოდიკა. წარმოდგენილია ფილტრების ჩართვის სქემის ვარიანტები.

სადისერტაციო თემის მიმართულებით გამოქვეყნებულია [23,24,25, 28,29] წამყვანი ფირმების მიერ წარმოებული საკომპენსაციო მოწყობილობების ტექნიკური აღწერილობები და მათი საექსპლოატაციო მომსახურების სახელმძღვანელო. ზოგიერთ შემთხვევაში, წარმოდგენილია თეორიული ასპექტები, საკომპენსაციო სიმძლავრის განსაზღვრის მეთოდები და საკომპენსაციო მოწყობილობებისა და მისი მართვის სისტემების შერჩევის პირობები.

ლიტერატურის ნუსხაში წარმოდგენილი შრომები [10,17,] შეეხება სხვადასხვა ქვეყნების მიერ მიღებულ ნორმატიულ დოკუმენტებსა და რეაქტიული სიმძლავრისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის შესახებ.

1. რეაქტიული სიმძლავრე და სიმძლავრის კოეფიციენტი

1.1. რეაქტიული დატვირთვა და მისი შეფასება

ცვლადი დენის ელექტრომაგნიტურ მოქმედების პრინციპზე დაფუძნებული ყველა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარი და მოწყობილობა მაგნიტური ველის შესაქმნელად, მკვებავი ქსელიდან, აქტიურთან ერთად, მოითხოვს გარკვეული სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრეს. ელექტრომოწყობილობების ამ კლასს განეკუთვნებიან: ძალოვანი ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები, რეაქტორები, ასინქრონული ძრავები, ინდუქტორები, გაზური განმუხტვის ნათურები [2].

თანაფარდობა მოწყობილობის მიერ მოთხოვნილ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებს შორის დამოკიდებულია დატვირთვასა და მოწყობილობის ხასიათზე. მაგალითად ნომინალური დატვისთვისას ასინქრონული ძრავებისათვის იგი 65-75%-ია, ხოლო ტრანსფორმატორებისათვის-5-10%.

თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესების დანერგვის შედეგად ინტენსიურად იზრდება ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების ელექტრომომარაგების ქსელში ჩართვა. შესაბამისად, იზრდება მათ მიერ მოთხოვნილი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები. აღსანიშნავია, რომ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის ზრდა მნიშვნელოვნად აღემატება აქტიურისას. ეს განპირობებულია იმით, რომ თითქმის ყველა თანამედროვე დანადგარი აღჭურვილია მართვადი გარდამქმნელით, რომელსაც მის ძალოვან ქსელში ჩართული ძალოვანი ტრანსფორმატორის გამო დიდი ინდუქტიურობა გააჩნია.

ამასთან ერთად, თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიურ კომპლექსებში მრავლადაა გამოყენებული დიდი სიმძლავრის 0,4 და 10 კვ ძაბვის ელექტრორკალური და ინდუქციური ღუმელები, ცვლადი დენის

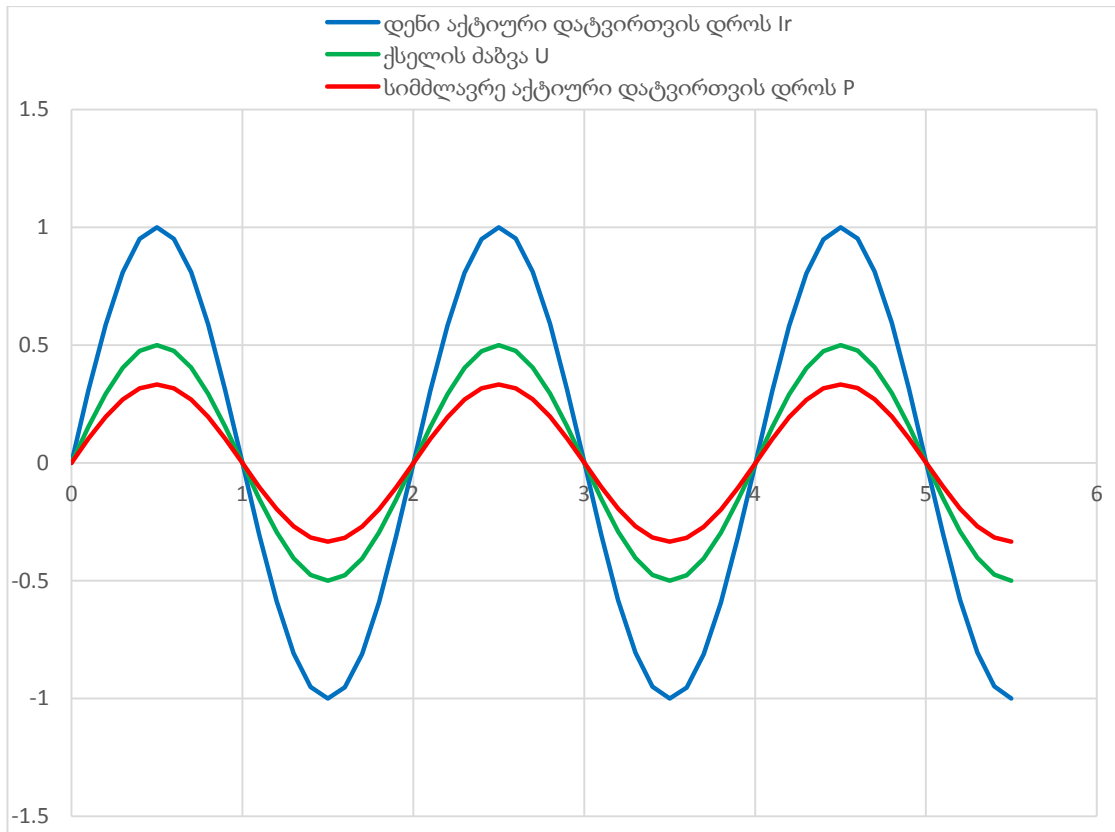
ელექტრორკალური შედეგების მსხვილი აგრეგატები, მაღალი და დაბალი ძაბვის ასინქრონული ელექტროამმრავები და ასე შემდეგ.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, სამრეწველო საწარმოთა მოქმედი ელექტრომიმღებების ძირითადი ნაწილი, ქსელიდან აქტიურთან ერთად, აგრეთვე დიდი სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრეს მოითხოვს. შესაბამისად, ამ მოთხოვნის უზრუნველყოფისათვის არსებობს ორი გზა: პირველ შემთხვევაში, აქტიურთან ერთად, რეაქტიული სიმძლავრის გენერირება ხორციელდება სასისტემო ელექტროსადგურებში და მომხმარებელს მიეწოდება ელექტრომომარაგების ქსელის საშუალებით. მეორე შემთხვევაში რეაქტიული სიმძლავრის გენერირება შესაბამისი მოწყობილობის საშუალებით განხორციელდეს ადგილზე, უშუალოდ მომხმარებელთან. ანუ განხორციელდეს ეგრედ წოდებული რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია.

ცვლადი დენის წრედში ელექტრომაგნიტური ენერგიის სხვა სახის ენერგიად გარდაქმნასთან ერთად ადგილი აქვს ელექტრულს მაგნიტურში და პირიქეთ-მაგნიტურიდან ელექტრულში გარდაქმნის პერიოდულ პროცესს.

ელექტრომიმღებთა აქტიური სიმძლავრე სრულიად გამოსახავს ტექნოლოგიური პროცესის ენერგეტიკულ მხარეს, მაგრამ ქსელის ძირითადი ელემენტების (ძალოვანი ტრანსფორმატორი და ავტოტრანსფორმატორი, საკაბელო და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების გამტარები) პარამეტრები არჩევა ხდება სრული სიმძლავრის, ან სრული დენს მიხედვით. მიუხედავად იმისა, რომ აქტიური სიმძლავრე განსაზღვრავს მომხმარებლის მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიის ენერგიის რაოდენობას.

მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე, როგორც პროცესის პერიოდულობით ქსელის ძაბვის $u = U_m \sin \omega t$, სინქრონულად იცვლება ხასიათდება $P = P_m \sin \omega t$. გრაფიკულად ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის მრუდეები სარმოდგენილია ნახ.1-ზე.

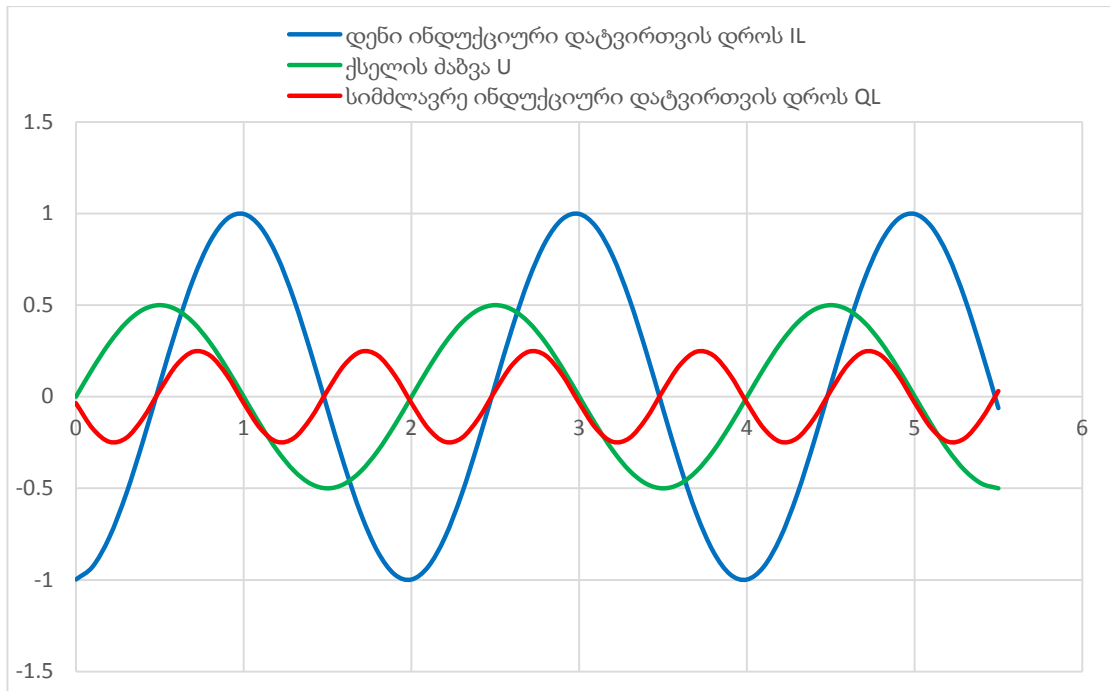


ნახ. 1. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები აქტიური დატვირთვის შემთხვევაში

აქტიური სიმძლავრის P ინტეგრირება T დროის განმავლობაში (უფრო ზუსტად ძირითადი სიხშირის ნახევარპერიოდების მთელი რიცხვის განმავლობაში) გვაძლევს მოხმარებული აქტიური ენერჯიის W რაოდენობას:

$$\int_0^T P dt = W. \quad (1)$$

ელექტრომომარაგების ქსელის ინდუქტიურობის მქონე ელემენტებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები, აქტიურთან შედარებით, განსხვავებულ ხასიათს ატარებს. შესაბამისად, პერიოდის პირველი და მესამე მეოთხედების განმავლობაში, როდესაც ძაბვა იცვლება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, ქსელის ინუქტიურობის მქონე ელემენტებში დენი ზრდას იწყებს მისგან 90° -ის დაგვიანებით (ნახ.2).



ნახ. 2. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები ინდუქციური დატვირთვის შემთხვევაში

ჩამორჩენილი, მაგნიტური ნაკადიც და ეს ხდება გენერატორიდან მოწოდებული ენერჯის ხარჯზე, მაგნიტურ ველში მისი მომარაგება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, ანუ ადგილი აქვს ენერჯის დაგროვებას. პერიოდის მეორე და მეოთხე მეოთხედებში, როდესაც დენი და მაგნიტური ნაკადი მცირდება მისი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან ნულამდე, მაგნიტურ ველში მომარაგებული ენერჯია უბრუნდება გენერატორს. ამ შემთხვევაში, ინდუქტიური დატვირთვის სიმძლავრე შემდეგი ფორმულის მიხედვით იცვლება:

$$Q_L = U I_L \sin 2\omega t, \quad (2)$$

სადაც U – ქსელის ძაბვაა, ვ; I_L – ინდუქტიური დენია.

როგორც (2) გამოსახულებიდან სჩანს, მომხმარებლის ინდუქტიური სიმძლავრე ქსელის ძაბვის ორმაგი სიხშირით იცვლება და პერიოდის განმავლობაში ორჯერ დადებით მაქსიმუმს და ორჯერ უარყოფით მნიშვნელობას აღწევს. შესაბამისად, ინდუქტიური დატვირთვის საშუალო

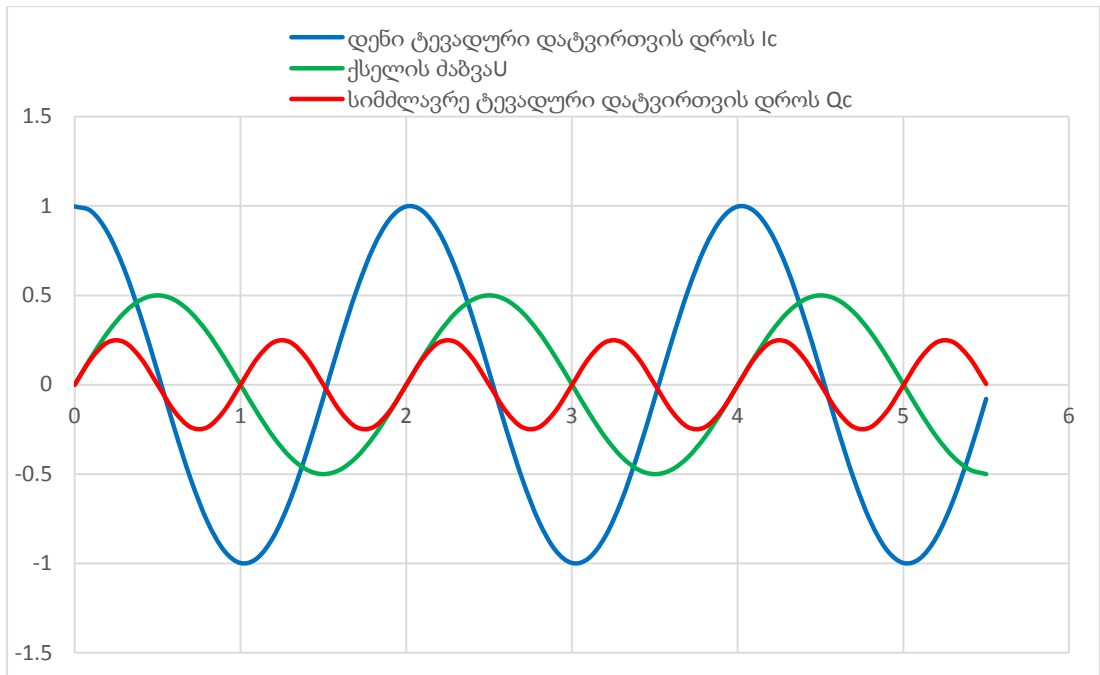
მნიშვნელობა, ქსელი ძაბვის ყოველ ნახევარი პერიოდის განმავლობაში ნულის ტოლია.

ანალოგიურად მიმდინარეობს ელექტრომაგნიტური პროცესები, ელექტრომომარაგების ქსელის ტევადური წინაღობის მქონე ელემენტების შემთხვევაში. თუმცა, ამ დროს, დენი 90° -ით წინ უსწრებს ძაბვას. შესაბამისად, პერიოდის პირველი და მესამე მეოთხედების დასაწყისში დენი მაქსიმალური მნიშვნელობისაა და როდესაც ძაბვა იზრდება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, ქსელის ტევადობის მქონე ელემენტებში დენი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან იწყებს შემცირებას და მეოთხედი პერიოდის გავლის შემდეგ ნულის ტოლი გახდება (ნახ.3). პერიოდის მეორე და მეოთხე მეოთხედებში, იწყება კონდენსატორის საპირისპირი პოლარობით დატვირთვა დაიგი ნახევარი პერიოდის გავლის შემდეგ მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს. როდესაც დენი და მაგნიტური ნაკადი მცირდება მისი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან ნულამდე, მაგნიტურ ველში მომარაგებული ენერგია უბრუნდება გენერატორს. ამ შემთხვევაში, ინდუქტიური დატვირთვის სიმძლავრე შემდეგი ფორმულის მიხედვით იცვლება:

$$Q_c = -UI_c \sin 2\omega t, \quad (3)$$

სადაც I_c – ტევადური დენია, ა.

ელექტროენერგეტიკაში Q_L – ის მნიშვნელობას რეაქტიული სიმძლავრე (დატვირთვა) ეწოდება. ამდაგვარად, გენერატორისა და ქსელის ინდუქტიური წინაღობის მქონე ელემენტს შორის ხდება რეაქტიული სიმძლავრის პერიოდული გაცვლა. ფაქტიურად, ძაბვის ცვალებადობის ერთი პერიოდის განმავლობაში, მომხმარებელი ორჯერ დებულობს და ორჯერ უბრუნებს ენერგიას. ამის გამო რეაქტიული სიმძლავრის წარმოქმნა არ მოითხოვს გენერატორების პირველადი ამძრავების სიმძლავრის ხარჯს. მიუხედავად ამისა, უკანასკნელებმა უნდა მხოლოდ დაფარონ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები.



ნახ. 3. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდეები ტევადური დატვირთვის შემთხვევაში

გახურებაზე გამოწვეული რეაქტიული სიმძლავრის გადინებით წრედის აქტიურ წინაღობებში. P და Q მონაცემების თანახმად განისაზღვრება სრული სიმძლავრის სიდიდე:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (4)$$

სინუსოიდალური კანონით ცვალებადობის დენის წრედებში, ძაბვისა და დენის ვექტორებს შორის ძვრის კუთხის (φ) კონუსს რეაქტიული სიმძლავრის (დატვირთვის) კოეფიციენტი ეწოდება. აქტიური სიმძლავრის გამოსახულებაში ნამრავლი $\cos\varphi$ წარმოადგენს კოეფიციენტს,

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi = S\cos\varphi, \quad (5)$$

რომელიც განსაზღვრავს S სრული სიმძლავრის რა ნაწილს შეადგენს აქტიური სიმძლავრე P . ამით აიხსნება მისი სახელწოდება - სიმძლავრის კოეფიციენტი. რაც მეტი $\cos\varphi$ მნიშვნელობა, მით უფრო სრულად გამოიყენება ელექტრული მანქანები, ტრანსფორმატორები და ქსელები; აქტიური სიმძლავრის უდიდესი მნიშვნელობა ტოლია სრულ სიმძლავრეს, როდესაც $\cos\varphi = 1$. სრულ სიმძლავრეში რეაქტიული სიმძლავრის წილი

ტილია $\sin\varphi$ მნიშვნელობას. ქსელის ელემენტის გამტარიანობა სრული სიმძლავრის მიხედვით

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} , \quad (6)$$

ამ თვალსაზრისით სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობის განსაზღვრა არ მოითხოვს დიდ სიზუსტეს, ვინაიდან 0,9 - 0,95 - 1 სიმძლავრის კოეფიციენტების მნიშვნელობები განსხვავდებიან ერთმანეთისგან სულ 5%, ხოლო სადენების სტანდარტული კვეთები და ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრეები განსხვავდებიან განზომილების მეტი საფეხურით. მაგრამ რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდის შეფასებისათვის სიმძლავრის კოეფიციენტი არ არის საკმარისი დამახასიათებელი, განსაკუთრებით $\cos\varphi$ მაღალი მნიშვნელობების დროს. მაგალითად $\cos\varphi = 0,95$ დროს, რომლის მნიშვნელობა ახლოა ერთისა, რეაქტიული სიმძლავრე შეადგენს აქტიური სიმძლავრის მესამედს ($\tan\varphi = 0,33$). თუმცა პრინციპულად რეაქტიული სიმძლავრის განსაზღვრა შესაძლებელია სიმძლავრის კოეფიციენტის დახმარებით.

$$Q = P \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi} - 1} , \quad (7)$$

მაგრამ არა მიზანშეწონილია, ვინაიდან მოითხოვს მისი მნიშვნელობის მაღალი სიზუსტით განსაზღვრას.

ამგვარად, რეაქტიული სიმძლავრის განსაზღვრის თვალსაზრისით, განსაკუთრებით სიმძლავრის მაღალი მნიშვნელობის დროს უფრო დამახასიათებელია $\tan\varphi$. რიგ ქვეყნებში, ელექტრომომარაგების ქსელის ენერგეტიკული მაჩვენებლების შესაფასებლად რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტს $\tan\varphi$ -ს უწოდებენ.

$$Q = P \tan\varphi , \quad (8)$$

დატვირთვების გაანგარიშების დროს ამ გამოსახულებით ხდება რეაქტიული დატვირთვის სიდიდის განსაზღვრა. რეაქტიული სიმძლავრის ინტეგრირება T დროის განმავლობაში რეაქტიული მრიცხველის

საშუალებით წარმოადგენს მეტად ხელოვნურ ხერხს, ვინაიდან „რეაქტიული ენერჯის“ ცნება პირობითია და არ გამოხატავს ფიზიკური პროცესის არსს.

$$V = \int_0^T UI \sin \varphi dt = \int_0^T Q dt. \quad (9)$$

როგორც ზევით იყო მოყვანილი, არ არსებობს რეაქტიული სიმძლავრი განუწყვეტილი გადაცემა, არამედ ადგილი აქვს მხოლოდ მის პერიოდულ გაცვლას გენერატორის და წრედის მაგნიტურ ველს შორის. ბოლო ხანამდე არჩევდნენ სიმძლავრის კოეფიციენტის ორ მნიშვნელობას:

- ა) სიმძლავრი კოეფიციენტის მიმდინარე მნიშვნელობა;
- ბ) სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობა.

სიმძლავრი კოეფიციენტის მიმდინარე მნიშვნელობა წარმოადგენს სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობას დროის განსაზღვრულ მომენტში. მისი მნიშვნელობა დროის ყოველ მომენტში განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$\cos \varphi_i = \frac{P_i}{\sqrt{3} U_i I_i} = \frac{P_i}{S_i} = \frac{P_i}{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}} \quad (10)$$

მოქმედ დანადგარებში მისი მნიშვნელობა დროის t_i მომენტში ყველაზე მარტივად და ზუსტად განისაზღვრება ფაზომეტრის დახმარებით. ფაზომეტრის უქონლობის შემთხვევაში მისი გაანგარიშება შეიძლება ამპერმეტრის, ვოლტმეტრის და სამფაზა ვატმეტრის დახმარებით, ცნობილი ფორმულის მიხედვით:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U I} , \quad (11)$$

სადაც I, U და P – შესასზამისად, ხელსაწყობის ერთდროული ჩვენებების მიხედვით მიღებული დენის, ძაბვის და სიმძლავრის მოქმედი მნიშვნელობებია, - ა, კვ, კვტ.

სიმძლავრის კოეფიციენტის მიმდინარე მნიშვნელობების ჩანაწერების მიხედვით მიხედვით შეიძლება ვიქონიოთ წარმოადგენა მის ცვალებადობის ზასიათზე დროის გამავლობაში.

სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი (ს.შ.) მნიშვნელობა წარმოადგენს სიმძლავრის კოეფიციენტის გასაშუალებულ მნიშვნელობას დროის გარკვეულ პერიოდში, თვეში, კვარტალში, წელიწადში. მისი მნიშვნელობა განისაზღვრება t განმავლობაში მოთხოვნილი აქტიური და რეაქტიული ენერჯის სიდიდეების მიხედვით:

$$\operatorname{tg} \varphi_{ij} = \frac{V}{W}, \quad (12)$$

სადაც $W - t$ პერიოდის განმავლობაში მოთხოვნილ აქტიური ენერჯის რაოდენობაა, კვარ/სთ; $V - t$ პერიოდის განმავლობაში მოთხოვნილ რეაქტიული, ენერჯის რაოდენობა, კვტ/სთ; ხოლო შემდეგ $\operatorname{tg} \varphi$ ს.შ. მიხედვით სათანადო $\cos \varphi_{ij}$ მნიშვნელობა ან

$$\cos \varphi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{V}{W}\right)^2}}. \quad (13)$$

მოქმედ დანადგარებში სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობა განისაზღვრება აქტიური და რეაქტიული მრიცხველების საშუალებით.

სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობის მიხედვით არ შეიძლება ვიმსჯელოთ $\cos \varphi$ მიმდინარე სიდიდის ფაქტიურ ცვლილებაზე და აქტიურ სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგებზე ელექტრომომარაგების სისტემების ელემენტებში.

როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, უმრავლეს შემთხვევაში, სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ენერგოსისტემის დატვირთვის მაქსიმუმის საათებში ნაკლებია მისი საშუალო შეწონილ მნიშვნელობაზე. სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობის სიდიდის საფუძველზე, შესაძლო არ არის სწორი დასკვნა გამოვიტანოთ მოხმარებულ რეაქტიულ სიმძლავრეზე და არც მაკომპინსირებელი მოწყობილობის მოთხოვნილ სიმძლავრეზე. ამის გამო, სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი ცნების ხმარება არარის მიზანშეწონილი.

ელექტროტექნოლოგიურ კომპლექსებსა და სამრეწველო საწარმოებში არსებული ელექტრომიმღებებიდან რეაქტიული ენერჯის ძირითად მომხმარებლებს შემდეგი ელექტრომიმღებები წარმოადგენენ:

1) ასინქრონული ძრავები;

2) ელექტრომომარაგების ქსელის რეაქტორები, ძალოვანი ტრანსფორმატორები და ავტორტანსფორმატორები;

3) ელექტრორკალური და სამრეწველო სიხშირის ელექტროთერმიული სადნობი, საწრთობი და სხვა ტექნოლოგიური დამუშავების დანადგარებისა და გარდამქმნელების ტრანსფორმატორები;

4) ცვლადი დენის, ერთ და მრავალფაზა ელექტრორკალური შედუღების დანადგარები;

ამასთან ერთად, მნიშვნელოვანი რეაქტიული დატვირთვა გააჩნიათ ნახევარგამტარებზე შექმნილ, თანამედროვე ვენტილურ გარდამსახებსა და მუდმივი კვების ბლოკებს.

ჩამოთვლილი რეაქტიული სიმძლავრის ელექტრომომხმარებლებიდან, ყველაზე უფრო ფართოდაა გავრცელებული ასინქრონული ძრავები. აღსანიშნავია, რომ სამრეწველო საწარმოების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის თითქმის 75% მოდის მოკლედმერთულროტორიან ასინქრონულ ძრავებზე.

მუშაობის პროცესში, ასინქრონული ძრავას რეაქტიული სიმძლავრის კპეფიციენტი ფართო ზღვრებში იცვლება. იგი დამოკიდებულია დატვირთვის სიდიდეზე, ბრუნვათა რიცხვზე, ქსელის ძაბვისა და სიხშირის მნიშვნელობაზე.

ასინქრონული ძრავების მუშაობის რეჟიმების შესწავლისა და ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოდ შემდეგი დასკვნა:

ძრავას მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობა, ძრავას ლილვზე მოდებული მომენტის დატვირთვის შემცირებისა და მის მომჭერებზე ძაბვის მომატების შედეგად მცირდება. ძაბვის ზრდის შედეგად

გამოწვეული ეფექტი განსაკუთრებით მკვეთრადაა გამოხატული მცირედ დატვირთული ძრავების შემთხვევაში.

1.2. ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების რეაქტიული დატვირთვის გრაფიკები

ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი ელექტროენერჯის მოხმარების ციკლშია. იგი აგრეთვე აამაღლებს მკვებავი ქსელის ენერგოეფექტურობას.

სამწუხაროდ ჩვენ ქვეყანაში, როგორც იყო ნათქვამი, არ არსებობს არანაირი მოთხოვნა რეაქტიული სიმძლავრის (რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის) შეზღუდვის-ლიმიტირების შესახებ. უფრო მეტიც, რიგ შემთხვევებში საერთოდ არ ხდება რეაქტიული ენერჯის აღრიცხვა. მაშინ როდესაც, ევროპის მრავალი ქვეყნის (გერმანია, საფრანგეთი და ა.შ.) სატარიფო პოლიტიკა, ძირითადად, რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტზეა დაფუძნებული [35].

ყველაზე გავრცელებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება. მაშასადამე, რეაქტიული სიმძლავრის მიერ გამოწვეული ძაბვის სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგების შემცირების, ცვლადი დენის ელექტრომაგნიტურ მოქმედების პრინციპზე დაფუძნებული ყველა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარი და მოწყობილობა მაგნიტური ველის შესაქმნელად, მკვებავი ქსელიდან, აქტიურთან ერთად, მოითხოვს გარკვეული სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრეს. ელექტრომოწყობილობების ამ კლასს განეკუთვნებიან: ძალოვანი ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები, რეაქტორები, ასინქრონული ძრავები, ინდუქტორები, გაზური განმუხტვის ნათურები [3,5].

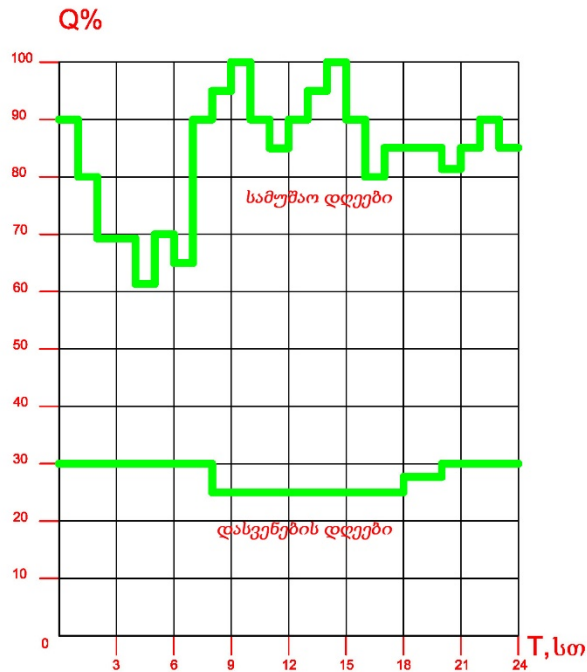
თანაფარდობა მოწყობილობის მიერ მოთხოვნილ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებს შორის დამოკიდებულია დატვირთვისა და

მოწყობილობის ხასიათზე. მაგალითად ნომინალური დატვირთვისას ასინქრონული ძრავებისათვის იგი 65-75%-ია, ხოლო ტრანსფორმატორებისათვის-5-10%.

ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარებსა და კომპლექსებს ურთიერთ განსხვავებული მოქმედების პრინციპი და რეჟიმი გააჩნიათ. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვნად განსხვავებულია მათ მიერ ელექტრომომარაგების ქსელიდან მოთხოვნილი აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები. ამასთან ერთად, მათი მუშაობის რეჟიმები აგრეთვე დამოკიდებულია სამრეწველო კომპლექსის (სამქროს) ერთიანი ტექნოლოგიურ პროცესზე. ასე რომ, ეტდ-ის, კომპლექსის აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის გრაფიკი მის კონკრეტულ დანიშნულებაზეა დამოკიდებული.

პრაქტიკაში, ცალკეული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსებისათვის, კონკრეტული ტექნოლოგიური დანიშნულების პირობებში, დეტალური მუშაობის რეჟიმების აღწერილობა, თუნდაც აქტიური და რეაქტიული საფეხუროვანი დატვირთვის გრაფიკების სახით, ტექნოლოგების მიერ მოცემულია არაა. გამონაკლის შემთხვევებში, მხოლოდ თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური კომპლექსების საპასპორტო ტექნიკურ აღწერილობებშია და ისიც ზოგადად. უმრავლეს შემთხვევაში, მოცემულია ათეული წლების წინ დამზადებული, მოძველებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების, კომპლექსებისა და სამრეწველო საწარმოთა სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე პროცენტებში შედგენილი, აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის ტიპიური გრაფიკები და ისიც ყველაზე უფრო ფართოდ გავრცელებული საწარმოთათვის.

ცნობარებში მოცემული რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გრაფიკები კორექტირებულია თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის რეჟიმების გათვალისწინებით და მანქანათმშენებელი ქარნისათვის მოცემულია ქვემოთ (ნახ. 4):

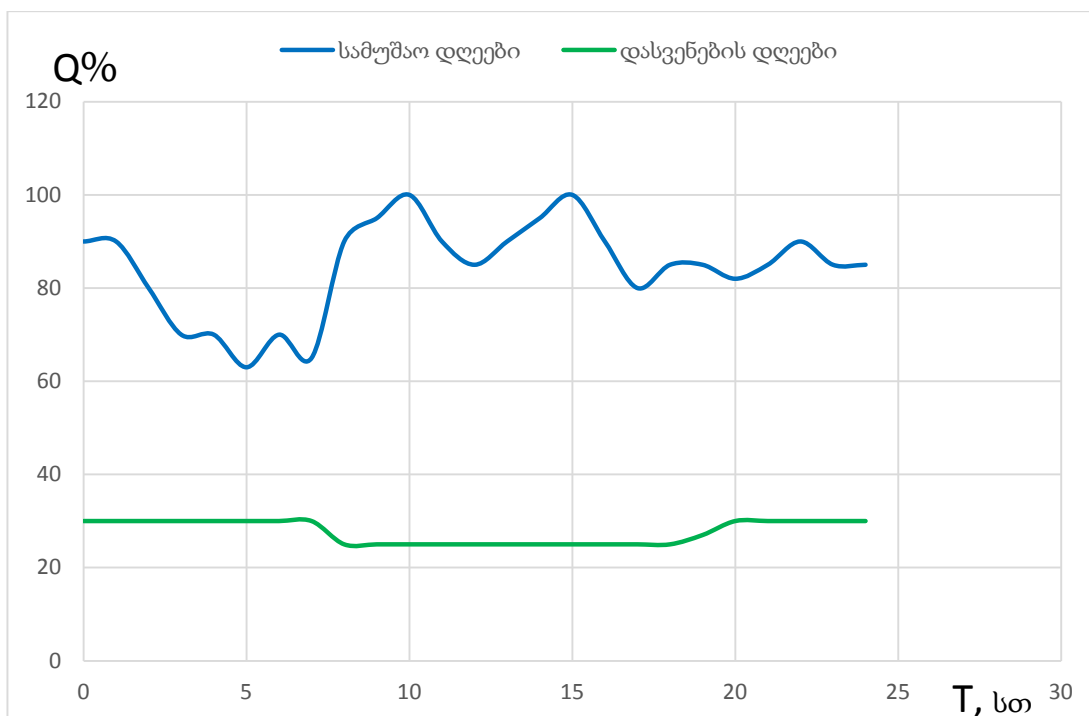


ნახ. 4. მანქანათმშენებელი ქარნის რეაქტიული დატვირთვის საფეხუოვანი გრაფიკი

რეაქტიული დატვირთვის საფეხუოვანი გრაფიკები, სხვა ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ეტდ-ის, კომპლექსებისა და სამრეწველო საწარმოთათვის წარმოდგენილია დანართებში (დანართი 1, 2, 3, 4.).

ელექტრომომარაგების ქსელის რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან განტვირთვისათვის საჭიროა ადგილზე მოხდეს რეაქტიული სიმძლავრის გამომუშავება. შესაბამისად, საკომპენსაციო დანადგარის მთარ გენერირებული სიმძლავრე უნდა შეიცვალოს რეალური დატვირთვის გრაფიკის მიხედით.

ფაქტიურად, ეტდ-ის ჯგუფებისათვის რეაქტიული დატვირთვა იცვლება არა ნახტომისებრივად, როგორც ეს წარმოდგენილია დატვირთვის საფეხურებრივ გრაფიკებზე, არამედ მდოვრედ. ამის გათვალისწინებით შედგენილია დატვირთვის რეალური გრაფიკები. იგი მანქანათმშენებელი ქარნისათვის მოცემულია ნახ. 5-ზე, ხოლო სხვა საწარმოთათვის დანართებში (დანართი 5, 6, 7, 8).



ნახ. 5. მანქანათმშენებელი ქარნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი

რადგან, ელექტრული დატვირთვები იცვლება, არა საფეხურებსივად (ნახ. 4.) არამედ, მდოვრედ. შესაბამისად, საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის საფეხურებრივი რეგულირებისას გაუკომპენსირებელი რჩება საფეხურებს შორის სიმძლავრეების სხვაობა.

$$Q_{\text{გაუკ}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{გაუკ},i} \quad (14)$$

სადაც $Q_{\text{გაუკ},i}$ – თითოეული საფეხურის გაუკომპენსირებელი რეაქტიული სიმძლავრეა, კვარ; n – რეგულირების საფეხურების რაოდენობა;

$$Q_{\text{გაუკ}} = Q_1 + \sum_{i=1}^n (Q_{i+1} + Q_i) \quad (15)$$

სამსაფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო დანადგარების გამოყენებისას გაუკომპენსირებელი რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია:

$$Q_{\text{გაუკ}} = Q_{\text{გაუკ.1}} + Q_{\text{გაუკ.2}} + Q_{\text{გაუკ.3}} = Q_1 + (Q_2 - Q_1) + (Q_3 - Q_2)$$

საკომპენსაციო მოწყობილობის პირველი საფეხურის სიმძლავრეა; Q_1

სამსაფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო დანადგარების გამოყენებისას გაუკომპენსირებელი რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია

$$Q_{\text{გაუკ}} = Q_{\text{გაუკ.1}} + Q_{\text{გაუკ.2}} + Q_{\text{გაუკ.3}} = Q_1 + (Q_2 - Q_1) + (Q_3 - Q_2) + (Q_4 - Q_3) = (Q_{i+1} - Q_i),$$

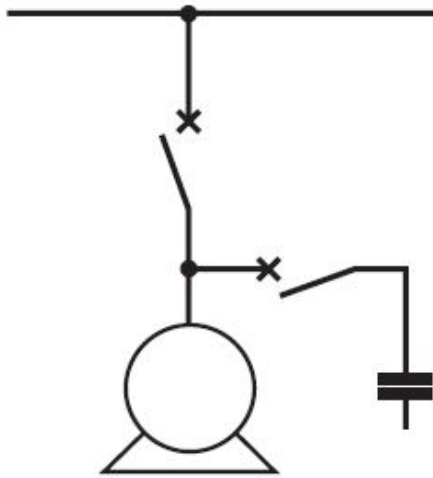
სადაც Q_i და Q_{i+1} – შესაბამისად საკომპენსაციო დანადგარის მეზობელ

1.3. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის სახეები და მათი შეფასება

პრაქტიკაში, იმისდა მიხედვით თუ ელექტრომომარაგების ქსელის რომელ დონეზე (საფეხურზე) ხორციელდება კომპენსაცია, ანუ ქსელის რომელ ადგილზე დგება საკომპენსაციო მოწყობილობა ძირითადად გამოიყენება სამი სახის კომპენსაცია: ინდივიდუალური, ჯგუფური და ცენტრალიზებული კომპენსაცია. [23]

ინდივიდუალური კომპენსაციის შეთხვევაში, საკომპენსაციო მოწყობილობა უშუალოდ მიერთდება ინდუქტიური დატვირთვის მქონე ელექტრომიმღებთან. მაგალითად ასინქრონულ ძრავას, ძალოვანი ტრანსფორმატორის, ინდუქტორის და სხვა მომჭერებზე (ნახ.6).

რეაქტიული სიმძლავრის ინდივიდუალური კომპენსაცია შეიძლება განხორციელდეს ელექტრომიმღების დიდი სიმძლავრისას. ასინქრონული ძრავების კომპენსაციისას, უმრავლეს შემთხვევაში, კონდენსატორთა ბატარეის სიმძლავრე შეადგენს ძრავას აქტიური სიმძლავრის 25%-ს. ინდივიდუალური კომპენსაცია უზრუნველყოფს თვითოეული მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრის შემცირებას. შესაბამისად, ქსელის განტვირთვის რეაქტიული სიმძლავრისაგან და ელექტროენერჯისა და ძაბვის დანაკარგების შემცირებას.



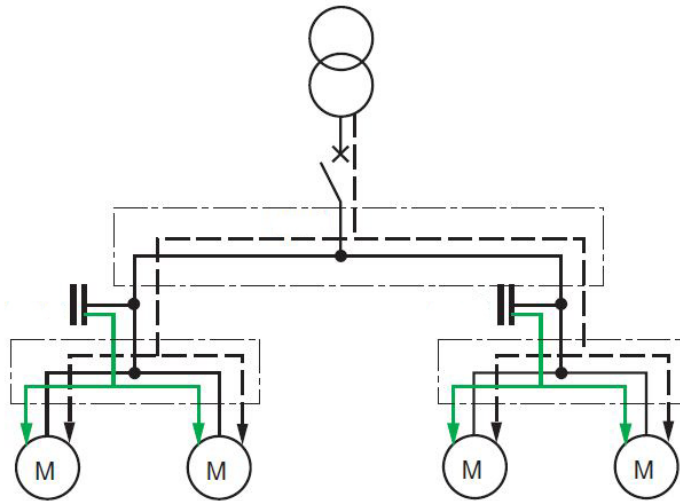
ნახ. 6. რეაქტიული სიმძლავრის ინდივიდუალური კომპენსაცია

ჯგუფური კომპენსაციისას, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ტარდება ყოველი ლოკალური გამანაწილებელი ფარისათვის. შესაბამისად, ყოველი გამანაწილებელი მოწყობილობის სალტესთან დამოუკიდებელი კონდენსატორთა ბატარეების ბლოკი მიერთება. შედეგად, ამისა მნიშვნელოვნად განიტვირთება, ყოველი ლოკალური მთავარ გამანაწილებელი მოწყობილობის ფართან დამაკავშირებელი კაბელი (ნახ.7).

ჯგუფური კომპენსაციის ნაკლია ის, რომ სიმძლავრეების დიდი ცვლილებისას მოსალოდნელია განხორციელდეს ჭარბი კომპენსაცია, რამაც შეიძლება ქსელში გამოიწვიოს გადამეტაბვები მისი ზემოქმედებით განვითარებული ნეგატიური შედეგები.

ცენტრალიზებული კომპენსაციისას, კონდენსატორთა ბატარეის ბლოკი უშუალოდ უერთდება დაბალი ძაბვის შემკრებ სალტეს (ნახ. 8).

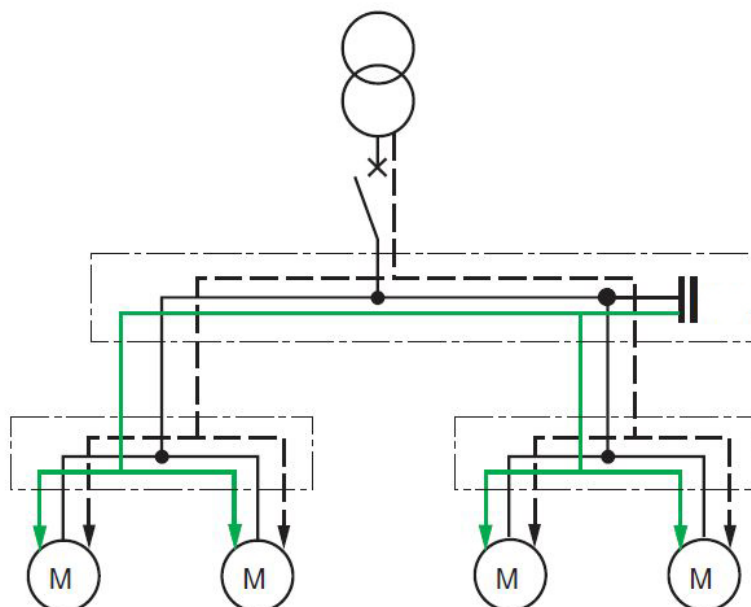
მის უპირტესობას წარმოადგენს ის, რომ იგი უზრუნველყოფს ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის შემცირებას, დამწვევი ქვესადგურის ძალოვანი ტრანსფორმატორის განტვირთვას.



ნახ. 7. რეაქტიული სიმძლავრის ჯგუფური კომპენსაცია

შესაბამისად, იგი ახალი ქსელების დაპროექტებისას საშუალებას მოგვცემს, მძლავრის ნაცვლად შევარჩიოთ შედარებით მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორი.

ასეთი კომპენსაციის ნაკლია ის, რომ საკაბელო ქსელი გადატვირთულია რეაქტიული სიმძლავრის გატარებით და დიდია მასში ელექტროენერჯისა და ძაბვის დანაკარგები.



ნახ. 8. რეაქტიული სიმძლავრის ცენტრალიზებული კომპენსაცია

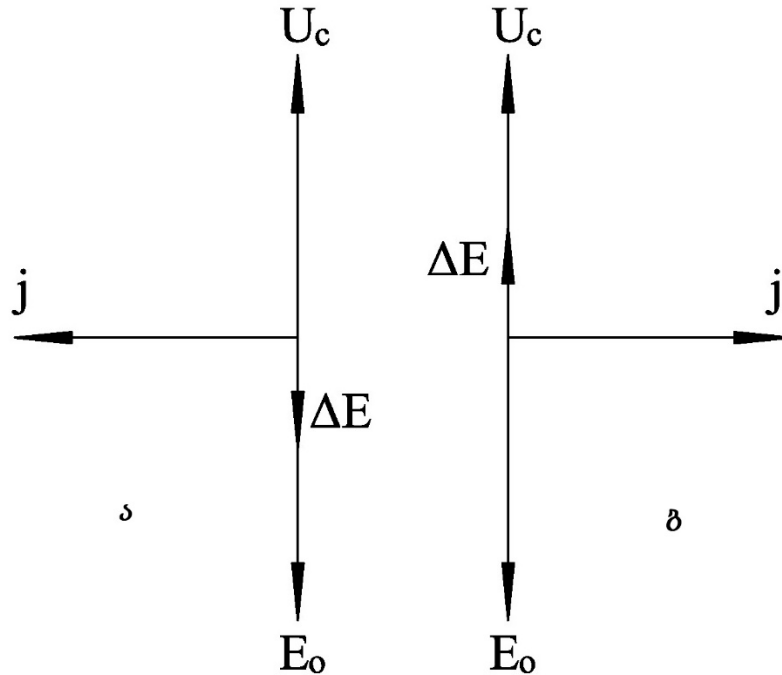
თავი 2. რეაქტიული სიმძლავრის წყაროები და საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემები.

2.1 რეაქტიული სიმძლავრის წყაროები.

ელექტრომომარაგების ქსელებში ტევადური რეაქტიული სიმძლავრის გენერატორად შეიძლება განვიხილოთ სამი ტიპის საკომპენსაციო წყარო:

1. ელექტროსადგურების გენერატორები და ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარებსა და კომპლექსებში გამოყენებული სინქრონული ძრავები;
2. ელექტრომომარაგების ქსელების საჰაერო და საკაბსლო ხაზები;
3. სპეციალურად დადგმული საკომპენსაციო მოწყობილობები (სინქრონული კომპენსატორები, სტატიკური კონდენსატორების ბატარეები და რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური კომპენსატორები).

სინქრონული მანქანების (გენერატორების, ძრავების და კომპენსატორების) მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე და ხარისხი განისაზღვრება აგზნების დენის სიდიდით. ამ დამოკიდებულობის ხასიათის განსახილველად წარმოვიდგინოთ, რომ სინქრონული მანქანა (ამ მანქანის დანიშნულების და მუშაობის რეჟიმის მიუხედავად) უქმ სვლაზე პარალელურად მუშაობს ქსელთან. ქსელის უცვლელი ძაბვის შემთხვევაში მანქანის ე.მ.ძ. E_0 ემთხვევა მის ძაბვას U_M და იმყოფება ქსელის ძაბვასთან საპირისპირო ფაზაში (ნახ. 1ა). აგზნების დენის ზრდის დროს E_0 და წარმოიქმნება $\Delta E = U_1 + E_0$ და დენი $I = -j \frac{U+E_0}{x_0}$, სადაც x_0 მანქანის სინქრონული წინაღობაა. რის გამო წარმოიქმნება რეაქტიული დენი, რომელიც $\frac{\pi}{2}$ კუთხით ცამორჩება ΔE და U_M და $\frac{\pi}{2}$ კუთხით წინ უსწრებს U_1 . ქსელის ზაბვის ვექტორის მიმართ I დენი არის ტევადობით. მანქანის უკმარი აგზნების დროს $U_1 > E_0$ (ნახ. 1ბ). ამ შემთხვევაში რეაქტიული დენი წინ უსწრებს $\frac{\pi}{2}$ კუთხით E_0 და ჩამორჩება $\frac{\pi}{2}$ კუთხით U_1 , ე.ი. ქსელის მიმართმას აქვს ინდუქციური ხასიათი.



ნახ. 9. ვექტორული დიაგრამა

ამგვარად, უკმარაგზნებული სინქრონული მანქანა ქსელის მიმართ წარმოადგეს ინდუქციურიხასიათის რეაქტიულ დატვირთვას, ე.ი. მაგნიტური ველის შემქმნელი ინდუქციური დენის მომხმარებელს. თუ $U_1 = E_0$ მანქანის მაგნიტური ველი თითქმის მთლიანად წარმოიქმნება საკუთარი მაგნიტური ნაკადით და ქსელიდან ინდუქციური დენი არ მოიხმარება. გადამეტაგზნებული სინქრონული მანქანა მოიხმარს ქსელიდან ტევადურ დენს და გადასცემს ქსელში ინდუქციურს, ვინაიდან სამრეწველო საწარმოთა ძირითადი დატვირთვები ინდუქციური დენის მომხმარებლებია. გადამეტაგზნებული სინქრონული მანქანა წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს. [1, 2]

რეაქტიული სიმძლავრის გამოყენების თავისებურება განისაზღვრება სინქრონული მანქანის დანისხულებით და მაშაობის რეჟიმით.

2.1.1. სინქრონული კომპენსატორი

სინქრონული კომპენსატორი (სკ) წარმოადგენს სპეციალურ სინქრონულ მანქანას, რომლის დანიშნულებაა ნიშანცვლადი და ღრმა დიაპაზონში რეგულირებადი რეაქტიული სიმძლავრის გამომუშავება.

სინქრონული კომპენსატორი, მისი მოქმედების პრინციპითა და კონსტრუქციული შესრულებით, ჩვეულებრივ სინქრონულ ძრავას წარმოადგენს, იმ განსხვავებით, რომ მისი როტორი შედარებით მსუბუქია, ორივე მხრიდან დახურულია და მასთან მექანიკურად დაკავშირება შეუძლებელია. ამასთან ერთად, მას მცირე ზომის საჰაერო ღრეჩო გააჩნია. აქედან გამომდინარე, მის ლილვზე მექანიკური დატვირთვის მოდება შეუძლებელია და შესაბამისად, მექანიკური თვალსაზრისით, მუდმივად უქმი სვლის რეჟიმში მომუშავე სინქრონულ ძრავას წარმოადგენს.

როტორის სიმსუბუქის გამო, სინქრონული კომპენსატორი ქსელიდან შედარებით მცირე სიდიდის აქტიური სიმძლავრის მოხმარებას. რომელიც განისაზღვრება დანაკარგებით გახურებაზე სტატორსა და როტორში, ხახუნზე საკისრებში და ა.შ. ამის გამო რეაქტიული სიმძლავრე კომპენსატორის მომჭერებზე შეიძლება მიახლოებით განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$S_{სკ} \approx Q_{სკ} = \frac{E_q - U_{სკ}}{x_d} U_{სკ} \quad , \quad (11)$$

სადაც E_q – არის სკ სინქრონული ე.მ.ძ., ვ; $U_{სკ}$ – ძაბვა მის მომჭერებზე, ვ; x_d – კომპენსატორის ინდუქციური წინაღობა გრძივი ღერძის გასწვრივ.

კომპენსატორის ე. მ. ძ. -ის და მის მომჭერებზე ძაბვის სიდიდეების თანაფარდობით იცვლება არა მარტო კომპენსატორის რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე, არამედ მისი ნაშანიც. აგზნების დენის განსაზღვრული მნიშვნელობის დროს სკ შეუძლია რეაქტიული სიმძლავრის გენერირება გადამეტაგზნების რეჟიმში. სინქრონული კომპენსატორის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს აგზნების დენის სიდიდის შეცვლით. აგზნების გარკვეულ

მნიშვნელობამდე შემცირების დროს შეიძლება მივიღოთ უკმარაგზნების რეჟიმი და სინქრონული კომპენსატორი იწყებს რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარებას. ეს თვისება, საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ ელექტროქსელში ჩართული სკ-ის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდის მდორე რეგულირება. სკ-ის გამოყენების ეფექტურობა განსაკუთრებით ეფექტურია, ქსელში მომხდარი ავარიის შემდგომ პერიოდში, ვინაიდან მას, გადამეტაგზნების რეჟიმში მუშაობის ხარზე, ძაბვის დადაბლების დროს შეუძლია გაადიდოს ქსელში მიწოდებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდის გაზრდა, რაც უზრუნველყოფს ქსელში ძაბვის დონის შენარჩუნებას.

სინქრონული კომპენსატორების ღირსებას წარმოადგენს:

1. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის ფართო დიაპაზონში ავტომატური რეგულირების შესაძლებლობა;
2. იმპულსურ რეჟიმში სწრაფმოქმედი რეგულირების შესაძლებლობა;
3. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე არ არის დამოკიდებული ქსელის ძაბვის სიდიდეზე;
4. კომპენსატორის გრაგნილებს გააჩნიათ საკმაოდ მაღალი თერმული და დინამიკური მდგრადობა ქსელში მოსალოდნელი მოკლედშერთვის დენების მიმართ;
5. დაზიანებული კომპენსატორის შეკეთების შესაძლებლობა.

ამავდროულად, უნდა აღინიშნოს, რომ მას გააჩნია შემდეგი სახის ნაკლოვანებანი:

1. სტატიკურ კონდენსატორებთან შედარებით აქტიური სიმძლავრის მნიშვნელოვანი დანაკარგები;
2. საექსპლუატაციო მომსახურების სირთულე, მზრუნავი ნაწილების არსებობის გამო;
3. ამუშავების რთული პირობები;
4. შედარებით მცირე სინქრონული კომპენსატორების მაღალი ხვედრითი ღირებულება და აქტიური სიმძლავრის დიდი დანაკარგები, რაც

მხოლოდ დიდი სიმძლავრის სკ-ების გამოყენებას განპირობებენ. აქედან გამომდინარე მცირეა მათი გამოყენების არეალი. კერძოდ, ისინი გამოიყენება, მხოლოდ 6–10 კვ ძაბვის ელექტრომომარაგების და დიდი სიმძლავრის სამრეწველო საწარმოთა ქსელებში.

2.1.2. სტატიკური კონდენსატორები

სტატიკური კონდენსატორები (სტ.კ). ელექტრომომარაგების ქსელებში, ეტდ–ისა და კომპლექსების, სამრეწველო საწარმოთა სპეციალური მომხმარებლების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავის კომპენსაცია ძირითადად ხორციელდება სტატიკური კონდენსატორების საშუალებით, რომელიც ჩაერთვება პარალელურად ელექტრომიმღებთან (გრძივი კომპენსაცია). ცალკეულ შემთხვევებში, ქსელის მკვეთრად და დიდ დიაპაზონში ცვლადი დატვირთვის დროს, მაგალითად რკალური ღუმელების, შედულების დანადგარების და სხვა, შეიძლება აღმოჩნდეს მიზანშეწონილი კონდენსატორების ელექტრომიმღებებთან მიმდევრობითი ჩართვა (გრძივი კომპენსაცია). კომპენსაციის ეს ხერხი გამოიყენება მკვეთრად ცვლადი დატვირთვის დროს ძაბვის რყევების შესამცირებლად.

რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობების ძირითად ელემენტს (ელემენტებს) წარმოადგენენ სპეციალური შესრულებისა და კონსტრუქციის სტატიკური კონდენსატორები. მათი დანიშნულებაა წინმსწრები რეაქტიული სიმძლავრის გამომუშავება. კონდენსატორები მზადდება სექციათა განსაზღვრული რიცხვისაგან, რომლებიც ქსელის მუშა ძაბვისა და კონდენსატორის რეაქტიული სიმძლავრის მიხედვით შეერთებული არიან პარალელურად, მიმდევრობით ან პარალელურ–მიმდევრობით. თითოეული სექცია შედგება ლითონის შემონაფენებისაგან და მათი გამყოფი და საიზოლაციო შუაშრეებისაგან. კონდენსატორების შემონაფენები მზადდება 0,01 მმ სისქის კილიტისაგან, ხოლო საიზოლაციო შუაშრეები ძლიერ თხელი 0,0007–1,012 მმ მადალხარისხოვანი თხევადი დიელექტრიკით გაჟღენთილი კონდენსატორული ქაღალდისაგან.

სტატიკური კონდენსატორები 0,22, 0,38, 0,500 და 0,66 კვ ნომინალურ ძაბვაზე მზადდება სამფაზიანი და ერთფაზიანი შესრულებით, ხოლო 1,05, 3,15, 6,3 და 10,5 კვ - ერთფაზიანი.

IV სერიაში 37,5 და 75 კვარ სიმძლავრის კონდენსატორები შეცვლილია 50 და 100 კვარ სიმძლავრის კონდენსატორებით. ერთიანი სერიის კონდენსატორები 1,05 კვ-მდე ძაბვაზე მზადდება ჩაშენებული დნობადი მცველებით; თითოეულ სექციასთან მიმდევრობით შეერთებულნი. მეტი ძაბვის კონდენსატორებს ჩაშენებული დნობადი მცველები არა აქვთ და მათ ცალკე დადგმას მოითხოვენ.

კონდენსატორის ტიპის აღნიშვნაში ასო K კონუსური ძალური; ასო M აღნიშნავს გაჟღენთვას მინერალური ზეთით, ასო C გაჟღენთვას სინთეტიკური ზეთით (სოვოლი), ასო A გარედადგმისათვის შესრულებას (A ასოს გარეშე-შიგა დადგმისათვის), ციფრები აღნიშნავენ კონდენსატორის გაბარიტს და ძაბვის სიდიდეს. მაგალითად KC2-10.5-75 - კოსინუსური, სოვტოლით გაჟღენთილი, მეორე გაბარიტს, 10,5 კვ ძაბვაზე 75 კვარ სიმძლავრით. ამ ელემენტებისაგან შეადგენენ საჭირო სიმძლავრის კონდენსატორთა ბატარეას. კონდენსატორების სიმძლავრე განისაზღვრება გამოსახულებიდან:

$$Q = \omega C U^2 10^{-3} , \quad (12)$$

სადაც C კონდენსატორის ტევადობაა.

კონდენსატორებში აქტიური სიმძლავრის ხვედრითი დანაკარგები დამოკიდებულია მის ძაბვაზე, ტიპზე და მუშაობის რეჟიმზე.

კონდენსატორთა ბატარეის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე მის მომჭერებზე ძაბვის კვადრატის პროპორციულია

$$Q = \left(\frac{U}{U_{კბ}} \right)^2 Q_{\mathcal{E}} , \quad (13)$$

სადაც \dot{U} - არისქსელის ძაბვის ფარდობითი სიდიდეკ მთავრების წერტილში, ვ;

$U_{კბ}$ – კონდენსატორის ნომინალური ძაბვის ფაქტობრივი ქსელის ნომინალურ ძაბვასთან, ვ.

1000 ვ-მდე ძაბვის კონდენსატორებისთვის $U_{კბ}=1$ ვ, ხოლო 6-10 კვ ძაბვის კონდენსატორთა ბატარეისთვის $U_{კბ} = 1,05$ ვ.

კონდენსატორების ქსელიდან გამორთვის შემდეგ, გარკვეული დროის განმავლობაში ინარჩუნებენ ძაბვას, რომელიც გამორთვის ფაზაზე დამოკიდებული და ხშირ შემთხვევაში გამორთვის მომენტში ქსელის ძაბვის ამპლიტუდის ტოლია. ამის გამო, უსაფრთხოების ტექნიკის პირობების მიხედვით მოითხოვება კონდენსატორებზე განმუხტავი მოწყობილობის გათვალისწინებას. 1000 ვ-მდე ძაბვის ქსელებში გამოყენებული საკომპენსაციო მოწყობილობებში კონდენსატორთა ბატარეების განმუხტავ მოწყობილობად ძირითადად გამოიყენება ვარვარა ნათურები, ხოლო 1000 ვ-ზე მეტი ძაბვის დანადგარებში - ძაბვის ტრანსფორმატორები.

კონდენსატორების ბატარეის 1 კვარ ხვედრითი ღირებულება დამოკიდებულია ძაბვაზე, მაგრამ პრაქტიკულად დამოკიდებული არ არის ბატარეის სიმძლავრისაგან, რაც ერთ-ერთი მიზეზია სტატიკური კონდენსატორების სამრეწველო საწარმოებში ფართო გამოყენების.

მაკომპენსირებელი მოწყობილობის მიერთების ადგილის მიხედვით განივი კომპენსაცია შეიძლება შესრულებული იყოს როგორც ინდივიდუალური, ჯგუფური და ცენტრალიზებული.

ინდივიდუალური კომპენსაცია ხორციელდება ელექტრომომარაგების ქსელის პირველ დონეზე. ამ შემთხვევაში, კონდენსატორებს უშუალოდ აერთებენ ელექტროტექნოლოგიური დანადგარის (ხშირ შემთხვევაში ასინქრონული ძრავას) მომჭერებზე, საერთო გამომრთველი და დამცავი აპარატის ქვეშ. ასეთი მიერთება შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ხანგრძლივი მუშაობის რეჟიმის და მძლავრი ელექტროამრავებისათვის.

ინდივიდუალური კომპენსაციის დროს საკომპენსაციო მოწყობილობა უშუალოდ განთავსდება ელექტროტექნოლოგიური დანადგარის

კორპუსში. ასეთი კომპენსაციისას მნიშვნელოვნად იზრდება კონდენსატორთა რაოდენობა.

ჯგუფური კომპენსაციისას კონდენსატორების მიერთება ხდება ელექტრომომარაგების ქსელის მეორე ან მესამე დონეზე – საამქრო გამანაწილებელ პუნქტებზე (ფარებზე ან კარადებზე).

ცენტრალიზებული კომპენსაციის დროს კონდენსატორთა ბატარეა იდგება 6-10 კვ ძაბვის გამანაწილებელ პუნქტის სალტეებზე-ელექტრომომარაგების ქსელის მეოთხე ან მეხუთე დონეზე. ამ შემთხვევაში, ქსელში დანაკარგების შემცირების ეფექტი მნიშვნელოვნად დაბალია. ფაქტიურად, დანაკარგები ამ საფეხურის ქვევით ქსელის ელემენტებში და მათ შორის 10/0.4 კვ ძაბვის ძალოვან ტრანსფორმატორებში უცვლელი რჩება. კომპენსაციის ყველაზე უფრო მიზანშეწონილ ხერხს ჯგუფური კომპენსაცია წარმოადგენს.

35 კვ ძაბვის ქსელებისათვის კონდენსატორთა ერთი ფაზის ბატარეებს, საჭირო სიმძლავრის მისაღებად, უმრავლეს შემთხვევებში, ძაბვის სიდიდიდან გამომდინარე, მიმდევრობით ჯგუფებად აერთებენ. ამასთან ერთად, ცალკეული ფაზის მიმდევრობით შეერთებულ ჯგუფებს ერთმანეთთან, ვარსკვლავისებური სქემით აერთებენ.

ელექტრომომარაგების სისტემების მანაწილებელ ელექტროქსელებში სტატიკური კონდენსატორების გამოყენებით ენერგეტიკული ეფექტურობის ამაღლება განაპირობებს შემდეგი ფაქტორები:

- ელექტრული ქსელების ძირითად ძალოვან ელემენტების (საჰაერო და საკაბელო ხაზების, ტრანსფორმატორების) სრული დატვირტვების შემცირება;
- ძაბვის, სიმძლავრისა და შედეგად აქტიური და რეაქტიული ელექტროენერჯის კარგების დადაბლება;
- ელექტრული ქსელების ელემენტების (ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ძალოვანი ტრანსფორმატორების) ელექტროგამტარობის ამაღლება;

- ელექტროსადგურებში გენერატორების მიერ გამოიმუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის შემცირება;

- ელექტროენერჯის ხარისხის ამაღლება, რომელიც აგრეთვე განპირობებულია:

- ელექტრომომარაგების ქსელების ელემენტებში ძაბვის კარგების შემცირებითა და მომხმარებლის მიერთების წერტილებში ძაბვის სტაბილიზაციით.

სტატიკურ კონდენსატორების ბაზაზე შესრულებულ საკომპენსაციო მოწყობილობებს, სინქრონულ კომპენსატორებთან შედარებით შემდეგი ღირსებანი გააჩნიათ:

1. აქტიური სიმძლავრის გაცილებით მცირე ხვედრითი დანაკარგები;
2. კონდენსატორების გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი სიმძლავრის საკომპენსაციოდ, როგორც 0,38-0,66 კვ, აგრეთვე 6-10 კვ ძაბვის ქსელებში.
3. ექსპლუატაციის და სამონტაჟო სამუშაოების შესრულების სიმარტივე მცირე წონის და მზრუნავი ნაწილების უქონლობის გამო.
4. კონდენსატორების ბატარეის I კვარ ხვედრითი ღირებულება პრაქტიკულად დამოკიდებული არ არის ბატარეის სიმძლავრესთან, რაც ხელს უწყობს მცირე სიმძლავრის ბატარეის გამოყენებას.

საკომპენსაციო კონდენსატორებს შემდეგი ნაკლოვანებანი გააჩნიათ:

1. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდის დამოკიდებულება ქსელის ძაბვის კვადრატზე, რის გამოც ქსელში ძაბვის დადაბლების დროს კონდენსატორების მიერ გენერირებული სიმძლავრე მკვეთრად მცირდება, იმ დროს, როდესაც ძაბვის რეჟიმის მიხედვით საჭიროა ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის გაცემის გადიდება;
2. სიმძლავრის რეგულირების სირთულე;
3. შედარებით ნაკლები საექსპლოატაციო ვადა და რემონტის შეუძლებლობა;

4. გადამეტხურება ძაბვის ამაღლების და ქსელში მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობის შემთხვევაში, რაც იწვევს კონდენსატორების მწყობრიდან გამოსვლას.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე სინქრონული კომპენსატორები შეიძლება გამოყენებული იქნეს მხოლოდ დიდი სისტატიკური მდგრადობის ნორმირებული მარაგის უზრუნველსაყოფად და ქსელში მკვეთრად ცვლადი დატვირთვით.

კონდენსატორების ბატარეების დაყენების შემთხვევაში საჭიროა, სისტემის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი იყოს არანაკლებ ნორმირებულის 10%.

2.2. ძალური კონდენსატორები

ძალური კონდენსატორები, როგორც წესი, ელექტრომომარაგების სისტემების ძალურ ქსელებში სხვადასხვა მიზნით გამოიყენება. კერძოდ, ისინი გამოიყენება, როგორც ძაბვის, აგრეთვე სიხშირის სტაბილური შენარჩუნების მიზნით. მაგრამ, ისინი, ყველაზე უფრო ფართო მასშტაბით, 6–10 კვ ძაბვის ქსელებში, რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობებში გამოიყენება. ამ შემთხვევაში, მათი გამოყენება შესაძლებელია, როგორც ცალკეულ ერთეულებად, ასევე სხვადასხვა კომპანოვკით შეერთებულ (არალელური, მიმდევრობითი და შერეული შეერთების სქემით) კომპლექტურ მოწყობილობების სახით.

სხვადასხვა დარგებში (ელექტროტრანსპორტი, კავშირგაბმულობა, ელექტროტექნოლოგიური დანადგარები, აცტომატიზირებული ელექტროამძრავები და სხვა) სფეციფიურ მოწყობილობა დანადგარების ძალურ სისტემებში გამოყენებულ კონდენსატორებისგან შედარებით, (რამდენიმე ტიპის გარდა) მნიშვნელოვანი მასა და მოცულობა გააჩნიათ.

ძალური კონდენსატორები თავისი მოხმარების სფეროთი, მუშაობის რეჟიმებით და კონსტრუქციული განსაკუთრებულობებით შემდეგ ძირითად ჯგუფებად კლასიფიცირდება:

ა) კოსინუსურები – სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენის კონდენსატორები, რომლებიც გათვალისწინებულია რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო ელექტროდანადგარებისათვის;

ბ) ამაღლებული სიხშირის (500 – 1000 ჰერცი) კონდენსატორები, რომლებიც ინდუქციური და დიელექტრიკული გახურების პრინციპზე მომუშავე ელექტროთერმული დანადგარებისთვისაა გათვალისწინებული;

გ) დამაკავშირებელი კონდენსატორები და სიმძლავრის ამრჩევები;

დ) მუდმივი დენის ძალოვან წრედებში სხვადასხვა მიზნით (ფილტრები და ა.შ.) გამოყენებული კონდენსატორები.;

ე) იმპულსური კონდენსატორები, რომლებიც მუდმივ დამუხტვა-განმუხტვის რეჟიმში მუშაობენ.

2.3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანიშნულების ძალური კონდენსატორები

კონდენსატორების მოცემულ ჯგუფს მიეკუთვნებიან ცვლადი დენის 50 ჰერცი სიხშირის ელექტროდანადგარების სიმძლავრის კოეფიციენტის ასამაღლებელი კონდენსატორები (კოსინუსურები). კონდენსატორები იწარმოება შიდა და გარე მონტაჟისათვის ხანგრძლივი საექსპლოატაციო მუშაობისთვის არა უმეტეს 50 °C ტემპერატურისა. ნომინალურ დატვირთვაზე 1,05; 3,15; 6,3; 10,5 კვტ კონდენსატორები იწარმოებიან ცალფაზა მოხმარებისთვის. ნომინალურ დატვირთვაზე 0,22; 0,38; 0,5 და 0,66 კვტ - როგორც ერთფაზა, ასევე სამფაზა ქსელში. ცალფაზა ქსელის კონდენსატორები იწარმოება როგორც 2 იზოლირებული გამომსვლელით, ასევე გამომსვლელით, რომლიდანაც ერთი მიერთებულია კორპუსზე. სამფაზა კონდენსატორის სექციებს ყოფენ სამ ჯგუფად და აერთებენ სამკუთხედის სქემით. 1,05 კვტ და ქვევით ნომინალური დატვირთვის კონდენსატორებზეყველა სექცია მიერთებულია პარალელურად და ყველა უზრუნველყოფილია შიდა მცველით, რომელიც ამორთავს სექციას მისი შემოწმებისას. 3,15; 6,3 და 10,5 კვტ ნომინალური დატვირთვის

კონდენსატორებში სექციების შეერთება არის შერეული. კოსინუსური კონდენსატორის კონსტრუქციული გამოყენება აღნიშნულია ცუფრებით: 1 – ცალფაზა გამოყენება ერთი იზოლირებული გამომსვლელით, 2 - ცალფაზა გამოყენება ორი იზოლირებულ გამომსვლელით, 3 - სამფაზა გამოყენება.

კონდენსატორებს სამფაზა გამოყენებისას აქვთ სამკუთხედის შეერთების სქემა. კონდენსატორები მონტაჟდება კონდენსატორულ დანადგარებში და ელემენტებში ან სპეციალურ მეტალურ კარკასზე ვერტიკალურ მდგომარეობაში, გამომსვლელებით ზევით.

KЭΠ-6,3 და KЭΠ-10,5 ტიპის კონდენსატორებს გააჩნიათ ანალოგიური კონსტრუქცია, როგორც KЭ და KЭK ტიპის კონდენსატორებს.

KCK1 და KCK2 კონდენსატორები შედგებიან ერთი ან ორი პაკეტისაგან, რომელაც გააჩნიათ სექციების პარალელური შეერთება. დიელექტრიკის ნაცვლად გამოიყენება მაღალხარისხიანი თხელი პოლიპროპილენის ტილო და კონდენსატორული ქაღალდი გაძლიერებული გამძლეობით, რაც იძლევა მახასიათებლების ამაღლებას და ატიური დანაკარგების შემცირებას 1.5 ჯერ, KC1 (KC2) კონუსურ კონდენსატორებთან შედარებით.

KMΠC ის ტიპის კონდენსატორების კორპუსი დამზადებულია ალუმინისგან. გამომსვლელები გაკეთებულია ფოთლის ფორმით, რომელსაც გააჩნია დამჭერები, რომლებიც ემსახურებიან დაკავშირებას. პაკეტი აწყობილია სამი ცილინდრული სექციით, რომელიც შეერთებულია სამკუთხედის სქემით. კორპუსის ზედა ნაწილში არის ხელსაწყო, რომელიც განკუთვნილია კონდენსატორების გამოსართველად ელექტრული ჯაჭვიდან კონდენსატორში წნევის აწევის შემთხვევაში, რომელიც შეიძლება გამოწვეულ იქნას ვადის ამოწურვის დროს, გაზების საშალებით, რომლებიც გამოიყოფა დიელექტრიკის გარღვევების ხარჯზე.

KЭKΦ და KЭKIII ტიპის კონდენსატორები განკუთვნილია მაღალ ჰარმონიკული ზალური ფილტრებისათვის, მათ რიცხვში სასტუკური ტირისტორული კომპენსატორები რეაქტიულ სიმძლავრეში მომუშავე, ასევე მუდმივი დენის გადამცემ შუნტერ ელემენტებში, კონდენსატორის ბლოკის

კომპენსაციისათვის და კონდენსატორული დანადგარების ეფექტურობის კოეფიციენტის ასამაღლებლად.

KCKΦ ტიპის ერთფაზა კონდენსატორი შესრულებულია კომბინირებული დიელექტრიკით, გაჟღენთილია სინთეტიკური სითხით.

კოსინუსური კონდენსატორის ბაზაზე მზადდება კონდენსატორული დანადგარები, რომლებიც განკუთვნილია რეაქტიული სიმძლავრის დატვირთვის მოხმარების ავტომატური კომპენსაციისთვის საერთო მოხმარების ქსელებში 0,38 კვტ ძაბვისა და 50 ჰერც სიხშირეზე.

კონდენსატორული დანადგარები წარმოადგენენ უჯრედებს, რომლებშიც განლაგებულია მართვის, გაზომვის და სიგნალიზაციის აპარატურა და კონდენსატორები, რომლებიც შეერთებულია სამკუთხედის სქემით.

კონდენსატორების ავტომატურ გამორთვას გადატვირთვისას ძაბვის ამაღლების ხარჯზე და გარე ჰარმონიკები დანადგარებში უზრუნველყოფს ელექტროდენური რელე. მოკლე ჩართვის დენისგან დაცვას ახორციელებს დნობადი მცველები. საფეხურების ჩართვა და გამორთვისათვის დანადგარში გამოყენებულია მაგნიტური გამშვებები. დანადგარებუ აღჭურვილია რეგულატორით და შეუძლიათ მუშაობა ავტომატურ და ხელით მართვის რეჟიმში. აქვს ინდიკატორები, რომლებიც აჩვენებენ დანადგარის მდგომარეობას მისი ექსპლუატაციის პროცესში.

2.4. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემები.

2.4.1. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობები.

ყველა საერთაშორისოდ ცნობილი ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების, ელექტრული აპარატებისა და მოწყობილობების მწარმოებელი კომპანიის მიერ შექმნილი რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობა, ძირითადად დაფუძნებულია სტატიკური

კონდენსატორების ბაზაზე. ეს მოწყობილობები, გენერირებული ტევადური სიმძლავრის რეგულირებისათვის აღჭურვილია ერთი, ორი, სამი და იშვიათად ოთხი ერთნაირი, ან ერთმანეთისგან განსხვავებული ტევადობის მქონე კონდენსატორული ბატარეით (იხილეთ დანართი 10). შესაბამისად, იმის და მიხედვით თუ რა სიმძლავრეა გასაკომპენსირებელი მართვის სისტემა ქსელთან, გარკვეული კომბინაციით, მიაერთებს ერთ ან რამოდენიმე კონდენსატორულ ბლოკს.

ერთსაფეხურვანი რეგულირებისას რეგულირება ხორციელდება კონდენსატორების ჩართვა გამორთვის საშუალებით. შესაბამისად, ასეთი რეგულირებისას მართვის სისტემის ფუნქციას წარმოადგენს ქსელიდან მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლი და მისი წინასწარ განსაზღვრულ მნიშვნელობამდე გაზრდის შემთხვევაში კონდენსატორული ბლოკის ქსელთან მიერთება.

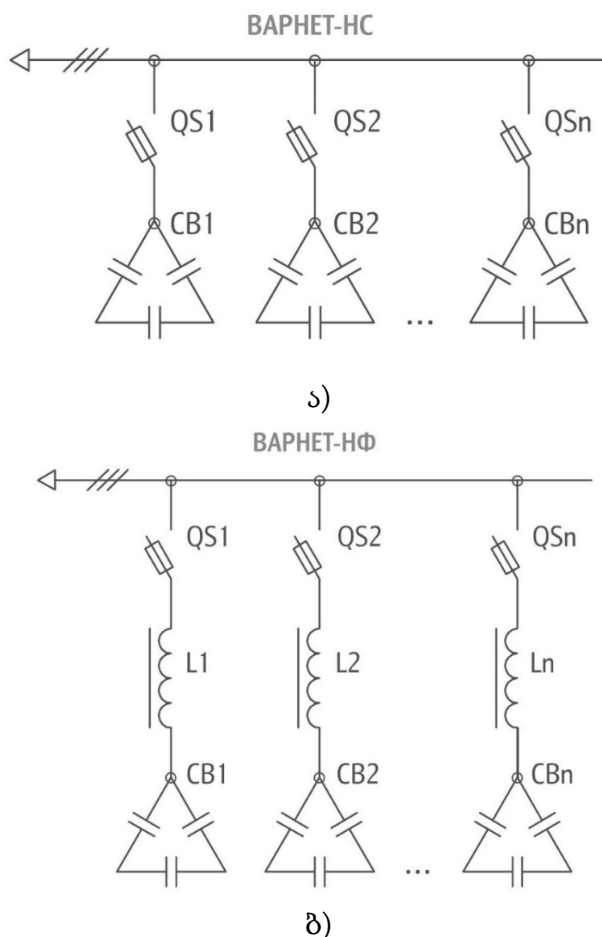
ამ პრინციპზე შესრულებული მართვის სისტემები გამოყენებულია: ფრაგული კომპანია „შნეიდერ ელექტრიკის“ მიერ წარმოებულ 0,4 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობების Varpact CLASSIC – ის, Varpact COMFORT – ისა და Varpact HARMONY – ის მოდულებში (იხ. დანართი 13, 14); რუსული კომპანია ბრიანსკის ელექტროტექნიკური ქარხნის მიერ წარმოებულ „BAPHET –HC“ და „BAPHET-AC“ – ტიპის 0,4 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობებში (ნახ. 10); გერმანული კომპანიის „Siemens“ – ისა და რუსული კომპანია „Сервис Монтаж Интеграция“ – ს ერთობლივად წარმოებული KPM-0,4 და KPM-10 ტიპის საკომპენსაციო მოწყობილობებში.

რიგ შემთხვევებში, საკომპენსაციო მოწყობილობების დამამზადებლები, მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის მიხედვით, ცხრილის სახით იძლევიან რეკომენდაციებს მათ მიერ წარმოებული კომპენსატორების შერჩევის შესახებ (დანართი 11).

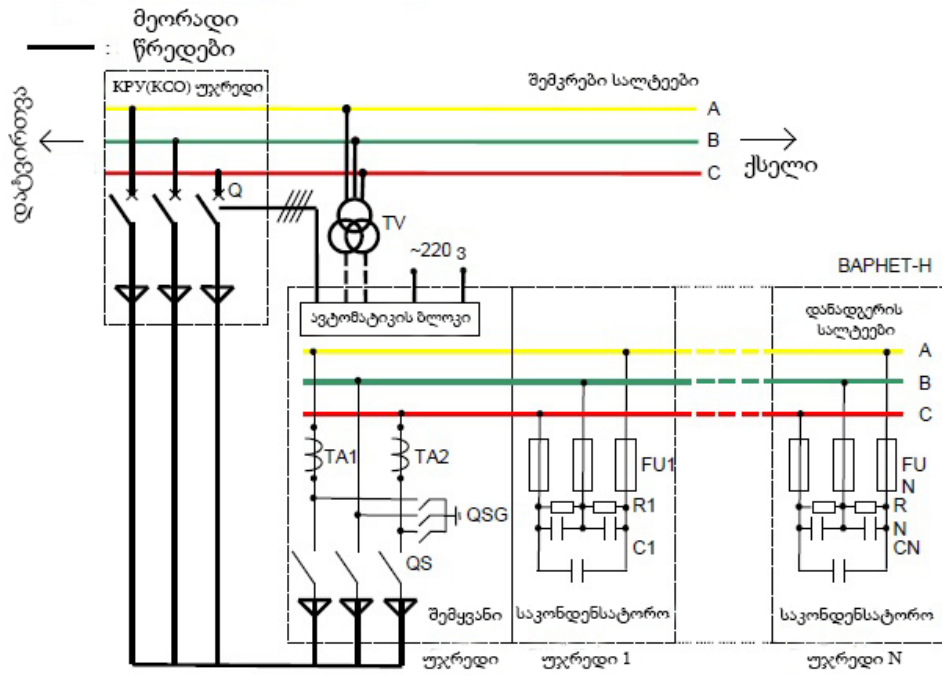
საკომპენსაციო სიმძლავრის ასეთი მეთოდით რეგულირების ნაკლია ის, რომ მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის დიდ დიაპაზონში ცვლილებისას, მთლიანად გაუკომპენსირებელი რჩება კონდენსატორული

ბლოკის ჩართვამდე არსებული და გენერირებულ საკომპენსაციოზე ზევით გაზრდილი მოთხოვნილი სიმძლავრე. აქედან გამომდინარე, ასეთი საკომპენსაციო მოწყობილობების პრაქტიკული გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ უცვლელი რეაქტიული დატვირთვის მქონე ელექტრომომხმარებლებისათვის.

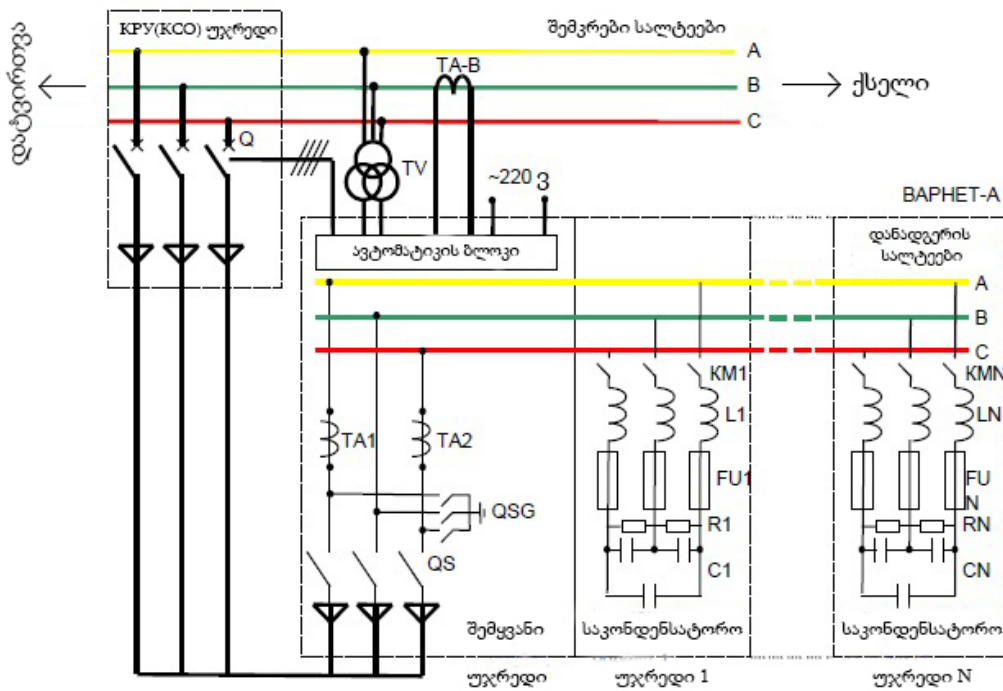
რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რეგულირების მართვის სისტემით აღჭურვილი საკომპენსაციო მოწყობილობის ძალოვანი ნაწილის ცალხაზოვანი სქემები 0,4 კვ ძაბვის ქსელებისათვის მოცემულია ქვემოთ ნახ. 10 ა, ბ – ზე, ხოლო 10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი ქსელებისათვის წარმოდგენილია ნახ. 11 ა, ბ -ზე.



ნახ. 10 0,4 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის ძალური ნაწილის ცალხაზოვანი სქემა: ა) ფილტრების გარეშე, ბ) ფილტრებით



ა)



ბ)

ნახ. 11. 10 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის ძალური ნაწილის შეერთების სქემები

სამი და ოთხსაფეხუროვანი რეგულირების პრინციპზე აგებული მართვის სისტემები გამოყენებულია: შვედურ შვეიცარიული ერთობლივი კომპანიის ABB – ს მიერ წარმოებულ ტიპის 0,4 კვ ძაბვის და „MCR-10“ ტიპის (6)10 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობებში; ფრანგული კომპანია „შნეიდერ ელექტრიკის“ მიერ წარმოებულ 0,4 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობების „Varpact CLASSIC“ – ის, „Varpact COMFORT“ – ისა და „Varpact HARMONY“ – ის მოდულებში (იხ. დანართი 12); რუსული კომპანია „БРЯНСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД,“-ის მიერ წარმოებულ „ВАРНЕТ-АС“ და „ВАРНЕТ-АФ“ ტიპის, 0,4 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობებში (დანართი 9); გერმანული კომპანიის „Siemens“-ისა და რუსული კომპანია „Сервис Монтаж Интеграция“ – ს ერთობლივად წარმოებული „KPM-0,4“ ტიპის დაბალი და „KPM-10“ ტიპის მაღალი ძაბვის მოწყობილობებში.

საფეხუროვანი რეგულირებით აღჭურვილი საკომპენსაციო მოწყობილობების რეგულირების ხარისხი, ერთსაფეხუროვანთან შედარებით მაღალია და მით უფრო მაღალია, რაც მეტია საფეხურების რაოდენობა და განსხვავებულია კონდენსატორთა ბლოკების ტევადობები. შესაბამისად, რეგულირების ხარისხის გაზრდისათვის საჭიროა, რომ მაქსიმალურად გაიზარდოს კონდენსატორთა ბატარეების რაოდენობა.

თავის მხრივ, კონდენსატორთა ბატარეების რაოდენობის გაზრდა შეზღუდულია, რადგან იგი გამოიწვევს კომპენსატორის ძალოვანი ნაწილის – კონდენსატორთა ბატარეის ბლოკებისა და მათი ქსელთან მიერთების, საკომუტაციო აპარატების რაოდენობის გაზრდას. ამასთან ერთად, რთულდება დანადგარის კონსტრუქცია და მართვის სისტემა, იზრდება საკომპენსაციო მოწყობილობის გაბარიტული ზომები და ფასი.

2.4.2. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემები

რეაქტიული სიმძლავრის კონდენსატორული საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემები, ძირითადად მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლზეა დაფუძნებული. შესაბამისად, ინფორმაცია დატვირთვის სიმძლავრის შესახებ, მომხმარებლის წრედში ჩართული დენის ტრანსფორმატორისა და ქსელის ძაბვის გაზომვის შედეგად მიიღება. მაღალი ძაბვის ქსელების შემთხვევაში, ინფორმაცია ძაბვის შესახებ, ძაბვის ტრანსფორმეტორიდან მიიღება.

ხშირ შემთხვევებში, დასექციონირებული, ერთსაფეხუროვანი საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვა მხოლოდ ქსელის ძაბვის მიხედვით ხორციელდება. ამ პრინციპზეა დამყარებული ეგრედ წოდებული BAKO –ს ტიპის მართვის სისტემა. შესაბამისად, იმისდა მიხედვით თუ რა სიდიდისაა ძაბვა, მართვის სისტემა, კონდენსატორების ბლოკს ქსელში ჩართავს ან გამორთავს.

მრავალსაფეხუროვანი მართვისათვის ცალკეული მწარმოებლები ძირითადად, მის მიერ შექმნილ სისტემას იყენებს. რუსეთის კომპანიებს გამოყენებული აქვთ, როგორც მათ მიერ შექმნილი APKOH, PKM-5, PKM-12, PKM-15–ის ტიპის, აგრეთვე ჩეხეთის მიერ წარმოებულ NOVAR მართვის სისტემებს.

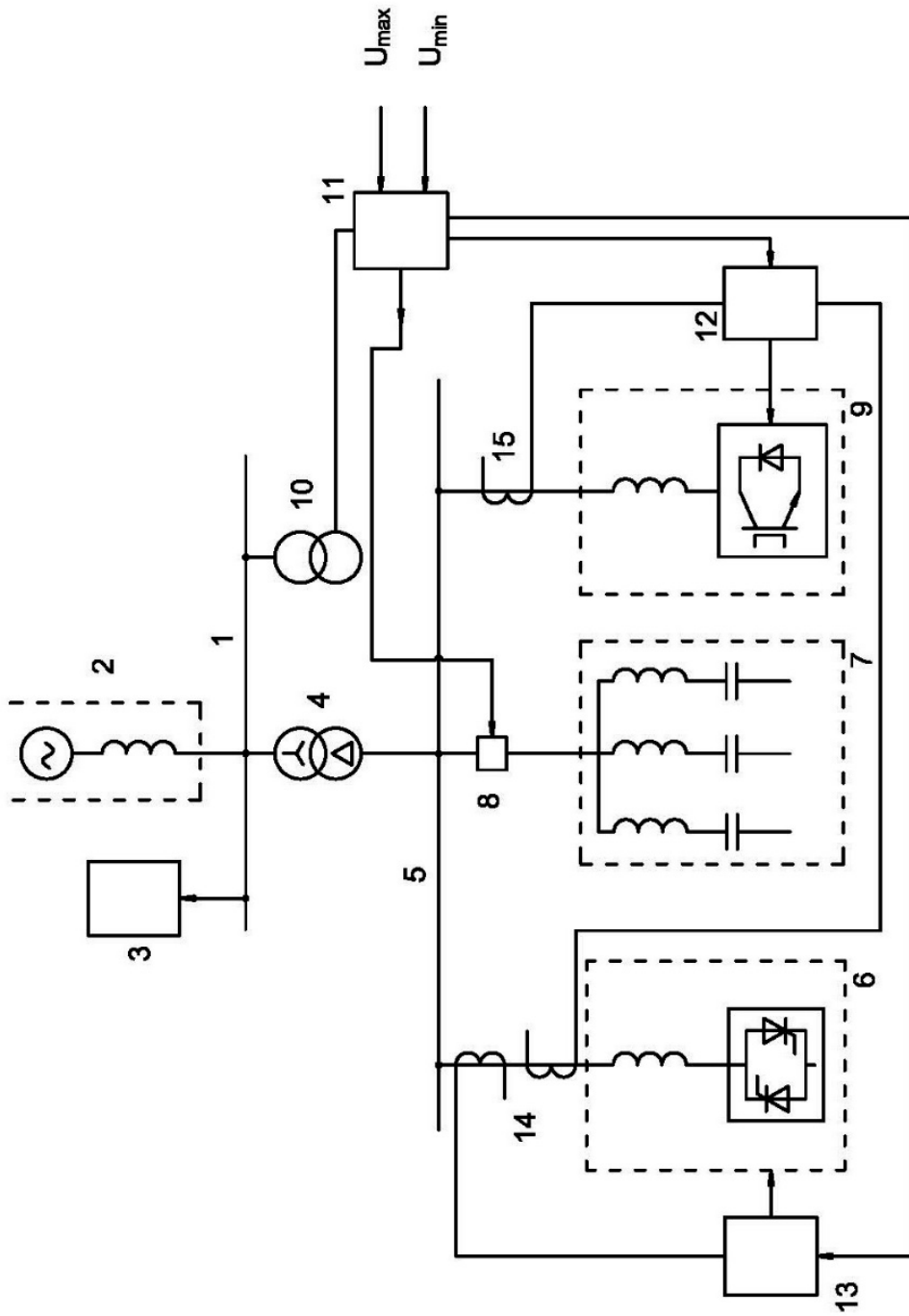
ცნობილია რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის ხერხი [13, 18, 19], რომელიც განკუთვნილია ტირისტორულ-რეაქტორული ჯგუფით აღჭურვილი მოწყობილობისათვის. იგი ახორციელებს, მხოლოდ, სტატიკური კომპენსატორის მაღალი რიგის ჰარმონიკების მართვას და შესაბამისად მათ კომპენსაციას. ამ ხერხით შეუძლებელია განხორციელდეს საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირება.

ამასთან ერთად, ბოლო წლებში მეცნიერების მიერ, შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსატორის მართვის ხერხი [20] და

რეალიზაციისათვის დამუშავებულია საკომპენსაციო მოწყობილობის ცალხაზოვანი სქემა (ნახ. 12).

შემოთავაზებული საკომპენსაციო მოწყობილობა შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისაგან: დამწვევი ქვესადგურის ცვლადი დენის სალტე 1, რომელიც იკვებება ცვლადი დენის ქსელიდან 2. სალტე 1 დატვირთვისთან 3 დაკავშირებულია ძალოვანი ტრანსფორმატორის 4 საშუალებით. ტრანსფორმატორიდან 4 კვებას დებულობს რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის სალტე 5. სალტესთან 5 მიერთებულია ჰარმონიკების ტირისტორული რეგულატორი 6, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრი 7 თავისი ამომრთველით 8 და CTATKOM ტიპის სტატიკური კომპენსატორი 9. სალტესთან აგრეთვე, მიერთებულია ძაბვის ტრანსფორმატორი 10, საიდანაც ძაბვა მიეწოდება შედარების ბლოკ 11-ს. შედარების ბლოკიდან სიგნალი მიეწოდება კომპენსატორის მართვის სისტემას 12 და ჰარმონიკების ტირისტორული რეგულატორის მართვის სისტემას 13. ამასთან ერთად, მართვის 12 და 13 სისტემებს მიეწოდებათ პროპორციული სიგნალი 14 და 15 დენის ტრანსფორმატორებიდან, რომლებიც ჩართული არიან კომპენსატორისა და ტირისტორული რეგულატორის ძალოვან წრედებში.

მართვის სისტემა მუშაობს შემდეგნაირად: წინასწარ განსაზღვრავენ რეაქტიული სიმძლავრის ქვედა და ზედა ზღვრებს რეგულირების ყოველი ზონისათვის. საზღვრავენ კვების წყაროს ძაბვას. ზომავენ ელექტრომომხმარებლის დენსა და ძაბვას. ითვლიან რეაქტიულ სიმძლავრეს და ადარებენ მას წინასწარ განსაზღვრულ ზღვრებს. როდესაც მომხმარებლის რეაქტიული სიმძლავრე ნაკლები იქნება ქვედა ზღვარზე, რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს მიაერთებენ მკვებავ ქსელთან დაბალი ძაბვით, ან გამორთავენ. ხოლო, როდესაც მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე მეტი იქნება ზედა ზღვარზე, კომპენსატორს აერთებენ მკვებავ ქსელთან მაღალი ძაბვით.



ნახ. 12. საკომპუნსაციო მოწყობილობის ცალხაზოვანი სქემა

ამ ხერხის ნაკლია ის, რომ შეუძლებელია კომპენსატორის მიერ გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირება, დაბალია მართვის სიზუსტე, რეგულირების ხარისხი და რეგულირების დიაპაზონი.

აღნიშნული ნაკლოვანებებს განაპირობებს გამოყენებული მართვის პრინციპი. რომლის დროსაც, მართვა ხორციელდება რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს კვების წყაროსთან დაბალი ან მაღალი ძაბვით მიერთების საშუალებით. შესაბამისად, რეაქტიული სიმძლავრის წყარო უზრუნველყოფს, მხოლოდ სამი ფიქსირებული მნიშვნელობის საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის გენერირებას. ამიტომ, კომპენსატორი ვერ უზრუნველყოფს გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირებას. ამის გამო გაუკომპენსირებელი რჩება მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელოვანი ნაწილი. შედეგად, დაბალია საკომპენსაციო მოწყობილობის კომპენსაციის ეფექტი. ეს განსაკუთრებით მკვეთრად გამოიხატება მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის დიდ დიაპაზონში ცვლილებისას.

ელექტროენერგეტიკაში მოღვაწე ცნობილი მეცნიერების მიერ, დამუშავებულია რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მეთოდი [22] და მის საფუძველზე შემოთავაზებულია ეგრედწოდებული „ტირისტორ კომპენსატორი“, რომელსაც საფუძვლად უდევს დაუსექციონირებელი სტატიკური კონდენსატორების ბატარეაზე. ამ შემთხვევაში, გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირებისათვის ძალურ წრედში, კონდენსატორების ბლოკის მიმდევრობით, გათვალისწინებულია ძალური ტირისტორული რეგულატორის ჩართვა. შესაბამისად, საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირება ხორციელდება ტირისტორული რეგულატორის საშუალებით, კონდენსატორულ ბლოკზე მიყვანილი ძაბვის რეგულირების გზით.

ასეთი კომპენსატორების პრაქტიკული გამოყენება დაუშვებელია, რადგან ტირისტორული რეგულატორი კონდენსატორზე მიყვანილ ძაბვას არეგულირებს თვითთულ ფაზაში ურთიერთ შემხვედრად ჩართული ტირისტორების გახსნის კუთხის შეცვლის გზით. ამის გამო, ადგილი აქვს რეაქტიული დენის ფორმის ძლიერ დამახინჯებას და ქსელში დიდი ამპლიტუდის მქონე, მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავრცელებას. მით მეტია მაღალი რიგის ჰარმონიკების ქსელზე გამოწვეული ნეგატიური ზემოქმედება, რაც უფრო რეგულირების დიაპაზონის დაბალ უბანზე იმუშავებს კომპენსატორი.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, არსებული სტატიკურ კონდენსატორებზე დაფუძნებული რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობები ვერ უზრუნველყოფენ მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრულ კომპენსაციას და ამის გამო, კვლავ მაღალია ქსელში სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები.

შესაბამისად, ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან განტვირთვისათვის საჭიროა, რომ განხორციელდეს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია.

იმისათვის რომ, განხორციელდეს საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ ელექტრომომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაცია, რომელიც რეალურად არა საფეხურებრივად იცვლება, საჭიროა მართვის სისტემამ უზრუნველყოს კომპენსატორის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირება.

ზემოთ მოყვანილი ანალიზის შედეგები, საფუძველს გვაძლევს გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: მიზანი, რეაქტიული დატვირთვის სრული შეიძლება მიღწეულ იქნეს, მხოლოდ და მხოლოდ, საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების საშუალებით.

თავი 3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის დამუშავება

3.1. საკომპენსაციო მოწყობილობის რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება.

დისერტაციაში, ელექტრომომარაგების ქსელის რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან სრული განტვირთვისათვის დაისახა მიზანი, რომ ადგილზე მოხდეს ელექტრომომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის შესაბამისი სიმძლავრის გამომუშავება და განხორციელდეს სრული კომპენსაცია. შესაბამისად, დამუშავდეს რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემა.

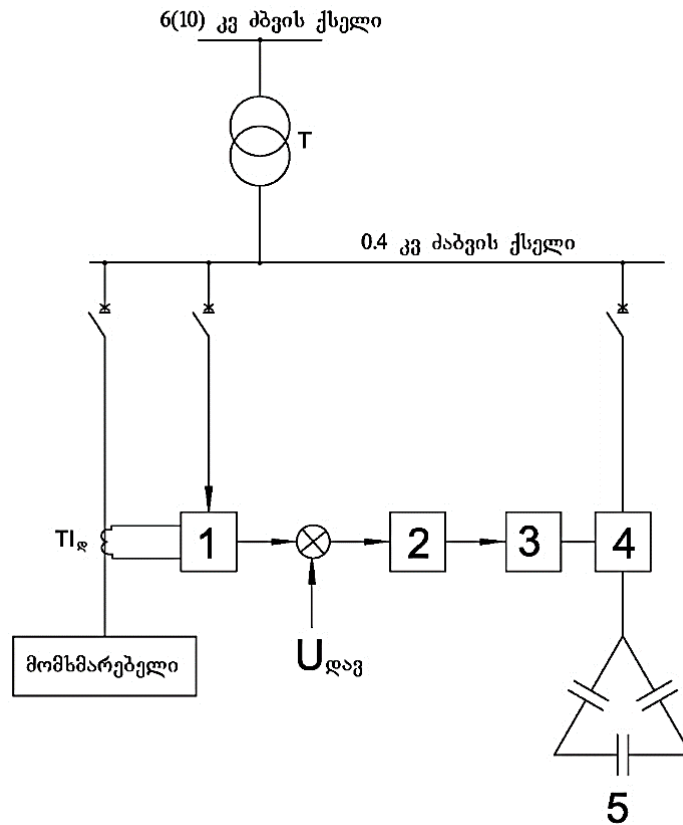
დასახული მიზნის მისაღწევად, შემოთავაზებულია, დაუსექციონირებელი სტატიკური კონდენსატორთა ბატარეით აღჭურვილი, რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემა [35], რომელიც გათვალისწინებულია 0.4 კვ ძაბვის სამფაზა ქსელისათვის. იგი დაფუძნებულია სტატიკური კონდენსატორების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის შეზღუდვის პრინციპზე. შემოთავაზებული პრინციპის საფუძველზე დამუშავებულია საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს გენერირებული ტევადური სიმძლავრის მდოვრე რეგულირებას.

დამუშავებული მდოვრე რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობისათვის შედგენილია ბლოკ-სქემა (ნახ. 13).

ბლოკ-სქემა შედგენილია დაბალი (0,4 კვ) ძაბვის ქსელებისათვის.

საკომპენსაციო მოწყობილობის ბლოკ-სქემა (ნახ. 13) მოიცავს შემდეგ ძირითად ელემენტებს: ამწევ ძალოვან ტრანსფორმატორს (T); 0,4 კვ ძაბვის დაუსექციონირებელ შემკრებ სალტეს; შემკრებ სალტესთან ძალური ავტომატური ამომრთველით მიერთებულ ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარს – ელექტრომომხმარებელს; ელექტრომომხმარებლის ქსელში ჩართულ დენის ტრანსფორმატორს (TI); დენის ტრანსფორმატორთნ

მიერთებულ რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდს (1), რომელიც ქსელის ძაბვას ღებულობს სალტედან Q1 ამომრთველის საშუალებით,



ნახ. 13. 0,4 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა (მართვის გახსნილი სისტემით)

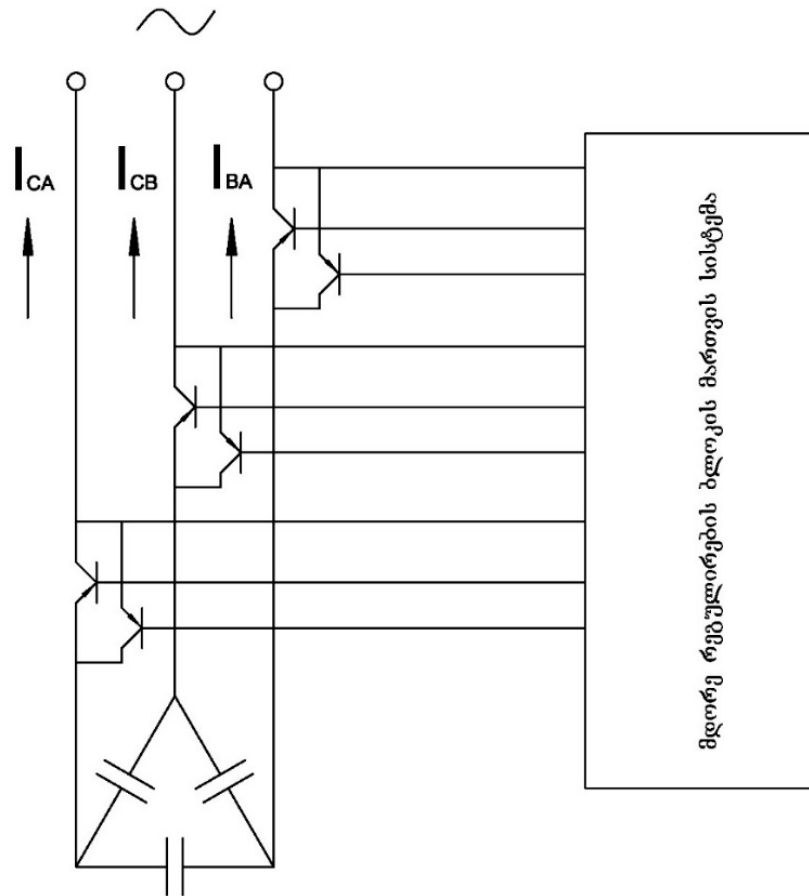
რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემას (2); რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გამოსასვლელთან შესასვლელით მიერთებულ რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის მართვის სისტემას (3); სალტესთან Q3 ამომრთველით მიერთებულ შემზღუდავი ბლოკის ძალურ ნაწილს (4) და მასთან შესასვლელით მიერთებულ სტატიკური კონდენსატორთა ბატარეას (ბლოკს) (5).

მოწყობილობის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდგომში: რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდი (1) ქსელის ძაბვისა და დენის

ტრანსფორმატორებიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე გამოიმუშავენს მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის, შესაბამის სიგნალს და მიაწვდის მდოვრე რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემას (2). თავის მხრივ, მართვის სისტემა, რეგულირების ბლოკს (3) მიაწვდის მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის დენის სათანადო მართვის სიგნალს. შესაბამისად, რეგულირების ბლოკი შეზღუდავს კონდენსატორების ტევადურ დენს მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის დენის მნიშვნელობამდე და საკომპენსაციო მოწყობილობის გამოსავალზე უზრუნველყოფს მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის ტოლ ტევადურ სიმძლავრეს. მაშასადამე, მოწყობილობა მომხმარებლის მიერ ელექტრომომარაგების ქსელიდან მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის ტოლი ტევადური სიმძლავრის გამოიმუშავების საშუალებით უზრუნველყოფს მის სრულ კომპენსაციას.

მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის შეცვლის შედეგად, შეიცვლება მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდისა და რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გამოსავალი სიგნალები, შეიცვლება მოწყობილობის მიერ რეგულირების ბლოკის შეზღუდვის დენის მნიშვნელობა და შესაბამისად, საკომპენსაციო მოწყობილობა გამოიმუშავენს ახალი რეაქტიული დატვირთვის ტოლ ტევადურ საკომპენსაციო სიმძლავრეს. მაშასადამე, რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობა, მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის ნებისმიერი მნიშვნელობისას, ნულიდან საკომპენსაციო მოწყობილობის მაქსიმალურ მნიშვნელობის დიაპაზონში, გამოიმუშავენს ნებისმიერი სიდიდის რეაქტიული დატვირთვის ტოლ ტევადურ საკომპენსაციო სიმძლავრეს და უზრუნველყოფს მის სრულ კომპენსაციას. აქედან გამომდინარე, მოწყობილობა უზრუნველყოფს რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრედ რეგულირებას.

მდორე რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის ძალური ნაწილი შესრულებულია მართვად ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებზე, რომელიც გამარტივებული სახით წარმოდგენილია ქვემოთ (ნახ.14).

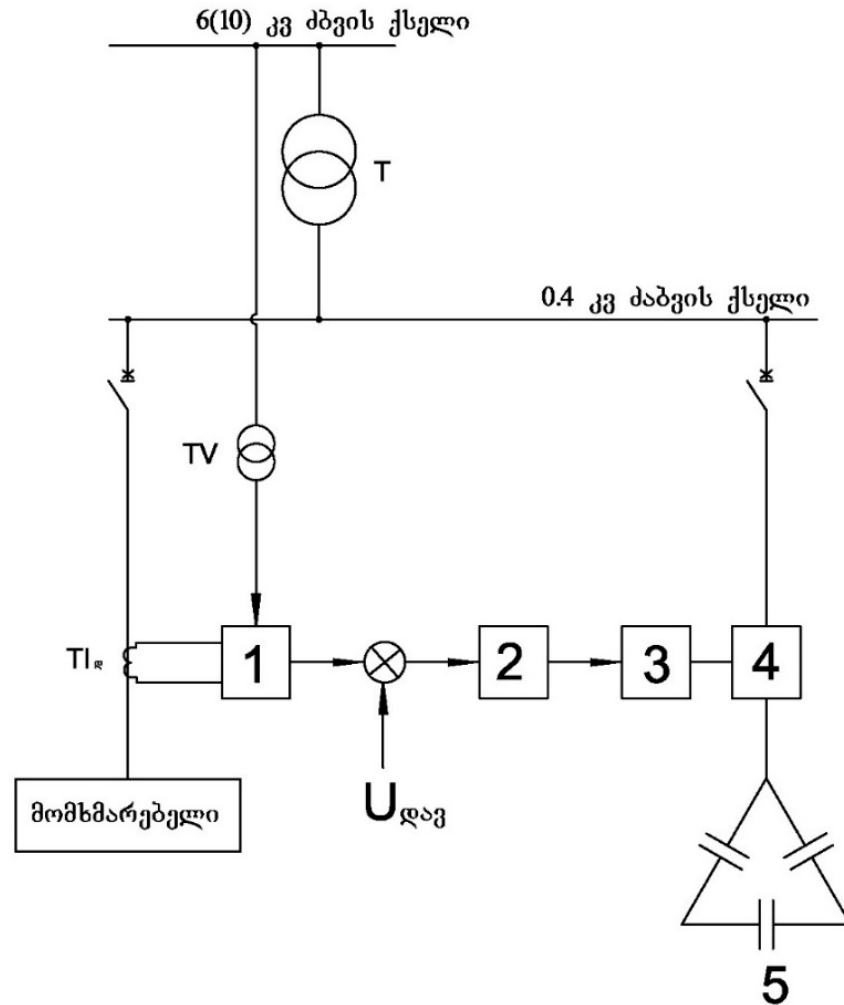


ნახ. 14. რექტიული სიმძლავრის მდორე რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის ძალური ნაწილის სქემა.

რექტიული სიმძლავრის მდორე რეგულირების ბლოკის ძალური ნაწილი შესრულებულია, ურთიერთ შემხვედრ-პარალელურად შეერთებული, ძალოვანი ტრანზისტორების საშუალებით.

შემოთავაზებული საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის გამოყენების არეალის გაზრდის მიზნით, დამუშავებულია საკომპენსაციო

მოწყობილობის მეორე ვარიანტი, რომელიც გათვალისწინებულია 6 და 10 კვ ძაბვის ქსელებისათვის (ნახ. 15).



ნახ. 15. 6(10) კვ ძაბვის რეაქტიული სიმპლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა (მართვის გახსნილი სისტემით)

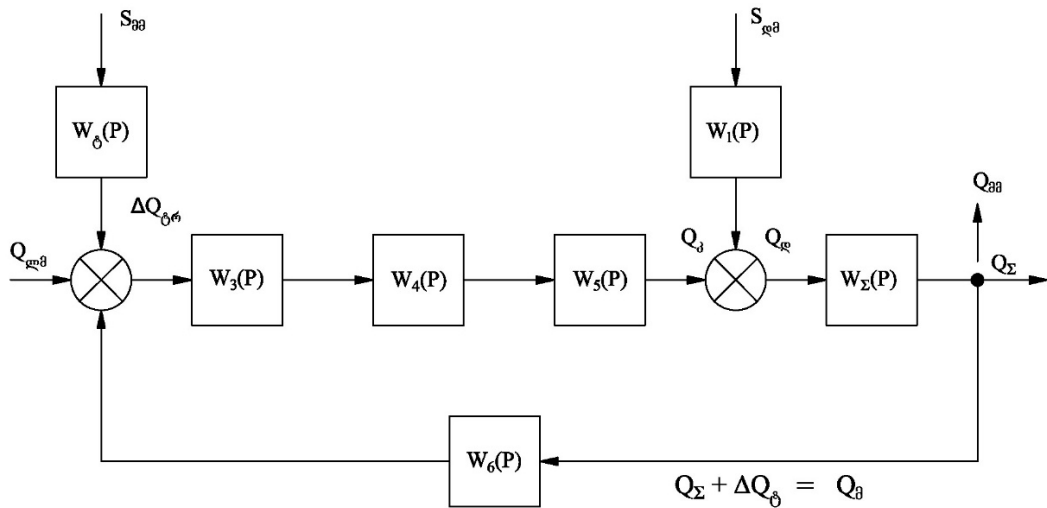
პირველი სქემის ვარიანტისგან განსხვავებით (ნახ. 13), მეორეს შემთხვევაში (ნახ. 15) რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდს, ინფორმაცია ქსელის ძაბვის შესახებ, მიეწოდება 10/0.1 კვ TV ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილიდან.

სქემის მეორე ვარიანტში, მდორე რეგულირების ბლოკის ძალური ნაწილი სქემატურად უცვლელია.

3.2. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია.

რიგ შემთხვევებში, მომხმარებელი ელექტრომომწოდებელთან ანგარიშსწორებას ანხირციელებს მაღალი ძაბვის მხარეს არსებული ელექტროენერჯის ხარჯის მიხედვით. შესაბამისად, ასეთი შემთხვევებისათვის, ელექტრომომარეგების სისტემა, ლიმიტს რეაქტიულ სიმძლავრეზე უწესებს, მაღალი ძაბვის მხარეს ძალოვან ტრანსფორმატორში დანაკარგების გათვალისწინებით.

აქედან გამომდინარე, ამ და სხვა მოთხოვნებისა გათვალისწინებისათვის, აგრეთვე დამუშავებული საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის სტატიკური და დინამიკური თვისებების გაუმჯობესების უზრუნველყოფისათვის, ჩატარებულია მართვის ოპტიმიზაცია [34, 35]. შესაბამისად, სისტემა დამატებით, აღჭურვილია მაკორექტირებელი რგოლით (ნახ. 16). კერძოდ, კვების წყაროს წრედში, დამწევი ქვესადგურის ძალოვანი ტრანსფორმატორის მეორადი ძაბვის გრაგნილის გამოსასვლელსა და შემკრები სალტეს შორის, მომხმარებელსა და საკომპენსაციო მოწყობილობამდე, ჩართულია დენის ტრანსფორმატორი $TI_{\text{ფ}}$. დენის ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილთან მიერთებულია რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდი (2), რომელიც აკონტროლებს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი ინდუქტიური ხასიათის რეაქტიული დატვირთვისა და საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გენერირებული ტევადური ხასიათის რეაქტიული სიმძლავრეთა სხვაობას. ფაქტიურად იგი წარმოადგენს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილ რეაქტიულ და კომპენსატორის მიერ გენერირებულ სიმძლავრეებს შორის სხვაობის უკუკავშირს. შესაბამისად, უკუკავშირის საშუალებით მიღებული ინფორმაცია შედარდება და სიგნალე მიეწოდება (3) შესასვლელზე, რის შემდეგაც იგზავნება სიმძლავრეთა სხვაობის სიგნალი, რომელიც კონდენსატორების მიერ გამოუმავებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდეს განსაზღვრავს. შესაბამისად, კონდენსატორების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე იზრდება, მანამ



ნახ. 17. საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა

სტრუქტურულ სქემაზე დატანილია შემდეგი აღნიშვნები: $S_{დმ}$ – მომხმარებლის მიერ ძალოვანი ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხერეს მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე, კვა; $S_{გმ}$ – მომხმარებლის მიერ ძალოვანი ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხერეს მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე, კვა; $Q_{ლმ}$ – ელექტრომომარაგების სისტემის მიერ მაღალი ძაბვის მხარეს ლიმიტირებული რეაქტიული სიმძლავრე, კვარ; $Q_{კ}$ – კომპენსატორის მიერ გენერირებული ტევადური სიმძლავრე, კვარ; $Q_{დ}$ – მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე, დაბალი ძაბვის მხარეს, კვარ; $Q_{შ}$ – მომხმარებლის მიერ, სისტემიდან მაღალი ძაბვის მხარეს მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე, კვარ; $\Delta Q_{ბ}$ – ძალოვან ტრანსფორმატორში დატვირთვის გატარებით გამოწვეული რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები, კვარ; $W_1(P)$ – მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდის გადამცემი ფუნქცია; $W_6(P)$ – დამწვევი ქვესადგურის ძალოვანი ტრანსფორმატორში არსებული რეაქტიული დატვირთვის დანაკარგების ($\Delta Q_{ბ}$) გადამწოდის გადამცემი ფუნქცია; $W_3(P)$ – რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გადამცემი ფუნქცია; $W_4(P)$ – რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გადამცემი ფუნქცია; $W_5(P)$ – შემზღუდავი ბლოკის

გადამცემი ფუნქცია; $W_6(P)$ – ძალოვანი ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარეს მომხმარებელი მიერ ინდუქციურ დატვირთვისა და საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გენერირებულ რეაქტიულ ტევადური სიმძლავრეების შორის სხვაობის უკუკავშირის გადამცემი ფუნქცია;

საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემისათვის სტრუქტურული სქემის საფუძველზე შეგვიძლია მათემატიკური აღწელილობა:

$$\left. \begin{aligned} U_{ბრძ} &= k_{მს} (U_{Q_{დავ}} - U_{Q_{ქს}}) \\ Q_{კომ} &= \frac{k_{რბ}}{U_{ბრძ}(T_{რბ}P+1)} \\ Q_{ქს} &= (Q_{კომ} - Q_{დ})k_{კ} \\ U_{Q_{ქს}} &= k_{უკ}Q_{ქს} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

დამუშავებული მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ღირსებას წარმოადგენს ის, რომ მომხმარებლის დატვირთვის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის, იგი გამოიმუშავებს ტევადურ სიმძლავრეს, რომელიც მოპიცავს, როგორც მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი, აგრეთვე ძალოვანი ტრანსფორმატორში არსებულ რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებს.

3.3. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის რელეური დაცვის სისტემა

ელექტრომომარაგების ქსელში ჩართული რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობების მდგრადი და საიმედო მუშაობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ქსელში ჩართული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მოქმედების პრინციპებსა და მუშაობის რეჟიმებზე [8, 9]. შესაბამისად, როდესაც ქსელში ჩართულია დიდი სიმძლავრის ელექტრორკალური ტექნოლოგიური ან მართვადი ნახევარგამტარული გარდამსახებით აღჭურვილი დანადგარები,

საჭიროა, რომ დეტალურად იქნეს შესწავლილი თუ რა გავლენას ახდენენ ეს დანადგარები ქსელის ძაბვის ფორმასა და პარამეტრებზე.

აქედან გამომდინარე, კონდენსატორული მოწყობილობების ექსპლუატაციის დროს უნდა გავითვალისწინოთ დაზიანების და მუშაობის არანორმალური რეჟიმების წარმოქმნის შესაძლებლობები.

დაზიანების ყველაზე გავრცელებულ და სახიფათო სახეებად გვევლინებიან სხვადასხვაგვარი მოკლე ჩართვები, რომლის შედეგებიც შეიძლება გამოიწვიოს:

- ძაბვის დაწევა სამრეწველო საწარმოს ქსელში, რასაც მიყვავართ ნორმალური მუშაობის დარღვევასთან და პროდუქციის დაბრაკვასთან;
- მოკლე ჩართვის დროს წარმოქმნილი ელექტრული რკალის მიერ ელექტრომოწყობილობის დაზიანებული ელემენტის განადგურება;
- მოწყობილობების მექანიკური დაზიანება მოკლედ შერთვის დენების დინამიური და თბური ზემოქმედების შედეგად;
- ელექტრული სისტემის მუშაობის მდგრადობის დარღვევა.

კონდენსატორული დანადგარის მუშაობის ერთ-ერთ ყველაზე სახიფათო რეჟიმად გვევლინება მის მომჭერებზე ძაბვის ხანგრძლივი მომატება, ასევე კონდენსატორების გადატვირთვა დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკებით.

მათი ხანგრძლივი დროით მოქმედების შედეგად ელექტრომოწყობილობის ელემენტების ტემპერატურე იზრდება და მათი იზოლაცია დაჩქარებულად ირღვევა. ამის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია ავტომატური მოწყობილობების გამოყენება, კონდენსატორული დანადგარის და მისი ელემენტების დასაცავად არანორმალური რეჟიმების და დაზიანების სახიფათო შედეგებისაგან. დამცავი მოწყობილობები გამორთავენ დაზიანებულ ელემენტებს კონდენსატორული დანადგარის ან სამრეწველო ქსელის დაუზიანებელი ნაწილისგან. დამცავი მოწყობილობების მიმართ, ისევე როგორც რელეური დაცვის ნებისმიერ სახესთან, წაყენებულია შემდეგი მთავარი ტექნიკური

მოთხოვნები: სელექტიურობა, სწრაფქმედება, მგრძობიარობა და საიმედოობა. [29]

სელექტიურობის პირობა ითვალისწინებს კონდენსატორული დანადგარუს მხოლოდ დაზიანებული ელემენტის ამორთვას. სწრაფქმედება ამცირებს დაზიანების მაშტაბებს, ასევე კონდენსატორების და სხვა მომხმარებლების მუშაობის დროს დაბალ ძაბვაზე.

დაცვა უნდა იყოს მგრძობიარე, რათა მოახდინოს რეაგირება ყველა სახის დაზიანებაზე და მუშაობის არანორმალურ რეჟიმებზე და ამოქმედდეს დაზიანების წარმოქმნის დასაწყისში. საიმედოობის მოთხოვნა გულისხმობს, რომ დაცვა უნდა მოქმედებდეს ყველა სიტუაციაში.

კონდენსატორულ დანადგარში ავარიები უმეტეს შემთხვევაში გამოწვეულია იზოლაციის გარღვევით სექციებს შორის, რაც იწვევს ორფაზა მოკლედ შერთვას კონდენსატორის შიგნით, ხანდახან კი კორპუსზეც.

რელეური დაცვის ყველა სახე, რომლითაც აღიჭურვება კონდენსატორული დანადგარი, შეიძლება დაიყოს ბატარეების საერთო დაცვაზე, კონდენსატორების ჯგუფურ და ინდივიდუალურ დაცვაზე.

ნებისმიერი კონდენსატორული დანადგარისათვის საერთო დაცვებია: დაცვა მრავალფაზა მოკლედშერთვისაგან, დაცვა მიწაზე ერთფაზა მოკლედ შერთვისაგან, დაცვა გადატვირთვებისაგან და დაცვა ძაბვის მომატებისაგან.

დაცვების სახეობები, რომლებსაც იყენებენ ზემოდ აღნიშნული დაზიანებისაგან კონდენსატორული დანადგარების დასაცავად არიან მოყვანილი ცხრილში 1, ხოლო აღნიშნული დაცვების გამოყენების სტრუქტურული სქემები იხილეთ დანართებში 15, 16, 17.

მრავალფაზა მოკლედშერთვებისაგან დაცვა ხორციელდება კონდენსატორების შეერთების ნებისმიერი სქემის დროს და უნდა გამორთოს კონდენსატორები დროის დაყოვნების გარეშე. 1000 ვოლტამდე კონდენსატორულ დანადგარებში ეს დაცვა სრულდება უმეტესწილად მცველებზე (ნახ. 20) ან ავტომატურ ამომრთველებზე. 1000 ვოლტზე მაღალა

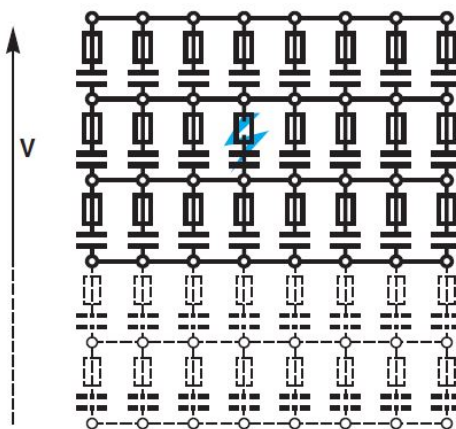
მომუშავე მოწყობილობის დროს დაცვა ხორციელდება მძლავრ მცველებზე ან როგორ რელეური.

ცხრილი 1

კონდენსატორული დანადგარების დაზიანებების სახეობები და დაცვები

დაზიანების სახე	დაცვა	ANSI-ს კოდი
გადატვირთვა	მაქსიმალური ძაბვისაგან დაცვა	59
	თბური დაცვა	49RMS
	მდდ დროის დაყოვნებით	51
მოკლედ შერთვა	მდდ დროის დაყოვნებით	51
კორპუსთან მოკლედ შერთვა	მდდ მიწასთან მოკლედ შერთვებისაგან დროის დაყოვნებით	51N/51G
ცალკეული კონდენსატორის მოკლედ შერთვა	მდდ დროის დაყოვნებით	51

კონდენსატორები ინდივიდუალური ან ჯგუფური დაცვის შემთხვევაში მრავალფაზა მოკლედშერთვისაგან დაცვა ხორციელდება ერთ ელემენტზე, რომელიც ჩართულია ფაზური დენების სხვაობაზე. 1000 ვოლტამდე კონდენსატორულ დანადგარებში ეს დაცვა სრულდება უმეტესწილად მცველებზე (ნახ. 18) ან ავტომატურ ამომრთველებზე. 1000 ვოლტზე მაღალა მომუშავე მოწყობილობის დროს დაცვა ხორციელდება მძლავრ მცველებზე ან როგორ რელეური.



ნახ. 18. კონდენსატორული დანადგარის დაცვა მცველების საშუალებით

3.4. მაღალი რიგის ჰარმონიკების აღმოჩენა და მათი აღმოფხვრა

თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარები: ელექტრორკალური ლუმელები, მუდმივი და ცვლადი დენის შესადული აპარატები, სამრეწველო სიხშირის ინდუქციური საჩამომსხმელო ლუმელები, ამალღებული სიხშირის საწროთობი და მოსაპირსალელები დანადგარები, დიელექტრიკული გახურების საშრობი და მაღალი დამაბულობის ელექტრული ველის სამღებრო დანადგარები, ლითონების ელექტროპლაზმური დაფარვის აპარატები, ტირისტორული გარდამსახით აღჭურვილი მართვადი ასინქრონული ელექტროამძრავები და თანამედროვე ელექტროსაყოფაცხოვრებო ხელსაწყოები, მუშაობის პროცესში ქსელიდან ღებულობენ დამახინჯებული ფორმის დენს. შესაბამისად, ქსელში წარმოქმნება მაღალი სიხშირის დენების სპექტრი, რომელიც სიხშირის მატების მიხედვით მიღევად ხასიათს ატარებს. [7]

წარმოქმნილი მაღალი სიხშირის დენები უაროფითად მოქმედებს, როგორც მანაწილებელი ქსელების ელემენტებზე, აგრეთვე ქსელთან მიერთებული სხვა ელექტრომიმღებების მუშაობის რეჟიმებზე, ელექტრომომარაგების საიმედოობასა და ქსელისა თუ მომხმარებლების ენერგეტიკულ მაჩვენებლებზე.

ზემოაღნიშნულიდან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია შემდეგი:

- უზრუნველყოფს მანაწილებელი ქსელის ელემენტებში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობის გაზრდას და ამ მიზეზით გამოწვეულ უარყოფით შედეგებს;

- იწვევს ნულოვან (ნეიტრალურ) სადენის გადატვირთვას, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ჯამური დენების გამო;

- იწვევს სინქრონული გენერატორების, ძალოვანი და გამზომი ტრანსფორმატორების, სინქრონული და ასინქრონული ელექტროამძრავებისა და სხვა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების გადატვირთვას, მათი გრაგნილების გადახურებას და ნაადრევ დაძველებას.

- ტრანსფორმატორებსი, ძრავებსა და სხვა ელექტრომოწყობილობებში წარმოიქმნება ვიბრაცია, რაც იწვევს გრაგნილების მექანიკურ დაზიანებას;
- გრაგნილების მქონე მოწყობილობებში მატულობს ხმაური;
- მცირე ელექტროენერგიით მომარაგების ხარისხი;
- სიმძლავრის კოეფიციენტის ასამაღლებელი კონდენსატორების გადატვირთვა და ნაადრევი დაძველება;
- მკვებავი ქსელის ფორმის დამახინჯება, რამაც შეიძლება გავლენა იქონიოს „მგრძნობიარე“ მომხმარებლებზე;
- ხარვეზები საკომუნიკაციო ქსელებში დამართვის სისტემებში; აგრეთვე ჰარმონიკების არსებობა ელ. ქსელში აყენებს შესამჩნევ ეკონომიკურ ზიანს ელექტრომომარაგების სისტემაში არსებულ ელემენტებს:
- მოწყობილობის ნაადრევი დაძველება, ნიშნავს მის შეცვლას დაგეგმილ ვადაზე ადრე, თუ მასში თავიდანვე არ იყო გათვალისწინებული სიმძლავრის დამატებითი მარაგი;
- მანაწილებელი ქსელების გადატვირთვამ იწვევს, როგორც ელექტროენერგიის მოხმარების, ასევე დანაკარგების გაზრდას;
- დენის მრუდის დამახინჯება, ხშირ შემთხვევაში იწვევს ავტომატური ამომრთველების ცრუ ამოქმედებას, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს სამრეწველო პროცესის შეწყვეტას.

როგორც ცნობილია სამფაზა მანაწილებელ ქსელებში ყველაზე ხშირად გვხვდება კენტი რიგის ჰარმონიკები [11]. სიხშირის ზრდასთან ერთად ჰარმონიკების ამპლიტუდა მცირდება. 50-ე და უფრო მაღალი რიგის ჰარმონიკებს მნიშვნელოვნად მცირე ამპლიტუდა გააჩნიათ და შედეგად ამისა უმნიშვნელოა მათი ქსელზე გავლენა. შესაბამისად, შემდგომში მათ გამოვლენასა და გაზომვას აზრი არ აქვს. საკმაოდ ზუსტია 30-ე რიგის ჰარმონიკები და ხშირ შემთხვევებში აგრეთვე უგულებელყოფილია მთი გავლენით გამოწვეული შედეგებიც. [5, 7]

რიგ ქვეყნებში არსებული კანონების მიხედვით, ენერგომომწოდებელ და მანაწილებელ კომპანიებს ევალებათ, რათა განახორციელონ კონტროლ

ქსელში მე-3, მე-5, მე-7, მე-11 და მე-13 რიგის ჰარმონიკების არსებობის გამოვლენის შესახებ. შესაბამისდად, ძირითადად სავალდებულოა ქსელში მხოლოდ დაბალი რიგის ჰარმონიკების (13-მდე) აღმოფხვრა.

გამონაკლის შემთხვევებში, ქსელში ზოგიერთი საპასუხისმგებლო მომხმარებლების არსებობისას, მოთხოვნები უფრო გამკაცრებულია და აუცილებელია ღონისძიებების 25-ე რიგის ჰარმონიკის ჩათვლით გატარება.

აქედან გამომდინარე ელექტრულ ქსელში ჰარმონიკული დამახინჯებების საკითხების რეგლამენტირება ხდება სხვადასხვა სტანდარტებით და ნორმებით :

- მანაწილებელ ქსელში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის სტანდარტით;

- ჰარმონიკების გამომწვევი მოწყობილობების მიმართ ნორმატიული მოთხოვნებით;

- ენერგომომწოდებელი კომპანიების რეკომენდაციებით გამოყენებულ ელექტროდანადგარებზე.

დღესდღეობით მოქმედებს სტანდარტების და ნორმების სამმაგი სისტემა, რომელიც მიმართულია ჰარმონიკების გავლენის შემცირებისკენ.

ქსელის და მოწყობილობების ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მარეგლამინტირებელი სტანდარტები, რომლებიც ამყარებენ აუცილებელ თავსებადობას ქსელსა და ელექტრულ მოწყობილობებს შორის :

- რომელიმე მოწყობილობის მიერ წარმოქმნილმა ჰარმონიკებმა არ უნდა გამოიწვიონ ქსელის დაბინძურება დაშვებულ დონეზე მეტად;

- ყოველი მოწყობილობა უნდა ინარჩუნებდეს მუშა მდგომარეობას ქსელში განსაზღვრული დონის დაბინძურების არსებობისას.

- სტანდარტი MЭК 61000-2-2 დაბალი ძაბვის ენერგომომარაგების სისტემებისთვის;

- სტანდარტი MЭК 61000-2-4 დაბალი და მაღალი ძაბვის ელექტრული დანადგარებისათვის;

მანაწილებელ ქსელში ელექტროენერჯის ხარისხის მარეგლამინტირებელი სტანდარტებს მიეკუთვნებიან:

- სტანდარტი EN 50160 აყენებს საერთო დანიშნულების გამანაწილებელი ქსელის მიერ მოწოდებული ელექტრული ენერჯის მახასიათებელს;

- სტანდარტი IEEE 519 წარმოადგენს ენერგომომწოდებელი კომპანიების და მომხმარებლების მიდგომას არაწრფივი დატვირთვების გავლენის შესამცირებლად. კომპანიები იღებენ პრევენციული ზომების, რათა გაიზარდოს ელექტროენერჯის ხარისხი და შესაბამისად შემცირდეს ტემპერატურის ზრდა ად მათი უარყოფითი გავლენა სიმძლავრის კოეფიციენტზე. აღნიშნული სტანდარტი ჯარიმებს იმ მომხმარებლებისთვის, რომლებიც „აბინძურებენ“ ქსელს მაღალი რიგის ჰარმონიკებით.

ელექტრომოწყობილობებისადმი წაყენებული მოთხოვნები:

- სტანდარტი MЭК 61000-3-2 ან EN 61000-3-2 დაბალი ძაბვის მოწყობილობებისათვის რომელთა ნომინალური დენი 16 ამპერზე ნაკლებია;

- სტანდარტი MЭК 61000-3-12 ან EN 61000-3-4 დაბალი ძაბვის მოწყობილობებისათვის, რომელთა ნომინალური დენი არის 16-75 ამპერის ფარგლებში.

საერთაშორისო კვლევების შედეგების საფუძველზე გვეძლევა საშუალება მონაცემების შეგროვებისა და მანაწილებელ ელექტრულ ქსელებში ტიპიური ჰარმონიკების არსებობის შეფასების. მსოფლიოს წამყვან ენერგომომწოდებელ კომპანიათა აზრით ჰარმონიკების მაქსიმალური დასაშვები დონეები არ უნდა აღემატებოდეს ცხრილში მოყვანილ მნიშვნელობებს.

მაღალი რიგის ჰარმონიკების მაქსიმალური დასაშვები დონეები და მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტებზე მოყვანილია დანართებში 10, 11. ხოლო მაღალი რიგის

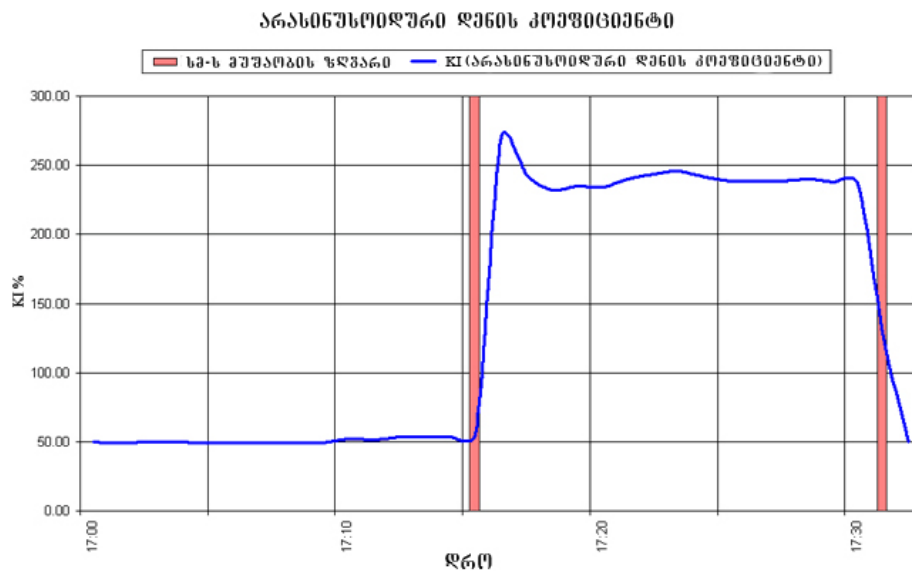
ჰარმონიკების ფილტრის გამოყენებით მიღებული შედეგები მოცემულია დანართებში 19 და 20.

ექსპლუატაციის პირობებში ბატარეების საიმედო და ეფექტური მუშაობისთვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ელექტროენერჯის ხარისხს ელექტროქსელში ბატარეების მიერთების წერტილში, მათ შორის ძაბვისა და დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკების მდგენელის არსებობა. ელექტროქსელის და ელექტრომომხმარებლის ელექტრომოწყობილობის საიმედობასა და ხანგამძლეობაზე, ელექტროენერჯის ხარჯის და დანაკარგების აღრიცხვის სიზუსტეზე მარალი რიგის ჰარმონიკების უარყოფითი გავლენის გარდა შესაძლებელია რეზონანსური მოვლენების წარმოშობა კონდენსატორული ბატარეების ტევადობისა და მკვებავი ელექტროქსელის ინდუქციური წინაღობის შორის. გარკვეულ პირობებში რეზონანსური მოვლენები აძლიერებენ მაღალი რიგის ჰარმონიკებს. შესაბამისად, იგი უარყოფით გავლენას ახდენენ საკომპენსაციო მოწყობილობაზე, და ზოგ შემთხვევაში, კონდენსატორებზე გადამეტაბვის წარმოქმნის შედეგად იწვევს კონდენსატორული ბატარეების გარღვევას და მწყობრიდან გამოსვლას.

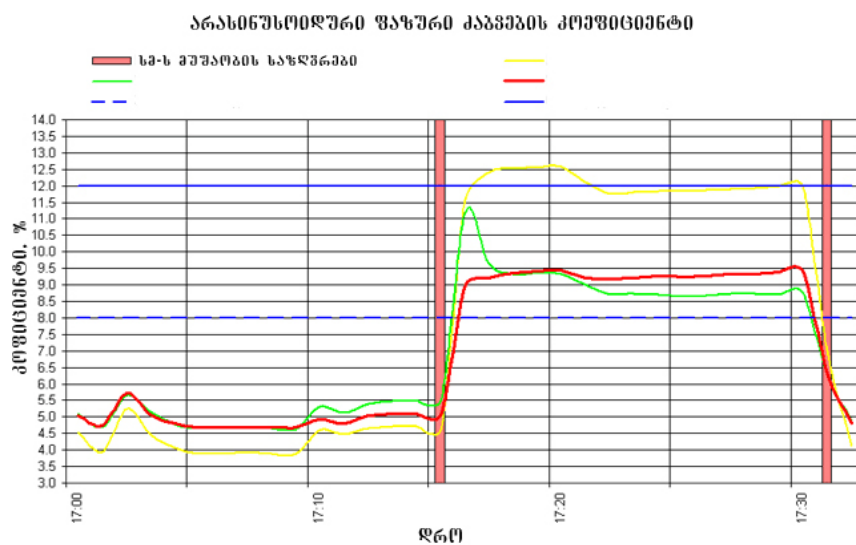
მაგალიტისთვის ქვემოთ მოყვანილია, ელექტროენერჯის პარამეტრების ხარისხის ტიშინსკის მაღაროს (ყაზახეთის რესპუბლიკა) საკომპრესორო სადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტეების IIIY-1-ის პირველ სექციაზე მიერთებული კონდენსატორული ბატარეის მუშაობის რეჟიმის ურთიერთგავლენის მონაცემები. [39, 40]

საკომპრესორო სადგურის სალტეებზე კონდენსატორული მოწყობილობის მიერთებამდე «Pecypc UF2» ხელსაწყოთი გაზომილი ელექტროენერჯის ხარისხის მაჩვენებლების სიდიდეები ქვესადგურით მოხმარებული მნიშვნელოვანად აჭარბებენ დაშვებულ ძაბვის სიდიდის მნიშვნელობას ცალკეული ჰარმონიკული მდგენელების მიხედვით სიტუაცია არ გაუმჯობესდა მაკომპენსირებელი მოწყობილობის ჩართვის შემდეგაც. მით უფრო სალტეებზე ძაბვის გადახრა ნომინალურისგან გადააჭარბა 12%-ს.

ძაბვის არასინუსოიდულობის კოეფიციენტმა გადიდა (ნახ.19). დენის არასინუსაიდულობის კოეფიციენტმა მიაღწია 250%-ს (ნახ.20) ნახ.2-ს მიხედვით ჩანს, რომ გადიდა მე3-ე, მე5-ე, მე8-ე, მე10-ე ჰარმონიკების ამპლიტუდა. მაკომპენსირებელი მოწყობილობის დენის გადამეტვიროვამ შეადგინა 50%.

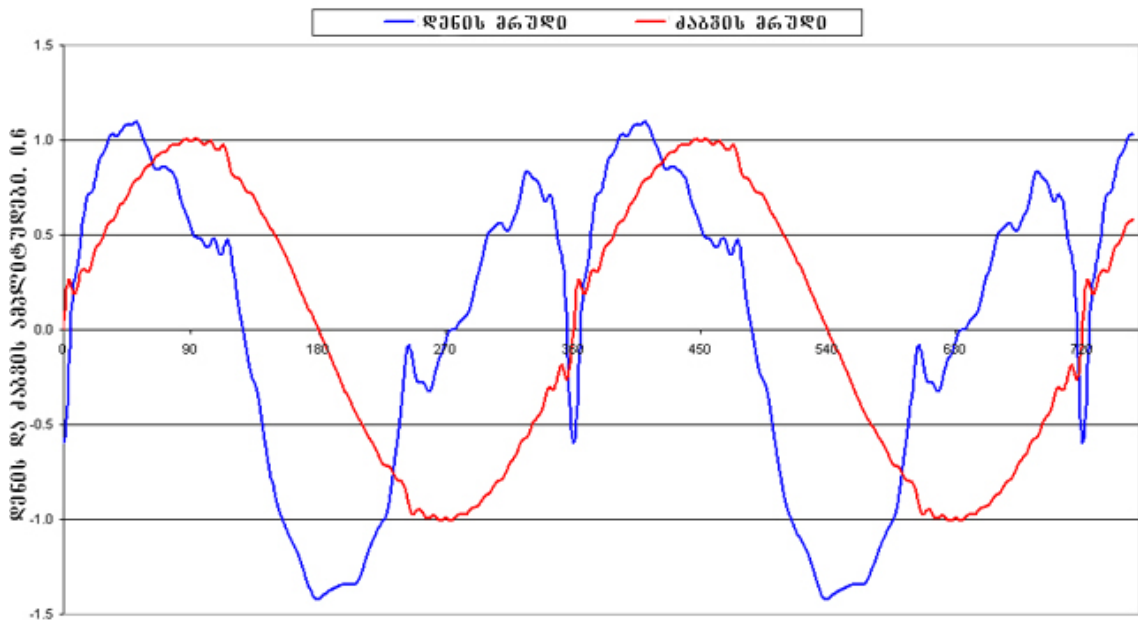


ნახ. 19. არასინუსოიდალური დენის დიოგრამა



ნახ. 20. არასინუსოიდალური დენის კოეფიციენტი 250% მნიშვნელობისას

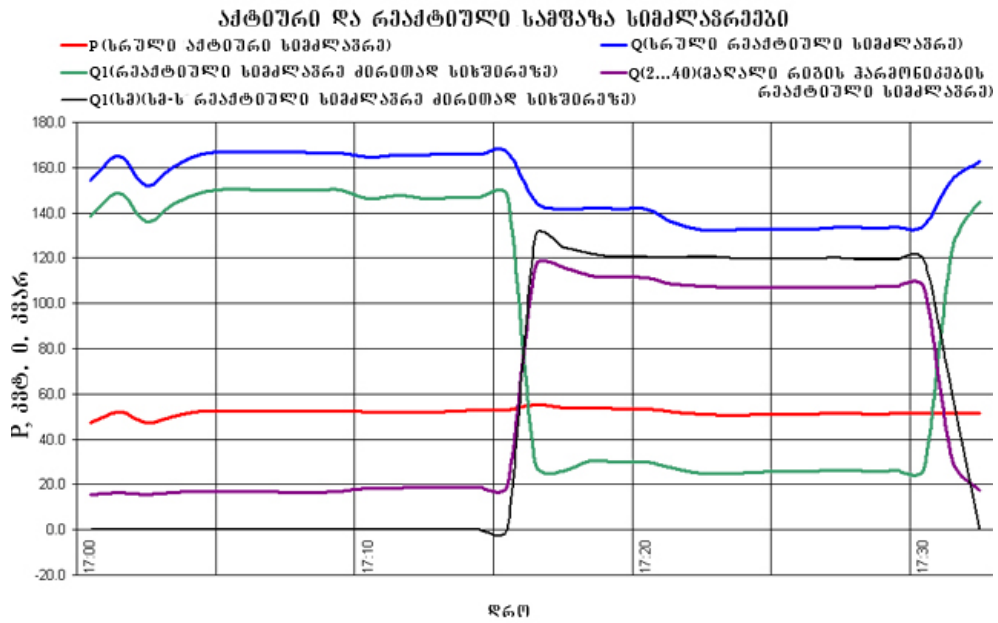
გამორთული მაკომპენსირებელი მოწყობილობის პირობებში მკვეთრად იცვლება ქვესადგურის მოხმარებული ელექტრული დენის ფორმა (ნახ. 21), ხოლო საკომპენსირებელი მოწყობილობის ჩართვისა რეაქტიური სიმძლავრის გენერაცია(120კვარ) პრაქტიკულად კომპენსირდება დამატებითი მოხმარებით უმაღლეს ჰარმონიკებზე, რაც ჩანს მაკომპენსირებელი მოწყობილობის ჩართვისა ქვესადგურის მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის გრაფიკიდან (ნახ. 22).



ნახ. 21. ძაბვის და დენის მრუდეები გამორთული საკომპენსაციო მოწყობილობის დროს

ამის გამო სრული რეაქტიული ელექტროენერჯის მრიცხველის ჩვენებაში მაკომპენსირებელი მოწყობილობის ჩართვა პრაქტიკულად არ შეიმჩნევა.ამავდროულად მაკომპენსირებელი მოწყობილობის რეაქტიული სიმძლავრის რეგულატორმა დენისა და ძაბვის პირველი ჰარმონიკისთვის ავტომატურად გაანგარიშა შეარჩია და მიაერთა მაკომპენსირებელი

მოწყობილობის კონდენსატორების შესაბამისი საფეხური; რეგულატორში ამოქმედდა არასინუსოიდურობის კოეფიციენტის დაცვა.



ნახ. 22. სიმძლავრეების მრუდები ჩართული საკომპენსაციო მოწყობილობის დროს

დასკვნები

სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებული სამეცნიერო სამუშაოების საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი:

1. ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ძალოვან ელემენტებში მუშაობის რეჟიმების შედეგად წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ელექტრომომხმარებელთა რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება და მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე აქტიურის 40-45% შეადგენს. ამის გამო, ქსელის ელემენტები გადატვირთულია რეაქტიული სიმძლავრის გატარებით, შესაბამისად დიდია ამ მიზეზით გამოწვეული ელექტროენერჯისა და ძაბვის დანაკარგები, დაბალია ენერგეტიკული მაჩვენებლები, ენერგოეფექტურობა და მაღალია ქსელის ელემენტების ცვეთა.

2. ელექტრომომარაგების სისტემის ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრულ განტვირთვაშია და იგი შესაძლებელია მხოლოდ რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაციის საშუალებით.

3. საერთაშორისოდ აღიარებული მეცნიერების მიერ შემოთავაზებული რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების მართვის მეთოდებისა და პრინციპების ანალიზის. აგრეთვე, მოწინავე ფირმების მიერ წარმოებული მოწყობილობების და მართვის სისტემების გამოკვლევის საფუძველზე დასაბუთებულია, რომ ისინი, საფეხუროვანი მართვის პრინციპის გამო, ვერ უზრუნველყოფენ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრულ კომპენსაციას და საშუალოდ გაუკომპენსირებელი რჩება მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის 30%.

4. დასაბუთებულია, რომ ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია და შესაბამისად ელექტრომომარაგების

ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრული განტვირთვა, შესაძლებელია განხორციელდეს, მხოლოდ საკომპენსაციო სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების საშუალებით.

5. შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია დაუსექციონირებელი კონდენსატორული ბატარეის ძალოვან წრედში მიმდევრობით ჩართული შემზღუდავი ბლოკის საშუალებით კონდენსატორების ტევადური დენის რეგულირების პრინციპზე.

6. დამუშავებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ორი ვარიანტი. პირველ შემთხვევაში სისტემა გახსნილია და ემყარება მხოლოდ მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლს. მეორე ვარიანტისას, სისტემა შეკრულია და ერთდროულად აკონტროლებს, როგორც მომხმარებლის ინდუქტიურ დატვირთვას, აგრეთვე კომპენსატორის მიერ გენერირებულ ტევადურ სიმძლავრეს.

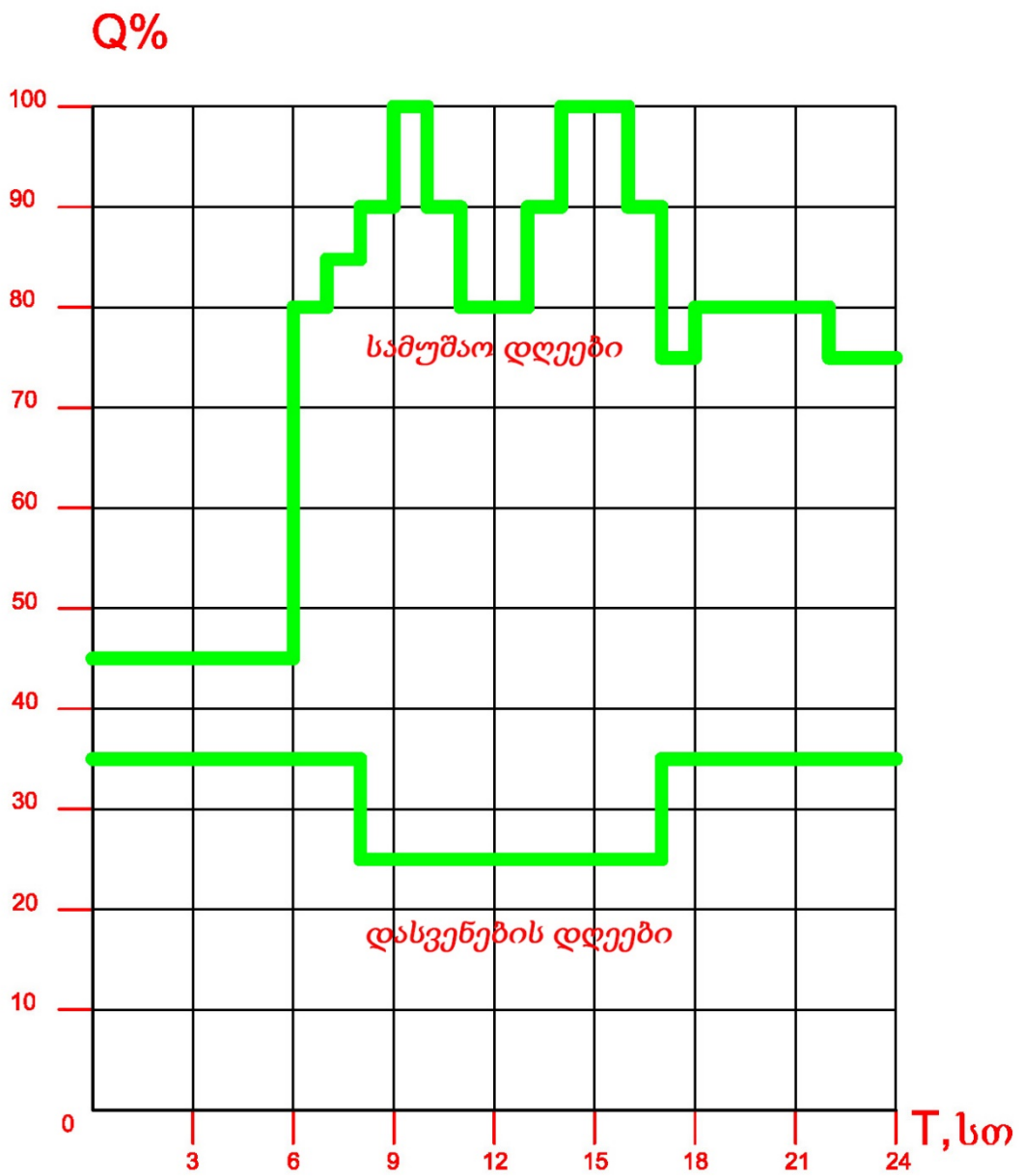
7. შედგენილია საკომპენსაციო მოწყობილობის შემზღუდავი ბლოკის ძალოვანი ნაწილის სქემის ორი ვარიანტი. პირველი განკუთვნილია თავისუფალი ქსელებისათვის, ხოლო მეორე – ეგრედწოდებული მაღალი რიგის ჰარმონიკებით დაბინძურებული ქსელებისათვის.

8. დამუშავებულია მდოვრე რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემების ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემები. მოცემულია მათი მათემატიკური აღწერილობა.

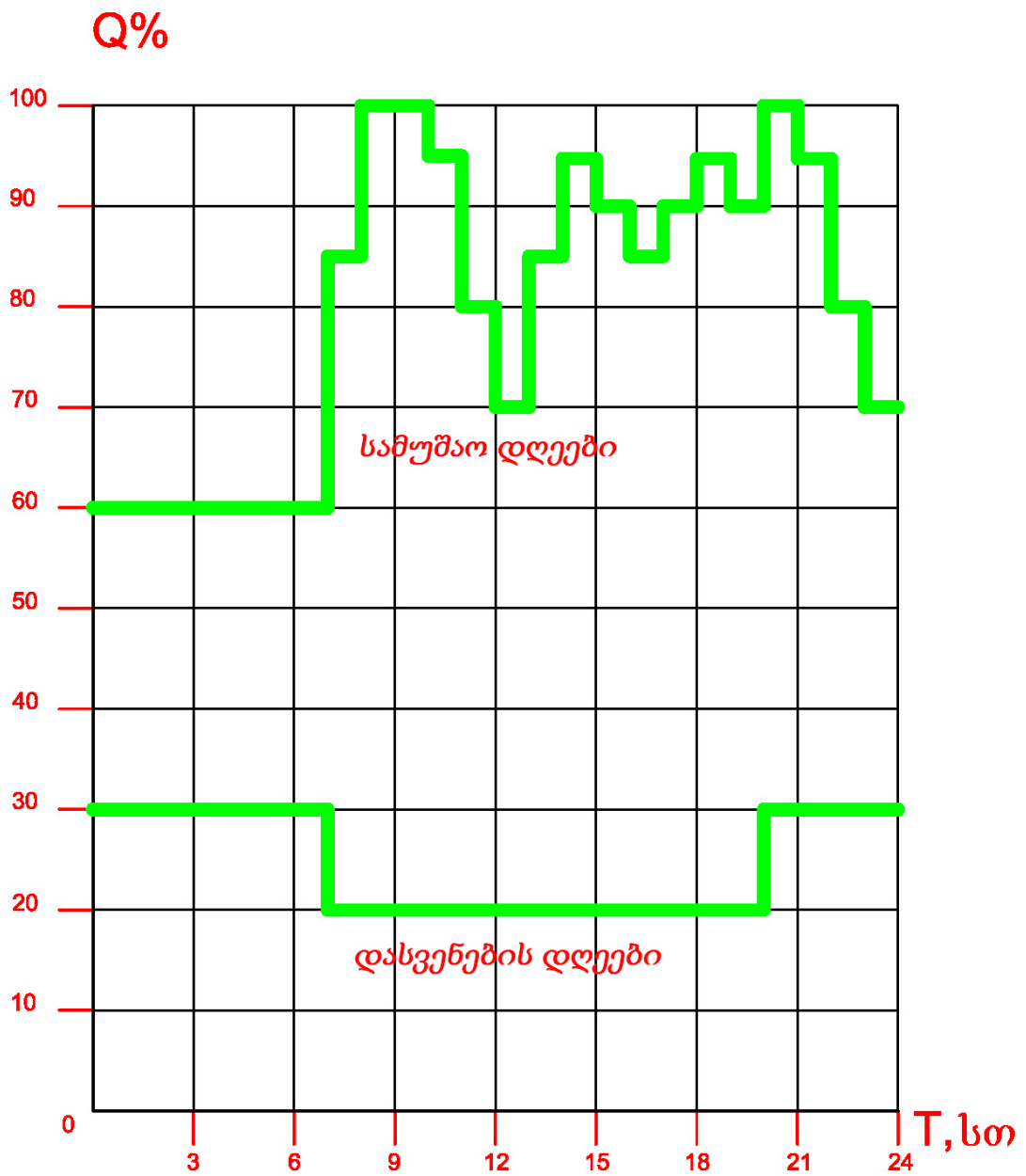
9. საკომპენსაციო მოწყობილობის ოროვე ვარიანტისათვის ჩატარებულია ექსპერიმენტული გამოკვლევა. შედეგებმა დაადასტურა, რომ საკომპენსაციო დანადგარის შემოთავაზებული მართვის სისტემას გააჩნია გამომუშავებული საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის, დიდ დიაპაზონი (0-1), მდოვრე რეგულირების უნარი და მისი პრაქტიკული რეალიზაცია საშუალებას მოგვცემს, განვახორციელოთ

ელექტრომომხმარებლების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია. განვტვირთოთ ელექტრომომარაგების ქსელი რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან. შესაბამისად შევამციროთ ძაბვის, სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები, გავზარდოთ ენერგეტიკული მაჩვენებლები და ავამაღლოთ ენერგოეფექტურობა.

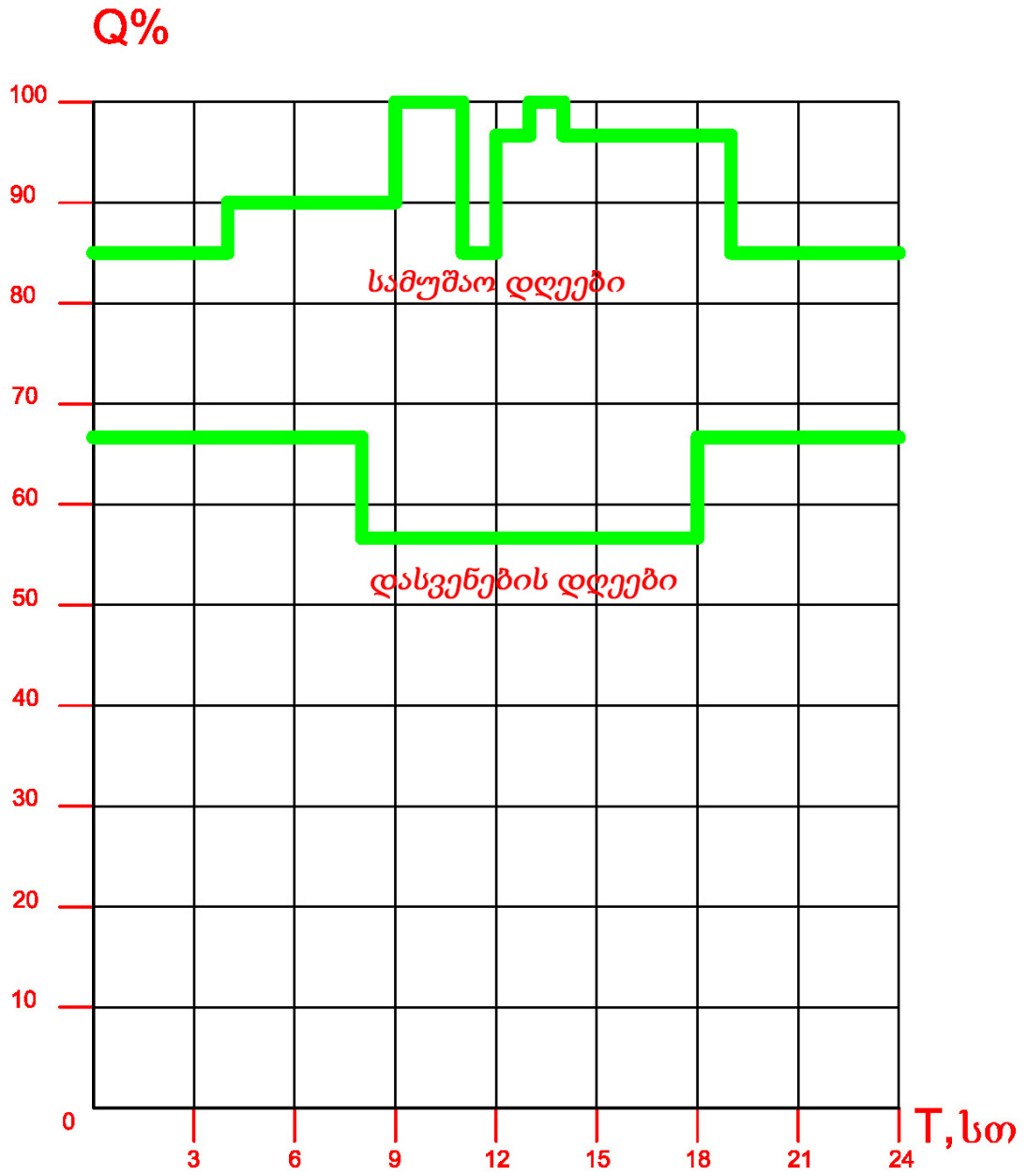
10. ქსელში განვითარებული არანორმალური რეჟიმების შედეგად კონდენსატორებში მოსალოდნელი დაზიანებებისგან დაცვისათვის, დამუშავებულია კომპენსატორის რელეური დაცვის სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია დაცვის კონტროლისა და მართვის Sepam-ისა და Mikom-ის თანამედროვე მიკროპროცესორულ მოწყობილობებზე. ამასთან ერთად, მაღალი რიგის ჰარმონიკების კონდენსატორებზე ნეგატიური ზეგავლენის შემცირების მიზნით, შედგენილია ბლოკ-სქემა.



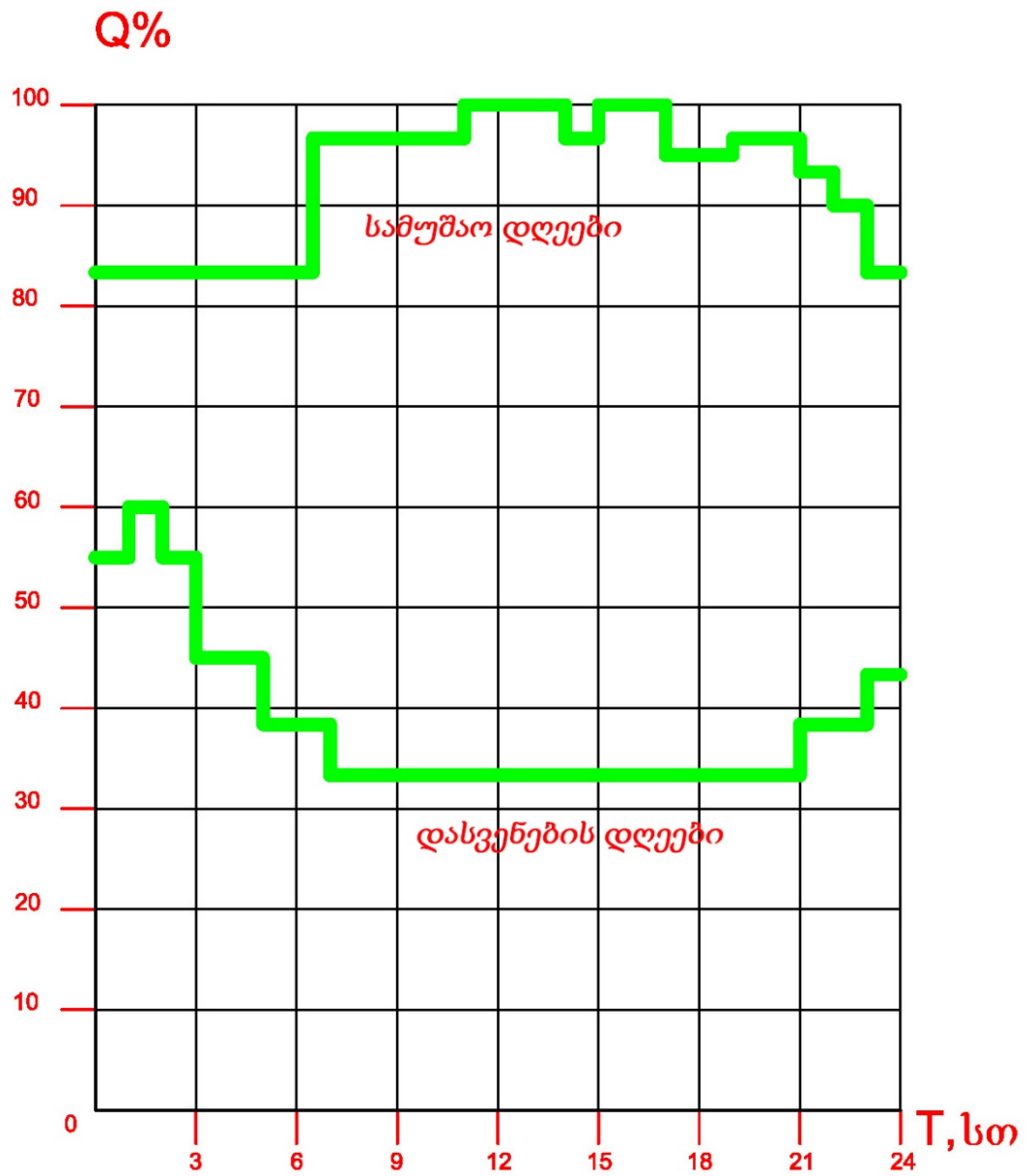
ჩარხმშენებელი ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გრაფიკი



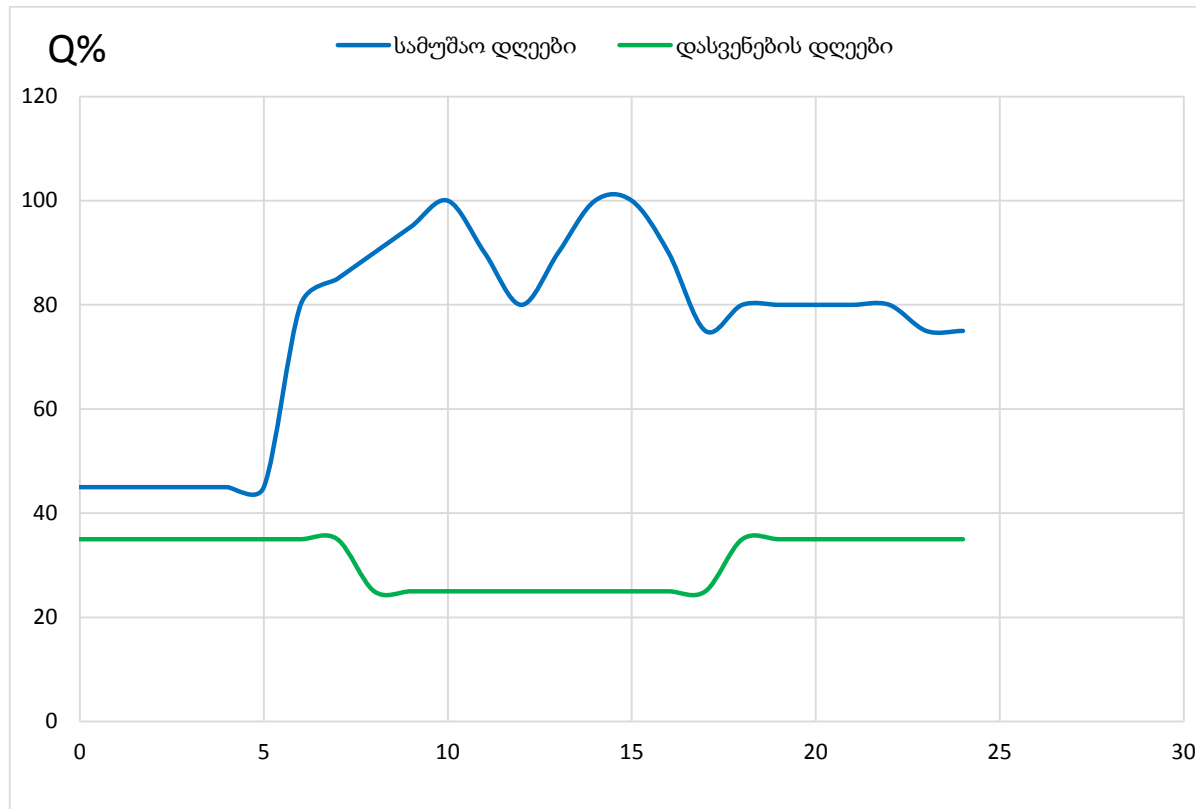
სარემონტო ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი
გრაფიკი



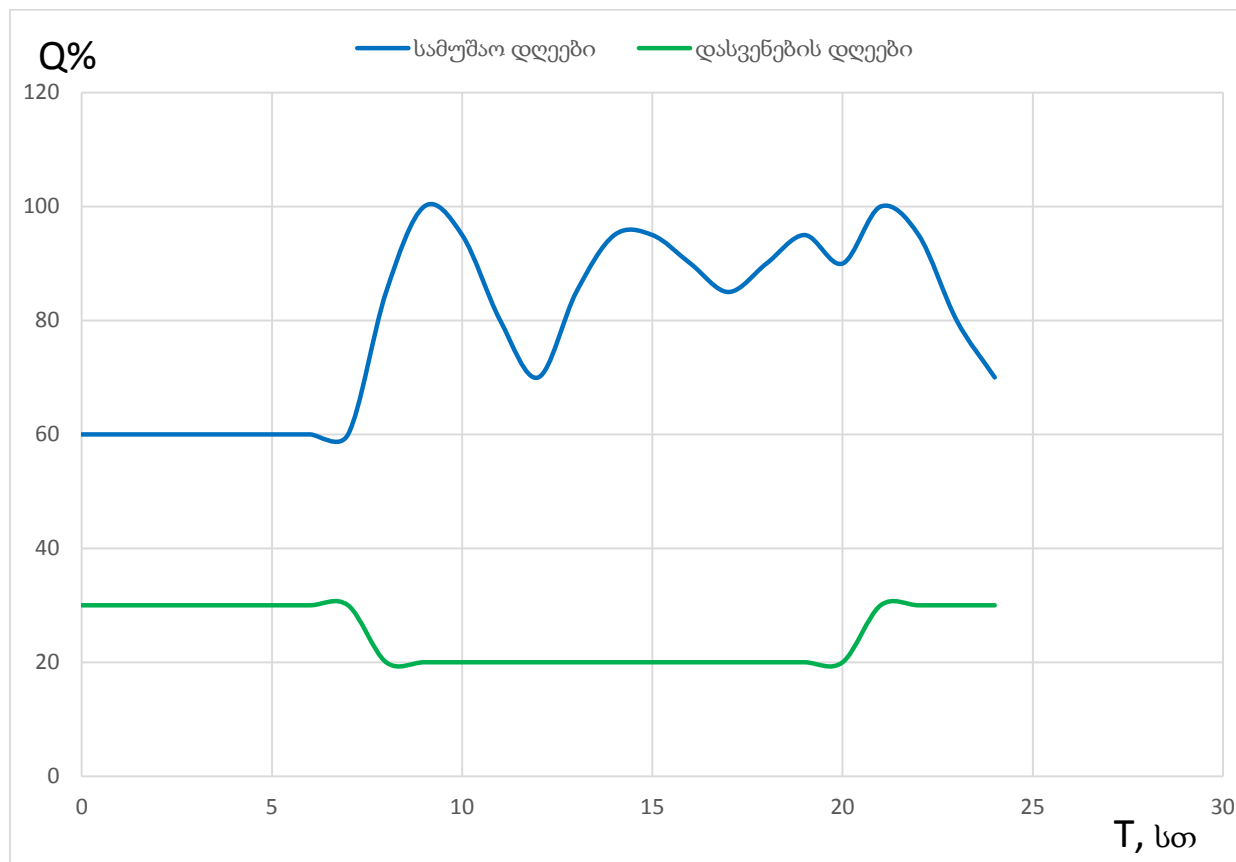
ქიმიური ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გრაფიკი



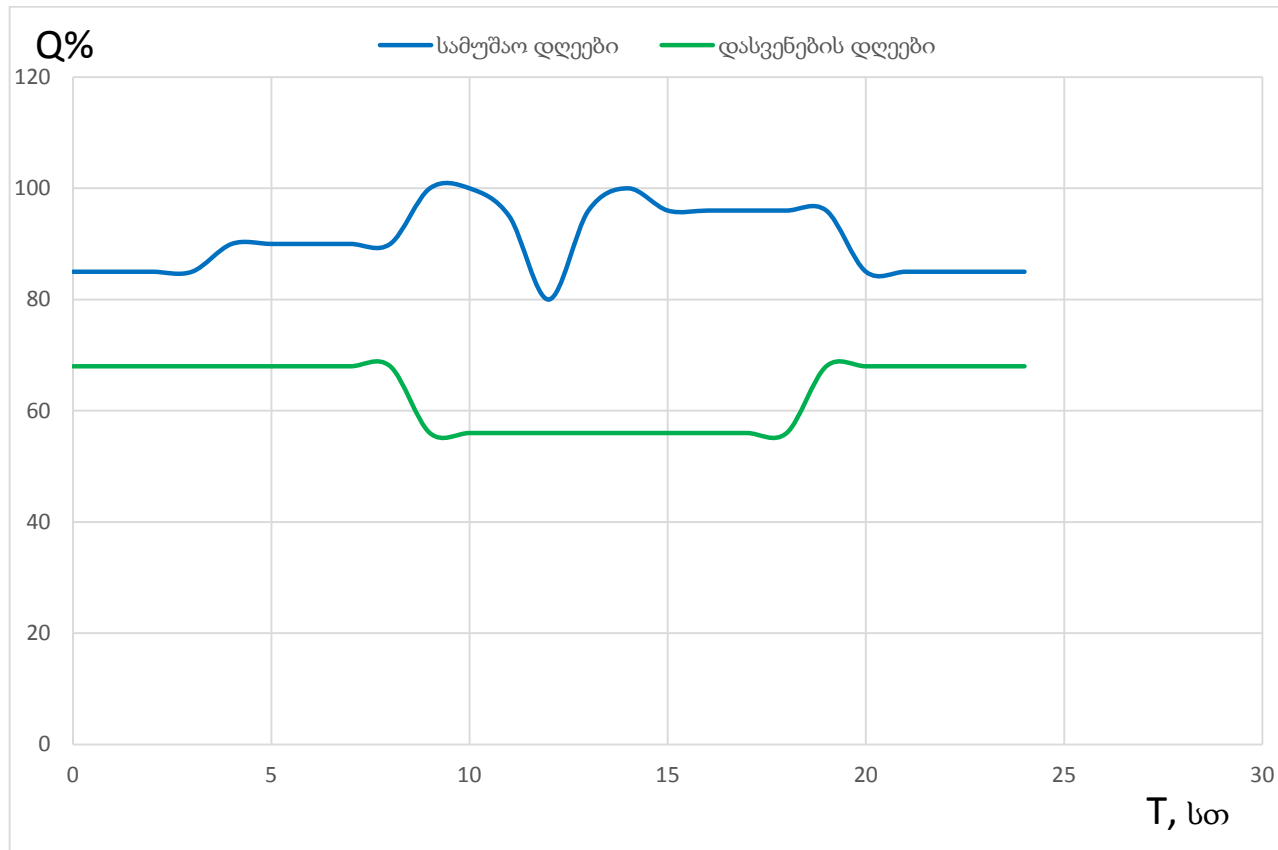
მსუბუქი მრეწველობის ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის
საფეხუროვანი გრაფიკი



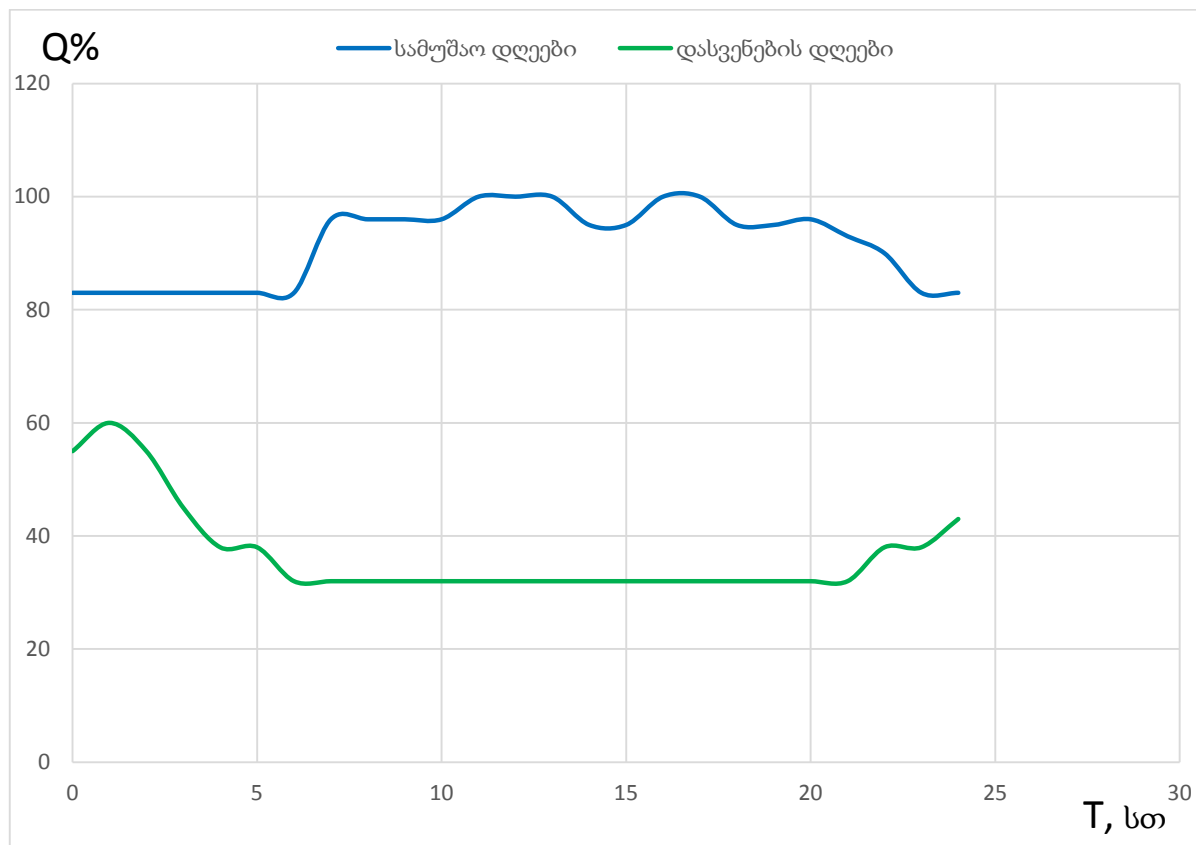
ჩარხსაშენებელი ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი



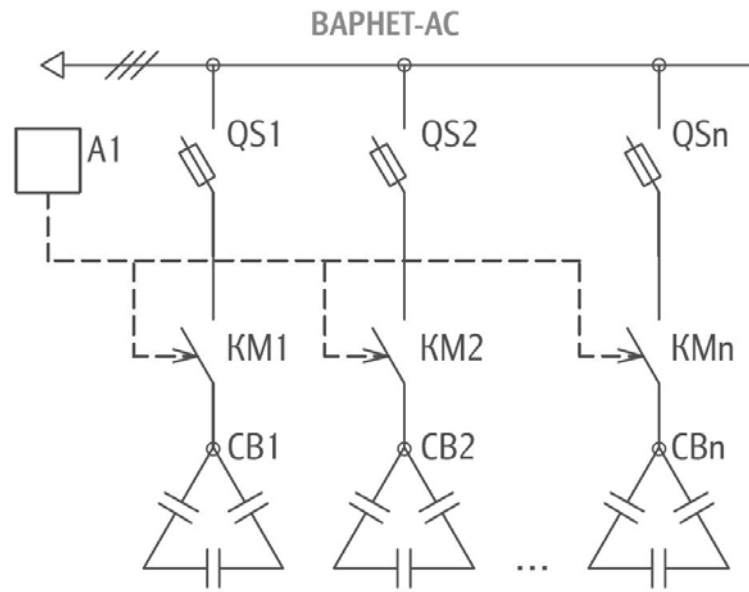
სარემონტო ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი



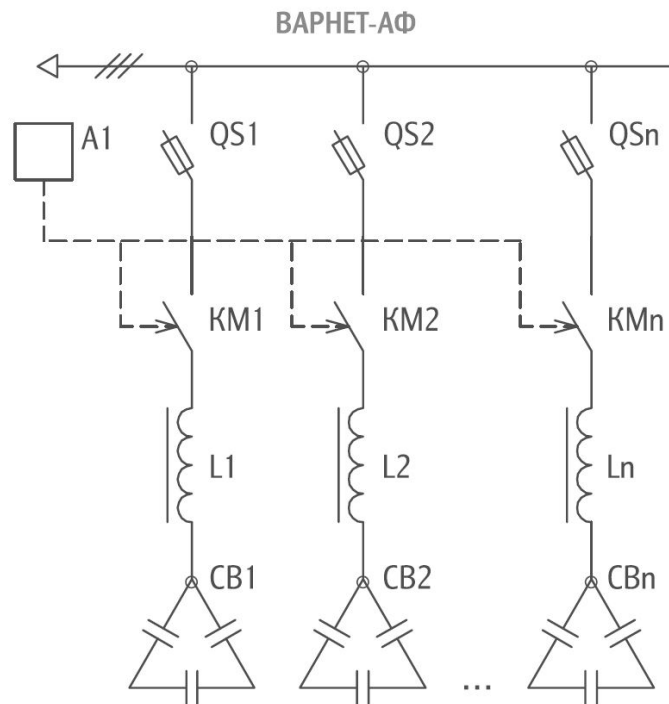
ქიმიური ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი



მსუბუქი მრეწველობის ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი



ა)



ბ)

რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი ავტომატური რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის ძალური ნაწილის ცალხაზოვანი სქემა:

ა) ფილტრების გარეშე, ბ) ფილტრებით

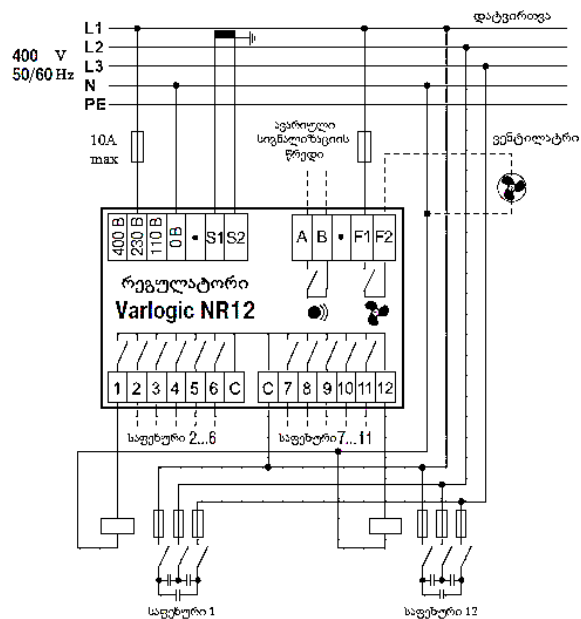
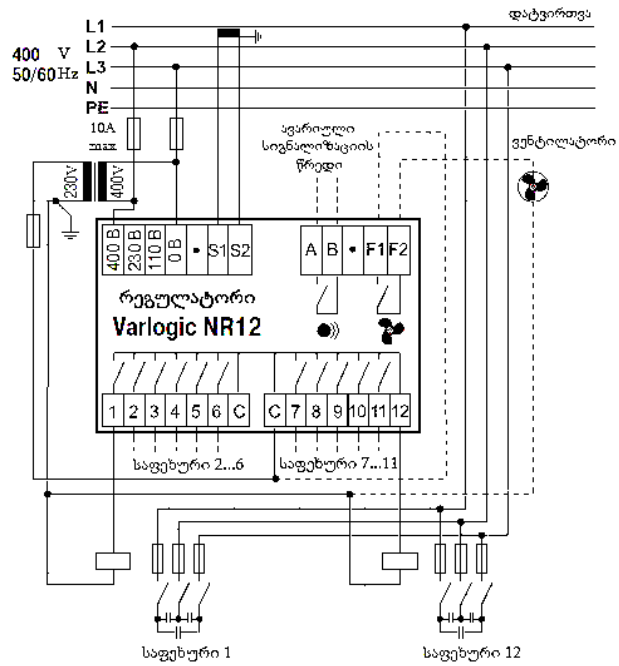
რეგულირების საფეხურები (სიმძლავრე პ.ე.)	რეგულატორის ამოქმედებული გამომსვლელების რაოდენობა											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1.1.1.1.1....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.1.2.2.2.2....	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
1.2.2.2.2.2....	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
1.1.2.3.3.3....	1	2	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
1.2.3.3.3.3....	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
1.1.2.4.4.4....	1	2	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1.2.3.4.4.4....	1	3	8	10	14	18	22	26	30	34	38	42
1.2.4.4.4.4....	1	3	7	11	15	18	23	27	31	35	39	43
1.2.3.6.6.6....	1	3	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
1.2.4.8.8.8....	1	3	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79

რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის რეგულირების საფეხურთა შესაძლო რაოდენობა (კომბინაცია)

ცხრილი 3

კომპენსაციამდე		გასაკომპენსირებელი სიმძლავრე კვარ-ში ერთ კვტ დატვირთვაზე სასურველიმედების მისაღწევად													
		tgφ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.4	0.36	0.33	0.29	0.25	0.2	0.14	0.08
tgφ	cos φ	cos φ	0.8	0.86	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
1.33	0.6	0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334	
1.3	0.61	0.549	0.699	0.815	0.843	0.87	0.904	0.936	0.97	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299	
1.27	0.62	0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.87	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265	
1.23	0.63	0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.87	0.904	0.942	0.982	1.03	1.091	1.233	
1.2	0.64	0.45	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.2	
1.17	0.65	0.419	0.569	0.685	0.713	0.74	0.774	0.806	0.84	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169	
1.14	0.66	0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138	
1.11	0.67	0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.996	1.108	
1.08	0.68	0.329	0.478	0.595	0.623	0.65	0.684	0.716	0.75	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079	
1.05	0.69	0.299	0.449	0.565	0.593	0.62	0.654	0.686	0.72	0.758	0.798	0.84	0.907	1.049	
1.02	0.7	0.27	0.42	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.02	
0.99	0.71	0.242	0.392	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.85	0.992	
0.96	0.72	0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.6	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963	
0.94	0.73	0.186	0.336	0.452	0.48	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936	
0.91	0.74	0.159	0.309	0.425	0.453	0.48	0.514	0.546	0.58	0.618	0.658	0.7	0.767	0.909	
0.88	0.75	0.132	0.282	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.74	0.882	
0.86	0.76	0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.46	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855	
0.83	0.77	0.079	0.229	0.345	0.373	0.4	0.434	0.466	0.5	0.538	0.578	0.62	0.687	0.829	
0.8	0.78	0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.44	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803	
0.78	0.79	0.026	0.176	0.292	0.32	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776	
0.75	0.8		0.15	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.75	
0.72	0.81		0.124	0.24	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724	
0.7	0.82		0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698	
0.67	0.83		0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.53	0.672	
0.65	0.84		0.046	0.162	0.19	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645	
0.62	0.85		0.02	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.62	
0.59	0.86			0.109	0.14	0.167	0.198	0.23	0.264	0.301	0.343	0.39	0.45	0.593	
0.57	0.87			0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567	
0.54	0.88			0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538	
0.51	0.89			0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.23	0.262	0.309	0.369	0.512	
0.48	0.9				0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484	

რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის სიმძლავრის შერჩევის ცხრილი



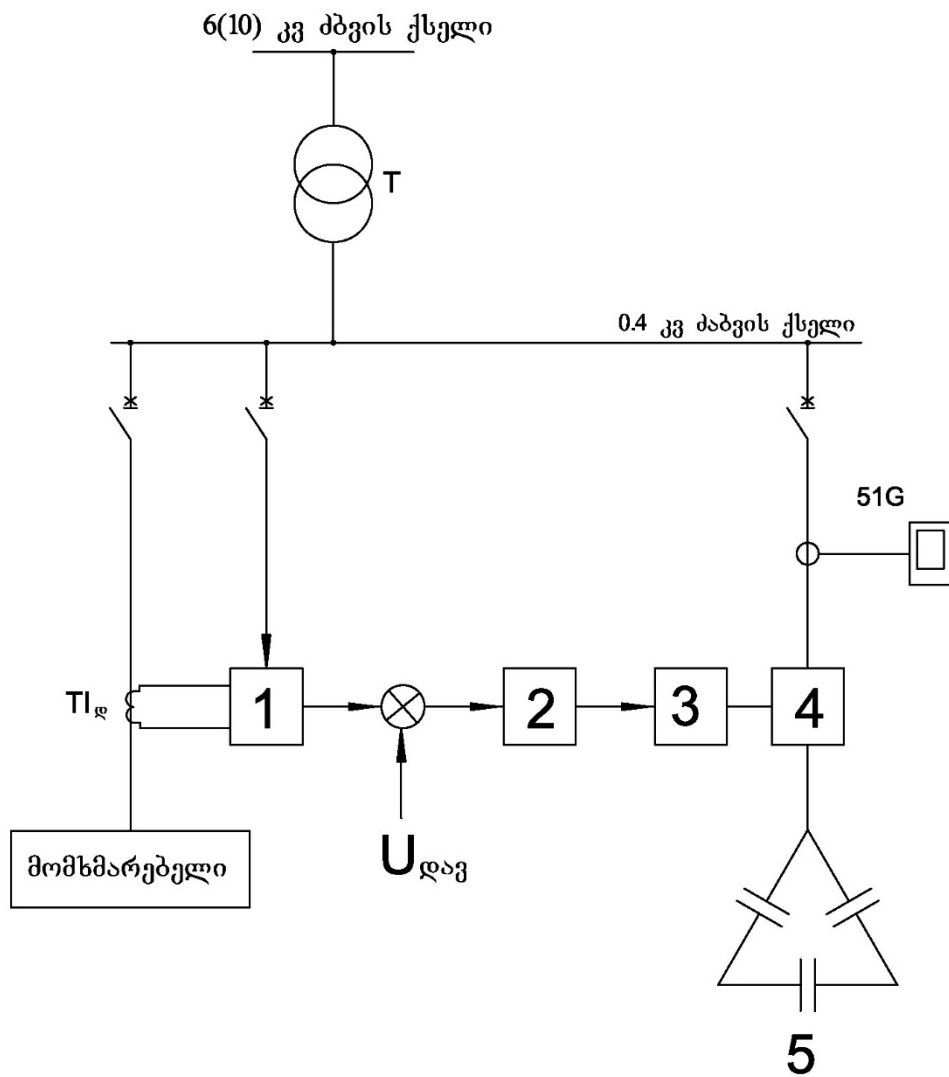
ფრანგული კომპანია „შნიდერ ელექტრიკის“ მიერ წარმოებულ 0,4 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობების „Varpact CLASSIC“ – ის, „Varpact COMFORT“ – ისა და „Varpact HARMONY“ – ის მოდულების „Valogic“ ტიპის რეგულატორის შეერთების სქემები

Varpact CLASSIC (400V)		
Gh/S _T < 15 %		
Q, კვარ	საფეხურთა რაოდენობა	წონა, კგ
12.5	ერთი	9
25	ერთი	10
30	ერთი	10
40	ერთი	10
45	ერთი	12
50	ერთი	12
60	ერთი	13
80	ერთი	14
90	ერთი	14.5
100	ერთი	14.5
120	ერთი	16
6.25+12.5	ორი	10.5
12.5+12.5	ორი	10.5
10+20	ორი	10.5
15+15	ორი	10.5
20+20	ორი	10.7
15+30	ორი	10.7
30+30	ორი	13.7
20+40	ორი	13.7
25+50	ორი	14.5
30+60	ორი	14.5
40+40	ორი	14.5
45+45	ორი	154.5
50+50	ორი	16
40+80	ორი	16
60+60	ორი	16

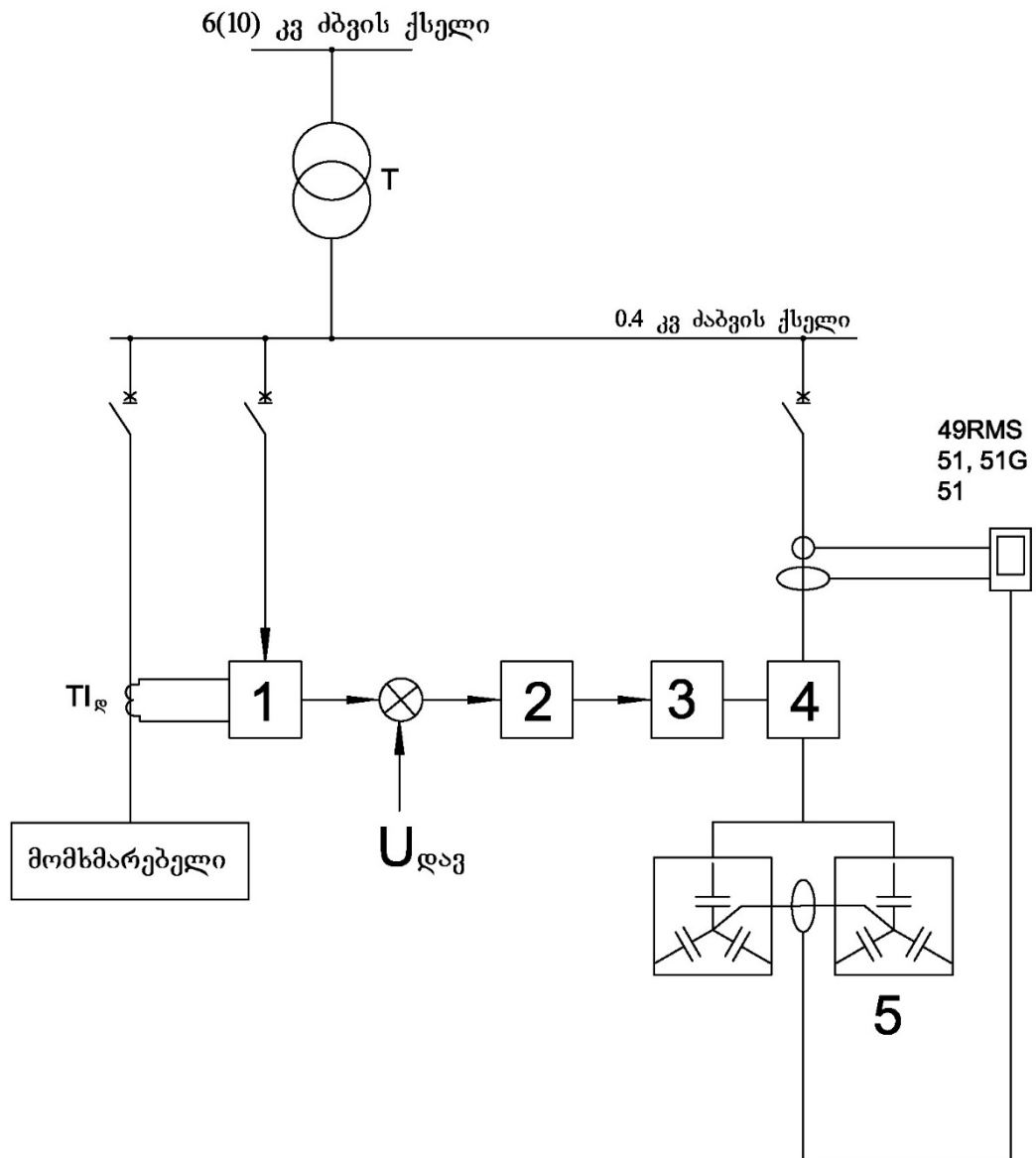
რეაქტიული სიმძლავრის „Varpact CLASSIC“ ტიპის საკომპენსაციო დანადგარის რეგულირების საფეხურთა რაოდენობა და სიმძლავრეები

Varpact COMFORT (400V)			
15% < Gh/ST □ 25 %			
Q, კვარ	საფეხურთა რაოდენობა		წონა, კგ
15	ერთი		9
20	ერთი		10
25	ერთი		10
30	ერთი		10
35	ერთი		12
45	ერთი		12
60	ერთი		13
70	ერთი		14.5
90	ერთი		15
15+15	ორი		10
15+30	ორი		12.7
15+45	ორი		13.7
30+30	ორი		14.5
30+60	ორი		16.5
45+45	ორი		16.5
Varpact HARMONY (400V)			
25% < Gh/ST □ 50 %			
სიხშირე	Q, კვარ	საფეხურთა რაოდენობა	წონა,კგ
2.7 (135 ჰც)	6.25+6.25	ორი	23
	6.25+12.5	ორი	31.5
	12.5+12.5	ორი	38.5
	12.5	ერთი	23.5
	25	ერთი	35.5
	50	ერთი	46.5
3.8 (190 ჰც)	6.25+6.25	ორი	21.5
	6.25+12.5	ორი	30
	12.5+12.5	ორი	37
	12.5	ერთი	22
	25	ერთი	34
	50	ერთი	45
4.3 (215 ჰც)	6.25+6.25	ორი	21.5
	6.25+12.5	ორი	30
	12.5+12.5	ორი	37
	12.5	ერთი	22
	25	ერთი	34
	50	ერთი	45

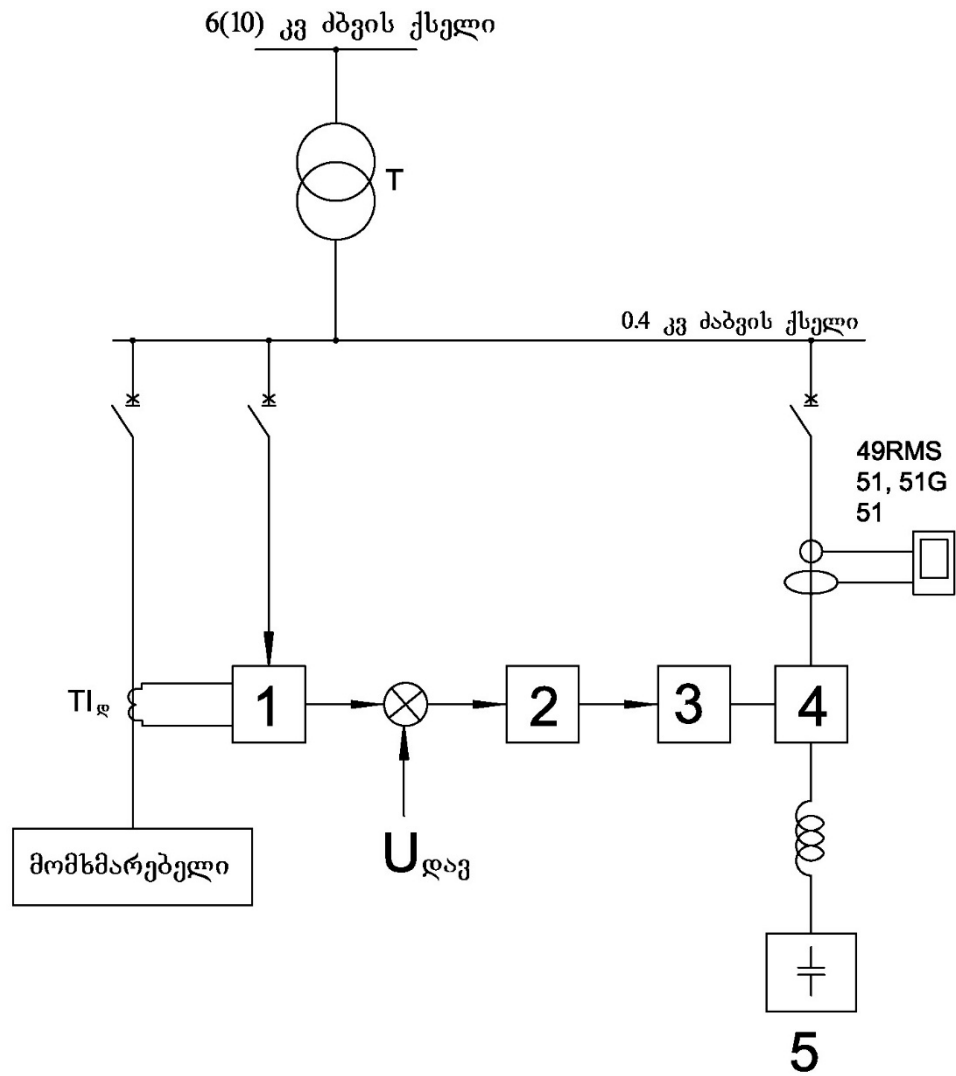
რეაქტიული სიმძლავრის „Varpact COMFORT“ და “Varpact HARMONY” ტიპის საკომპენსაციო დანადგარის რეგულირების საფეხურთა რაოდენობა და სიმძლავრეები



რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარის
 “სამკუთხედით” შეერთებული კონდენსატორული ბატარეის დაცვის
 სტრუქტურული სქემა



რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარის “ორმაგი ვარსკვლავით” შეერთებული კონდენსატორული ბატარეის დაცვის სტრუქტურული სქემა



რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარის
კონდენსატორული ბატარეის მაღალი რივის ჰარმონიკების ფილტრით
დაცვის სტრუქტურული სქემა

დანართი 18

ცხრილი 6

კენტი ჰარმონიკები, არჯერადი სამის				კენტი ჰარმონიკები, სამის ჯერადი				ლუწი ჰარმონიკები			
ჰარმონიკის რიგი h	დმ	სმ	მმ	ჰარმონიკის რიგი h	დმ	სმ	მმ	ჰარმონიკის რიგი h	დმ	სმ	მმ
5	6	6		3	5	2,5	1,5	2	2	1,5	1,5
7	5	5		9	1,5	1,5	1	4	1	1	1
11	3,5	3		15	0,3	0,3	0,3	6	0,5	0,5	0,5
13	3	3,5		21	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,5	0,5
17	2	2		>21	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,5	0,5
19	1,5	1,5						12	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1						>12	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1									
>25	0,2 +25/ h	0,2 +25/ h	0,1 +25/ h								

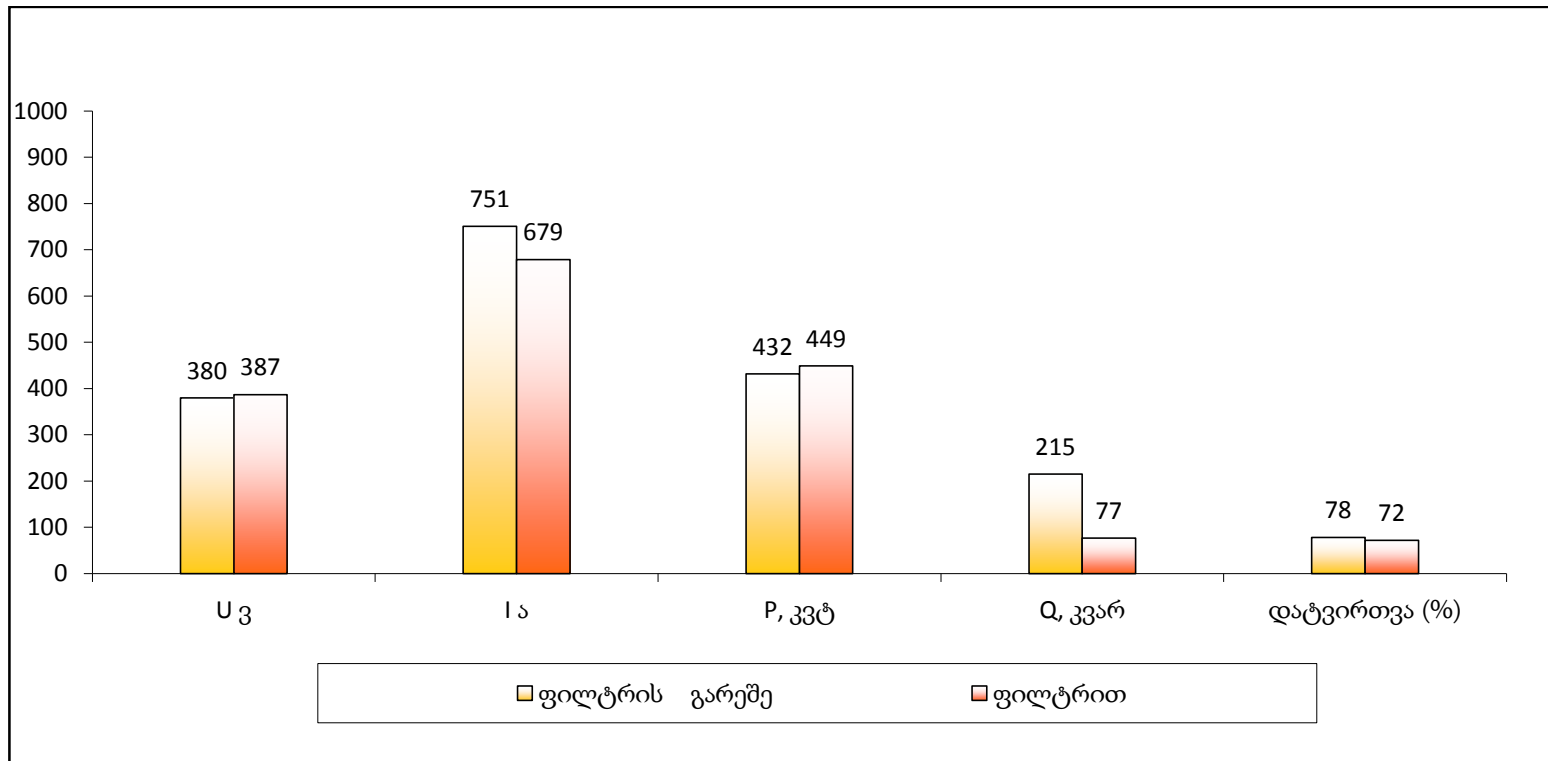
ჰარმონიკების მაქსიმალური დასაშვები დონეები

ცხრილი 7

ელექტრომწყობილობები	ჰარმონიკების ზეგავლენის შედეგები
ელექტროძრავები	მომატებული ხმაური და ვიბრაცია მუშაობის დროს, ზედმეტად გადახურება
კონდენსატორული ბატარეა	ზედმეტედ გადახურება, იზოლაციის გარღვევა, მცველების გადაწვა
დამცავი მაწყობილობები	ცრუ ამოქმედება, უმოქმედობა
საზომი ხელსაწყოები	უზუსტობა, შეცდომები ანაზომებში
ტრანსფორმატორები და რეაქტორები	ზედმეტედ გადახურება
ვატომატური ამომრტველები	ხარვეზები მუშაობაში
ტელეფონები	ხმაური შუშუნი
საკაბელო ხაზები და ეგხ	ზედმეტედ გადახურება
ელექტრული ხელსაწყოები	მონეცემების გადამუშავებისას და გადაცემის დროს ხარვეზები, გადამეტაბვა ან ძაბვის უკმარისობა(სიმცირე), მონიტორების ციმციმი
ნათურები	ციმციმი, საექსპლუატაციო ვადის შემცირება

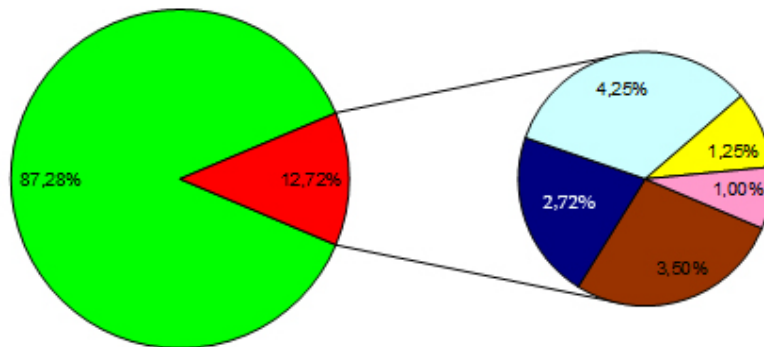
მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა ელექტრომძრავების ქსელის ელემენტებზე

ქსელის მახასიათებლების ფილტრით და ფილტრის გარეშე



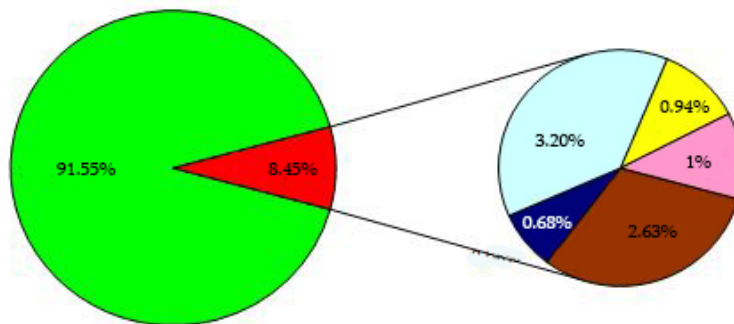
მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრების გამოყენების შედეგები

დანაკარგები სამფაზა ქსელში ფილტრის გარეშე



- აქტიური ენერჯია დანაკარგების გარეშე
- ტრანსფორმატორებში ცვლადი დანაკარგები
- ჰარმონიკული დანაკარგები
- მანაწილებელი ქსელები
- მკვებავი ხაზები
- ტრანსფორმატორებში მუდმივი დანაკარგები

დანაკარგები სამფაზა ქსელში ფილტრით



- აქტიური ენერჯია დანაკარგების გარეშე
- ტრანსფორმატორებში ცვლადი დანაკარგები
- ჰარმონიკული დანაკარგები
- მანაწილებელი ქსელები
- მკვებავი ხაზები
- ტრანსფორმატორებში მუდმივი დანაკარგები

16. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 2005100000, 2005. - 672 с.
17. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 2010100000, 2010. - 3 с.
18. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № RU 2 420 848 C1, 10.06.2011, № 16, № 2010123772/07, 10.06.2010.
19. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № RU 2 368 051 C1, 20.09.2009, № 2008110451/09, 18.03.2008.
20. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № RU 2 280 934 C1, 27.07.2006, № 21, № 2005109016/06, 30.03.2005.
21. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 2009100000, 2009. - 72 с.
22. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 2007100000, 2007. - 2. - 16-23.
23. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № Schneider Electric L, 2009, № 331-356.
24. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № Schneider Electric M, 2009, № 357-376.
25. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 400/415-50 // Schneider Electric, 2007, № 52.
26. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № RU 2 453 964 C2, 20.10.2011, № 29, № 2010113467/07, 06.04.2010.
27. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № Schneider Electric, № 22, 2008, № 32.
28. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № Schneider Electric, № 30, 2009, № 48.
29. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № Schneider Electric, № 1, 2006 -73 с.
30. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 1987, 1987.
31. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № 1981, № 624 с.
32. Патент на изобретение «Способ определения параметров сигнала в системе связи», № RU 2 394 355 C1, 10.07.2010, № 19, № 2009108600/09, 10.03.2009.

