

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფრიდონი ახალაძე

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივნისი, 2015 - წელი

საავტორო უფლება © 2015 - წელი, ფრიდონი ახალაძე

თბილისი  
2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი  
ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: გურამ მახარაძე

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება 2015 წლის ”-----” -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და  
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ახალაძე ფრიდონის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: გურამ მახარაძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015 წელი

ავტორი: ახალაძე ფრიდონი  
დასახელება: „რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალრი კომპენსაცია“  
ფაკულტეტი : „ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის“  
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი  
სხდომა ჩატარდა: თარიღი

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

მანაწილებელ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა სისტემური ხასიათის ამოცანაა და მისი ამოხსნა ხორციელდება სისტემური მიდგომის მეთოდით, რომლის კრიტერიუმს წარმოადგენს ელექტროგადაცემის ქსელში ჯამური დანახარჯების მინიმიზაცია.

საბაზრო ეკონომიკის პრინციპის შესაბამისად, ელექტროგადაცემის ქსელი დაყოფილია ნომინალური ძაბვისა და დანიშნულების მიხედვით და სხვადასხვა კომპანიის კუთვნილებას წარმოადგენს. თითოეული კომპანიის დაინტერესების საგანს წარმოადგენს მის კუთვნილებაში არსებული გადაცემის ქსელის მუშაობის მაღლეფექტურობა. ამ მიზნის მისაღწევად, ხშირ შემთხვევებში, ეკონომიურად მიზანშეწონილი აღმოჩნდება ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია. მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური სიმძლავრისა და ქსელში მისი განთავსების ადგილის დადგენა, როგორც ავლნიშნეთ, სისტემური ხასიათის ამოცანაა და ამდენად, იგი კონკრეტული კომპანიის არეალის ფარგლებს გარეთ გადის. ასეთ შემთხვევაში, დაინტერესებულ კომპანიათა ურთიერთ შეთხმების საფუძველზე შესაძლებელია ამოხსნილი იქნეს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანათა სისტემური მიდგომის მეთოდის მოდიფიცირებით, რომელიც გაითვალისწინებს თანადაფინანსების პრინციპს.

მკვებავი ქსელი (მაღალი ძაბვის ქსელი) მოცემულ კონკრეტულ სადაბლებელ ქვესადგურში, ამ ქვესადგურთნ მიერთებულ მანაწილებელ ქსელში დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე, არამიზანშეწონილად მიიჩნევს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას. თუმცა ამ მანაწილებელ ქსელში, მკვებავი ქსელის გათვალისწინების გარეშე, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკონომიურად მიზანშეწონილია. აქვე ნაჩვენებია პირიქითი შემთხვევაც. კერძოდ, მკვებავი ქსელი. სხვა სადაბლებელი

ქვესადგურის მანაწილებელ ქსელში მიზანშეწონილად მიიჩნევა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას, ხოლო თვითონ მანაწილებელი ქსელი კი მისი ინტერესებიდან გამომდინარე, არ მიიჩნევა მიზანშეწონილად ასეთ გადაწყვეტილებას. ასათი სახის წინააღმდეგობრივი სიტუაცია შესაძლებელია დარეგულირებული იქნეს ე.წ. თანადაფინანსების პრინციპის საფუძველზე.

თანადაფინანსების პრინციპი გულისხმობს მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ხარჯები განაწილებული იქნეს კომპანიათა შორის თავიანთ ქსელებში მიღებული ეკონომიური ეფექტის შესაბამისად.

ნაშრომის პირველ თავში გაანალიზებულია ცვლადი დენის წრედში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესები და ელექტრულ სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის თავისებურებანი, როგორც აქტიური სიმძლავრის გადაცემის თანმდევი მოვლენა. რეაქტიული სიმძლავრე პრაქტიკულად მოხერხებული ფორმაა ცვლადი დენის წრედში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზის თვალსაზრისით.

ნაშრომის მეორე თავში განხილულია ინდუქციურ, ტევადურ ელემენტებსა და დენის წყაროებს შორის რეაქტიული სიმძლავრის მიმოცვლის დროს, ქსელში აქტიური სიმძლავრის დამატებითი დანაკარგები. გამოყენებულია ელექტრული ქსელის განსახილველი კვანძის მიმართ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ცნება.

ნაშრომის მესამე თავში განხილულია ელექტრული სისტემის იერარქიულობა და რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნისადმი მიდგომის თავისებურება. აქ ენერგოსისტემის ვერტიკალური იერარქიული სტრუქტურის მიხედვით შედგენილი ჩანაცვლების ერთიანი სქემის გათვალისწინებით ისმება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის გლობალური ამოცანა და გამოკვლეულია ამ ამოცანის დეკომპოზიციის შესაძლებლობა, რაც საშუალებას გვაძლევს პრობლემა განხილულ იქნეს ცალკეული, შედარებით მარტივი, ლოკალური ამოცანების სახით.

ნაშრომის მეოთხე თავში დადგენილია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის გლობალური ამოცანის გამარტივების საფუძვლები. შემოთავაზებულია მეთოდი, რომლის მიხედვით ელექტრულ სისტემაში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა ამოიხსნება ორ ეტაპად. კერძოდ: პირველი, სისტემური მიდგომის მეთოდით დადგინდება რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის დონე მკვებავი ქსელის სამომხმარებლო კვანძებში, რაც ამ მკვებავი ქსელისთვის იქნება ოპტიმალური; მეორე, ამოიხსნება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა მოცემულ მანაწილებელ ქსელში მხოლოდ ამ ქსელის შესახებ ინფორმაციის საფუძველზე და საბოლოო გადაწყვეტილების მიღებისას გათვალისწინებული იქნება პირველ ეტაპზე მიღებული შედეგები.

ნაშრომის მეხუთე თავი მთლიანად ეძღვნება მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების ინტერესთა ურთიერთგათვალისწინებას რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას.

მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების განსხვავებული ინტერესებიდან გამომდინარე, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სიდიდეც განსხვავებულია, შემუშავებულია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნის ისეთი მეთოდიკა, რომელიც ამ განსხვავებულ ინტერესებს ურთიერთ შეათანხმებს და გლობალური მასშტაბით მაქსიმალურ ეფექტს მოგვცემს.

ჩატარებულია გამოთვლები და ამ გამოთვლების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანადაფინანსების პრინციპი დაბალი ძაბვის ქსელების კომპანიებს აძლევს ეკონომიკურ სტიმულს თავიანთ ქსელში უფრო მაღალი აქტიურობით განხილონ რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრისა და განთავსების ადგილის შერჩევის ამოცანა.

## **Resume**

The problem of optimum reactive-power compensation is of a system nature, and its solving is made by using the method of systematic approach, the criterion of which is the minimization of aggregate expenses in power transmission networks.

According to the principle of market economy, the power transmission network is divided by nominal voltage and purpose, and represents the property of different companies. Each company's particular line is high operation efficiency of transmission network existing in its possession. To that end, in most cases, the reactive-power compensation in the network may be economically viable. Determination of optimal capacity of compensating device and its location in the network, as we have pointed out, is a problem of a system nature and so, it goes beyond the area of a particular company. In this case, on the basis of mutual agreement of interested companies, it is possible to solve the problems of optimum reactive-power compensation by modifying the method of systematic approach, which will envisage the self-financing principle.

Feeder network (high voltage network) in this given concrete lowering substation, in distributive network linked to this station without envisaging the loss, presumes to be unadvisable compensation of reactive load. Thus, this distributive network, without taking into consideration the feeder network, reactive load compensation is economically advisable. Here is also shown the opposite case too. For instance feeder network. In another lowering station it is advisable to compensation the reactive load, as for distribution network itself, from its interest, does not consider such a decision worthwhile. Such contradictory situation can be regulated based on so called co-financement principal.

The self-financing principle implies distribution of installment costs of compensating device among companies in accordance with own economic efficiency obtained by them in their networks.

In the first chapter of the work, it is analyzed the characteristics of ongoing energetic processes and reactive capacity of alternative current in electric system, as succeeding event of active capacity transmission. Reactive capacity is a practically



convenient form from the point of view of analyses of transition processes of alternative current.

In the second chapter of the work, it is discussed the additional loss of active capacity in the network during the reactive capacity exchange among inductive, capacitive elements and power sources. It is used relative increase commandment of active capacity loss towards the discussable node of electric network.

In the third chapter of the work it is discussed the hierarchy of electric system and peculiarities of approach of optimal compensation task solving of reactive load. According to vertical hierarchical structure of energy system here, considering the composed substitution of overall scheme the global task for optimal compensation of reactive load is being given and it is investigated the decomposition possibility for this task, which gives possibility to discuss the problem separately, by the help of comparatively simple, local tasks.

In the fourth chapter of the work it is set the fundamentals of simplification of global task of the reactive load compensation. It is proposed the method, according which, in the electric system, task of reactive optimal load compensation can be solved by two stages. First: by the help of systemic approach method it will be fixed the compensation level of reactive load in consumers' nodes of the feeder network, which will be optimal for this feeder network; the second: it will be solved the task of reactive optimal load compensation in the given distribution network, just based on the information of this network and while taking the final decision it will be envisaged the received results at the first stage.

In the fifth chapter of the work, is fully dedicated to mutual consideration of the interests of optimal compensation of reactive load of feeder and distributive network.

Considering the different interests of feeder and distributive network, the optimal compensation load volume is also different, it is elaborated the methodic of solving the task for optimal compensation of reactive load which will put into mutual agreement the different interests and will give the maximum effect by global scale.

The performed calculations and the analysis of their results show that the self-financing principle economically stimulates "the Low voltage network companies" to more actively consider the problem of the capacity of compensating device of the reactive power and selection of its location area.

# შინაარსი

შესავალი

თავი I

1. აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე ცვლადი დენის წედში
2. რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები
3. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას პრობლემის არსი სისტემური მიდგომის თვალსაზრისით
4. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნის არსებული მიდგომები

თავი II

5. ძაბვის ვარდნა ელექტრულ ქსელში
6. კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღმართა განსაზღვრის მეთოდოლოგია
7. სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში
8. აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი ელექტრულ ქსელში

თავი III

9. ელექტრული სისტემის იერარქიულობა
10. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის მათემატიკური მოდელი
11. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის დასმა
12. რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ოპტიმიზაციის განტოლებათა სისტემა
13.  $a$  პარამეტრის ფიზიკური არსი და მისი გავლენა რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ხარისხზე

თავი IV

14. რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხი და მაკომპენსირებელი დანადგარებით ქსელის აღჭურვილობის კოეფიციენტი

15. რეგიონულ ელექტრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია

თავი V

16. რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური კომპენსაციის

ახალი მეთოდის არსი

17. მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების ინტერესთა ურთიერთგათვალისწინება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას

18. მანაწილებელ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია თანადაფინანსების პრინციპით

## შესავალი

რეაქტიული სიმძლავრე პრაქტიკულად მოხერხებული ფორმაა ცვლადი დენის წრედში გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობის ანალიზის თვალსაზრისით.

რდგანაც მთელ რიგ შემთხვევებში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის უზრუნველსაყოფად საჭირო ხდება ქსელში მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება, ქსელის ესპლუატაციის პირობიდან გამომდინარე ისმება ამოცანა ამ დანადგარების მაღალ ეფექტურად გამოყენების თვალსაზრისით. ამ ამოცანის ამოხსნისათვის პირველ რიგში უნდა დადგინდეს რა მოვლენებთან გვაქვს საქმე ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემისას და რა გავლენას ახდენს მისი გადაცემა ელექტრომომხმარების სისტემის მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე.

როგორც ცნობილია რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა იწვევს ქსელის ელემენტების დატვირთვის გაზრდას და შესაბამისად ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგების დამატებით ზრდას. ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების გაზრდა იწვევს ელექტროსადგურებზე პირველადი ენერგორესურსების და შესაბამისად ფულადი და მატერიალური ხარჯების ზრდას. რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების ზრდა კიდევ უფრო ზრდის სისიტემის ჯამურ რეაქტიულ დატვირთვას, რაც მიუთითებს მასზე, რომ აუცილებელი ხდება რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი გენერაცია ელექტრომომარაგების სისტემაში მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენების გზით და შედეგად მინიმუმამდე დავიყვანოთ რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემას ქსელის ელემენტების გავლით.

აქტიური სიმძლავრის მოხმარების კვანძებში რეაქტიული სიმძლავრეს ძირითადად ინდუქციური ხასიათი გააჩნია, ე.ი. მოხმარება ინდუქციურ-რეაქტიული სიმძლავრე. ქსელის ელემენტების გავლით მისი გადადინების შემცირების მიზნით სამომხმარებლო კვანძებში გამოიყენება მაკომპენსირებელი დანადგარები, რომლებიც ამ შემთხვევაში წარმოადგენენ

კონდესატორთა სტატიკურ ბატარეას, სინქრონულ კომპენსატორებს და სხვ. ამასთან, კონდესატორთა სტატიკური ბატარეა ყოველთვის გასცემს ქსელში ინდუქციური ხასიათის რეაქტიულ სიმძლავრეს და იგი შეიძლება იყოს როგორც რეგულირებადი, ასევე არარეგულირებადი. სინქრონული კომპენსატორი კი აგზნების დენის ცვლილების ხარჯზე შეიძლება მუშაობდეს ინდუქციური სიმძლავრის როგორც მოხმარების, ასევე გენერაციის რეჟიმში.

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნას მიემდვნა მრავალი მკვლევარის შრომები და მათ მიერ შემოთავაზებულია ამოცანის ამოხსნის სხვადასხვა მეთოდი. ამ მეთოდებს შორის ყველაზე უფრო ზუსტ მეთოდს წარმოადგენს სისტემური მიდგომის მეთოდი, რაც გულისხმობს ელექტროსისტემის ყველა ძაბვის საფეხურის ქსელის ყველა ელემენტისა და ყველა სამომხმარებლო კვანძის გათვალისწინებას.

ეს მეთოდი, ფაქტიურად, უნივერსალურ მეთოდს წარმოადგენს, მაგრამ ერთი მხრივ ხასიათდება დიდი განზომილებით (ელექტროსისტემის ელემენტებისა და სამომხმარებლო კვანძების დიდი რიცხვი) და, მეორე მხრივ, საწყისი ინფორმაცია, შედარებით, დაბალი ხარისხისაა.

საწყისი ინფორმაციის ხარისხის ერთერთი მაჩვენებელია უტყუარობა ანუ სიზუსტე. რადგანაც ელექტრული სისტემის მანაწილებელი ქსელები (საშუალო და დაბალი ძაბვის ქსელები) ქვეყნის დიდ ტერიტორიაზე განფენილი, ზუსტი ინფორმაციის მოპოვება სუბიექტური თუ ობიექტური მიზეზების გამო გამძლეებულია და მოპოვებული ინფორმაცია არადეტერმინირებული და ცდომილების შემცველი ინფორმაციაა.

თანამედროვე საბაზრო ეკონომიკის პირობებში, ელექტრული სისტემა, მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების კუთვნილების მიხედვით, დაყოფილია მრავალ კერძო კომპანიებად. ამ კომპანიებიდან მანაწილებელი ქსელების მუშაობის რეჟიმებისა და მათი სახასიათო პარამეტრების შესახებ ინფორმაციის (მით უმეტეს ზუსტი ინფორმაციის) მოპოვება კიდევ უფრო

გამწელებულია და ზოგჯერ, შეუძლებელიც. აღნიშნულიდან გამომდინარე, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის განტოლებათა სისტემის ამონახსნი მაღალი ალბათობით ცდომილების შემცველია და ვერ პასუხობს ოპტიმიზაციის მოთხოვნებს. უფრო მეტიც, ცალკეული კომპანიების მიზნების, ამოცანებისა და ფინანსური შესაძლებლობის სხვადასხვაობის გამო, ვერ ხერხდება დროის მცირე მონაკვეთში (რამდენიმე წელიწადში მაინც) განვახორციელოთ რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მთელი სისტემის მასშტაბით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, დღის წესრიგში დგას რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სისტემური მიდგომის მეთოდი ჩავანაცვლოთ მეთოდით, რომელისთვისაც საკმარისი იქნება მხოლოდ მოცემული მანაწილებელი ქსელისა და მისი მკვებავი ქსელის შესახებ ადვილად მოპოვებადი ინფორმაციის გამოყენება. ამასთან, მანაწილებელ ქსელში ამ მეთოდით დადგენილი რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის დონე ადეკვატურად უპასუხებს დასმულ ამოცანას. ე.ი. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის გლობალური ამოცანა (სისტემური მიდგომის ამოცანა) დავიყვანოთ ცალკეული მანაწილებელი ქსელის ლოკალურ ამოცანებამდე.

ქსელში ნებისმიერი სახის მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება მოითხოვს დამატებით კაპიტალდაბანდებას და შესაბამის ყოველწლიურ საექსპლუატაციო ხარჯებს. წინამდებარე ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ მკვებავი ქსელი (მაღალი ძაბვის ქსელი) მოცემულ კონკრეტულ სადაბლებელ ქვესადგურში, ამ ქვესადგურთან მიერთებულ მანაწილებელ ქსელში დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე, არამიზანშეწონილად მიიჩნევა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას. თუმცა ამ მანაწილებელ ქსელში, მკვებავი ქსელის გათვალისწინების გარეშე, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკონომიურად მიზანშეწონილია. აქვე ნაჩვენებია პირიქითი შემთხვევაც. კერძოდ, მკვებავი ქსელი. სხვა სადაბლებელი ქვესადგურის მანაწილებელ ქსელში მიზანშეწონილად მიიჩნევა

რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას, ხოლო თვითონ მანაწილებელი ქსელი კი მისი ინტერესებიდან გამომდინარე, არ მიიჩნევს მიზანშეწონილად ასეთ გადაწყვეტილებას. ასათი სახის წინააღმდეგობრივი სიტუაცია შესაძლებელია დარეგულირებული იქნეს ე.წ. თანადაფინანსების პრინციპის საფუძველზე.

## თავი I

### 1.1. აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრე ცვლადი დენის წედში

ცვლადი დენის წედში მყისი სიმძლავრე  $p = ui$  წარმოადგენს დროის ფუნქციას რომელიც ამ წედის ცალკეულ უბნებზე მყისი სიმძლავრეების ჯამის ტოლია

$$p = ui = p_r + p_L + p_c = i^2 r + \frac{d}{dt}(W_{\text{მაგნ}}) + \frac{d}{dt}(W_{\text{ელ}}),$$

სადაც:

- სიმძლავრე  $p_r = i^2 r$  ხასიათდება მუდამ დადებითი მნიშვნელობით და წარმოადგენს ენერგიის მოხმარების შეუქცევად პროცესს. მას აქტიურ სიმძლავრეს უწოდებენ;

- სიმძლავრე  $p_L = \frac{d}{dt}(W_{\text{მაგნ}})$ , როცა  $p_L > 0$  განსაზღვრავს ქსელის ინდუქციური ელემენტის მაგნიტურ ველში ენერგიის შემოსვლის სიჩქარეს და როცა  $p_L < 0$  ამ ველიდან წყაროში ენერგიის დაბრუნების სიჩქარეს.  $p_L$  სიმძლავრის ინდუქციურ-რეაქტიულ სიმძლავრეს უწოდებენ;

- სიმძლავრე  $p_c = \frac{d}{dt}(W_{\text{ელ}})$  როცა  $p_c > 0$  განსაზღვრავს კონდესატორულ ელემენტის ელექტრულ ქსელში ენერგიის შემოსვლის სიჩქარეს და როცა  $p_c < 0$  ამ ველიდან წყაროში ენერგიის შემოსვლის სიჩქარეს.  $p_c$  სიმძლავრეს ტევადურ-რეაქტიულ სიმძლავრეს უწოდებენ.

როგორც ელექტროტექნიკიდანაა ცნობილი ელექტრული წედის ცალკეულ უბნებზე მყისი სიმძლავრეები გამოითვლება ფორმულებით.

აქტიური სიმძლავრე

$$p_r = u_r \cdot UI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) \quad (1.1)$$

ინდუქციურ რეაქტიული სიმძლავრე

$$p_L = u_L i = U_L I \sin 2\omega t$$

ტევადურ - რეაქტიული სიმძლავრე

$$p_c = u_c i = U_c I \sin 2\omega t$$

ანუ რეაქტიული სიმძლავრე



$$p_x = p_L + p_c = UI \sin \varphi \sin 2\omega t. \quad (1.2)$$

მთელი წრედის მომჭერებზე მყისი სიმძლავრე გამოითვლება ფორმულით

$$p = p_r + (p_L + p_c) = p_r + p_x = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi). \quad (1.3)$$

მოყვანილი გამოსახულებიდან ჩანს, რომ პერიოდის განმავლობაში აქტიური სიმძლავრე

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P_r dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI \cos \varphi dt = UI \cos \varphi$$

ე.ი

$$P = UI \cos \varphi, \quad (1.4)$$

იმავე პერიოდის განმავლობაში რეაქტიული მყისი სიმძლავრე ირხევა  $2\omega$  კუთხური სიხშირით და რხევის ამპლიტუდა რეაქტიული სიმძლავრის აბსოლიტური მნიშვნელობის ტოლია

$$Q = UI \sin \varphi \quad (1.5)$$

წრედის სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა

$$P_{საშ} = UI \cos \varphi \quad (1.6)$$

და ამ საშუალო მნიშვნელობის მიმართ მიმდინარეობს მყისი სიმძლავრის ხევა  $UI$  ამპლიტუდით.

ენერგეტიკული პროცესი, რომელიც მიმდინარეობს დენის პირველნახევარ პერიოდში, როცა დენი იზრდება ნულიდან თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე. დროის ამ ინტერვალში ენერგია გროვდება წრედის ინდუქციურ წინაღობაში, ხოლო კონდესატორში დაგროვილი ენერგია ბრუნდება უკან და გადადის ინდუქციური ელემენტის მაგნიტური ველის ენერგიაში. ამ პერიოდში მიმდინარეობს კონდესატორის განმუხტვა. რადგანაც, ჩვენს შემთხვევაში  $\omega L > \frac{1}{\omega c}$  და შესაბამისად  $p_L > p_c$ , წყაროდან ინდუქციურ ელემენტში შედის დამატებითი ენერგია. წყაროდან წრედში შემოდის აგრეთვე ენერგია, რომელიც მოიხმარება წრედის აქტიური წინაღობის მიერ.

როცა წრედში დენი მცირდება და ინდუქტივობის მაგნიტური ველიდან ენერგია ბრუნდება უკან, რომლის ნაწილი გადადის ტევადობაში ელექტრული ველის ენერგიის სახით (ამ დროს კონდესატორი იმუხტება), ხოლო ნაწილი გარდაიქმნება სითბოდ აქტიურ წინააღმდეგობაში. დროის ამ ინტერვალში დენი წრედში ჯერ კიდევ საკმარისად დიდია და, შესაბამისად, აქტიური წინააღმდეგობის მიერ მოხმარებული ენერგია  $i_r^2$  დიდია, რის გამოც დენის წყარო, როგორც დროის წინა ინტერვალში, აგზავნის ენერგიას წრედში, რაც აუცილებელია აქტიური წინააღმდეგობის მიერ მოხმარებული ენერგიის შესავსებად. დროის  $t_2$  მომენტი იმით ხასიათდება რომ  $i^2 r$  სიდიდე იმდენად შემცირდა, რომ ინდუქტივობის მაგნიტური ენერგიის ხარჯზე წარმოებს ენერგიის მიწოდება როგორც ტევადობის ელექტრულ ველში, ასევე აქტიურ წინააღმდეგობაში.

როცა დენი მცირდება ნულამდე. დროის ამ შუალედში ენერგია ბრუნდება წყაროში. ამ ინტერვალში  $p < 0$  ე.ი. წყარო ქსელიდან იღებს ენერგიას, რომელიც დაგროვილი იყო ინდუქტივობაში.

ამრიგად დენის პირველ ნახევარ პერიოდში მთავრდება წრედის ენერგიის რხევის ერთი ციკლი. მეორე ნახევარ პერიოდში წრედში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესი მეორდება და ამასთან დენის და ძაბვის მიმართულებები იცვლება საწინააღმდეგოდ.

ელექტრულ ქელში მიმდინარე ზემოთ აღწერილი ენერგეტიკული პროცესი აშკარად მიუთითებს მას, რომ როცა ინდუქტივობის მაგნიტურ ველში და ტევადობის ელექტრულ ველში, ენერგიები ერთმანეთის თანაზომიდია მაშინ, ჯერ-ერთი, კვების წყაროდან წრედში შემოსული ენერგია შედარებით მცირდება და მეორეც, თუ ინდუქციური და ტევადური ელემენტები ტერიტორიულად ერთმანეთთან ახლოსაა, მაშინ ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადი მცირდება და შესაბამისად მცირდება სიმძლავრის დანაკარგებიც.

ელექტრული ქსელის მუშა რეჟიმების ანგარიშებში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მნიშვნელობები გამოიყენება ერთდროულად.

ყველა გამოთვლით ოპერაციებში რეაქტიული სიმძლავრე გამოიყენება აქტიურის ანალოგიურად, მაგრამ ეს არ ნიშნავს მას, რომ ეს სიმძლავრეები ანალოგიური სიდიდეებია.

აქტიური სიმძლავრე ძირითადად მოიხმარება ელექტრომიმღების მიერ, სადაც ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება სხვა სახის ენერგიად (მექანიკური, სითბური, სინათლის და სხვა). ნაწილობრივ აქტიური სიმძლავრე იკარგება ქსელის ელემენტების აქტიური წინაღობებში. რეაქტიული სიმძლავრე მოიხმარება არა მარტო ელექტრომიმღების მიერ, არამედ მნიშვნელოვან წილად ქსელის ელემენტების მიერაც. ზოგადად რეაქტიული სიმძლავრე მოიხმარება ქსელის ყველა იმ ელემენტის მიერ, სადაც დენი ფაზით ჩამორჩება ძაბვას. აქტიური სიმძლავრის გენერაცია წარმოადგენს ელექტროსადგურებზე სინქრონული გენერატორების მიერ. რეაქტიული სიმძლავრე კი შეიძლება გენერირებული იქნეს ქსელის ნებისმიერ წერტილში. იგი შეიძლება გენერირდეს სინქრონული მანქანებით ჭარბი აგზნების პირობებში, ხაზების ტევადურ გამტარობაში, კონდესატორთა ბატარეებში და ა.შ. შეიძლება ითქვას, რომ რეაქტიული სიმძლავრე გენერირდება ქსელის ყველა იმ ელემენტის მიერ სადაც დენი ფაზით წინ უსწრებს ძაბვას.

აქტიური სიმძლავრის გადაცემის მიზანია მომხმარებელთა ელექტრომომარაგება, ხოლო რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა თანმდევი მოვლენაა. უნდა აღინიშნოს, რომ რეაქტიული სიმძლავრე ახასიათებს მხოლოდ ცვლად დენს. რეაქტიული სიმძლავრის ქსელში განაწილების სურათის შეცვლა შესაძლებელია სპეციალური მაკომპენსირებელი დანადგარის მეშვეობით. ამ სიმძლავრის კომპენსაცია გარკვეულ წილად იძულებითი ღონისძიებაა, რადგანაც რიგ შემთხვევებში გენერატორების ქონებული რეაქტიული სიმძლავრე არასაკმარისია მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის დასაკმაყოფილებლად.

რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემის არაეკონომიკურობა კარნახობს, მას რომ ამ სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები დაყენებული

უნდა იქნეს მანაწილებელ ქსელში უშუალოდ მომხმარებელთან. ამასთან ეს დანადგარები რეაქტიული სიმძლავრის გენერირების თვალსაზრისით უნდა იყოს რგულირებადი, რადგანაც მომხმარებლის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე იცვლება მომხმარებელთა მუშაობის რეჟიმის ცვლილებასთან ერთად.

როგორც ცნობილია ცვლადი დენის ნებისმიერი ელექტრული ქსელისთვის დროის ყველა მომენტში უნდა სრულდებოდეს სრული სიმძლავრის ბალანსი. სიმძლავრეთა ბალანსი აუცილებელი პირობაა, მაგრამ რეაქტიულ სიმძლავრესთან მიმართებაში მნიშვნელოვანია რომ იგი უნდა სრულდებოდეს არა მხოლოდ მთელი სისტემისთვის, არამედ რეგიონული ქსელებისთვის, რადგანაც მთელი რიგი ტექნიკური მიზნების გამო რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემისას შეიძლება წარმოიშვას სხვადასხვა სახის სიძნელეები.

რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის დარღვევა იწვევს ქსელებში ძაბვის დონის ცვლილებას. კერძოდ, ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის პირობებში ძაბვა ქსელში მაღალია, ხოლო დეფიციტის პირობებში კი პირიქით - დაბალი.

ენერგოსისტემებში, რომლებიც დეფიციტურია აქტიური სიმძლავრის მიხედვით, ძაბვა ნომინალურზე დაბალია. როცა სისტემა დეფიციტურია აქტიური სიმძლავრის მიხედვით, იგი დეფიციტური რეაქტიული სიმძლავრის მიხედვითაც. ბალანსის უზრუნველყოფის მიზნით აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის დასაფარავად საჭირო აქტიური სიმძლავრე შემოაქვთ მეზობელი ენერგოსისტემიდან, სადაც არსებობს ჭარბი აქტიური სიმძლავრე. რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტის დასაფარავად მისი მეზობელი ენერგოსისტემიდან შემოტანა არაეფექტურია. უფრო ეფექტურია დეფიციტი დაფარული იქნეს მოცემულ სისტემაში მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების გზით.

ელექტრულ სისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითად წყაროს, როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ, წარმოადგენს ელექტროსადგურების

სინქრონული გენერატორები. ამასთან, ამ გენერატორთა რეაქტიული სიმძლავრის შეცვლა მიიღწევა აგზნების დენის ცვლიებით. ნორმალური დატვირთვის რეჟიმში გენერატორები გამოიმუშავენ ნომინალურ აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეს. აგზნის დენის შემცირებით შევამცირებთ გენერატორის მიერ ქსელში გაცემულ რეაქტიულ სიმძლავრეს. გენერატორის აქტიური დატვირთვის შემცირებისას შესაძლებელია გავზარდოთ მის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე, მაგრამ ასეთი გაზრდა დასაშვებია მხოლოდ გარკვეულ პირობებში, რომელიც ზემოდან შეიზღუდება როგორც სტატორის, ასევე როტორის ნომინალური დენის მიხედვით.

გენერატორის რეაქტიული დატვირთვის გაზრდა აქტიური დატვირთვის შემცირების ხარჯზე, განსაკუთრებით სისტემის მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში, ეკონომიკურად არამიზანშეწონილია. ამ დროს უფრო ეფექტურია რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება, რასაც პრაქტიკულად თითქმის ყოველთვის მიმართავენ.

გენერატორები ნომინალური დატვირთვის პირობებში იძლევიან ქსელის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის დაახლოებით 60% რეაქტიული სიმძლავრეს. ხაზების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე შეიძლება ჩავთვალოთ 20%-მდე [13]. ამასთან ამ სიმძლავრეთა გადაცემა მომხმარებლის კვანძამდე როგორც ტექნიკურად, ასევე ეკონომიკურად ყოველთვის არ არის მიზანშეწონილი. ამრიგად, მაკომპენსირებელი დანადგარების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე უნდა ჭარბობდეს მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის 20%-ს მაინც.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია როგორც ყოველგვარი ტექნიკური ღონისძიება, შეიძლება გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა მიზნისთვის. კერძოდ, ჯერ-ერთი, რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია აუცილებელია რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის პირობიდან გამომდინარე; მეორე, მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება

გამოიყენება ქსელში აქტიური სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგების შემცირებისთვის და მესამე, მაკომპენსირებელი დანადგარების საშუალებით შეიძლება ვარეგულიროდ ძაბვა მომხმარებელთა სალტეებზე.

## 1.2 რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარები

ელექტრულ ქსელებში მაკომპენსირებელ დანადგარებს წარმოადგენს სინქრონული კომპენსატორები, კონდესატორთა ბატარეა, რეაქტორები და რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური წყაროები. მაკომპენსირებელი დანადგარები პირობითად შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად: 1. დანადგარები მომხმარებელთა და ქსელის ელემენტების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისათვის - სინქრონული კომპენსატორები და განივად ჩართული კონდესატორთა ბატარეა; 2. დანადგარები ხაზების რეაქტიული ელექტრული პარამეტრების კომპენსაციისათვის - გრძივად ჩართული კონდესატორთა ბატარეა და განივად ჩართული რეაქტორები.

**სინქრონული კომპენსატორები** წარმოადგენს უკმ სვლაზე მომუშავე შემსუბუქებული კონსტრუქციის სინქრონულ ძრავას [8]. ჭარბი აგზნების რეჟიმში მუშაობისას კომპენსატორი წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის გენერატორს, ხოლო არასრული აგზნების რეჟიმში მუშაობისას კი რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელს. აგზნების დენის ცვლილება, როგორც წესი ავტომატიზირებულია.

უდიდესი სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება კომპენსატორმა განავითაროს ჭარბი აგზნების რეჟიმში, მის ნომინალურ სიმძლავრეს შეადგენს. მუშაობისას კომპენსატორი ქსელიდან მოითხოვს აქტიურ სიმძლავრეს, რომელიც მისი ნომინალური სიმძლავრის 2-4%-ს შეადგენს და განიხილება როგორც დანაკარგები კომპენსატორში. კონსტრუქციის თავისებურების გამო არასრული აგზნების რეჟიმში კომპენსატორი ქსელიდან იღებს  $Q = 0,5Q_{\text{წ}}$  სიმძლავრეს.

სინქრონული კომპენსატორის დადებით თვისებას შეადგენს: ა) ქსელში ძაბვის ვარდნისას იზრდება კომპენსატორის მიერ გენერირებული

რეაქტიული სიმძლავრე აგზნების იმავე დენის პირობებშიც კი, ხოლო ძაბვის ამალეებისას კი პირიქით მცირდება გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე. კომპენსატორის ეს თვისება ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით დადებითი მარეგულირებელ ეფექტს წარმოადგენს; ბ) გენერირებული ან მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის მდორე ან ავტომატური რეგულირება.

კომპენსატორის უარყოფით მხარეს შეადგენს: ა) შეიძლება დაყენებულ იქნეს მხოლოდ 6 ან 10 კვ ძაბვის ქსელში; ბ) ექსპლუატაციისა და მონტაჟის შედარებითი სირთულე; გ) აქტიური სიმძლავრის შედარებით დიდი დანაკარგები.

**კონდენსატორთა ბატარეა.** კონდენსატორთა ბატარეა გამოიყენება: ა) ქსელის კვანძებში რეაქტიული სიმძლავრის გენერირებისათვის (განივი კომპენსაცია) და ბ) ხაზის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაციისათვის (გრძივი კომპენსაცია).

კონდენსატორთა ბატარეა კომპლექტდება მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული ცალკეული კონდენსატორებისაგან.

კონდენსატორები მზადდება 0,22-10,5 კვ ძაბვაზე 10-125 კვარ ერთეულოვანი სიმძლავრით. სამფაზა ქსელში კონდენსატორთა ბატარეა ჩაერთვება ვარსკვლავად ან სამკუთხედად. სამკუთხედად შეერთებისას ბატარეის სიმძლავრე 3 ჯერ მეტია, ვიდრე ვარსკვლავად შეერთებისას. 1 კვ-მდე ძაბვის ქსელში შეერთება ხდება სამკუთხედად, ხოლო უფრო მარაღალი ძაბვის შემთხვევაში კი ვარსკვლავად.

ბატარეა შეიძლება იყოს რეგულირებადი და არარეგულირებადი. არარეგულირებად ბატარეაში კონდენსატორთა რიცხვი უცვლელია და ბატარეის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია მოცემულ კვანძში ქსელის მუშა ძაბვის სიდიდეზე და იგი არ უნდა აღემატებოდეს კვანძის უმცირეს რეაქტიულ დატვირთვას. რეგულირებად ბატარეაში კონდენსატორთა რიცხვი ქსელის რეჟიმისაგან დამოკიდებულებაში იცვლება ხელით ან ავტომატურად, რაც საშუალებას

გვამღევს ვარეგულიროდ ბატარეის მიერ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია. ამასთან რეგულირება წარმოებს საფეხუროვნად.

მუშაობისას კონდენსატორთა ბატარეა ქსელიდან იღებს აქტიურ სიმძლავრეს, რომელიც მისი ნომინალური სიმძლავრის 0,3-0,4%-ს შეადგენს და რომელიც იხარჯება კონდენსატორის დიელექტრიკისა და კორპუსში დანაკარგებზე.

სინქრონულ კომპესატორთან შედარებით კონდასატორთა ბატარეის უპირატესობა მდგომარეობს შემდგომში:

- შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს როგორც დაბალ (0,38კვ), ასევე შედარებით უფრო მაღალ (6-10კვ) ძაბვაზე;

- აქტიური სიმძლავრის შედარებით მცირე დანაკარგები;
- ექსპლუატაციის სიმარტივე;
- მონტაჟის სიმარტივე;

ბატარეის უარყოფითი მხარეა:

- გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის პირდაპირ კვადრატულ პროპორციული დამოკიდებულება ძაბვაზე რეგულირების უარყოფითი ეფექტით;

- რეაქტიული სიმძლავრის მხოლოდ გენერირების შესაძლებლობა;
- გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის საფეხუროვანი რეგულირება ან საერთოდ რეგულირების გარეშე;
- სამსახურის შედარებით მოკლე ვადა (8-10 წელი).

მიუხედავად გარკვეული უარყოფითი მხარეებისა კონდესატორთა ბატარეა მანაწილებელ ქსელებში უფრო ფართოდ გამოიყენება, ვიდრე სინქრონული კომპესატორები.

კონდენსატორთა ბატარეა შეიძლება დაყენებული იქნეს:

- უშუალოდ მომხმარებელთა (ინდივიდუალური კომპენსაცია);
- მანაწილებელ ქსელებში (ჯგუფური კომპენსაცია);
- ქვესადგურის დაბალი ძაბვის (0,38;6;10კვ) სალტებზე

(ცენტრალიზებული კომპენსაცია).



მაკომპენსირებელ მოწყობილობას მიეკუთვნება აგრეთვე მაშუნტებელი რეაქტორი და რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური წყაროები.

მაშუნტებელი რეაქტორი გამოიყენება ძირითადად ზემადალი ძაბვის (330კვ და მეტი) ქსელში, როგორც ხაზების მიერ გენერირებული ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარებელი. მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე მოცემული კვანძის ძაბვის კვადრატის პროპორციულია. მაშუნტებელი რეაქტორი შეიძლება იყოს რეგულირებადი და არარეგულირებადი.

ქვესადგურის სალტებზე ძაბვის დასაშვები გადახრის პირობებში რეგულირებადი მაშუნტებელი რეაქტორის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე იცვლება  $(0,8 - 1,1) U_{\text{წ}}^2 / X_{\text{წ}}$  სადაც  $X_{\text{წ}}$  რეაქტორის რეაქტიული წინაღობაა.

რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური წყაროების დანიშნულებაა რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციის ან მოხმარების მდორე რეგულირება, რაც მიიღწევა არარეგულირებად კონდესატორთა ბატარეასთან მიმდევრობით ან პრალელურად რეგულირებადი მაშუნტებელი რეაქტორის ჩართვით. რეგულირების სიმდოვრე მიიღწევა მართვის კვანძის გამოყენებით.

რადგანაც მთელ რიგ შემთხვევებში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის უზრუნველსაყოფად საჭირო ხდება ქსელში მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება, ქსელის ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე ისმება ამოცანა ამ დანადგარების მაღალ ეფექტურად გამოყენების თვალსაზრისით. ამ ამოცანის ამოხსნისათვის პირველ რიგში უნდა დადგინდეს რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემისას რა მოვლენებთან გვაქვს საქმე ქსელში და რა გავლენას ახდენს მისი გადაცემა ელექტრომომარაგების სისტემის მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე.

ელექტროსისტემებში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითად

მომხმარებლებს წარმოადგენს სინქრონული ძრავები, ვენტილური გარდამსახეები, ინდუქციური ელექტროლუმენები, ტრანსფორმატორები, საჰაერო ხაზები და სხვ. ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგი მთლიანი რეაქტიული დატვირთვის თითქმის 50%-ს აღწევს. ამასთან, კარგების 70-75% მოდის ტრანსფორმატორებში კარგებზე. სამრეწველო საწარმოებში რეაქტიული სიმძლავრის ძირითადი მომხმარებელია სინქრონული ძრავები, რომლებზედაც მოდის საწარმოს მიერ მოთხოვნილი ჯამური რეაქტიული სიმძლავრის 65-70% [20].

როგორც ცნობილია რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა იწვევს ქსელის ელემენტების დატვირთვის გაზრდას და შესაბამისად, ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგების დამატებით ზრდას. ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების გაზრდა იწვევს ელექტროსადგურებზე პირველადი ელექტრორესურსების და შესაბამისად, ფულადი და მატერიალური ხარჯების ზრდას. რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების ზრდა კიდევ უფრო ზრდის სისტემის ჯამურ რეაქტიულ დატვირთვას, რაც მიუთითებს მასზე, რომ აუცილებელი ხდება რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი გენერაცია ელექტრომომარაგების სისტემებში მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენების გზით და შედეგად მინიმუმამდე დავიყვანოთ რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემა ქსელის ელემენტების გავლით.

მანაწილებელ ქსელებში დაყენებული მაკომპენსირებელი დანადგარები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ძაბვის რეგულირებისათვის და ამიტომ ამ ქსელებში მაკომპენსირებელი დანადგარების მუშაობის ეკონომიკურობა განხილული უნდა იქნეს ძაბვის რეჟიმზე მათი ზემოქმედების თვალსაზრისით. ქსელში ძაბვის დაბალი მნიშვნელობა როგორც წესი დაკავშირებულია რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტთან. ხოლო მაღალი მნიშვნელობა კი მის სიჭარბესთან.

პირველ შემთხვევაში მუშაობაში ჩართული უნდა იქნეს კონდენსატორთა ახალ ჯგუფი, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი უნდა

მოხდეს ნაწილის ამორთვა. ამ გზით ძაბვის რეჟიმის დასაშვები პარამეტრების მიხედვით უზრუნველყოფილი იქნება რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსი.

სხვა გარემოებასთან გვაქვს საქმე, როცა რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარების სახით გამოიყენება სინქრონული ძრავები. ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით სინქრონული ძრავები იძლევიან კონდენსატორთა ბატარეის ანალოგიურ ეფექტს, მაგრამ მათი გამოყენება დაკავშირებულია აქტიური სიმძლავრის მნიშვნელოვან დანაკარგებთან თვითონ ძრავებში. ამიტომ ძაბვის რეგულირება სინქრონული ძრავების აგზნების დენის ცვლილებით ყოველთვის ეკონომიკურად გამართლებული არ არის.

რეგულირებადი კონდენსატორთა ბატარეის გამოყენება პრაქტიკულად მიზანშეწონილია ყველა ძაბვის მანაწილებელ ქსელებში. არარეგულირებადი კომპენსატორთა ბატარეა კი მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ მხოლოდ იმ სიდიდით, რაც განისაზღვრება ქსელის მოცემული კვანძის მინიმალური რეაქტიული დატვირთვით.

მკვებავ ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის განაწილების თვალსაზრისით მოთხოვნები შეიძლება სხვადასხვა იყოს:

– იმ შემთხვევაში, როცა მკვებავ ქსელში ენერჯის მიმღებ ქვესადგურზე არ გვაქვს ძაბვის რეგულირების ცენტრალიზებული მოწყობილობა მანაწილებელ ქსელში ძაბვის რეგულირების მიზნით, მაშინ ქვესადგურებზე ძაბვას წაეყენება ძალიან მკაცრი მოთხოვნები;

– მისი მერყეობა უნდა თავსდებოდეს საკმარისად ვიწრო ფარგლებში;

– იმ შემთხვევაში, როცა მკვებავი ქსელის მიმღებ ქვესადგურზე გვაქვს ზემოაღნიშნული სახის ძაბვის რეგულირების მოწყობილობა რეგულირების ფართო დიაპაზონით, მაშინ მანაწილებელი ქსელის მხრიდან მიმღები ქვესადგურის სალტებზე ძაბვის მნიშვნელობის მიმართ რაიმე დამატებითი პირობები არ მოითხოვება. ამ დროს მკვებავ ქსელებში

რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება შეიძლება განვახორციელოთ თვით მკვებავი ქსელების მუშაობის ეკონომიურობის პირობით. ამ შემთხვევაში განმსაზღვრელია ქსელში აქტიური სიმძლავრის მინიმუზაციის პირობა საკვანძო წერტილებში ძაბვის უდიდესი დასაშვები მნიშვნელობის შეზღუდვისა და კვების წყაროების მუშა რეაქტიული სიმძლავრის გათვალისწინების პირობებში.

### 1.3 რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას პრობლემის არსი სისტემური მიდგომის თვალსაზრისით

ენერგეტიკის ფუნქციონირების თანამედროვე ეტაპზე აუცილებელია ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიებისა და ელექტრული სიმძლავრისა და ენერჯის დანაკარგების შემცირების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებაზე გადასვლა. ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირების ყველაზე უფრო ეფექტურ ხერხს წარმოადგენს, ერთის მხრივ, ელექტროსადგურებს შორის აქტიურ და რეაქტიულ დატვირთვათა ოპტიმალური განაწილება და, მეორე მხრივ, მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია, რაც იმავდროულად მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ელექტრული ქსელის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის შერჩევა ნიშნავს მისი ტიპის, ნომინალური სიმძლავრისა და ქსელში დაყენების ადგილის განსაზღვრას. ამ ამოცანის ამოხსნისას წარმოიშობა დამატებითი სიძნელები, რაც დაკავშირებულია განუსაზღვრელობის სხვა და სხვა სახესთან. კერძოდ: ქსელის განვითარებისა და მისი მუშაობის პროგნოზირება; ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი: სხვადასხვა სახის არადეტერმინირებული საწყისი ინფორმაცია და სხვ [13].

ელექტროენერგეტიკის სამეცნიერო-ტექნიკური კომპლექსის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს რეაქტიული დატვირთვის

რაციონალური კომპენსაცია, რადგანაც ელექტროსისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის პირობიდან გამომდინარე საჭიროა რეაქტიული დატვირთვის თითქმის ერთი მესამედი გენერირდებოდეს მომხმარებელთა სიახლოვეს დაყენებული მაკომპენსირებელი დანადგარებით [13].

რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის პრობლემა მკვეთრად გამოკვეთილი სასისტემო პრობლემაა, რომელიც ითვალისწინებს და პრაქტიკულად მოიცავს ენერგოსისტემის ყველა საქსელო დანაყოფს და კომპენსაციის შედეგად გამოწვეულ მთელ რიგ თანმდევ ეფექტს: ძაბვის რეგულირება; ელექტროენერგიის ხარისხის ამაღლება; ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობის გაზრდა და სხვა. მთლიანი ქსელის აუცილებელი გათვალისწინების თვალსაზრისით ამ პრობლემას ელექტროენერგეტიკაში ანალოგია თითქმის არ მოეპოვება. მაგ. 0,4 კვ. ძაბვის ხაზის ბოლოში მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება, აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად უფრო მეტ ეფექტს იძლევა მაღალი (35-110 კვ) ქსელში, ვიდრე თვით 10/0,4 კვ ძაბვის ქსელში. სწორედ ამიტომაც რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის პრობლემის გადაწყვეტისას ქსელის მარტივ ნაწილებად დაყოფის პრინციპის გამოყენების დროს ამოხსნის შედეგები ყოველთვის ამა თუ იმ სიდიდის ცდომილებით ხასიათდება.

რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის პრობლემას მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები მიემდვნა როგორც ყოფილ საბჭოთა კავშირში, ასევე მის ფარგლებს გარეთ. ეს განპირობებულია იმით, რომ ამ პრობლემის რაციონალური გადაწყვეტის პირობებში შედარებით იოლად მიიღწევა დიდი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი.

შეიძლება ითქვას, რომ აღნიშნულ სფეროში მრავალწლიანი გამოკვლევები მიმართული იყო დასმული ამოცანის განზომილების შემცირებისა და ცალკეული ქვესისტემების საინფორმაციო დაშორიშორების გადალახვაზე, რაც განპირობებულია ამ ქვესისტემების უწყებრივი დაქვემდებარებით და ქსელის მუშაობის რეჟიმების მიხედვით საწყისი

საანგარიშო ინფორმაციის შეგროვების სხვადასხვაგვარი შესაძლებლობით.

აღნიშნული მიმართულებით კვლევის ყველა ამჟამად არსებული რეზულტატები პირობითად შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად. პირველს, საკმარისად ფართო ჯგუფს, მიეკუთვნება ცალკეული ქვესისტემების ეკვივალენტობის მეთოდები, ხოლო მეორე ჯგუფს მიაკუთვნებენ პარციალური გაანგარიშების მეთოდს [16], რომელიც პრინციპულად განსხვავებული მიდგომაა.

[9]-ში რეკომენდირებულია გაერთიანებული ენერგოსისტემის სისტემა წარმომქმნელი ქსელის ეკვივალენტობა ორი ხერხით:

ა) ვითვალისწინებთ რა, ზემოაღნიშნული ძაბვის ხაზებით რეაქტიული სიმძლავრის გადაცემის შესაძლებლობას, ამ ხაზების ძირითად ქსელთან მიერთების კვანძში მოცემულად ვთვლით  $P(t)+jQ(t)$  გრაფიკს, რომელიც განსაზღვრული იქნება დამოუკიდებელი ანგარიშებით;

ბ) 110-330კვ ძაბვის სისტემათაშორისი კავშირები, ენერგოგაერთიანებიდან რაიონული ელექტრული ქსელის გამოყოფის მიზნით, შემოთავაზებულია გავხსნათ და ამ კავშირებზე  $P(t)+jQ(t)$  გადადინების გრაფიკი განისაზღვროს შემდეგნაირად ყოველი რაიონული ქსელი, ენერგოსისტემასთან დაკავშირებული კვანძის მიხედვით, შეიცვალოს კვანძების ეკვივალენტური რიცხვით. ამ შემთხვევაში მოსაზღვრე კვანძის მიმართ რაიონული ელექტრული ქსელის მოდელი წარმოდგენილი იქნება კვადრატული პოლინომის სახით

$$3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} Q_i Q_j + \sum_{i=1}^n b_i Q_i \quad (1.7)$$

სადაც  $a_{ij}, b_i$ -აპროქსიმაციის კოეფიციენტები, რომლებიც ექსპერიმენტების დაგეგმვის ცნობილი მეთოდების დახმარებით მიღებული მონაცემების საფუძველზე შეიძლება განისაზღვროს უმცირესი კვადრატების მეთოდით. 110კვ –მდე (ჩათვლით) ძაბვის მანაწილებელი ღია ქსელის მოდელი შეიძლება მივიღოთ ანალოგიურად. რადგანაც ყოველი ასეთი ქსელი რაიონულ ელექტრულ ქსელთან დაკავშირებულია  $n=1$  კვანძით, (1.7) სახის დამოკიდებულება მიიღება უშუალოდ მოცემული

ქსელის კვანძების მიხედვით ჯამური შემავალი რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის ამოცანის ამოხსნისას და ზემოთ აღნიშნულ დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$3 = \alpha Q^2 + BQ_1 \quad (1.8)$$

სადაც,  $Q$  –სიმძლავრე, რომელიც ძირითადი ქვესისტემიდან გადაედინება მანაწილებელ ქსელში.

თუ ხარჯებს გამოვსახავთ მაკომპენსირებელი დანადგარებით სიმძლავრის მიხედვით, მაშინ კოეფიციენტები განისაზღვრება ასე

$$a_k = a, \quad b_k = -(b + 2\alpha Q_0),$$

სადაც  $Q_0$  – საწყისი მნიშვნელობა სიმძლავრის, რომელიც გადაეცემა მოცემული სასაზღვრო კვანძის გავლით.

აღნიშნული ეკვივალენტობის გათვალისწინებით 110-500კვ ძაბვის ენერგოსისტემაში შემავალი ყოველი მანაწილებელი ქსელის რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმიზაციის შემდეგ განისაზღვრება ჯამური შემავალი რეაქტიული სიმძლავრე  $Q = Q_9$ . ამის შემდეგ ისმება დამოუკიდებელი ამოცანა მოცემული მანაწილებელი ქსელის ცალკეულ კვანძებს შორის  $Q_9$  სიმძლავრის ოპტიმალური განაწილების შესახებ.

ოპტიმალური განაწილების შესახებ. ოპტიმალურობის კრიტერიუმად ასეთ შემთხვევაში შეიძლება იყოს დაყვანილი ხარჯების მინიმუმი  $\min 3$  ან აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების მინიმუმი  $\min \Delta P$ .

რამდენადმე განსხვავებული მიმართულებით შესრულდა კვლევები მოსკოვის ენერგეტიკის ინსტიტუტის ელექტრული სისტემების კათედრაზე. აქ (1.8) სახის დამოკიდებულების მოდელი შეცვლილია ენერგოსისტემის საანგარიშო სქემაში ჩართული გარკვეული სიდიდის ეკვივალენტური წინაღობით  $Z_{კკკ} = P_{კკკ} + jX_{კკკ}$  რომლის საშუალებით ენერგო სისტემის მუშაობის დამყარებული რეჟიმის საფუძველზე შეიძლება გამოითვალოს მის ბოლოში ჩართული  $Q_9$ -ს სიდიდე.

ქალაქებისა და სასოფლო სამეურნეო დანიშნულების 6, 10 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელები ხასიათდებიან შედარებით ნაკლებად

სრული და ნაკლებად ზუსტი ინფორმაციით. ეს ინფორმაცია კიდევაც რომ იქნეს მოპოვებული საკმარისი სიზუსტითა და მოცულობით, მისი ცენტრალიზებული დამუშავება მაინც პრობლემატურია.

ამიტომ [2; 9 ; 15 ]-ში რეკომენდირებულია აღნიშნული ქსელი შეიცვალოს ეკვივალენტური აქტიური წინაღობით, რომელიც გამოითვლება სიმძლავრის ცნობილი დანაკარგების მიხედვით

$$R_{\text{Э}} = \frac{\Delta P\% \cdot U^2}{P(1+tg^2\varphi)} \cdot 10^{-2}, \quad (1.9)$$

სადაც  $P$ -განსახილველი მანაწილებელი ქსელის აქტიური დატვირთვაა.  $\Delta P\%$ -ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები %-ებში;  $tg \varphi$  -რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტი.

თუ ქსელში დანაკარგები ცნობილი არ არის, მაშინ შეიძლება ვისარგებლოთ მისი ტიპური მნიშვნელობებით: სამრეწველო ქსელებისათვის -3,8%, სასოფლო სამეურნეო ქსელებისათვის -7,6%.

[25]-ის ავტორთა აზრით 6-35კვ ძაბვის ქსელებში შესაძლებელია უფრო მარტივი ეკვივალენტირება. კერძოდ,  $Z_{\text{Э}}$  შეიძლება მიღებული იქნეს. სქემის ხის შტოების წინააღობების მიმდევრობით-პარალელური შერთების გზით.

ეკვივალენტირების პარციალური მეთოდი ვრცელდება 6-10კვ ძაბვის შედარებით მოკლე რადიალურ და მაგისტრალურ ხაზებზე, რაც უფრო დამახასიათებელია სამრეწველო ქსელებისათვის.

პარციალური მეთოდი გულისხმობს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის ლოკალიზაციას. კერძოდ, განიხილება მაღალი 6,10 კვ ВБК და დაბალი 0,38 კვ НБК მაკომპენსირებელი დანადგარები. ამასთან დაბალი ძაბვის მაკომპენსირებელი დანადგარების ხვედრითი ღირებულება მეტია, ვიდრე მაღალი ძაბვისა.

ცხადია, ამოცანის ასეთი ლოკალიზაცია შესაძლებელია, მაშინ თუ მთელი ქსელის კომპლექსური ანგარიშისას НБК-ს ჯამური სიმძლავრე აღმოჩნდება ნაკლები, ვიდრე ВБК-ს სიმძლავრე, რომელიც გამოთვლილია 0,38 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელის გათვალისწინების



გარეშე. უფრო ძვირი HBK გამართლებული უნდა იქნეს მანაწილებელ ქსელში დანაკარგების დამატებითი შემცირებით.

როგორც გამოკვლევები გვიჩვენებს პრაქტიკაში მანაწილებელი ქსელებისათვის ყოველთვის სრულდება შემდეგი სახის უტოლობა.

$$1 + \frac{\sigma_{Q1}}{\sigma_{Q2}} \leq \frac{3_{HbK}}{3_{BbK}} \quad (1.10)$$

სადაც  $\sigma_{Q1}$  – დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი მკვებავ ქსელში მახალანსირებელი კვანძიდან მთავარი დამწვევი ქვესადგურის 6-10კვ ძაბვის სალტეებამდე.

$\sigma_{Q2}$ -იგივე მანაწილებელ ქსელში – დამწვევი ქვესადგურის 6-10კვ ძაბვის სალტეებიდან 0,38 კვ ძაბვის სალტეებამდე.

$3_{HbK}$ ,  $3_{BbK}$  შესაბამისად HBK -ს და BBK-ს დაყვანილი ხარჯები.

#### 1.4 რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნის არსებული მიდგომები

არსებულ სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში განიხილება რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის დასმის სხვადასხვა ვარიანტი. ყველაზე უფრო გავრცელებულ ვარიანტში მიზნის ფუნქცია ფორმულირდება დაყვანილი ხარჯების სახით და განიხილება ამ ფუნქციის მინიმიზაციის საკითხი. ამოცანის დასმის სხვა ვარიანტში მოცემულად მიიღება მაკომპენსირებელი დანადგარების ჯამური სიმძლავრე და ამ შემთხვევაში ამოცანა განიხილავს ქსელის ცალკეულ კვანძებს შორის ამ სიმძლავრის ოპტიმალური განაწილების საკითხს.

ამოცანის დასმის ნებისმიერ ვარიანტში, მისი ამოხსნის პროცესი სრულდება ოპტიმიზაციის ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენებით.

[5]-ში ამოცანის ამოხსნა განიხილება იმ დაშვებით, რომ ტექნიკური თუ სხვა ინჟინრული მოსაზრებების საფუძველზე მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენების ადგილები მოცემულია.

კვანძების აქტიური და რეაქტიული დატვირთვები მოცემულია საფეხუროვანი გრაფიკების სახით. მიზნის ფუნქციას წარმოადგენს დაყვანილი ხარჯები, რომელიც ითვალისწინებს ხარჯებს რეაქტიული სიმძლავრის არსებული და ახალი წყაროების აგებასა და ექსპლუატაციაზე და აგრეთვე, ხარჯებს ქსელში ენერჯის დანაკარგებზე. ამოცანის ამოხსნა განიხილება კოორდინატული დაშვების სვლის მეთოდით. მატრიცულ ფორმაში მიზნის ფუნქცია ჩაწერილია შემდეგ სახეში

$$z = \rho^t \cdot \begin{bmatrix} Q_{u.p.m} \\ Q_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_{u.p.m} \\ Q_k \end{bmatrix}^t + c \begin{bmatrix} Q_{u.p.m} \\ Q_k \end{bmatrix}, \quad (1.11)$$

სადაც:

- $Q_{u.p.m}$  – რეაქტიული სიმძლავრის არსებული რეგულირებადი წყაროების სიმძლავრე;
- $Q_k$  – საძიებელი დამატებითი მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრე;
- $\rho$  – ვექტორი-სვეტი, რომლის ელემენტები ახასიათებს მაკომპენსირებელი დანადგარის ერთეულოვანი სიმძლავრის დაყვანილ ხარჯებს;
- $C$  – პროპორციულობის კოეფიციენტების კვადრატულ სიმეტრიული მატრიცა, რომელთა განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ: ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობები; 1 კვტს დაკარგული ენერჯის ღირებულება, დანაკარგების დრო; ქსელის ნომინალური ძაბვა.

კვადრატული პროგრამირების მათემატიკურ ამოცანაზე დაყრდნობით [20]-ში შემოთავაზებულია მატრიცულ-გამოთვლითი მეთოდი, რომლის იდეა მდგომარეობს მასში, რომ მაკომპენსირებელი დანადგარებიანი ელექტრული სისტემის რეჟიმის ამსახველი განტოლებების რთული სისტემის ამოხსნის პროცედურა შეცვლილია მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრის ოპტიმალური მნიშვნელობების გამოთვლით მზა მატრიცული ფორმულების გამოყენებით.

მაკომპენსირებელი დანადგარების ოპტიმალური ჯამური სიმძლავრის განსაზღვრისათვის აიგება დამოკიდებულება

$$Z_{min} = f(Q_k), \quad (1.12)$$

სადაც,  $Z_{min}$  - მოცემული ჯამური  $Q_k$  სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარების შესაძლო მინიმალური დაყვანილი ხარჯები.

აღნიშნულ მეთოდში საწყისს ინფორმაციად აღებულია არსებული წყაროების რეაქტიული სიმძლავრისა და კვანძების რეაქტიული დატვირთვების საშუალო წლიური მნიშვნელობები.

მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური განლაგების ამოცანის ამოხსნა გრადიენტის მეთოდით აღწერილია [7]-ში. აქ ეკონომიკური გადაწყვეტა მოიძებნება ვარიანტების გაანგარიშებისა და შემდგომი ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების გზით. ამ შემთხვევაში მიზანის ფუნქცია ფორმულირდება შემდეგ სახეში:

$$Z = \sum_{i=1}^m H_i(P_i) + (p + E_6) \sum_{j=1}^n K_j(Q_{kj}) \rightarrow \min, \quad (1.13)$$

სადაც,  $H_i$  -  $i$ -ურ კვანძში ელექტროენერჯის წარმოებაზე დანახარჯები, რომელიც, ამავე კვანძში გენერირებული აქტიური  $P_i$  სიმძლავრის ფუნქციაა;

$m$  - გენერაციის კვანძების რაოდენობა;

$K_j$  -  $j$ -ურ კვანძში მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრე;

$n$  - კვანძების რიცხვი, სადაც განიხილება

მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება;

$p$  - მაკომპენსირებელი დანადგარების ამორტიზაციისა და მიმდინარე რემონტზე ყოველწლიური დანარიცხების ფარდობითი მნიშვნელობა;

$E_6$  - კაპიტალური ხარჯების ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი.

მიზნის ფუნქციის გრადიენტი გამოითვლება ფორმულით.

$$\Delta Z = \Delta u + E_Q \cdot \partial Q_k / \partial Y, \quad (1.14)$$

სადაც  $E_c$ -მაკომპენსირებელი დანადგარის კაპიტალური ხარჯების ნაზრდის ვექტორი (მატრიცის ელემენტები), რომელიც შეესაბამება  $Q_k = |Q_{k1}, Q_{k2} \dots Q_{kn}|$  ვექტორს;

$Y$  – დამოუკიდებელი ცვლადების ვექტორი.

გრადიენტი

$$\Delta \mathcal{K} = \sum_{i=1}^m \frac{\partial \mathcal{K}_i}{\partial P_i} \frac{\partial P_i}{\partial Y} - E_p \frac{\partial P}{\partial Y}, \quad (1.15)$$

სადაც,  $E_p = \left| \frac{\partial \mathcal{K}_1}{\partial P_1}, \frac{\partial \mathcal{K}_2}{\partial P_2}, \dots, \frac{\partial \mathcal{K}_m}{\partial P_m} \right|$  – ელექტრული სადგურების

სიმძლავრის ფარდობითი ნაზარდის ვექტორი, რომელიც შეესაბამება  $P = |P_1, P_2 \dots P_m|$  ვექტორს.

ზემოთ აღნიშნული მეთოდების ღირსება მდგომარეობს მასში, რომ შესაძლებელია ამოცანის ამოხსნისათვის მათემატიკური მოდელის სრული ფორმულირება [17]. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალკვანძიანი რთული ქსელის მქონე ენერგოსისტემის შემთხვევაში საჭიროა გამომთვლელი ციფრული მანქანის მახსოვრობის დიდი მოცულობა. გარდა ამისა, ამოხსნის აღნიშნული ალგორითმის გამოყენებისას ყოველთვის წარმოიშობა სიმძლავრეები, რაც დაკავშირებულია განსახილველი ამოცანის თავისებურებების სრულყოფილ გათვალისწინებასთან.

გარდა აღნიშნული მეთოდისა, მთელ რიგ სამეცნიერ-ტექნიკურ ლიტერატურაში განიხილება სპეციალური მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია განსახილველი ამოცანის ტექნოლოგიურ თავისებურებებზე.

ერთ-ერთ პირველს და შედარებით წარმატებულ სპეციალურ მეთოდს წარმოადგენს ხარჯების პოტენციალთა მეთოდი. აქ ამოცანის ამოხსნისას გამოიყენება ენერგოსისტემის პირობითი სქემა, რომელიც შეიცავს ქსელის ელემენტების მხოლოდ აქტიურ წინაღობებს და კვანძების საანგარიშო რეაქტიულ დატვირთვებს. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ მაკომპენსირებელი დანადგარების ოპტიმალური სიმძლავრე და ქსელში მათი მიზანშეწონილი განლაგების ადგილები.

იმავდროულად შესაძლებელია დავადგინოთ რეაქტიული სიმძლავრის არსებული წყაროების ოპტიმალური დატვირთვა.

ამ მეთოდის შემთხვევაში მიზნის ფუნქციას წარმოადგენს დაყვანილი ხარჯები, რომელიც შეიცავს: ხარჯებს რეაქტიული სიმძლავრის გენერირებაზე ელექტროსადგურებში  $z_r$ , ხარჯებს ენერჯის გადაცემაზე ქსელში  $z_c$  და ხარჯებს მაკომპენსირებელ დანადგარებზე  $z_k$

$$z = z_r + z_c + z_k \quad (1.16)$$

ანგარიშების პროცესში შემოყვანილია ხარჯების პოტენციალების ცნებები:

– ქსელის მოცემულ კვანძში რეაქტიულ სიმძლავრის გადაცემის ხარჯების პოტენციალი

$$\psi_i^c = -\frac{\partial z_c}{\partial Q_i} = -\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_i} \tau \beta; \quad (1.17)$$

– არსებული წყაროების მიერ რეაქტიული სიმძლავრის გენერირებასთან დაკავშირებული გაწეული ხარჯების პოტენციალი

$$\psi_i^r = \frac{\partial z_r}{\partial Q_i} = \Delta P_i T_{imax} \beta; \quad (1.18)$$

მაკომპენსირებელი დანადგარების მიერ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაციაზე გაწეული ხარჯების პოტენციალი

$$\psi_i^k = \frac{\partial z_k}{\partial Q_i} = K_{yi}(E_H + P_1) + \Delta P_{di} T_{imax} \beta \quad (1.19)$$

(1.17) – (1.19) გამოსახულებებში:

$\Delta P$  – ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებია მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში;

$\tau$  – დანაკარგების დრო;

$\beta$  – 1 კვტსთ დაკარგული ენერჯის ღირებულება;

$Q_i$  –  $i$ -ური კვანძის არსებული წყაროს რეაქტიული სიმძლავრე;

$\Delta P_i$  – რეაქტიული სიმძლავრის არსებულ წყაროში აქტიური სიმძლავრის ხვედრითი დანაკარგები

$\Delta P_{\text{pi}}$ -რეაქტიული სიმძლავრის დამატებით წყაროებში აქტიური სიმძლავრის ხვედრითი დანაკარგები

$T_{\text{imакс}}, T_{\text{дiмакс}}$ -რეაქტიული სიმძლავრის არსებულ და დამატებით წყაროებში სიმძლავრის დანაკარგების დრო;

$K_{\text{yi-i}}$ --ურ კვანძში დაყენებული მაკომპენსირებელი დანადგარის ხვედრითი კაპიტალური ხარჯები;

$E_{\text{H}}$ -კაპიტალური ხარჯების ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი;

$P_{\text{i-i}}$ --ური კვანძის მაკომპენსირებელი დანადგარის ამორტიზაციისა და მიმდინარე რემონტის ყოველწლიური დანარიცხების ფარდობითი სიდიდე.

აღნიშნული მეთოდის ღირსება მდგომარეობს მასში, რომ შედარებით გამარტივებულია ამოცანის ამოხსნის პროცედურა. მეთოდის ნაკლს მიეკუთვნება ის, რომ მოდელში ჩადებულია ქსელის ელემენტების მხოლოდ აქტიური წინაღობების და კვანძების მხოლოდ რეაქტიული საანგარიშო დატვირთვები. აღნიშნულის გამო არ ხერხდება ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების გათვალისწინება, რასაც შეუძლია გავლენა მოახდინოს მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური სიმძლავრის სიდიდეზე.

[25]-ში ავტორების მიერ წარმოდგენილია კიდევ ერთი სპეციალური მეთოდი კრიტერიალური მეთოდი. ამ მეთოდით ანგარიშები სრულდება მკვებავი ქსელის მთლიანი სქემის გათვალისწინებით, რომელიც ითვალისწინებს ელემენტების აქტიურ და რეაქტიულ წინაღობებს და დატვირთვის აქტიურ და რეაქტიულ შემდგენებს.

აღნიშნული მეთოდი და მისი შესაბამისი ალგორითმი ითვალისწინებს დანახარჯებს მაკომპენსირებელ დანადგარებზე და ქსელში დანაკარგებზე და აგრეთვე ძაბვის არასაკმარისი ხარისხით გამოწვეულ ზარალთან დაკავშირებულ ხარჯებს. მეთოდის იდეა მდგომარეობს ეკონომიკური ანალიზის საფუძველზე სპეციალური პრაქტიკული კრიტერიუმის გამოყენებაში, რომელიც საშუალებას

გვაძლევს განვსაზღვროთ არა მარტო მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრე და დაყენების ადგილი, არამედ მათი დაყენების რაციონალური რიგითობა. აღნიშნული მეთოდი გამოიყენება მაკომპენსირებელი დანადგარების პროექტირებისას.

სამეცნიერო ლიტერატურაში განხილული მეთოდები მიმართულია იქეთ, რომ მკვებავ და მანაწილებელ ქსელებში მაკომპენსირებელი დანადგარების განლაგების ოპტიმიზაცია გარკვეულწილად განხილული იქნეს ურთიერთდამოუკიდებლად, მაგრამ ურთიერთკავშირში.

შემოთავაზებულ მეთოდებით განიხილება: 1. მოცემული მანაწილებელი ქსელში მოცემული ჯამური სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარების ეკონომიკური განაწილება. 2. მანაწილებელ ქსელში მაკომპენსირებელი დანადგარების ჯამური სიმძლავრისა და მათი განლაგების ეკონომიკური მიზანშეწონილობის განსაზღვრა.

პირველ შემთხვევაში მაკომპენსირებელი დანადგარის ჯამური სიმძლავრე დადგინდება რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის პირობიდან ან შეიძლება დადგინდეს მთელი სისტემისათვის ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე.

მეორე შემთხვევაში ამოცანა მდგომარეობს მანაწილებელ ქსელში მაკომპენსირებელი დანადგარების ოპტიმალური სიმძლავრისა და განლაგების განსაზღვრაში მკვებავი ქსელის ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე გავლენის გათვალისწინებით [6] ამ მიზნით ამოცანაში მკვებავი ქსელი გათვალისწინებულია გარკვეული სიდიდის ეკვივალენტური წინააღობით. ამ მეთოდის ნაკლი მდგომარეობს მრავალკონტურიანი შეკრული მკვებავი ქსელისათვის ეკვივალენტური წინააღობის გამოთვლის სირთულეში.

რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნის თავისებური მიდგომა განიხილება [29]-ში. აქ ავტორი მანაწილებელ ქსელში მაკომპენსირებელი დანადგარის ჯამური სიმძლავრის და მათი

განლაგების განსაზღვრასთან ერთად განიხილავს სადენტო განიკვეთების შერჩევას. აქაც მკვებავი ქსელის ეკვივალენტური წინაღობა განისაზღვრება მიახლოებით.

მეორე მნიშვნელოვანი საკითხი, რომელიც განიხილება სამეცნიერო ლიტერატურაში, წარმოადგენს რეგულირებად კონდენსატორთა ბატარეის რაციონალური შერჩევა. რიგ ნაშრომებში მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრის განსაზღვრის ამოცანის ამოხსნისას ძაბვის რეგულირების მოთხოვნები გათვალისწინებულია საკმარისად სრულად. ამასთან საწყისი ინფორმაციის სახით მოცემულია მაკომპენსირებელი დანადგარების ჯამური სიმძლავრე.



## თავი II

### 2.1 ძაბვის ვარდნა ელექტრულ ქსელში

ძაბვის საყრდენი კვანძიდან ქსელის მოცემული  $f$  კვანძამდე ძაბვის ვარდნის განმსაზღვრავი გამოსახულება არის

$$\underline{\Delta U}_f = \sum_0^f \sqrt{3} \underline{I}_i \underline{Z}_i \quad (2.1)$$

სადაც;  $\underline{I}_i$ ,  $\underline{Z}_i$  - ქსელის  $i$  უბნის დატვირთვის დენი და წინაღობა:

$\sum_0^f$  – სიმბოლო, რომელიც აღნიშნავს ძაბვის ვარდნათა ალგებრულ ჯამს საყრდენი კვანძიდან განსახილველ  $f$  კვანძამდე ნებისმიერი გზით. განაწილების კოეფიციენტის განმარტებიდან გამომდინარე  $i$  უბანზე გამავალი დენი, რომელიც გამოწვეული  $k$  კვანძის დატვირთვის დენით განისაზღვრება ფორმულით

$$\underline{I}_{j,k} = \underline{I}_k \cdot \underline{a}_{i,k} = \underline{I}_k (a'_{i,k} + ja''_{i,k}), \quad (2.2)$$

სადაც  $a'_{i,k} = a_{i,k} + ja''_{i,k}$  - განაწილების კოეფიციენტი.

ქსელის ყველა კვანძის დატვირთვებით გამოწვეული  $i$  უბნის დატვირთვის დენი

$$\underline{I}_i = \sum_{k=1}^n \underline{I}_{i,k} = \sum_{k=1}^n \underline{I}_k (a'_{i,k} + ja''_{i,k}) \quad (2.3)$$

სადაც  $n$ -ქსელის კვანძების რაოდენობა მაბალანსირებლის გარდა.

სიმძლავრეთა ენაზე (2.2) და (2.3) მიიღებს სახეს

$$\underline{S}_{i,k} = (P_k a'_{i,k} + Q_k a''_{i,k}) + j(P_k a''_{i,k} - Q_k a'_{i,k}) \quad (2.4)$$

$$\underline{S}_i = \sum_{k=1}^n [(P_k a'_{i,k} + Q_k a''_{i,k}) + j(P_k a''_{i,k} - Q_k a'_{i,k})] \quad (2.5)$$

(2.1) და (2.3) გამოსახულებათა გათვალისწინებით ძაბვის ვარდნა ძაბვის საყრდენი კვანძიდან  $f$  კვანძამდე

$$\underline{\Delta U}_f = \sum_0^f [\sqrt{3} \sum_{k=1}^n \underline{I}_{i,k}] \cdot \underline{Z}_i = \sum_0^f \sum_{k=1}^n \sqrt{3} \underline{I}_{i,k} \cdot \underline{Z}_i = \sum_0^f \sum_{k=1}^n \underline{\Delta U}_{i,k} \quad (2.6)$$

სადაც

$$\underline{\Delta U}_{i,k} = \sqrt{3} \underline{I}_{i,k} \underline{Z}_i \quad (2.7)$$

წარმოადგენს ძაბვის ვარდნას  $i$  უბანზე, რომელიც გამოწვეულია  $K$  კვანძის დატვირთვით.

(2.2)-ის გათვალისწინებით (2.7) მიიღებს სახეს

$$\underline{\Delta U}_{i,k} = \sqrt{3} \underline{I}_k (a'_{i,k} + j a''_{i,k}) (R_i + j X_i) = \sqrt{3} \underline{I}_k [(a'_{i,k} R_i - a''_{i,k} X_i) + j (a'_{i,k} X_i + a''_{i,k} R)] \quad (2.8)$$

შევასრულებთ რა აჯამვას  $0-f$  გზაზე მივიღებთ ძაბის მნიშვნელობას  $f$  კვანძში, გამოწვეულს  $K$  დატვირთვით

$$\underline{\Delta U}_{f,k} = \sqrt{3} \underline{I}_k [\sum_0^f (a'_{i,k} R_i - a''_{i,k} X_i) + j \sum_0^f (a'_{i,k} X_i + a''_{i,k} R_i)] \quad (2.9)$$

ფრჩხილებში წარმოდგენილი გამოსახულებები წარმოადგენენ გავლენის წინააღობებს

$$\left. \begin{aligned} R_{f,k} &= \sum_0^f (a'_{i,k} R_i - a''_{i,k} X_i) \\ X_{f,k} &= \sum_0^f (a'_{i,k} X_i + a''_{i,k} R_i) \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

რომლებიც აღრიცხავენ  $k$  კვანძის დატვირთვის დენის გავლენას  $f$  კვანძის ძაბვის სიდიდეზე. ამასთან როცა  $k = f$  მაშინ გვაქვს  $f$  კვანძის საკუთარი წინააღობა, ხოლო  $k \neq f$  შემთხვევაში კი გვაქვს  $f$  და  $k$  კვანძების ურთიერთ წინააღობა. უნდა აღინიშნოს, რომ

$$R_{f,k} \leq R_{f,f} \text{ და } X_{f,k} \leq X_{f,f} \text{ ხოლო } Z_{f,k} = Z_{k,f}. \quad (2.11)$$

ამრიგად, ელექტრული ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობათა მატრიცა კვადრატულ სიმეტრიული მატრიცაა, რომლის დიაგონალური წევრები წარმოადგენენ კვანძების საკუთარ წინააღობას, ხოლო არადიაგონალური წევრები კი ურთიერთწინააღობას (სქემა 1).

სქემა 1 ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღობის მატრიცა

$N^{\circ}$	1	2	.....	$f$	.....	$n$
1	$\underline{Z}_{1,1}$			$\underline{Z}_{1,f}$		$\underline{Z}_{1,n}$
2		$\underline{Z}_{2,2}$				
$\vdots$						
$f$	$\underline{Z}_{f,1}$			$\underline{Z}_{f,f}$		$\underline{Z}_{f,n}$
$\vdots$						
$n$	$\underline{Z}_{n,1}$			$\underline{Z}_{n,f}$		$\underline{Z}_{n,n}$

მაშასადამე ძაბვის ვარდნა კვების ცენტრიდან  $f$  კვანძამდე (2.9) გამოსახულების თანახმად ჩაიწერება შემდეგ სახეში.

$$\Delta U_f = \sum_{k=1}^n \sqrt{3} I_k (R_{f,k} + jX_{f,k}) \quad (2.12)$$

## 2.2 კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობათა განსაზღვრის მეთოდიკა

ქსელის ნებისმიერი  $i$  კვანძის საკუთარი წინაღობა რიცხობრივად  $i$  კვანძსა და მახალანსირებელ კვანძის პოტენციალთა შორის სხვაობის ტოლია, როცა ერთეულოვანი დენი ( $I_i = 1$ ) მიედინება  $i$  კვანძიდან მახალანსირებელი კვანძისაკენ და ქსელის დანარჩენ კვანძებში დატვირთვის დენები ნულის ტოლია.

$i$  და  $j$  კვანძების ურთიერთ წინაღობა, დენების იმავე რეჟიმის პირობებში, წარმოადგენს  $i$  და  $j$  მახალანსირებელ კვანძების პოტენციალთა სხვაობას.

ამრიგად

$$\left. \begin{array}{l} \underline{Z}_{j,i} = \underline{U}_j - U_0 \\ \underline{Z}_{i,j} = \underline{U}_i - U_0 \end{array} \right\} \text{როცა } \left. \begin{array}{l} I_i = 1, \text{ და } I_j = 0 \\ j = \overline{1, n} \quad j \neq i \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

კვანძების საკუთარ და ურთიერთ წინაღობის დასადგენად მორიგეობით ქსელის თითოეულ კვანძში მივაწოდებთ ერთეულოვან დენს, რომელიც წრედს შეკრავს მახალანსირებელი კვანძის გავლით და დავადგენთ ამ დენის ქსელში განაწილების სურათს. ქსელის დანარჩენ კვანძებში ამ დროს დენები  $I_j = 0$ .

ნებისმიერად შერჩეული  $U_0$  ძაბვის ქსელში  $I_i$  დენის განაწილების სურათის საშუალებით დავადგენთ ქსელის ყველა კვანძის პოტენციალს  $\underline{U}_1, \underline{U}_2 \dots \underline{U}_j \dots \underline{U}_n$  და (2.13) გამოსახულებათა გამოყენებით გამოვთვალოთ  $\underline{Z}_{ii}$  და  $\underline{Z}_{i,j}$  წინაღობებს.

ანგარიშის გამარტივების მიზნით იღებენ  $U_0 = 0$  და ამ შემთხვევაში კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღმდეგობა რიცხობრივად შესაბამისი კვანძის პოტენციალის ტოლია

$$\left. \begin{array}{l} \underline{Z}_{j,i} = \underline{U}_j \\ \underline{Z}_{i,j} = \underline{U}_i \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{როცა} \\ U_0 = 0 \end{array} \left. \begin{array}{l} I_i = 1, \text{ და } I_j = 0 \\ j = \overline{1, n} \quad j \neq i \end{array} \right\} \quad (2.14)$$

### 2.3 სიმძლავრის დანაკარგები ქსელში

ელექტრულ ქსელში აქტიური სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები წარმოადგენს ქსელის ცალკეული ელემენტის გრძივ და განივ პარამეტრებში დანაკარგების ჯამს

$$\Delta P = \sum_i \Delta P_i = \sum_i \left( \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{\theta}^2} R_i + U_{\theta}^2 G_i \right), \text{ მგვტ}$$

სადაც  $P_i, Q_i$  – ქსელის ელემენტის გრძივ წინააღმდეგობაში გამავალი სიმძლავრე მგვტ, მგვარ;

$R_i, G_i$  – ამავე ელემენტის აქტიური წინააღმდეგობა და აქტიური გამტარობა, ომი, სიმენსი;

$U_{\theta}$  – ამავე ელემენტის მაღალი ნომინალური ძაბვა, კვ.

აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები (დანაკარგები ხაზში გვირგვინის მოვლენაზე და დანაკარგები ტრანსფორმატორების ფოლადში) პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული დატვირთვის დენზე (სიმძლავრეზე) და ანგარიშების დროს შეგვიძლია მუდმივად ჩავთვალოთ.

გრძივ წინააღმდეგობაში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები პირდაპირ კვადრატულ პროპორციულია ამ წინააღმდეგობაში გამავალი დენისა (სიმძლავრისა), რომლებიც გამოსახულებათა თანახმად ცალსახად განისაზღვრება ქსელის კვანძების დატვირთვის დენების (სიმძლავრეების) საშუალებით.

ქსელის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანათა განხილვისას საჭირო ხდება ქსელის ცალკეული კვანძისათვის დავადგინოთ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი (§2.4), ანუ როგორც

იტყვიან დავადგინოთ ნებისმიერი  $k$  კვანძის დატვირთვის ცვლილების გავლენა ქსელში დანაკარგების სიდიდეზე. ამ მიზნით საჭიროა დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება განსაზღვრული იქნეს არა შტოებში გამავალი დენების (სიმძლავრეების), არამედ კვანძების დატვირთვების საშუალებით.

სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება ჩავწეროთ ქსელში სიმძლავრის სრული ბალანსის სახით

$$\Delta S = \sum_{f=0}^m S_{გენ.f} - \sum_{f=m+1}^n S_{დატვ.f} \quad (2.15)$$

სადაც  $S_{გენ.f}$  არის ყველა ენერგო წყაროს მიერ ქსელში გაცემული სიმძლავრე;

$S_{დატვ.f}$  - ყველა მომხმარებლის დატვირთვა სიმარტივისათვის (2.15) შემდეგნაირად ჩავწეროთ

$$\Delta S = \sum_{f=0}^n S_f, \quad (2.16)$$

სადაც  $S_f$  - გენერაციის და მოხმარების კვანძის სიმძლავრეა, რომელიც აიღება “პლუს” ნიშნით, როცა  $f$  წარმოადგენს გენერაციის კვანძს და “მინუს” ნიშნით, როდესაც  $f$  მოხმარების კვანძია.

ვიციტ რომ  $S_f = 3U_f I_f^*$ , მივიღებთ

$$\Delta S = \sum_{f=0}^n 3U_f I_f^* \quad (2.17)$$

$$\text{თავის მხრივ ძაბვა } U_f = U_0 + \Delta U_f \quad (2.18)$$

და გვაქვს

$$\Delta S = \sum_{f=0}^n 3(U_0 + \Delta U_f) I_f^* = 3U_0 \sum_{f=0}^n I_f^* + 3 \sum_{f=0}^n \Delta U_f I_f^*$$

მიღებული გამოსახულების პირველ წევრში თანამამრავლის სახით შედის ქსელის ყველა კვანძის (მაბალანსირებელი კვანძის ჩათვლით) დენების ალგებრული ჯამი, რაც კირხოფის პირველი კანონის თანახმად ნულის ტოლია.

ამრიგად

$$\Delta S = 3 \sum_{f=0}^n \Delta U_f I_f^*$$

რადგანაც  $\Delta U_{f=0}=0$  ვლუბულობო

$$\Delta S = 3 \sum_{f=1}^n \Delta U_f I_f^* \quad (2.19)$$

ანუ (2.12) გათვალისწინებით ქსელში სიმძლავრის დანაკარგებისათვის გვაქვს

$$\Delta S = 3 \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n I_K (R_{f,K} + iX_{f,K}) I_f^* \quad (2.20)$$

ელექტრული ქსელების რეჟიმების გაანგარიშების დროს უფრო მოხერხებულია კვანძების დენური დატვირთვები გამოვსახოთ შესაბამისი სიმძლავრეებით

$$I_K = \frac{S_K^*}{3U_K^*} I_f = \frac{S_f^*}{3U_f^*}$$

მაშინ (2.20) მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\Delta S = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{S_K^* S_f}{U_K^* U_f} Z_{f,K}$$

ანუ

$$\Delta S = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{P_K - jQ_K}{U_K} \cdot \frac{P_f - jQ_f}{U_f} Z_{f,K} e^{-i\varphi_{ukf}} \quad (2.21)$$

სადაც  $\varphi_{ukf} = \varphi_{uk} - \varphi_{uf}$   $-k$  და  $f$  კვანძების ძაბვების ვექტორებს შორის ძვრის კუთხე.

ცხადია, რომ

$$\varphi_{uk} = -\varphi_{fk} \quad (2.22)$$

ალგებრული გარდაქმნების შემდეგ (2.21) მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\Delta S = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{(P_K P_f + Q_K Q_f) + j(P_K Q_f - P_f Q_K)}{U_K U_f} \cdot (\cos \varphi_{ukf} + j \sin \varphi_{ukf}) Z_{f,K}$$

ანუ

$$\Delta S = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{Z_{f,K}}{U_K U_f} \{ [(P_K P_f + Q_K Q_f) \cos \varphi_{ukf} - (P_K Q_f - P_f Q_K) \sin \varphi_{ukf}] + j[(P_K P_f + Q_K Q_f) \sin \varphi_{ukf} + (P_K Q_f - P_f Q_K) \cos \varphi_{ukf}] \}$$

ამ გამოსახულების მეორე დიდი ფრჩხილი ორმაგი აჯამვის გამო ნულის ტოლია, რადგანაც მისი ყოველი წყვილი  $A_{kf}$  და  $A_{fk}$  წევრები ერთმანეთს აკომპენსირებენ:

$$A_{kf} + A_{fk} =$$

$$(P_K P_f + Q_K Q_f) \sin \varphi_{ukf} + (P_K P_f - P_f Q_K) \cos \varphi_{ukf} +$$

$$(P_f P_k + Q_f Q_k) \sin \varphi_{ukf} + (P_f Q_k - P_k Q_f) \cos \varphi_{ukf}$$

(2.22)-ის თანახმად

$$\sin \varphi_{ukf} = -\sin \varphi_{ukf} \text{ და } \cos \varphi_{ukf} = \cos \varphi_{ukf},$$

ამიტომ ვღებულობთ

$$A_{kf} + A_{fk} = 0$$

და შესაბამისად, ქსელში დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება

მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\Delta S = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{Z_{f,K}}{U_K U_f} [(P_K P_f + Q_K Q_f) \cos \varphi_{ukf} - (P_K Q_f - P_f Q_K) \sin \varphi_{ukf}]$$

ანუ, ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო

გამოსახულებას ექნება შემდეგი სახე

$$\Delta P = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{R_{f,K}}{U_K U_f} [(P_K P_f + Q_K Q_f) \cos \varphi_{ukf} - (P_K Q_f - P_f Q_K) \sin \varphi_{ukf}] \quad (2.23)$$

ხოლო რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო

გამოსახულება კი იქნება ასეთი სახის

$$\Delta Q = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{X_{f,K}}{U_K U_f} [(P_K P_f + Q_K Q_f) \cos \varphi_{ukf} - (P_K Q_f - P_f Q_K) \sin \varphi_{ukf}] \quad (2.24)$$

თუ კვანძების რეაქტიული დატვირთვებს გამოვსახავთ მათი კოეფიციენტებით

$$Q_k = P_k \operatorname{tg} \varphi_k \text{ და } Q_f = P_f \operatorname{tg} \varphi_f,$$

მივიღებთ:

$$\Delta P = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{P_k P_{f,K}}{U_K U_f} [1 + \operatorname{tg} \varphi_k \operatorname{tg} \varphi_f] \cos \varphi_{ukf} - (\operatorname{tg} \varphi_f - \operatorname{tg} \varphi_k) \sin \varphi_{ukf}]$$

ამ გამოსახულებათა დიდი ფრჩხილების მეორე წევრები პირველ წევრებთან შედარებით შეიძლება უგულველებლყოთ შემდეგ გარემოებათა გამო:

1. ძვრის კუთხე ძაბვის ვექტორებს შორის შედარებით მცირეა და

ამიტომ ყოველთვის

$$\cos \varphi_{ukf} > \sin \varphi_{ukf},$$

2. კვანძებში რეაქტიული დატვირთვების კოეფიციენტები თითქმის თანაზომადი სიდიდეებია და ამიტომ

$$\left| \frac{1 + tg\varphi_k tg\varphi_f}{tg\varphi_f - tg\varphi_k} \right| = \left| \frac{1}{tg(\varphi_f - \varphi_k)} \right| \gg 1;$$

3. სხვაობა  $tg\varphi_f - tg\varphi_k$  სხვადასხვა კვანძებთან მიმართებაში შეიძლება აღმოჩნდეს, როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი, რის გამოც ზემოთ აღნიშნული მეორე წევრების ცალკეული შემდგენები გარკვეულწილად ერთმანეთს აკომპენსირებენ კიდევ

ამრიგად ქსელში დანაკარგებისათვის მივიღეთ

$$\Delta P = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{R_{fk}}{U_k U_f} (P_k P_f + Q_k Q_f) \cos\varphi_{Uk} \quad (2.25)$$

და

$$\Delta Q = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{X_{fk}}{U_k U_f} (P_k P_f + Q_k Q_f) \cos\varphi_{Uk} \quad (2.26)$$

ანუ გვაქვს:

$$\Delta P_P = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{P_k P_f R_{fk}}{U_k U_f} \cos\varphi_{Ukf} \quad (2.27)$$

–აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები გამოწვეული კვანძების აქტიური დატვირთვებით;

$$\Delta P_Q = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{Q_k Q_f R_{fk}}{U_k U_f} \cos\varphi_{Ukf} \quad (2.28)$$

–აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები გამოწვეული კვანძების რეაქტიული დატვირთვებით;

$$\Delta Q_P = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{P_k P_f X_{fk}}{U_k U_f} \cos\varphi_{Ukf} \quad (2.29)$$

–რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები გამოწვეული კვანძების აქტიური დატვირთვებით;

$$\Delta Q_Q = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{Q_k Q_f X_{fk}}{U_k U_f} \cos\varphi_{Ukf} \quad (2.30)$$

– რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები, გამოწვეული კვანძების რეაქტიული დატვირთვებით. როგორც პრაქტიკული დაკვირვებების ანალიზი გვიჩვენებს ანგარიშებში დასაშვებია მივიღოთ, რომ  $\cos\varphi_{Ukf} \approx 1$  და  $U_k \approx U_f \approx U_0$



მაშინ (2.29) - (2.30) გამოსახულება ჩაიწერება ამგვარად;

$$\Delta P_P = \frac{1}{U_b^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n P_k P_f R_{fK} \quad (2.31)$$

$$\Delta P_Q = \frac{1}{U_b^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n Q_k Q_f R_{fK} \quad (2.32)$$

$$\Delta Q_P = \frac{1}{U_b^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n P_k P_f X_{fK} \quad (2.33)$$

$$\Delta Q_Q = \frac{1}{U_b^2} \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n Q_k Q_f X_{fK} \quad (2.34)$$

(2.31) – (2.34) გამოსახულებები საშუალებას გვაძლევს საინჟინრო გაანგარიშებისთვის საკმარისი სიზუსტით განვსაზღვროთ ქსელში დანაკარგები. უფრო მაღალი სიზუსტისთვის საჭიროა ვისარგებლოთ (2.33-2.34) გამოსახულებებით.

## 2.4 აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი ელექტრულ ქსელში

დანაკარგების ოპტიმიზაციის ღონისძიებათა შერჩევის ერთერთ მნიშვნელოვან კრიტერიუმს წარმოადგენს დანაკარგების მინიმიზაცია. (2.31) და (2.32) გამოსახულებების თანახმად ქსელში დანაკარგები დამოკიდებულია ქსელის კვანძების დატვირთვაზე და ამ კვანძების საკუთარ და ურთიერთ წინაღობაზე.

აშკარაა, რომ ნებისმიერი სამომხმარებლო კვანძის რეაქტიული დატვირთვის შემცირება (კომპენსაცია) გამოიწვევს ქსელის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებას. ამასთან დანაკარგების შემცირების სისწრაფე ქსელის კვანძების საკუთარ და ურთიერთ წინაღობაზეა დამოკიდებული.

ქსელის f კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის მიზანშეწონილობა შეფასებული უნდა იქნას იმ სიდიდით, რომელიც მოცემულ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის შეცვლისას გვიჩვენებს ქსელში დანაკარგების შემცირების სისწრაფეს. ეს სიდიდე წარმოადგენს მოცემული კვანძის მიმართ აქტიური

სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზარდს რეაქტიული დატვირთვის მიხედვით

$$\sigma_{f(Q)} = \frac{\partial \Delta P_Q}{\partial Q_f} \quad (2.35)$$

(2.32)-ის თანახმად გვაქვს

$$\sigma_{f(Q)} = \frac{2}{U_f^2} \sum_{k=1}^n R_{f,k} Q_k, \quad (2.36)$$

და შესაბამისად (2.32) შეიძლება ამგვარადაც ჩავწეროთ

$$\Delta P_Q = \frac{1}{2} \sum_{f=1}^n \sigma_{f,(Q)} Q_f \quad (2.37)$$

ამ გამოსახულების ანალოგიურად შეიძლება ვწეროთ

$$\Delta P_P = \frac{1}{2} \sum_{f=1}^n \sigma_{f,(P)} P_f \quad (2.38)$$

სადაც  $\sigma_{f(P)}$  წარმოადგენს  $f$  კვანძის მიმართ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზარდს აქტიური დატვირთვის მიხედვით

$$\sigma_{f(P)} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_f} \quad (2.39)$$

(2.37) და (2.38) გამოსახულებათა საფუძველზე ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება შეიძლება ამგვარად ჩავწეროთ

$$\Delta P = \frac{1}{2} \sum_{f=1}^n \sigma_{f,(P)} P_f + \sigma_{f,(Q)} Q_f \quad (2.40)$$

დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდის ფიზიკური არსის დასადგენად (2.35) წარმოვადგინოთ მცირე ნაზარდების საშუალებით

$$\sigma_f = \frac{\Delta(\Delta P_Q)}{\Delta Q_f} \quad (2.41)$$

აქ:  $\Delta(P_Q)$ —ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ნაზარდი.

$\Delta Q_{if}$  კვანძში რეაქტიული დატვირთვის ნაზარდი.

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თუ  $\Delta Q_f=1$  მაშინ  $\sigma_f = \Delta(\Delta P_Q)$ . ე.ი. მოცემული კვანძისათვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი რიცხობრივად ქსელში დანაკარგების ნაზარდის ტოლია, როცა მოცემულ კვანძში რეაქტიული დატვირთვა იზრდება ერთი ერთეულით.

(2.38) გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ: თუ  $\sigma > 0$ , მაშინ  $f$  კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ( $\Delta Q_f > 0$ ) გამოიწვევს ქსელში დანაკარგების გაზრდას ანუ  $\Delta(\Delta P_Q) > 0$ , თუ  $\sigma_f < 0$  მაშინ იგივე კომპენსაცია გამოიწვევს დანაკარგების შემცირებას ანუ  $\Delta(\Delta P_Q) < 0$

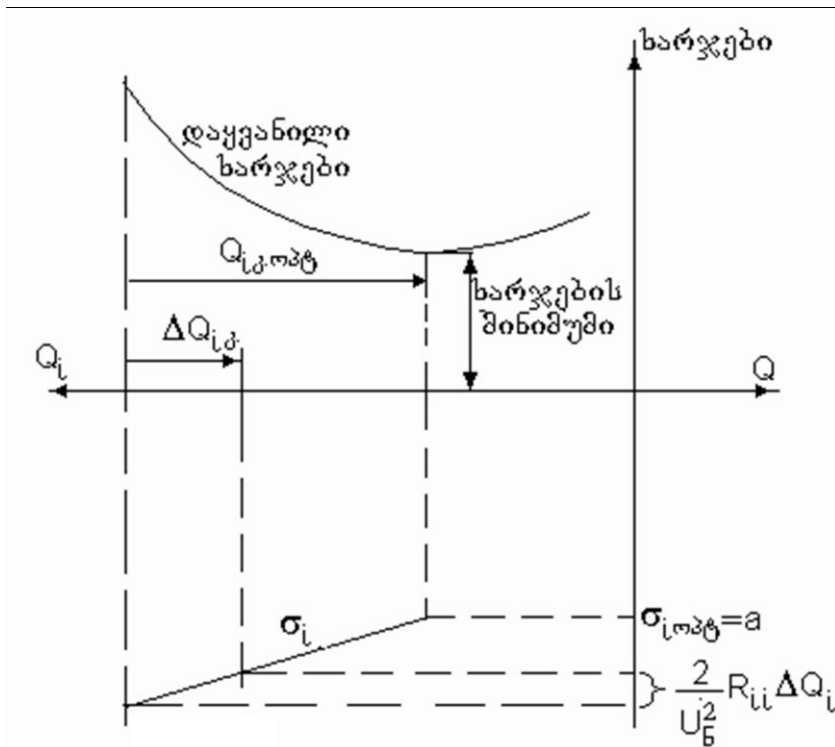
მაშასადამე რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის მიზანშეწონილობა უნდა ვეძებოთ იმ კვანძების მიხედვით, სადაც აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი უარყოფითია

$$\sigma_f < 0 \quad (2.42)$$

(2.36)-ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ქსელის ერთ რომელიმე კვანძში რომლისთვისაც ადგილი აქვს (2.42) უტოლობას, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია გამოიწვევს დანაკარგების ფარდობით ნაზრდის ზრდას (აბსოლუტური სიდიდის შემცირებას) როგორც თვით ამ კვანძის მიმართ, ასევე სხვა კვანძების მიმართაც. თუ არ გავითვალისწინებთ იმ დანახარჯებს, რაც თან ახლავს მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენებას, მაშინ რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით ეფექტურია მანამ, სანამ ქსელის ყველა კვანძისთვის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი არ გახდება ნულის ტოლი.

პრაქტიკულად, მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება მოითხოვს მნიშვნელოვან კაპიტალურ და საექსპლოატაციო ხარჯებს და ამა თუ იმ კვანძისთვის დანადგარების ფარდობითი ნაზრდის ნულამდე გაზრდა ეკონომიკურად არამიზანშეწონილია. აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ მოცემული კონკრეტული ქსელის შემთხვევაში იარსებებს დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ცალსახად განსაზღვრული რაღაც ზღვრული სიდიდე, რომლის შემდეგ დატვირთვის შემდგომი კომპენსაცია არაეკონომიკურია (ნახ.2.1) ამ სიდიდეს ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალური სიდიდე ვუწოდოთ

$$\sigma_{\text{ოპტ}} = \alpha \quad (2.43)$$



ნახ.2.1

განვიხილოთ ქსელის რომელიმე  $i$  და  $j$  კვანძებში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციისას ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებისა და ამ კვანძების მიმართ დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ცვლილების ხასიათი. ანალიზის გამარტივების მიზნით დავუშვათ, რომ

$$R_{ii} > R_{jj} \quad (2.44)$$

(2.32) გამოსახულების თანახმად დანაკარგების სიდიდე ნებისმიერი კვანძის დატვირთვაზე პირდაპირ კვადრატულ დამოკიდებულებაშია

$$\Delta P(Q_i) = \frac{1}{U_b^2} \left[ R_{i,i} Q_i^2 + 2Q_i \sum_{k \neq i}^n R_{ik} Q_k \right] \quad (2.45)$$

$$\Delta P(Q_j) = \frac{1}{U_b^2} \left[ R_{j,j} Q_j^2 + 2Q_j \sum_{k \neq j}^n R_{jk} Q_k \right] \quad (2.46)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ როცა  $R_{ii} > R_{jj}$ , მაშინ

უმრავლეს შემთხვევაში ადგილია ქვსაგრეთვე შემდეგ უტოლობას

$$R_{i,k} > R_{j,k} \quad (2.47)$$

აქედან გამომდინარე,  $i$  და  $j$  კვანძებში რეაქტიული დატვირთვის ერთი

და იგივე სიდიდით კომპენსაციისას, ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები უფრო მეტად მცირდება იმ კვანძის შემთხვევაში, რომლის საკუთარი წინააღმდეგ უფრომეტია (ნახ.2.2) (2.45) და (2.46) გამოსახულებათა თანახმად განსახილველი კვანძების მიმართ დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი (2.35) დან გამომდინარე, გამოითვლება ფორმულით

$$\sigma_i = \frac{2}{U_b^2} \left[ R_{i,i} Q_i + \sum_{k \neq 1}^n R_{ik} Q_k \right] \quad (2.48)$$

$$\sigma_j = \frac{2}{U_b^2} \left[ R_{j,j} Q_j + \sum_{k \neq 1}^n R_{jk} Q_k \right] \quad (2.49)$$

ადვილათ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ (2.43) და (2.47) უტოლობათა პირობებში ადგილი აქვს აგრეთვე უტოლობას.

$$|\sigma_i| > |\sigma_j| \quad (2.50)$$

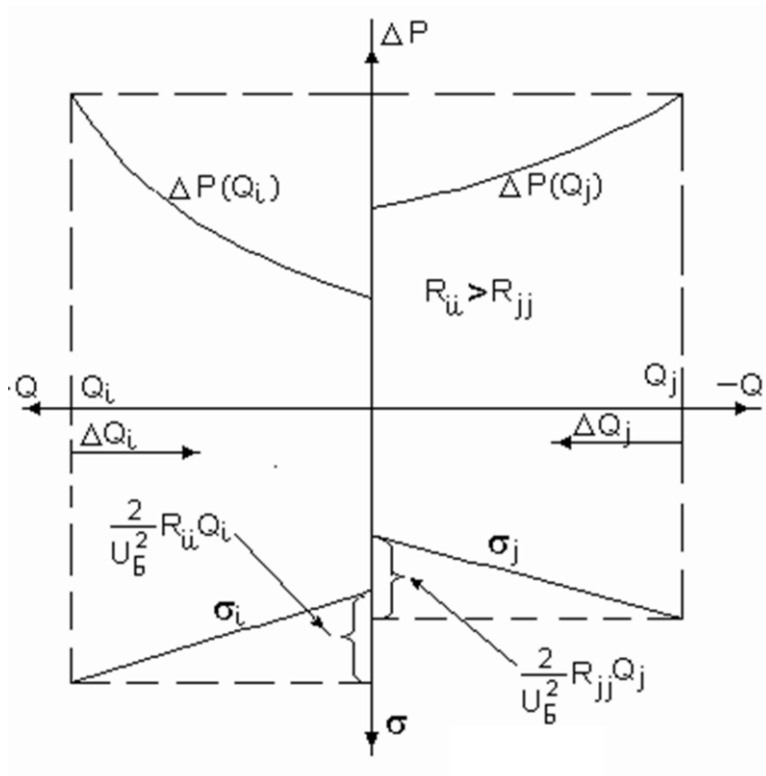
ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე  $i$  და  $j$  კვანძებში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისას ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებისა და ამ კვანძების მიმართ დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდის ცვლილების ხასიათი შეიძლება ვაჩვენოთ 2.2. ნახაზზე წარმოდგენილი გრაფიკის სახით.

(2.48) და (2.49) გამოსახულებათა საფუძველზე ქსელის კვანძის მიმართ დანაკარგების ფარდობითი ნაზარდი შეიძლება წარმოვადგინოთ ორი შესაკრების სახით, რომელთაგანაც ერთი განპირობებულია თვით ამ კვანძის დატვირთვებითა და საკუთარი წინააღმდეგ

$$\sigma'_i = \frac{2}{U_b^2} R_{i,i} Q_i \quad (2.51)$$

ხოლო მეორე კი განპირობებულია ქსელის დანარჩენი კვანძების დატვირთვებითა და ამ კვანძებისა და განსახილველი კვანძის ურთიერთწინააღმდეგობით

$$\sigma''_i = \frac{2}{U_b^2} \sum_{k \neq 1}^n R_{jk} Q_k \quad (2.52)$$



ნახ. 2.2

რადგანაც ქსელის უმრავლესი და განსაკუთრებით ელექტრულად უშორესი კვანძისთვის, ადგილი აქვს უტოლობას

$$R_{i,k} < R_{i,i} \quad (2.53)$$

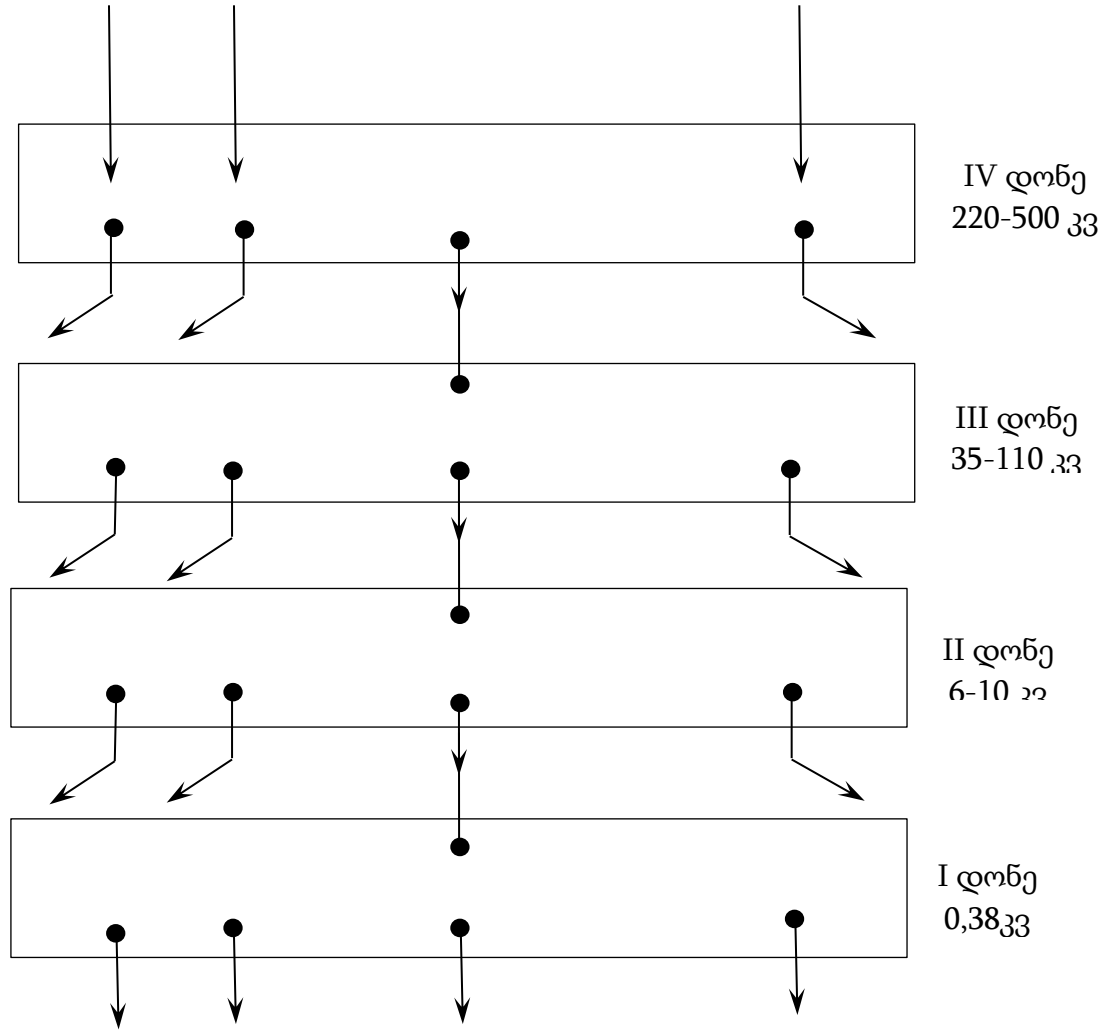
ამიტომ, მოცემულ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის შეცვლა უფრო მეტად შეცვლის დანაკარგების ფარდობით ნაზრდს თვით ამ კვანძის მიმართ, ვიდრე სხვა რომელიმე კვანძის მიმართ.

მაშასადამე ქმედების ეფექტურობის თვალსაზრისით ეკონომიკურად უფრო მიზანშეწონილია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია უპირველესად განახორციელდეს ელექტრულად უშორეს კვანძში, რომელიც დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის უფრო დიდი აბსოლუტური მნიშვნელობით ხასიათდება.

### თავი III

#### 3.1. ელექტრული სისტემის იერარქიულობა

ელექტრული სისტემა ქსელის ნომინალური ძაბვის მიხედვით შეიძლება წარმოვადგინოთ ოთხი სხვადასხვა დონის ვერტიკალური იერარქიული სტრუქტურის სახით (ნახაზი. 3.1).



ნახ. 3.1

I დონე - 0.38 კვ. ძაბვის მანაწილებელი ქსელი.

II დონე - 6-10 კვ. ძაბვის მანაწილებელი ქსელი.

III დონე - 35-110 კვ. ძაბვის მანაწილებელი ქსელი.

IV დონე - 220-500 კვ. ძაბვის მკვებავი ქსელი.

I, II, III დონის ყველა მანაწილებელი ქსელი წარმოდგენილია ავტონომიური ქსელის სახით და მათ შორის განივი ურთიერთკავშირი არ

განხილვა. ამასთან N დონის ავტონომიურ ქსელს ელექტრული კავშირი აქვს მასზე უფრო მაღალი N+1 დონის ქსელის მხოლოდ ერთ კვანძთან.

მკვებავი ქსელი წარმოადგენს 220-500 კვ ძაბვის რთული შეკრულ სისტემაწარმომქმნელ ქსელს. გენერაციის ძირითადი წყაროები განთავსებულია ამ ქსელის ცალკეულ კვანძებში და, შესაბამისად, მიეკუთვნებიან იერარქიის IV დონეს. ამ წყაროებიდან ნებისმიერი, მისი დადგმული სიმძლავრიდან გამომდინარე, შეიძლება განხილული იქნეს როგორც მახალანსირებელი. III ან კიდევ უფრო დაბალი დონის მანაწილებელ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის განხილვისას რეკომენდირებულია და მიზანშეწონილია სრულდებოდეს რეაქტიული დატვირთვის რეგიონული ბალანსის პრინციპი. მიუხედავად ამისა III (ან კიდევ უფრო დაბალი) დონის მანაწილებელი ავტონომიურ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია გარკვეული ხარისხით გავლენას ახდენს მკვებავ ქსელში სიმძლავრეთა განაწილებაზე და აქედან გამომდინარე დანაკარგების ცვლილების შეფასების თვალსაზრისით გლობალური ამოცანის ამოხსნისას საჭიროა შეფასებული და გათვალისწინებული იქნეს აღნიშნული გავლენა.

რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური სიმძლავრის შერჩევის ამოცანის სირთულე განპირობებულია დიდი ენერგეტიკული სისტემის მახასიათებელი თვისებით. კერძოდ მის სტრუქტურულ ქვედანაყოფებს შორის კავშირებითა და ურთიერთ რეჟიმული გავლენით.

ოპტიმიზაციის გლობალური ამოცანის განხილვისას მხედველობაში მიიღება იერარქიის დონის კავშირი ერთ N+1 დონესთან და ყველა N-1 დონეებთან. ჰორიზონტალურ დონეებს შორის კავშირი გათვალისწინებულია მათი საერთო დონის ქსელის შიდა განივი კავშირების გზით.

ოპტიმიზაციის გლობალური ამოცანის ასეთი პრინციპით ამოხსნისას, როგორც მოცემულ, ასევე მის ზედა დონის ქსელებში



გათვალისწინებული იქნება მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი. ამასთან მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს ის გარემოებაც, რომ ქსელის კვანძური პარამეტრებით სარგებლობისას ანგარიშების შესრულების ხანგრძლივობა იზრდება თითქმის კვანძების რაოდენობის კუბის პროპორციულად [2,7].

სხვადასხვა იერარქიული დონეებიდან მიღებული საწყისი ინფორმაციის არასრულყოფილება და არასაკმარისი სიზუსტე, ასევე მომხმარებელთა დატვირთვისა და გენერირებული სიმძლავრეების დროთა განმავლობაში ზრდა განაპირობებს ანგარიშით მიღებულ და რეალურ ეკონომიკურ ეფექტებს შორის მნიშვნელოვან განსხვავებას. თუმცა, სხვა ერთდაიგივე პირობებში ამა თუ იმ ამოცანის ამოხსნისას სისტემური მიდგომის თვალსაზრისით ნებისმიერი სრულყოფა ყოველთვის იძლევა გარკვეულ ეკონომიკურ ეფექტს [13].

### **3.2 რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის**

#### **მათემატიკური მოდელი**

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური მოკპენსაციის გლობალურად დასმულ ამოცანაში გათვალისწინებული იქნება მკვებავი ქსელი, მის ქვემოთ ვერტიკალურ სტრუქტურაში მდებარე III, II და I დონეების ავტონომიური (ლოკალური) ქსელები და ამოხსნის მეტი სიზუსტის მისაღებად დამატებით იქნება გათვალისწინებული მკვებავი ქსელის სხვა კვანძებში მიერთებული ავტონომიურ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის  $a$  ხარისხი (პარ. 3.5.).

ელექტრული ქსელის განვითარების პროექტირებისას საჭიროა განხილულ იქნას არსებული და ახლად დასაყენებელი მაკომპენსირებელ დანადგართა ყველაზე უფრო სახასიათო რეჟიმები მათი რეგულირების აუცილებელ დიაპაზონთა გამოვლენის მიზნით [25].

ნებისმიერი მეთოდი, რომლის დანიშნულებაცაა მაკომპენსირებელი დანადგარების განლაგება და ოპტიმალური სიმძლავრის შერჩევა, სხვა

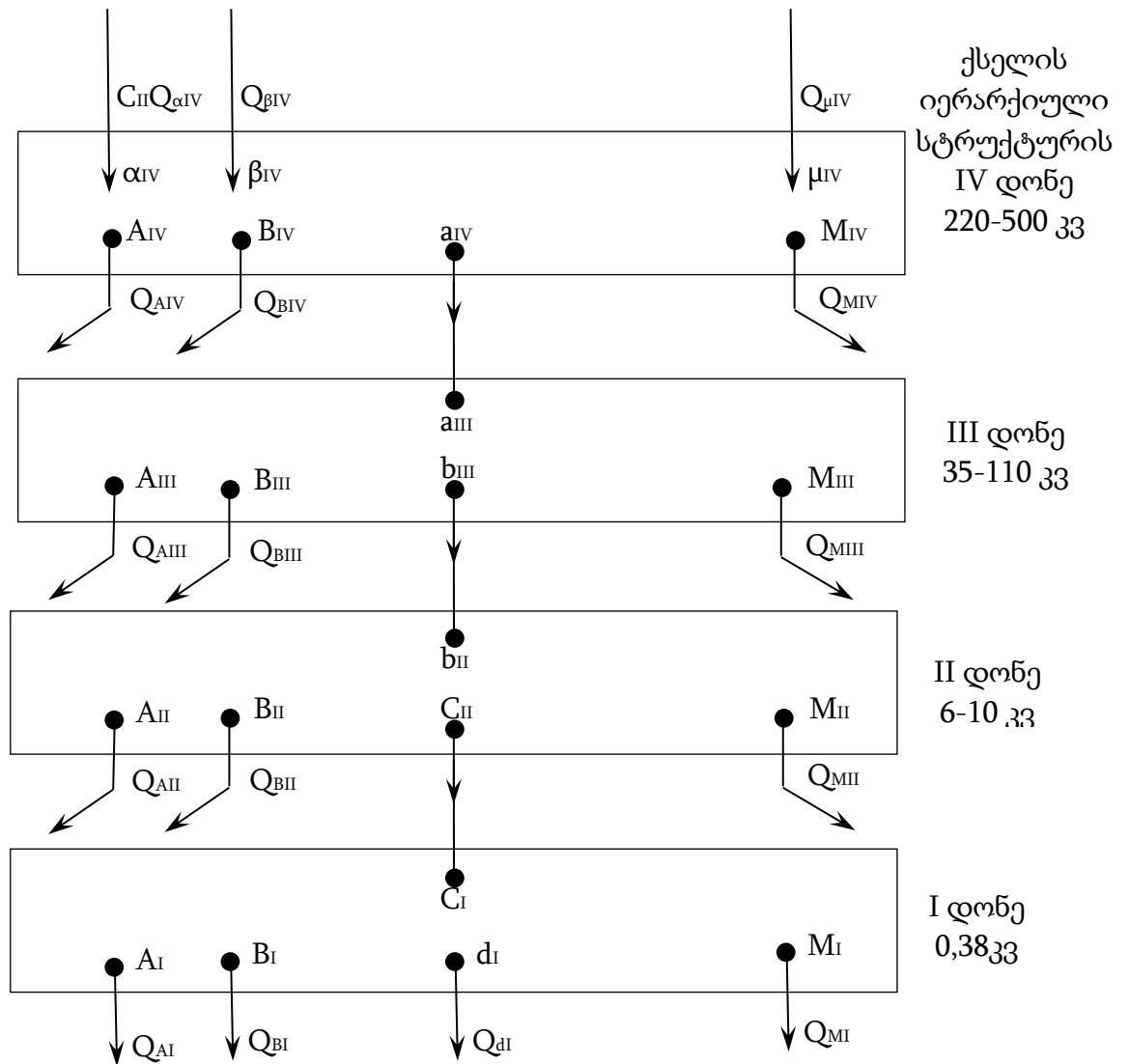
თანაბარ პირობებში დამატებით უნდა უზრუნველყოფდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- საჭირო საწყისი ინფორმაციის მოცულობის შემცირება;
- გლობალური ამოცანის ამოხსნის სიზუსტე;
- ოპტიმიზაციის ამოცანის განტოლებათა სისტემის მოქნილობა და ადაპტიურობა, რაც იერარქიულ დონეებზე რეჟიმული ცვლილებების ოპერატიული გათვალისწინების შესაძლებლობის საშუალებას მოგვცემს.

რადგანაც ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი  $\sigma_p$  და  $\sigma_d$  დამოკიდებულია შესაბამისი კვანძების აქტიურ და რეაქტიულ დატვირთვებს და გენერაციაზე, ამიტომ მაკომპენსირებელ დანადგართა განლაგებისა და ოპტიმალურ სიმძლავრის შერჩევის მათემატიკური მოდელის შესადგენად საკმარისია იერარქიული დონეების კვანძებში საწყის ინფორმაციად აღებული იქნეს დატვირთვასა და გენერაციის მხოლოდ რეაქტიული მდგენელები.

ელექტრული ქსელის იერარქიული სტრუქტურის სქემაზე (ნახ.3.1) გვაქვს შემდეგი აღვნიშვნები

- $\alpha_{IV}, \beta_{IV} \dots \mu_{IV}$  – IV დონის კვების წყაროების კვანძები შესაბამისი გენერაციებით,  $(Q_{\alpha_{IV}}, Q_{\beta_{IV}} \dots Q_{\mu_{IV}})$  რომელთაგანაც ერთერთი განიხილება, როგორც მაბალანსირებელი კვანძი;
- $A_{IV}, B_{IV} \dots M_{IV}$  – IV დონის სამომხმარებლო კვანძები, სადაც ნაჩვენებია მომხმარებელთა რეაქტიული დატვირთვები  $Q_{A_{IV}}, Q_{B_{IV}} \dots Q_{M_{IV}}$ ;



ნახ.3. 1. ელექტრული ქსელის იერარქიული სტრუქტურა

- $A_{III}, B_{III} \dots M_{III}$  - III დონის სამომხმარებლო კვანძები შესაბამისი რეაქტიული დატვირთვებით  $Q_{A_{III}}, Q_{B_{III}}, \dots Q_{M_{III}}$ ;
- $A_{II}, B_{II}, \dots M_{II}$  - II დონის სამომხმარებლო კვანძები შესაბამისი რეაქტიული დატვირთვებით  $Q_{A_{II}}, Q_{B_{II}}, \dots Q_{M_{II}}$ ;
- $A_I, B_I, \dots M_I$  - I დონის სამომხმარებლო კვანძები შესაბამისი რეაქტიული დატვირთვებით  $Q_{A_I}, Q_{B_I}, \dots Q_{M_I}$

კავშირი იერარქიულ დონეებს შორის ხორციელდება შესაბამისად  $\alpha_{IV} - \alpha_{III}, b_{III} - b_{II}$  და  $c_{II} - c_I$  კავშირებით.

ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გათვალისწინებით რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა შეიძლება დასმული იქნეს სხვადასხვა სახით, იმის და მიხედვით, თუ ქსელის რომელი დონის კვანძებში გვსურს მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება და მოცემულია თუ საძიებელია კვების წყაროების რეაქტიული გენერაცია (ცხრ.1).

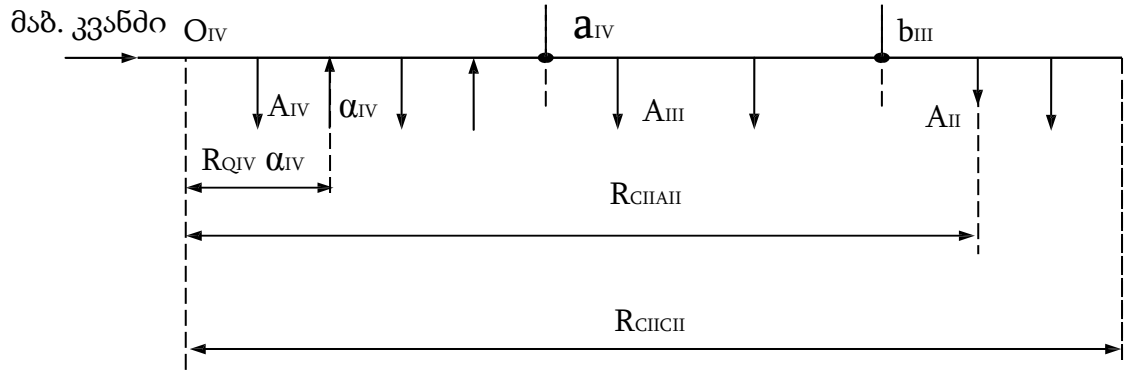
ცხრ. 1 ოპტიმიზაციის ამოცანათა კლასიფიკაცია სტრუქტურული დონეების მიხედვით

იერარქიის დონე	კვანძები, სადაც გათვალისწინებულია მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება	კვების წყაროების რეაქტიული გენერაცია	ამოცანის ინდექსი
I	$A_I, B_I, \dots M_I$	საძიებელია	IA A
		მოცემულია	IB B
II	$A_{II}, B_{II}, \dots M_{II}$	საძიებელია	IIA A
		მოცემულია	IIIB B
III	$A_{III}, B_{III} \dots M_{III}$	საძიებელია	IIIA A
		მოცემულია	IIIB B
IV	$A_{IV}, B_{IV} \dots M_{IV}$	საძიებელია	IVA A
		მოცემულია	IVB B

იერარქიული სტრუქტურის საფუძველზე დასმული ნებისმიერი სახის ამოცანა სქემატურად შეიძლება წარმოვადგინოთ რადიალური-მაგისტრალური ქსელის სახით, სადაც დატვირთვისა და გენერაციის კვანძები განლაგებული იქნებიან კვანძური წინააღმდეგობების მიხედვით (ნახ.3.2).

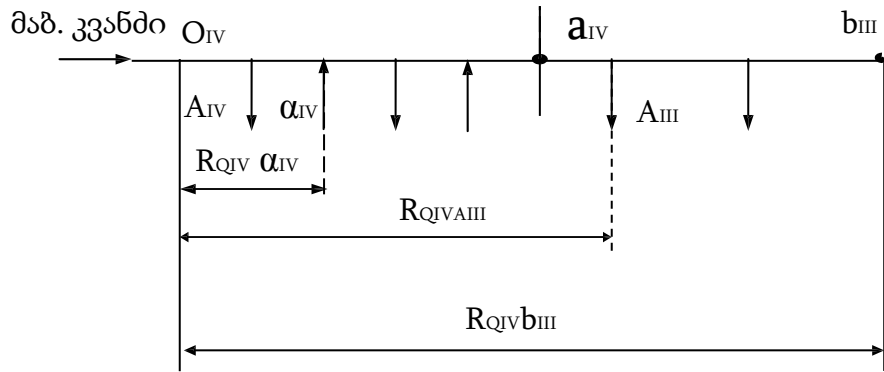
ა) IA, IB სახის ამოცანა

ქსელის იერარქიული სტრუქტურის I დონე



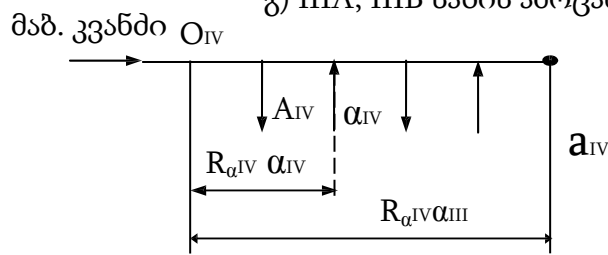
ბ) IIA, IIB სახის ამოცანა

ქსელის იერარქიული სტრუქტურის II დონე

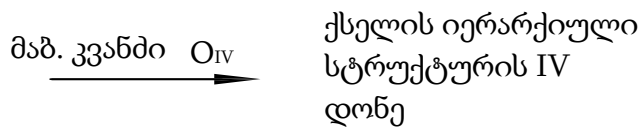


გ) IIIA, IIIB სახის ამოცანა

ქსელის იერარქიული სტრუქტურის III დონე



დ) IVA, IVB სახის ამოცანა



ნახ.3.2

დასმული რვა სხვადასხვა სახის ამოცანიდან ყველაზე უფრო გლობალური ხასიათისაა I სახის ამოცანა, რადგანაც ამ ამოცანის ამოხსნისას, მთელი ქსელის ვერტიკალური იერარქიის გასწვრივ ყველა

დონეზე, დადგენილი იქნება მაკომპენსირებელი დანადგარების ოპტიმალურ სიმძლავრეთა მნიშვნელობები და ამასთან განისაზღვრება გენერაციის წყაროების ოპტიმალური რეაქტიული დატვირთვები.

ენერგეტიკის სისტემის ოპტიმალური რეჟიმის განსაზღვრის მეთოდები ეფუძვნება დაყვანილი ხარჯების მინიმუმის მოძებნას. რეჟიმის მაქსიმალური ეკონომიკურობის უზრუნველსაყოფად არსებობს მთელი რიგი საშვალეები, როგორცაა:

- ელექტროსადგურებს შორის აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების განაწილება;
- რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია;
- მუშაობაში ჩართული აგრეგატთა ოპტიმალური რიცხვის დადგენა;
- ელექტროსისტემაში სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური შერჩევა;
- სისტემის ოპტიმალური სქემის შერჩევა;
- სიხშირისა და ძაბვის ოპტიმალური რეგულირება.

მათემატიკური თვალსაზრისით ოპტიმიზაციის ამოცანა დაიყვანება მრავალი ცვლადის ფუნქციის მინიმუმის მოძიების ამოცანამდე. ეს ცვლადები არ არიან დამოუკიდებელნი, არამედ გააჩნიათ მთელი რიგი შეზღუდვები და ურთიერთ კავშირები.

ნებისმიერი ტექნოლოგიური პროცესის ამსახველი სრული მათემატიკური მოდელი ზოგადად მოიცავს განტოლებათა ხუთ ჯგუფს:

1. მიზნის (ეფექტურობის) ფუნქცია;
2. კავშირის განტოლებები;
3. შეზღუდვის განტოლებები;
4. ოპტიმალური მართვის განტოლებები;
5. ადაპტაციის განტოლებები.

მიზნის ფუნქცია გვიჩვენებს დასმული მიზნისადმი ამა თუ იმ ამონახსნის შესაბამისობის ხარისხს, რაც მათემატიკური თვალსაზრისით ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$F(x_i) \Rightarrow \min \quad (3.1)$$

კავშირის განტოლებები აღწერენ სისტემის ტექნოლოგიურ პროცესს და გვიჩვენებს საძიებელი პარამეტრების კავშირს სისტემის მდგომარეობის დანარჩენ პარამეტრებთან. ასეთი პარამეტრი ზოგადად განიხილება როგორც პროცესის, ობიექტის, ელემენტის მახასიათებელი პარამეტრი. თუ დროის განმავლობაში ეს მახასიათებელი არ იცვლება მაშინ ობიექტი განიხილება, როგორც სტაციონალური. ობიექტის არასტაციონალურობა ართულებს მათემატიკურ მოდელირებას.

შეზღუდვა შეიძლება მოცემული იქნეს, როგორც ტოლობის ასევე უტოლობის სახით:

$$W(x_i) = 0 \quad (3.2)$$

და

$$x_{i,\min} \leq x_i \leq x_{i,\max} \quad (3.3)$$

ასევე შეზღუდვა შეიძლება იყოს ორგანიზაციული ხასიათის. მაგალითად, დირექტიული გადაწყვეტილება, რომელსაც კანონის ძალა აქვს და სავალდებულოა შესასრულებლად. ანალოგიურად შეიძლება გაგვაჩნდეს სოციალური-შრომითი ხასიათის შეზღუდვები [18].

ოპტიმალური მართვის განტოლება წარმოადგენს ოპტიმიზაციის ძირითად შედეგს. მართვის კანონის მოძიება შეადგენს სისტემის ფუნქციონირების ოპტიმიზაციის საბოლოო ეტაპს, რომლისთვისაც გამოიყენება ოპტიმიზაციის მეთოდები.

ადაპტაციის განტოლებები მართვის ავტომატური სისტემაში, სისტემის მუშაობის საწყისი განუსაზღვრელობის პირობებში, ეს არის შეგუებადი სისტემა, რომელიც გულისხმობს სისტემის პარამეტრების, სტრუქტურის და ძირითად მიმდინარე ინფორმაციაზე მართვადი

ზემოქმედების ცვლილების პროცესს სისტემის ოპტიმალური მდგომარეობის მიღწევის მიზნით.

ელექტრული ქსელების მიმართებაში ადაპტაცია ნიშნავს სამართავი ობიექტის მუშაობის პირობებისადმი ალგორითმთა არსებული ურთიერთდაკავშირებული სისტემის საუკეთესო გადაწყობას. ენერგეტიკის ობიექტის მუშაობისას განტოლებათა ადაპტაციური სისტემა ითვალისწინებს მუშაობის მიზნებისა და მისი მახასიათებლების ცვლილებას.

ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას ფართოდ გამოიყენება ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა მეთოდი, რომლის დროსაც (3.1) მიზნობრივი ფუნქციის მინიმუმის მოძიების ნაცვლად განიხილება ლაგრანჟის ფუნქციის მინიმუმის მოძიება, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე

$$L = F + \sum_{t=1}^{n_t} \lambda_t W_t \quad (3.4)$$

სადაც:  $\lambda_t$ - მუდმივი მამრავლებია, რომელთაც ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლებს უწოდებენ;

$W_t$ -შეზღუდვის განტოლება;

$n_t$ - შეზღუდვის განტოლებათა რაოდენობა.

საძიებელი ცვლადების მიმართ ლაგრანჟის ფუნქციის კერძოდ წარმოებულთა ნულთან გატოლებით მივიღებთ ოპტიმიზაციის განტოლებათა სისტემას

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_1} &= \frac{\partial F}{\partial x_1} + \sum_{t=1}^{n_t} \lambda_t \frac{\partial W_t}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} &= \frac{\partial F}{\partial x_2} + \sum_{t=1}^{n_t} \lambda_t \frac{\partial W_t}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_n} &= \frac{\partial F}{\partial x_n} + \sum_{t=1}^{n_t} \lambda_t \frac{\partial W_t}{\partial x_n} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

(3.5) სახის  $n$  რაოდენობისა და (3.2) სახის  $n_t$  რაოდენობის კაბშირის განტოლებებით შევადგენთ  $(n + n_t)$  რაოდენობის განტოლებათა სისტემას, სადაც უცნობთა საერთო რაოდენობა ასევე  $(n + n_t)$ -ს ტოლია, მათ შორის  $n$  რაოდენობის საძიებელი ცვლადი  $x_1, x_2 \dots x_n$  და  $n_t$  რაოდენობის ლაგრანჟის მამრავლი  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ .



განტოლებათა ამ სისტემის ამოხსნისას გათვალისწინებული უნდა იქნას (3.3) სახის უტოლობათა სისტემა.

### 3.3 რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური

#### კომპენსაციის ამოცანის დასმა

ზემოთ ჩამოყალიბებული ალგორითმის ქრილში, სისტემის იერარქიული სტრუქტურის ყველა დონის გათვალისწინებით, შეგვიძლია ჩავწეროთ რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის მათემატიკური მოდელის განტოლებები:

1. მიზნობრივი ფუნქცია, იგი მოიცავს მეურნეობის დაყვანილ ხარჯებს, რომლის შემადგენლობაში შედის:

- მაკომპენსირებელი დანადგარის ამორტიზაციაზე, რემონტსა და მომსახურებაზე ხარჯები და აგრეთვე ხარჯები პირველდაწყებითი კაპიტალდაბანდების ყოველწლიური დანარიცხების სახით;
- ხარჯები ქსელში დანაკარგების დასაფარავად საჭირო საგენერატორო სიმძლავრის პირველდაწყებითი კაპიტალდაბანდების ყოველწლიური დანარიცხების სახით;
- მაკომპენსირებელ დანადგარებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები;
- ქსელში აქტიური ენერჯის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები;

აღნიშნულიდან გამომდინარე ყველაზე უფრო ოპტიმალური ამოცანის (I სახის ამოცანა) შემთხვევაში მიზნობრივი ფუნქცია შეიძლება

წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით;

$$Z = (E_{\delta} + \alpha_{\beta}) \sum_{f=1}^{n_{\delta}} K_{0,\beta} Q Q_{f\beta} + (E_{\delta} + \alpha_{\beta}) \sum_{f=nd+1}^n K_{0,\beta f} \Delta P_{\beta f} + \Delta P_{\beta} \% 10^{-2} C_0 T_0 \sum_{f=1}^{n_{\delta}} Q_{f\beta} + \Delta P(Q) \tau C_0$$

(3.6)

სადაც  $f$  - კვანძის ნომერია  $f=1,2\dots n$  დ

სადაც განიხილება  $Q_{zi}$  სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ოპტიმალობა და  $f = n_{\text{დ}} + 1, n_{\text{დ}} + 2, \dots, n_{\text{დ}} + n_{\text{გ}}$ , განიხილება ახალი საგენერატორო სიმძლავრეთა დადგმა ქსელში დანაკარგების დასაფარავად:

$n_{\text{დ}}$  - დატვირთვის კვანძების საერთო რაოდენობა;

$n_{\text{გ}}$  - ელექტროსადგურთა საერთო რაოდენობა;

$n = n_{\text{დ}} + n_{\text{გ}}$  - ქსელში კვანძების საერთო რაოდენობა;

$E_6$  - პირველდაწყებითი კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტი;

$\alpha_{\text{კ}}$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის ამორტიზაციაზე, რემონტსა და მომსახურებაზე ხარჯების ფარდობითი მნიშვნელობა

$$\alpha_{\text{კ}} = 0,05 - 0,08;$$

$\alpha_{\text{გ}}$  - იგივე სინქრონული გენერატორებისთვის

$$\alpha_{\text{გ}} \approx 0,08 - 0,10;$$

$K_{0\text{კ}}$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის ხვედრითი ღირებულება

$$K_{0\text{კ}} \approx 20000 - 25000 \text{ ლარი/მგვარ};$$

$K_{0\text{გ}}, g_i$  - ახლადპროექტირებული ელექტროსადგურის დადგმული სიმძლავრის ხვედრითი ღირებულება.

$$K_{0\text{გ}} \approx 1.5 - 2.0 \text{ მლნ ლარი/მგვტ};$$

$\Delta P_{\text{გ}i}$  - ელექტროსადგურის დამატებითი დადგმული სიმძლავრე;

$C_0$  - ენერჯის ტარიფი იმ ძაბვის ქსელში, სადაც განიხილება მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ოპტიმალობა:

$$C_0 = 80 - 100 \text{ ლარი/მგვტსთ (0,38 კვ ძაბვის ქსელში);}$$

$$C_0 = 60 \text{ ლარი/მგვტსთ (6-10 კვ ძაბვის ქსელში);}$$

$$C_0 = 40 \text{ ლარი/მგვტსთ (35-220 კვ ძაბვის ქსელში);}$$

$\Delta P_j\%$  – მაკომპენსირებელ დანადგარებში სიმძლავრის დანაკარგების პროცენტული მნიშვნელობა

$\Delta P_j\% = 0,3 - 0,5$  (კონდენსატორთა ბატარეების შემთხვევაში);

$\Delta P_j\% = 2,5 - 3,0$  (სინქრონული კომპენსატორების შემთხვევაში);

$T_0$  – მაკომპენსირებელი დანადგარის ჩართული მდგომარეობის ხანგრძლივობა წელიწადში

$T_0 = 6000 - 7000$  სთ/წელი;

$\tau$  – მაქსიმალური დანაკარგების დრო წელიწადში

$\tau \cong 2500 - 3000$  სთ/წელი.

უნდა აღინიშნოს, რომ სიდიდე  $K_{\%}$  მხედველობაში მიიღება ქსელის განვითარების პროექტირების დროს, როცა პერსპექტივაშია ახალი საგენერატორო სიმძლავრეების დადგმის საკითხი. არსებულ ქსელში ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას ვიღებთ  $K_{\%}=0$ , თუ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების დასაფარავად საკმარისია სისტემაში არსებული და მომუშავე დადგმული საგენერატორო სიმძლავრე.

ამოცანის უფრო მკაცრად დასმის შემთხვევაში მიზნის ფუნქცია უნდა შეიცავდეს აგრეთვე [25]:

- მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენებით ქსელის ელემენტების გამტარუნარიანობის გაზრდის ეფექტს;
- ზარალის შემცირებას ძაბვის დასაშვებზე მეტად გადახრის თავიდან აცილების შედეგად;
- ქსელის კვანძებში ძაბვის ნომინალურის მახლობლობაში შენარჩუნების შედეგად ოპტიმიზაციის ამოცანათა ამოხსნისას ცდომილების შემცირების ეფექტს.

2. კავშირის განტოლება. იგი წარმოადგენს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებსა და მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრეთა შორის კავშირს, რომელიც გამოისახება ფორმულით

$$\Delta P_Q = \frac{1}{U_f^2} = \sum_{f=1}^n \sum_{k=1}^n (Q_f + Q_{fj})(Q_K + Q_{Kj}) R_{f,k} \quad (3.7)$$

სადაც  $Q_f$ ,  $Q_K$  - და  $K$  კვანძების რეაქტიული დატვირთვები, რომლებიც შეთანხმების თანახმად აიღება “მინუსი” ნიშნით  $Q_{f,j}$ ,  $Q_{K,j}$  - მაკომპენსირებელ დანადგართა საძიებელი სიმძლავრე იმავე კვანძებში თუ მოცემული კვანძი ელექტროსადგურის კვანძია, მაშინ  $Q_{j,j}$ -ს ქვეშ იგულისხმება ამ სადგურის გენერატორთა ჯამური დატვირთვა, რომელიც ზოგადად განსაზღვრას ექვემდებარება და აიღება “პლუს” ნიშნით.

3. შეზღუდვის განტოლებები და უტოლობები. შეზღუდვის განტოლება ჩაიწერება ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსის სახით.

$$\Delta W_Q = \sum_{f=1}^{n_d} (Q_f + Q_{fj}) + \sum_{f=n_d+1}^n Q_{jf} + \Delta Q = 0 \quad (3.8)$$

სადაც  $\Delta Q$  - ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი.

შეზღუდვის უტოლობები ჩაიწერება საძიებელი სიდიდეებისადმი ორმხრივი უტოლობის სახით.

$$\left. \begin{aligned} Q_{fjmin} \leq Q_{fj} \leq Q_{fjmax} \\ Q_{jfm} \leq Q_{jf} \leq Q_{jfm} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

კონდენსატორთა ბატარეების შემთხვევაში  $Q_{i,jmin} = 0$

### 3.4 რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ოპტიმიზაციის განტოლებათა სისტემა

(3.4) გამოსახულების თანახმა (3.6)-(3.8) გამოსახულებათა საფუძველზე შევადგინოთ ლაგრანჟის განტოლება

$$L = (E_G + a_j) \sum_{f=1}^{n_d} K_{0j} Q_{fj} + (E_G + a_j) \sum_{f=n_d+1}^n K_{0j} \Delta P_{fj} + \Delta P_j \cdot 10^{-2} C_0 T_0 \sum_{f=1}^{n_d} Q_{fj} + \Delta P(Q) \tau G_0 + \lambda \left[ \sum_{f=1}^{n_d} (Q_f + Q_{fj}) + \sum_{f=n_d+1}^n Q_{jf} + \Delta Q \right] \quad (3.10)$$

საინჟინრო გაანგარიშებებში დასაშვებია მივიჩნიოთ, რომ ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები არ არის დამოკიდებული

რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციისა და ამ დატვირთვის სადგურებს შორის განაწილებაზე. ე.ი. ვლებულობთ

$$\Delta Q = const. \quad (3.11)$$

განვიხილოთ (4.10) გამოსახულების კერძო წარმოებულები  $Q_{f3}$  და  $Q_{\beta f3}$  ცვლადების მიმართ, რომლებიც ფუნქციის მინიმუმის პირობის თანახმად ნულის ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial Q_{f3}} &= (E_{\sigma} + a_{\beta})K_{03} + \Delta P_{\beta} \% \cdot 10^{-2} C_0 T_0 + \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{f3}} + \lambda = 0, f = 1, 2 \dots n_{\sigma} \\ &\text{და} \\ \frac{\partial L}{\partial Q_{\beta f}} &= (E_{\sigma} + a_{\beta})K_{0\beta f} \frac{\partial \Delta P_{\beta f}}{\partial Q_{\beta f}} + \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{\beta f}} + \lambda = 0, f = n_{\sigma} + 1, n_{\sigma} + 2 \dots n \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

ანუ, თუ მიღებულ განტოლებათა სისტემას განვიხილავთ ელექტრული სისტემის არსებული ქსელის მიმართ ( $\Delta P_{\beta f} = 0$ ) გვექნება

$$\left. \begin{aligned} (E_{\sigma} + a_{\beta})K_{03} + \Delta P_{\beta} \% C_0 T_0 \cdot 10^{-2} + \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{f3}} + \lambda = 0 \\ &\text{და} \\ \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{\beta f}} + \lambda = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$(E_{\sigma} + a_{\beta})K_{03} + \Delta P_{\beta} \% C_0 T_0 \cdot 10^{-2} = M \quad (3.14)$$

მაშინ (3.13) განტოლებათა სისტემა ასე ჩაიწერება:

$$\left. \begin{aligned} M + \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{13}} + \lambda = 0 \\ M + \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{23}} + \lambda = 0 \\ \dots \dots \dots \\ M + \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{n_{\sigma}3}} + \lambda = 0 \\ \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{\beta 1}} + \lambda = 0 \\ \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{\beta 2}} + \lambda = 0 \\ \dots \dots \dots \\ \tau C_0 \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{\beta n_{\beta}}} + \lambda = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

მაბალანსირებულ კვანძად ავირჩიოთ ელექტროსადგური  $n_{\beta}$  ნომრით მაშინ

$$\frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{\delta n_{\beta}}} = 0$$

და ვღებულობთ

$$\lambda = 0$$

აქედან გამომდინარე ოპტიმიზაციის განტოლებათა სისტემას აქვს სახე:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{f,\beta}} &= -\frac{M}{\tau C_0} \quad f = 1, 2 \dots n_{\varphi} \\ \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{f,\beta}} &= 0 \quad f = n_{\varphi} + 1, n_{\varphi} + 2 \dots \\ \sum_{f=1}^n (Q_f + Q_{f,\beta}) + \sum_{f=n_{\varphi}+1}^n Q_{f,\beta} + \Delta Q &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

იმ შემთხვევაში, როცა ელექტროსადგურის რეაქტიული დატვირთვები მოცემულია (I სახის ამოცანა), მასინ ოპტიმიზაციის განტოლებათა სისტემას ექნება სახე

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Delta P(Q)}{\partial Q_{f,\beta}} &= a \quad f = 1, 2 \dots n_{\varphi} \\ \sum_{f=1}^{n_{\varphi}} (Q_f + Q_{f,\beta}) + \sum_{f=n_{\varphi}+1}^n Q_{f,\beta} + \Delta Q &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

სადაც

$$a = -\frac{M}{\tau C_0}$$

(3.14)-ის გათვალისწინებით, გვაქვს

$$a = \frac{(E_{\beta} + a_{\beta}) K_{0,\beta} + \Delta P_{\beta} \% \cdot T_0 C_0 \cdot 10^{-2}}{\tau C_0}, \quad (3.18)$$

(3.16) და (3.17) განტოლებათა სისტემა (2.35) და (2.36) გამოსახულების თანახმად შეგვიძლია ჩავწეროთ სახეში

$$\left. \begin{aligned} \frac{2}{U_{\beta}^2} \sum_{k=1}^{n-1} R_{f,k} (Q_k + Q_{k,\beta}) &= a \quad f = 1, 2 \dots n_{\varphi} \\ \frac{2}{U_{\beta}^2} \sum_{k=1}^{n-1} R_{f,k} Q_{k,\beta} &= 0 \quad f = n_{\varphi} + 1, n_{\varphi} + 2 \dots n-1 \\ \sum_{k=1}^n (Q_k + Q_{k,\beta}) + \sum_{k=n_{\varphi}+1}^n Q_{k,\beta} + \Delta Q &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

და როცა ელექტროსადგურების დატვირთვა მოცემულია,

$$\left. \begin{aligned} \frac{2}{U_B^2} \sum_{k=1}^{n-1} R_{f,k} (Q_k + Q_{k,\beta}) &= a \\ \sum_{k=1}^{n_{\varphi}} R_{f,k} (Q_k + Q_{k,\chi}) + \sum_{k=n_{\varphi}+1}^n Q_{k,\beta} + \Delta Q &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

წინანმდებარე სადისერტაციო ნაშრომში განიხილება (3.20) სახის განტოლებათა სისტემა (I B სახის ამოცანა. ამ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ ელექტროსადგურის რექტიული დატვირთვები წინასწარ განსაზღვრულია, მათდამი სხვა ტექნიკური მოთხოვნების გათვალისწინებით.

### 3.5. a პარამეტრის ფიზიკური არსი და მისი გავლენა რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ხარისხზე

პარამეტრი a (გამოსახულება 3.18) წარმოადგენს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფართობითი ნაზრდის იმ მაქსიმალურ სიდიდეს, რომლის მეტად ფარდობითი ნაზრდის გაზრდა ეკონომიურად არამიზანშეწონილია და ამ a პარამეტრს დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალური მნიშვნელობა ვუწოდეთ.

3.17 განტოლებათა სისტემის პირველი განტოლება გვიჩვენებს, რომ ქსელის თითოეულ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია უნდა განხორციელდეს იმ ხარისხით, რომ ამ კვანძისთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი გაუტოლდეს მის ოპტიმალურ მნიშვნელობას.

$$a = \frac{(E_B + \alpha_j) K_{0,j} + \Delta P_j \% T_0 C_0 \cdot 10^{-2}}{\tau_{C_0}} \quad (3.21)$$

(3.21) გამოსახულების თანახმად a პარამეტრის რიცხვით მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენს ქსელის და მაკომპენსირებელი დანადგარის მთელი რიგი ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლები. კერძოდ: მაკომპენსირებელი დანადგარის ხვედრითი ღირებულება ( $K_0$ ); საექსპლუატაციო ხარჯების ნორმა ( $\alpha_j$ ), აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების სიდიდე თვით ამ დანადგარში ( $\Delta P_j \%$ ); ქსელში მაქსიმალური კარგების დრო ( $\tau$ ); ელექტრული ენერჯის ტარიფი ( $C_0$ ).

(3.21) გამოსახულება გადავწეროთ შემდეგი სახით

$$\alpha = \frac{1}{\tau} \left[ \frac{(E_{\delta} + \alpha) K_0}{C_0} + \Delta P_j \% T_0 \cdot 10^{-2} \right] \quad (3.22)$$

ამ გამოსახულების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხზე, კერძოდ:

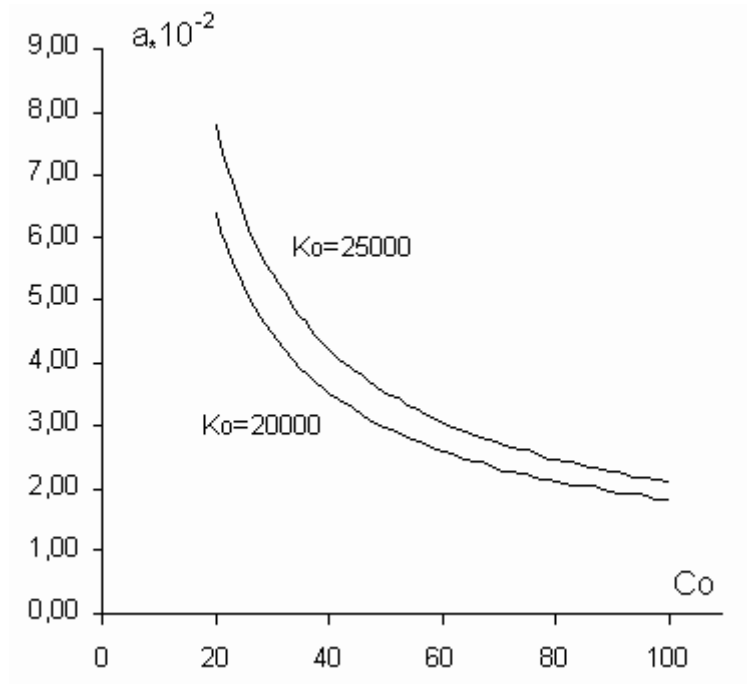
1. კერძოდ იმ ქსელში, სადაც მაქსიმალური დანაკადვების დრო ( $\tau$ ) მაღალია, დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალური მნიშვნელობა აბსოლუტური სიდიდით დაბალია, ანუ ახლოსაა ნულთან. ე.ი. ამ შემთხვევაში საჭიროა ქსელში მაქსიმალურად განვახორციელოდ რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია, ანუ ქსელში კომპენსაციის ხარისხი უნდა იყოს მაღალი;
2. თვით მაკომპენსირებელ დანადგარებში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების სიდიდე ( $\Delta P_j \%$ ) შემზღუდავ ფაქტორად მოქმედებს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხზე. კერძოდ, როცა ეს დანაკარგები მაღალა, მაშინ  $\alpha$  დიდია აბსოლუტური სიდიდით და შესაბამისად დაბალია კომპენსაციის ხარისხი.
3. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ხარისხზე შემზღუდავ ფაქტორად მოქმედებს, აგრეთვე მაკომპენსირებელი დანადგარის ხვედრითი ღირებულება ( $K_0$ ). მისი მაღალი მნიშვნელობა იწვევს კომპენსაციის ხარისხის შემცირებას;
4. ელექტრული ენერჯის ტარიფის ( $C_0$ ) მაღალი მნიშვნელობისას დაბალია  $\alpha$ -ს აბსოლუტური სიდიდე, რაც მიუთითებს მასზე, რომ როცა მაღალია  $C_0$ , მით მაღალია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხი.

ქვემოთ (ნახ.3.3, ცხრილი 3.2) მოცემულია  $\alpha = f(K_0, C_0)$

დამოკიდებულებების გრაფიკი და ცხრილური მნიშვნელობა, როცა

$$(E_{\delta} + \alpha_j) = 0,17 ; \Delta P_j \% = 0,3 ; T_0 = 7000 \text{ სთ და } \tau = 3000 \text{ სთ}$$





ნახ 3.3

ცხრილი 3.2

$C_o$ ლარი/მგვტსთ	$\alpha \cdot 10^{-2}$	
	$K_o = 20000$	$K_o = 25000$
20	6,40	7,82
40	3,55	4,26
60	2,60	3,18
80	2,12	2,48
100	1,84	2,13
120	1,65	1,89
140	1,51	1,72

## თავი IV

### 4.1 რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხი და მაკომპენსირებელი დანადგარებით ქსელის აღჭურვილობის კოეფიციენტი

უმარტივეს რეალურ ქსელში (ნახ.4.1) აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციამდე და კომპენსაციის შემდეგ გამოითვლება ფორმულებით:

$$\Delta P = \frac{P^2 + U^2}{U_0^2} R \text{ კომპენსაციამდე}$$

და

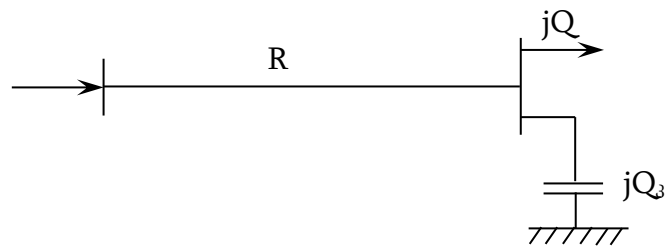
$$\Delta P' = \frac{P^2 + (Q + Q_j)^2}{U_0^2} R \text{ -კომპენსაციის შემდეგ }^*$$

ანუ

$$\Delta P^1 = \frac{P^2 + (Q + Q_j)^2}{P^2 + Q^2} \cdot \Delta P \quad (4.1)$$

მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების პირობებში დაყვანილი ხარჯების საანგარიშო გამოსახულებას ექნება სახე

$$3 = (E_0 + \alpha_3) K_{0,j} \cdot Q_j + \Delta P_j \% \cdot 10^{-2} Q_j T_0 C_0 + \Delta P^1 \tau C_0 \quad (4.2)$$



ნახ. 4.1

და შესაბამისად 3.17-ის პირვალი განტოლების თანახმად მივიღებთ

$$\frac{\partial \Delta P'}{\partial Q_j} = a$$

სადაც, a განისაზღვრება (3.21)-ით.

(4.1)-ის თანახმად

$$\frac{\partial \Delta P'}{\partial Q_j} = 2(Q + Q_j) \frac{\Delta P}{P^2 + Q^2}$$

და გვაქვს

$$2(Q + Q_j) \frac{\Delta P}{P^2 + Q^2} = a$$

აქედან

$$Q_j = -Q + \frac{a(P^2 + Q^2)}{\Delta P} = -Q + \frac{aP^2(1 + tg^2\varphi)}{\Delta P} \quad (4.3)$$

გამოსახულების ჩაწერისას მიღებული შეთანხმება და რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციამდე ქსელში არსებული აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები ჩაწეროთ მისი პროცენტული მნიშვნელობით

$$\Delta P = -\Delta P\% \cdot 10^{-2} P \quad (4.4)$$

შესაბამისად (4.3) მიიღებს სახეს

$$Q_j = -Q - \frac{50aP(1 + tg^2\varphi)}{\Delta P\%} \quad (4.5)$$

მიღებული ტოლობის ორივე მხარე გავყოთ  $(-Q)$ -ზე გვექნება

$$\beta = 1 + \frac{50aP(1 + tg^2\varphi)}{Q\Delta P\%}$$

ანუ

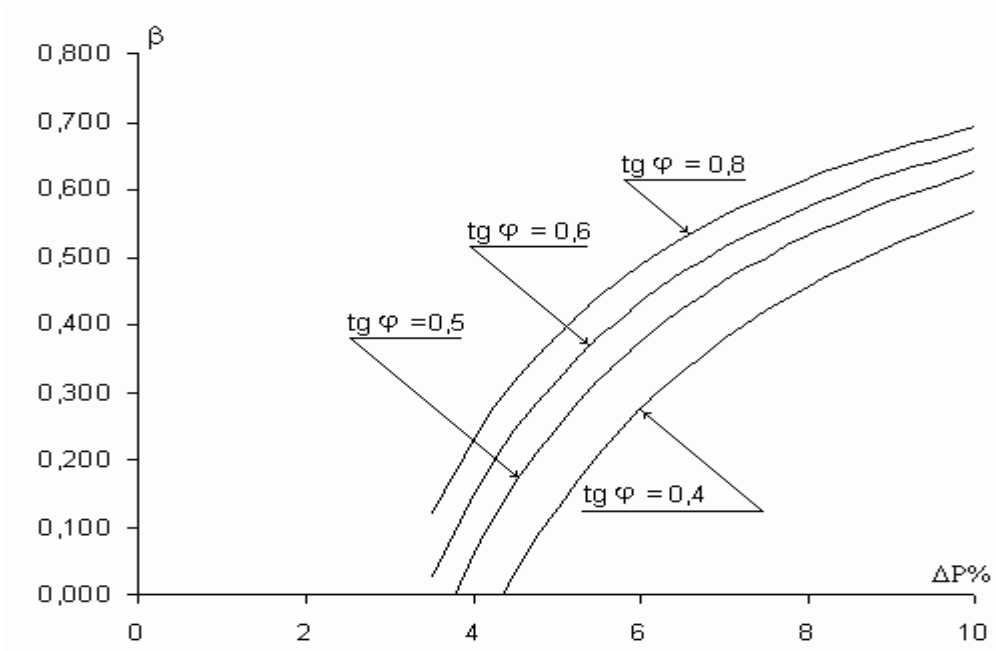
$$\beta = 1 + \frac{50a(1 + tg^2\varphi)}{tg\varphi \cdot \Delta P\%}, \quad (4.6)$$

სადაც სიდიდეს

$$\beta = \frac{Q_j}{-Q} \quad (4.7)$$

უწოდებენ რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ხარისხს.

როგორც ვხედავთ განსახილველ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ხარისხი (4.6) დამოკიდებულია ამ ქსელის მუშაობის რეჟიმის საწყის (კომპენსაციამდე) პარამეტრებზე. კერძოდ, აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებსა და რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტზე (ნახ. 4.1, ცხრ.4.1).



ნახ.4.1

ცხრილი 4.13.  $\beta$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები ( $\alpha = -3 \cdot 10^{-2}$ )

$\Delta P\%$ $tg\varphi$	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0
0,4	-	-	0,033	0,130	0,270	0,456	0,565
0,5	-	0,063	0,167	0,250	0,375	0,531	0,625
0,6	0,029	0,15	0,244	0,320	0,433	0,575	0,660
0,7	0,088	0,202	0,290	0,361	0,469	0,601	0,681
0,8	0,121	0,231	0,317	0,385	0,488	0,616	0,693
0,9	0,138	0,246	0,330	0,397	0,497	0,623	0,698

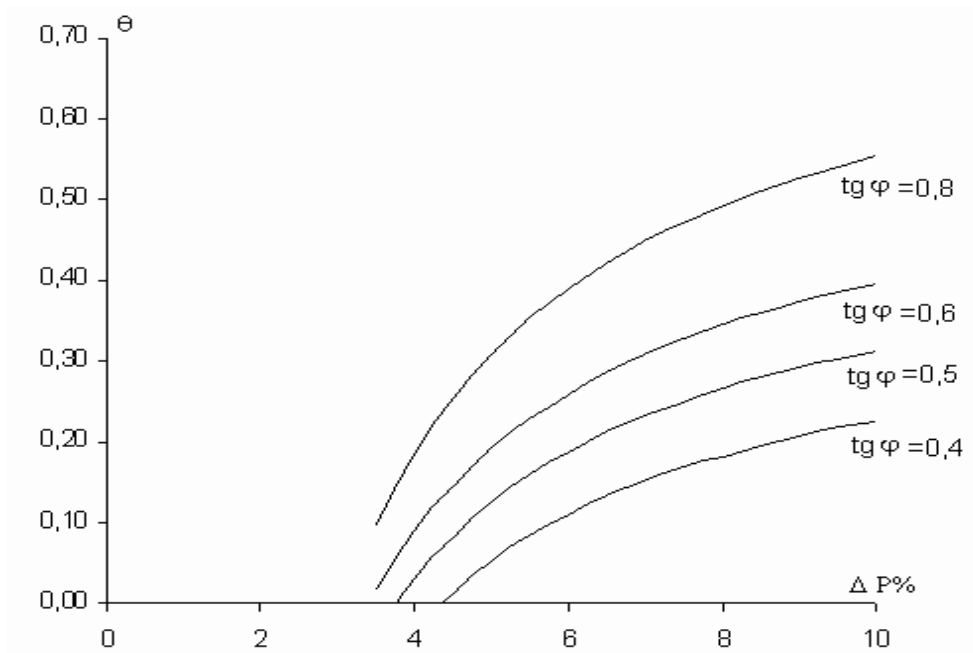
(4.5) გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ  $(-P)$ -ზე, გვაქვს

$$\theta = tg\varphi + \frac{50a(1+tg^2\varphi)}{\Delta P\%} \quad (4.8)$$

სადაც სიდიდეს,

$$\theta = \frac{Q_3}{-P} \quad (4.9)$$

უწოდებენ მაკომპენსირებელი დანადგარებით ქსელის აღჭურვილობის ოპტიმალურ კოეფიციენტს (ნახ.4.2, ცხრ.4.2)



ნახ. 4.2

ცხრილი 4.2.  $\theta$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები ( $a = -3 \cdot 10^{-2}$ )

$\Delta P\%$ $tg\varphi$	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	10,0
0,4	-	-	0,0132	0,052	0,110	0,182	0,226
0,5	-	0,032	0,084	0,125	0,188	0,266	0,313
0,6	0,017	0,09	0,146	0,192	0,260	0,345	0,396
0,7	0,062	0,141	0,203	0,253	0,328	0,421	0,477
0,8	0,097	0,185	0,254	0,308	0,390	0,493	0,554
0,9	0,124	0,221	0,297	0,357	0,447	0,561	0,628

მრავალრიცხოვანი ანგარიშები გვიჩვენებს, რომ ეკონომიკურად მიზანშეწონილია მაკომპენსირებელი დანადგარებით ქსელის აღჭურვილობის კოეფიციენტი აღწევდეს 0,45-0,50 კვარ/კვტ-ს [8;11;14]. როგორც წინამდებარე ანგარიშები გვიჩვენებს მაკომპენსირებელი დანადგარებით აღჭურვილობის კოეფიციენტის ასეთი მაღალი მნიშვნელობა ეკონომიკურად მიზანშეწონილია მაშინ, როცა ქსელის რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტი  $tg\varphi = 0,7 - 0,8$  და ამ დროს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები შეადგენს 6-10%-ს. უფრო ნაკლები საწყისი პარამეტრებისას აღჭურვილობის კოეფიციენტი შესამჩნევად ეცემა (ნახ4.2, ცხრ. 4.2).

(4.7) და (4.9) გამოსახულებათა შედარებიდან ვწერთ

$$\beta = \frac{\theta}{tg\varphi} \quad (4.10)$$

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ მაკომპენსირებელი დანადგარებით ქსელის აღჭურვილობის კოეფიციენტი

$$\theta = tg\varphi - tg\varphi_{opt}, \quad (4.11)$$

სადაც  $tg\varphi_{opt}$  რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობაა, რომლის დროსაც ქსელში არსებული დანაკარგების პირობებში, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკონომიურად არამიზანშეწონილია.

რთულ შეკრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის განტოლებათა სისტემას (4.1) აქვს სახე:

$$\frac{2}{U_b^2} \sum_{K=1}^n R_{fK} (Q_K + Q_{\beta K}) = a \quad f = 1, 2, \dots, n \quad (4.12)$$

სადაც  $n$ -ქსელში სამომხმარებლო კვანძების საერთო რაოდენობა.

(4.12) გადავწეროთ შემდეგი სახით

$$\frac{2}{U_b^2} \left[ \sum_{K=1}^n Q_{\beta K} R_{fK} + \sum_{K=1}^n Q_K R_{f,K} \right] = a$$

ანუ

$$\frac{2}{U_b^2} Q_{\beta f} \cdot R_{f,f} + \frac{2}{U_b^2} \sum_{K \neq f}^n Q_{\beta K} R_{f,K} + \frac{2}{U_b^2} Q_f R_{f,f} + \frac{2}{U_b^2} \sum_{K \neq f}^n Q_K R_{fK} = a,$$

რომელიც (4.4) და (4.6) გამოსახულებათა გათვალისწინებით ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\frac{2Q_f R_{ff}}{U_b^2} (1 - \beta_f) + \frac{2}{U_b^2} \sum_{K \neq f}^n Q_K R_{fK} \left( 1 - \frac{\theta_K}{tg\varphi_K} \right) = a \quad (4.14)$$

საინჟინრო გაანგარიშებისათვის დასაშვები სიზუსტით შეგვიძლია მივიღოთ, რომ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტის გასაშუალოებული მნიშვნელობა  $tg\varphi_K \approx tg\varphi_0 \approx 0,65 - 0,75$ , ხოლო მაკომპენსირებელი დანადგარებით ქსელის აღჭურვილობის კოეფიციენტის გასაშუალოებული მნიშვნელობა კი  $\theta_K \approx \theta_0 \approx 0,25 - 0,35$ .

აღნიშნულიდან გამომდინარე (4.13) ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{2Q_f R_{ff}}{U_b^2} (1 - \beta_f) + \frac{2}{U_b^2} \left(1 - \frac{\theta_0}{tg\varphi_0}\right) \sum_{K \neq f}^n Q_K R_{fK} = a \quad (4.14)$$

ანალოგიით, ვწერთ

$$\sigma_f' (1 - \beta_f) + \left(1 - \frac{\theta_0}{tg\varphi_0}\right) \sigma_f'' = a$$

აქედან

$$\beta_f = \frac{\sigma_f' - a}{\sigma_f'} + \frac{\sigma_f''}{\sigma_f'} \left(1 - \frac{\theta_0}{tg\varphi_0}\right) \quad (4.15)$$

მიღებული გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ შეკრული ქსელის მოცემულ  $f$  კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხი ქსელის დანარჩენ ნაწილში მაკომპენსირებელი დანადგარებით აღჭურვილობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით:

1. არნიშნული გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მისი მეორე წევრი ყოველთვის დადებითი სიდიდეა, რადგანაც  $\theta_0 \leq tg\varphi_0$ , და თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს, როცა  $\theta_0 = 0$ . ე.ი. როცა ქსელის დანარჩენ ნაწილში მაკომპენსირებელი დანადგარებით აღჭურვილობის კოეფიციენტი ნულის ტოლია. მოცემულ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხი აშკარად ამაღლებულია ამოცანის სისტემური მიდგომით ამოხსნისას მიღებულ ოპტიმალურ მნიშვნელობასთან შედარებით;
2. იმ შემთხვევაში, როცა ქსელის დანარჩენ ნაწილში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ეკონომიკურად არამიზანშეწონილია  $-(\theta_0 = 0)$ , მაშინ

$$\beta_f = \frac{\sigma_f - \alpha}{\sigma_f'} \quad (4.16)$$

რაც მიგვითითებს მასზე, რომ მოცემულ კვანძში მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება ეკონომიკურად მიზანშეწონილია თუ,  $|\sigma_f| > |\alpha|$  და შესაბამისად,

$$Q_{\alpha f} = -\frac{\sigma_f - \alpha}{\sigma_f'} \cdot Q_f \quad (4.17)$$

3. ქსელის დანარჩენ კვანძებში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ამცირებს მოცემულ  $f$  კვანძში კომპენსაციის ხარისხს, რადგანაც ამ

შემთხვევაში ერთის მხრივ იზრდება  $\theta_0$ , ხოლო მეორეს მხრივ კი მცირდება  $\sigma''$ .

(4.15) გამოსახულება შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით

$$Q_{\sigma f} = -Q_f + \frac{aU_b^2}{2R_{ff}} - \left(1 - \frac{\theta_0}{tg\varphi_0}\right) \frac{\sigma_f U_b^2}{2R_{ff}} \quad (4.18)$$

რადგანაც  $\sigma_f' < 0$  (4,18) გამოსახულებიდან ჩანს რომ განსახილველ  $f$  კვანძში რეაქტიული დატვირთვის მოსალოდნელი კომპენსაციის ხარისხი მით მეტია, რაც მეტია ქსელის დანარჩენი კვანძების რეაქტიული დატვირთვებისა და  $f$  კვანძის მიმართ მათი ურთიერთწინააღმდეგობათა მნიშვნელობები. ეს ხარისხი მცირდება დანარჩენ კვანძებში მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენების შედეგად;

4.  $f$  კვანძში ოპტიმალური კომპენსაციის სიდიდე, სხვა დანარჩენ პირობებში, გაიზრდება იმავე სიდიდით, რა სიდიდითაც გაიზრდება კვანძში რეაქტიული დატვირთვა;
5.  $f$  კვანძში ოპტიმალური კომპენსაციის სიდიდე მცირდება ამ კვანძის საკუთარი წინააღმდეგობის გაზრდასთან ერთად

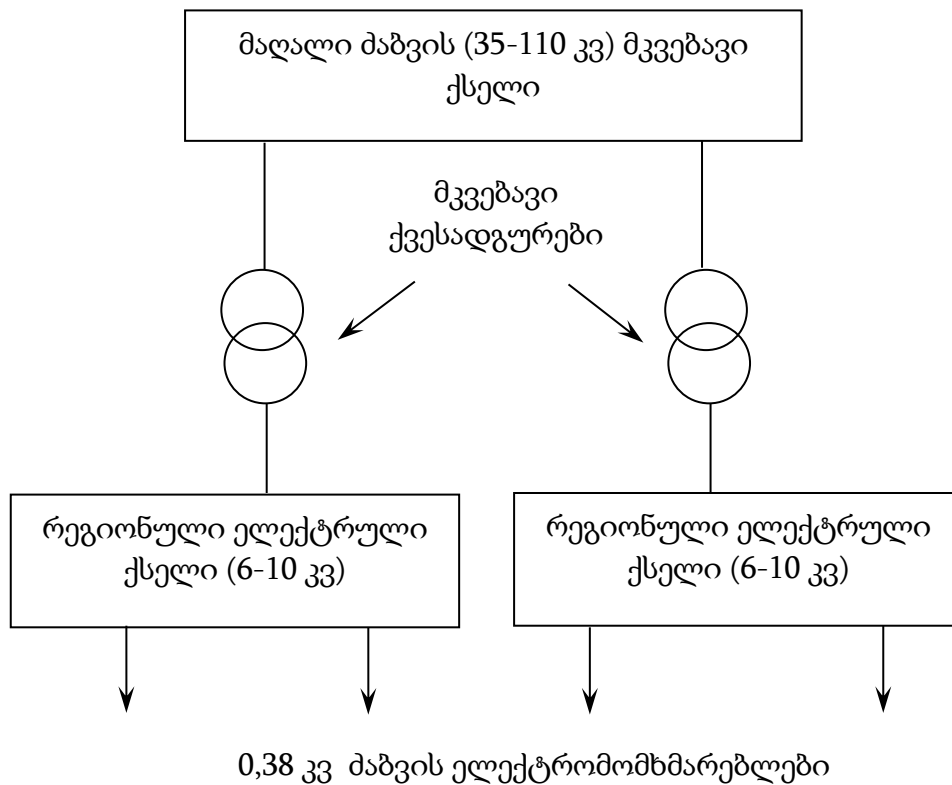
$$Q_{\sigma f} = -Q_f + \frac{U_b^2}{R} - \left[\left(1 - \frac{\theta_0}{tg\varphi}\right) \cdot \sigma_f''\right] \quad (4.19)$$

## 4.2 რეგიონულ ელექტრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის

### ოპტიმალური კომპენსაცია

რეგიონული ელექტრული ქსელი ემსახურება მაღალი ძაბვის (35-110) მკვებავი ელექტრული ქსელიდან დაბალი ძაბვის (6-10 კვ) სატრანსფორმატორო ქვესადგურამდე ელექტრული ენერჯის ტრანსპორტირებას (ნახ.4.3)





ნახ.4.3

სისტემური მიდგომის პრინციპის თანახმად ერთი რომელიმე რეგიონული ელექტრული ქსელის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ესა თუ ის ამოცანა განხილული უნდა იქნეს ყველა რეგიონულ ელექტრულ ქსელებს შორის ელექტრული კავშირის ანუ ურთიერთ გავლენის წინააღმდეგობით. როგორც ეს ადრე აღვნიშნეთ, მოცემულ რეგიონალურ ქსელში ზემოთ აღნიშნული ხასიათის ამოცანის ამოხსნისთვის ტერიტორიულად და ადმინისტრაციულად დაშორებული სხვა რეგიონული ქსელების შესახებ ყველა საწყისი სათანადო ხარისხის ინფორმაციის მოპოვება ელექტრული სისტემის მასშტაბურობის გამო მოუხერხებელია და ზოგჯერ პრაქტიკულად შეუძლებელი. ამასთან განსახილველ რეგიონულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას სხვა რეგიონულ ქსელებში ანალოგიური ამოცანის ამოხსნის შედეგების გათვალისწინებლობა იწვევს ოპტიმალურთან შედარებით კომპენსაციის ხარისხის ამაღლებას (4.18).

როგორც ვიცით რეგიონულ ქსელებს შორის ურთიერთკავშირი ხორციელდება ამ ქსელების კვანძების დამაკავშირებელი იერარქიული ვერტიკალური სტრუქტურის ერთი დონით უფრო მაღალი ელექტრული ქსელის გავლით.

ზოგადად რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის განტოლებათა სისტემა 4.3 ნახაზზე წარმოდგენილი ელექტრული ქსელებისთვის შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_{ji} + \frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=k+1}^n R_{ij} Q_{ji} + \frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_j + \frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=k+1}^n R_{ij} Q_j = a \quad (4.20)$$

აქ:  $i, j = 1, 2 \dots K$  განსახილველი რეგიონული ქსელის (დაბალი ძაბვის მანაწილებელი ქსელის) კვანძების ნომრები, ამასთან  $K$  ამ ქსელის მაღალი ძაბვის ქსელთან მიერთების კვანძის ნომერი, ხოლო  $i, j = K + 1, K + 2 \dots n$  მაღალი ძაბვის მკვებავი ქსელის კვანძების ნომრებია.

ამ კვანძებთან მიერთებული დანარჩენი რეგიონული ქსელის ჯამური დატვირთვა განიხილება, როგორც ამ კვანძის ჯამური რეზულტიური დატვირთვა.

რეგიონული ქსელის მაღალი ძაბვის ქსელთან დამაკავშირებელი კვანძის ნომერი ავლნიშნოთ  $m$ -ით,  $m \in (K + 1, K + 2 \dots n)$ .

მივიღოთ, რომ  $K + 1, K + 2 \dots n$  კვანძებში განხორციელებულია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია  $\beta_0 = \frac{\theta_0}{tg\varphi_0}$  ხარისხით, მაშინ (4.20) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_{ji} + \frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_j + (1 - \beta_0) \frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=k+1}^n R_{ij} Q_j = a \quad (4.21)$$

სიდიდე

$$\frac{2}{U_{\phi}^2} \sum_{j=k+1}^n R_{ij} Q_j = \sigma' \quad (4.22)$$

წარმოადგენს დაბალი ქსელის განსახილველი რეგიონული მაღალი ძაბვის მკვებავ ქსელთან მიერთების  $K$  კვანძის მიმართ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობით ნაზრდს, განპირობებულს მკვებავი ქსელის სხვა დანარჩენი ქსელების რეზულტიური დატვირთვებით,

რომელიც შედარებით მარტივად დადგინდება მხოლოდ მკვებავი ქსელის პარამეტრების საშუალებით.

შესაბამისად გვაქვს:

$$\frac{2}{U_b^2} \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_{ji} + \frac{2}{U_b^2} \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_j + (1 - \beta_0) \sigma'_k = a$$

ანუ

$$\sum_{j=1}^k R_{ij} Q_{jj} = - \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_j + [(1 - \beta) \sigma'_k - a] \frac{U_b^2}{2}. \quad (4.23)$$

მიღებული გამოსახულება წარმოადგენს განსახილველ რეგიონულ ელექტრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნის გამარტივებულ მათემატიკურ მოდელს.

$\beta$  კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა სხვადასხვა სახასიათო პარამეტრების მქონე რეგიონული ქსელებისთვის, ზოგადად სხვადასხვა სიზუსტით შეგვიძლია დავადგინოთ 4.1 ცხრილის მიხედვით.

მაღალი ძაბვის მკვებავი ქსელის პარამეტრის საშუალებით განვსაზღვრავთ განსახილველი რეგიონული ქსელისათვის  $R_{k,k}$  საკუთარ წინაღობას და შესაბამისად  $\sigma'$ -ს

$$\sigma' = \frac{2R_{K,K}Q_{K\Sigma}}{U_b^2} \quad (4.24)$$

სადაც  $Q_{K\Sigma}$  - განსახილველ რეგიონული ქსელის ჯამური რეაქტიული დატვირთვა.

ამავე მაღალი ძაბვის მკვებავი ქსელის მონაცემების მიხედვით განვსაზღვრავთ  $\sigma_K$  -ს და შესაბამისად დავადგენთ

$$\sigma'_k = \sigma_K - \sigma \quad (4.25)$$

(4.23) განტოლებათა სისტემაში შემავალი  $R_{i,j}$  საკუთარი და ურთიერთ წინაღობები გამოთვლილი უნდა იქნეს მაღალი ძაბვის მკვებავ ქსელში აღებული მბალანსირებელი კვანძის მიმართ

$$R_{i,j} = R_{K,K} + R'_{i,j} \quad i, j = 1, 2 \dots K \quad (4.26)$$

სადაც  $R'_{i,j}$ - დაბალი ძაბვის რეგიონული ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინაღობა, გამოთვლილი  $K$  კვანძის მიმართ.

(4.23) გამარტივებული მათემატიკური მოდელი საშუალებას გვაძლევს საინჟინრო გაანგარიშებისათვის საკმარისი სიზუსტით ამოვხსნათ განსახილველ რეგიონულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა, ამოხსნისათვის საჭირო საწყისი არადეტერმინირებული ინფორმაციის პირობებშიც კი.

## თავი V

### 5.1 რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური კომპენსაციის

#### ახალი მეთოდის არსი

რეაქტიული სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესების თანმდევი მოვლენაა და იგი ქსელის ინდუქციურ (L), ტევადურ (C) ელემენტებსა და დენის წყაროებს შორის ენერგიის მიმოცვლის ციკლში მონაწილეობს. ამასთან, ეს ციკლი ცვლადი დენის ერთ ნახევარ პერიოდში სრულდება. ანუ რეაქტიული სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედში  $2\omega$  კუთხური სიჩქარით ირხევა.

როცა ქსელში ჭარბობს ინდუქციური ელემენტები ( $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ ), მაშინ ცვლადი დენის ერთი ნახევარი პერიოდის რაღაც ინტერვალში დენის წყაროდან და ტევადური ელემენტებიდან რეაქტიული ენერგია შედის ინდუქციურ ელემენტებში და გროვდება როგორც ინდუქტივობის მაგნიტური ენერგია ( $W_{\text{მაგნ}}$ ), ხოლო ამავე ნახევარი პერიოდის მომდევნო ინტერვალში იგივე ენერგია ინდუქციური ელემენტებიდან ბრუნდება უკან და შედის დენის წყაროებში და, ასევე, ტევადურ ელემენტებში როგორც ტევადობის ელექტრული ენერგია ( $W_{\text{ელ}}$ ).

რეაქტიული ინდუქციური სიმძლავრე  $Q_L$  წარმოადგენს ინდუქტივობის მაგნიტურ ველში რეაქტიული მაგნიტური ენერგიის შემოსვლისა და უკან დარუნების სიჩქარეს  $Q_L = \frac{d}{dt} W_{\text{მაგნ}}$ . ასევე, რეაქტიული ტევადური სიმძლავრე  $Q_C$  წარმოადგენს ტევადობის ელექტრულ ველში რეაქტიული ელექტრული ენერგიის შემოსვლისა და უკან დარუნების სიჩქარეს  $Q_C = \frac{d}{dt} W_{\text{ელ}}$ .

ინდუქციურ, ტევადურ ელემენტებსა და დენის წყაროებს შორის რეაქტიული სიმძლავრის მიმოცვლის დროს ქსელში ადგილი აქვს აქტიური სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს

$$\Delta P_Q = \frac{Q^2}{U^2} R.$$

როცა ქსელის რომელიმე რეგიონში მიახლოებით მაინც სრულდება პირობა ( $\omega L \approx \frac{1}{\omega C}$ ), მაშინ ამ ქსელის ინდუქციური და ტევადური ხასიათის მომხმარებელთა რეაქტიული დატვირთვები მაქსიმალურად ურთიერთ დაბალანსებელია. რეაქტიული სიმძლავრის მიმოცვლას ადგილი აქვს მხოლოდ ამ რეგიონის ინდუქციურ და ტევადურ ელემენტებს შორის და კვების წყაროები, პრაქტიკულად, არ მონაწილეობს ამ სიმძლავრის გაცემამიღების პროცესში. სწორედ, აღნიშნული პირობის შესრულების შესაბამისი ღონისძიების განხორციელება წარმოადგენს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალურ კომპენსაციას იმ დოზით, რომ მინიმალური კაპიტალური ხარჯების პირობებში მაქსიმალურად შემცირდეს აქტიური სიმძლავრის (ენერჯის) დანაკარგები ქსელში. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია ეს არის მაკომპენსირებელი დანადგარის მიერ რეაქტიული სიმძლავრის მიზნობრივი გენერაცია ან მოხმარება.

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნას მიემდვნა მრავალი მკვლევარის შრომები [7;8;30] და მათ მიერ შემოთავაზებულია ამოცანის ამოხსნის სხვადასხვა მეთოდი. ამ მეთოდებს შორის ყველაზე უფრო ზუსტ მეთოდს წარმოადგენს სისტემური მიდგომის მეთოდი, რაც გულისხმობს ელექტროსისტემის ყველა ძაბვის საფეხურის ქსელის ყველა ელემენტისა და ყველა სამომხმარებლო კვანძის გათვალისწინებას.

ამ მეთოდის მიხედვით ქსელის  $j$ -ურ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური  $Q_{3,j}$  სიმძლავრის დადგენა შესაძლებელია შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის გზით

$$\sum_{i=1}^n (Q_{\phi,j} + Q_j) \cdot R_{ij} = \frac{aU_{\phi}^2}{2}, \quad J=1, 2, 3, \dots, n,$$

სადაც:

$Q_j$ -ური კვანძის რეაქტიული დატვირთვა (აიღება “-” ნიშნით);  
 $n$ -სამომხმარებლო კვანძების საერთო რიცხვი ქსელში;  
 $U_b$ -ბაზისური ძაბვა, კვ;  
 $R_{ij}$ -კვანძებისსაკუთარი (როცა  $i=j$ ) დაურთიერთწინაღობა (როცა  $i \neq j$ ),  
დაყვანილი ბაზისურ ძაბვაზე;

$\alpha$ -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მაკომპენსირებელი დანადგარის კაპიტალურ და საექსპლუატაციო ხარჯებსა და აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებს ამ დანადგარში.

ეს მეთოდი, ფაქტიურად, უნივერსალურ მეთოდს წარმოადგენს, მაგრამ ერთი მხრივ ხასიათდება დიდი განზომილებით (ელექტროსისტემის ელემენტებისა და სამომხმარებლო კვანძების დიდი რიცხვი) და, მეორე მხრივ, საწყისი ინფორმაცია, შედარებით, დაბალი ხარისხისაა.

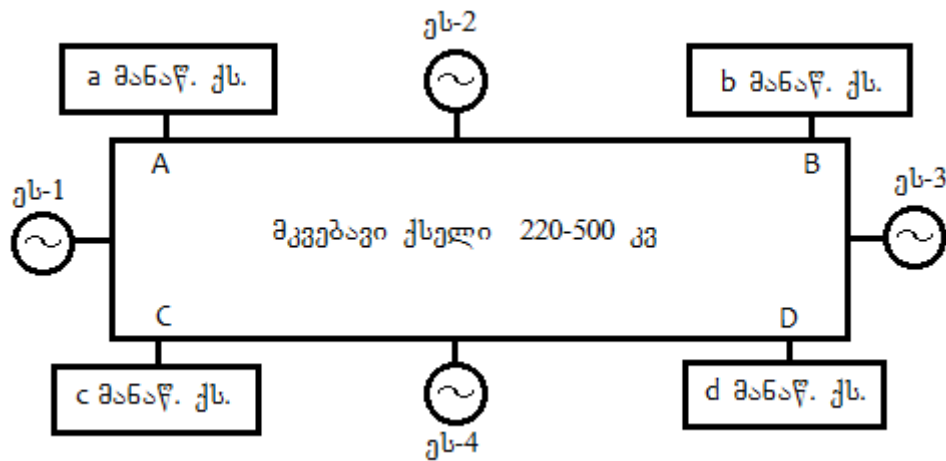
საწყისი ინფორმაციის ხარისხის ერთერთი მაჩვენებელია უტყუარობა ანუ სიზუსტე. რადგანაც ელექტრული სისტემის მანაწილებელი ქსელები (საშუალო და დაბალი ძაბვის ქსელები) ქვეყნის დიდ ტერიტორიაზე განფენილი, ზუსტი ინფორმაციის მოპოვება სუბიექტური თუ ობიექტური მიზეზებისა გამო გაძნელებულია და მოპოვებული ინფორმაცია არადეტერმინირებული და ცდომილების შემცველი ინფორმაციაა.

თანამედროვე საბაზრო ეკონომიკის პირობებში, ელექტრული სისტემა, მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების კუთვნილების მიხედვით, დაყოფილია მრავალ კერძო კომპანიებად. ამ კომპანიებიდან მანაწილებელი ქსელების მუშაობის რეჟიმებისა და მათი სახასიათო პარამეტრების შესახებ ინფორმაციის (მით უმეტეს ზუსტი ინფორმაციის) მოპოვება კიდევ უფრო გაძნელებულია და ზოგჯერ, შეუძლებელიც. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ზემოთ მოყვანილი განტოლებათა სისტემის ამონახსნი მაღალი ალბათობით ცდომილების შემცველია და ვერ პასუხობს ოპტიმიზაციის მოთხოვნებს. უფრო მეტიც, ცალკეული კომპანიების მიზნების, ამოცანებისა და ფინანსური შესაძლებლობის სხვადასხვაობის გამო, ვერ ხერხდება დროის მცირე მონაკვეთში (რამდენიმე წელიწადში მაინც) განვახორციელოთ

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მთელი სისტემის მასშტაბით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, დღის წესრიგში დგას რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სისტემური მიდგომის მეთოდი ჩავანაცვლოთ მეთოდით, რომელისთვისაც საკმარისი იქნება მხოლოდ მოცემული მანაწილებელი ქსელისა და მისი მკვებავი ქსელის შესახებ ადვილად მოპოვებადი ინფორმაციის გამოყენება. ამასთან, მანაწილებელ ქსელში ამ მეთოდით დადგენილი რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის დონე ადეკვატურად უპასუხებს დასმულ ამოცანას. ე.ი. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის გლობალური ამოცანა (სისტემური მიდგომის ამოცანა) დავიყვანოთ ცალკეული მანაწილებელი ქსელის ლოკალურ ამოცანებამდე.

ქვემოთ ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტრული სისტემის 220-500 კვ ძაბვის მკვებავი ქსელის A, B, C და D კვანძებიდან კვებას ღებულობს შესაბამისად a, b, c და d 110 კვ და უფრო დაბალი ძაბვის მანაწილებელი ქსელები.



ნახ 5.1

ამ ელექტრული სისტემის რომელიმე მანაწილებელ ქსელში, ვთქვათ b ქსელში, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ლოკალური ამოცანა შემოიფარგლება მხოლოდ b მანაწილებელი ქსელისა და მთლიანად მკვებავი ქსელის საწყისი ინფორმაციით. ამ ამოცანაში დანარჩენი მანაწილებელი ქსელები გათვალისწინებული იქნება მათი



ჯამური რეაქტიული დატვირთვებით და ამ ქსელების მკვებავ ქსელთან მიერთების კვანძების ურთიერთ წინაღობების სახით.

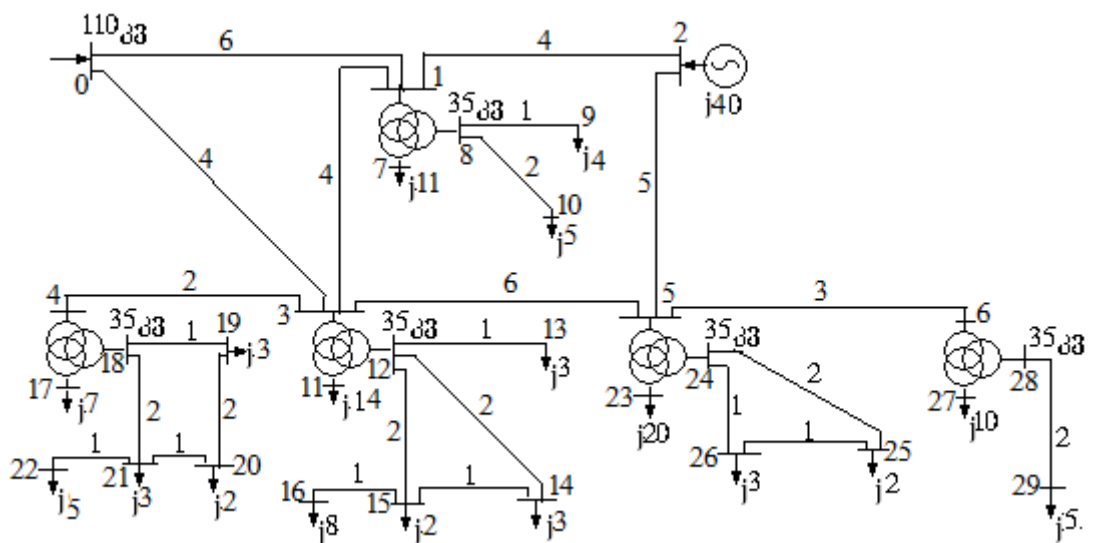
ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გათვალისწინებით რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა შეიძლება დასმული იქნეს სხვადასხვა სახით, იმისდა მიხედვით, თუ ქსელის რომელი დონის კვანძებში გვსურს მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება და მოცემულია თუ საძიებელია კვების წყაროების რეაქტიული გენერაცია

ამოცანის ასეთი სახით დასმის შემთხვევაში, ერთი მხრივ, მკვეთრად შემცირდება ამოცანის განზომილება და იმ საწყისი ინფორმაციის მოცულობა, რომელიც აუცილებელი და საკმარისია დასმული ამოცანის ამოსახსნელად, ხოლო მეორე მხრივ, დანარჩენი მანაწილებელი ქსელების მკვებავ ქსელთან მიერთების კვანძებში განისაზღვრება რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ის დონე, რაც ეკონომიკურად მიზანსეწონილია მხოლოდ მკვებავი ქსელისთვის.

მაშასადამე, შემოთავაზებული მეთოდის მიხედვით ელექტრულ სისტემაში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა ამოიხსნება ორ ეტაპად. კერძოდ: პირველი, სისტემური მიდგომის მეთოდით დადგინდება რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის დონე მკვებავი ქსელის სამომხმარებლო კვანძებში, რაც ამ მკვებავი ქსელისთვის იქნება ოპტიმალური; მეორე, ამოიხსნება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა მოცემულ მანაწილებელ ქსელში მხოლოდ ამ ქსელის შესახებ ინფორმაციის საფუძველზე და საბოლოო გადაწყვეტილების მიღებისას გათვალისწინებული იქნება პირველ ეტაპზე მიღებული შედეგები.

**5.2. მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების ინტერესთა ურთიერთგავალისწინება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას**

ელექტრული ქსელი შეიცავს 110 კვ ძაბვის მკვებავ ქსელს და 35 კვ ძაბვის რამდენიმე მანაწილებელ ქსელს (ნახ.5.2). უბნებზე ნაჩვენებია მათი აქტიური წინაღობა (ომი), ხოლო კვანძებში რეაქტიული დატვირთვები (მგვარ). მახალანსებელ კვანძად მიჩნეულია “0” ინდექსის მქონე კვანძი. დანარჩენი კვანძები გადანომრილია ნებისმიერი მიმდევრობით. კვანძი “2” წარმოადგენს კვების წყაროს, რომლის რეაქტიული დატვირთვა წინასწარ ცნობილია და შეადგენს 40 მგვარ-ს. მკვებავი ქსელის სადაბლებელი ქვესადგურების სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორების გრაგნილთა აქტიური წინაღობები მიღებულია 1 ომის ტოლად -  $R_a=R_b=R_c=1$  ომი. მკვებავი ქსელის “1”, “3”, “4”, “5” და “6” ქვესადგურებში მიერთებული მანაწილებელი ქსელების მახალანსებელ კვანძებს, შესაბამისად, წარმოადგენს “8”, “12”, “18”, “24” და “28” კვანძები.



ნახ.5.2

ამ ქსელის კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობები, სადაც მიერთებულია რეაქტიული სიმძლავრის წყარო ან მომხმარებელი, მოცემულია ქვემოთ ცხრილში 5.1.

თუ ჩავთვლით, რომ ამ ქსელისთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალურ მნიშვნელობა  $\sigma_{\text{ოპტ}} = \alpha = 2 \cdot 10^{-2}$  მაშინ

გამოთვლების მიხედვით დავინახავთ, რომ მოცემული ქსელის ცალკეული კვანძებისთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი  $\sigma$  ჭარბობს ოპტიმალურ მნიშვნელობას. კერძოდ, მკვებავი ქსელების კვანძებისთვის  $\sigma_7=2,78 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma_{11}=3,843 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma_{17}=4,223 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma_{23}=4,843 \cdot 10^{-2}$  და  $\sigma_{27}=5,256 \cdot 10^{-2}$ , ხოლო ცალკეული მანაწილებელი ქსელების კვანძებისთვის იგივე სიდიდე საგრძნობლად დიდია, კერძოდ,  $\sigma_{16}=7,297 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma_{20}=5,792 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma_{22}=7,751 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sigma_{29}=6,807 \cdot 10^{-2}$ .

სისტემური მიდგომის მეთოდის გამოყენებით რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მივიღეთ შემდეგ კვანძებში:  $Q_{3,10}=2,81$ ,  $Q_{3,13}=1,545$ ,  $Q_{3,14}=2,04$ ,  $Q_{3,15}=1,04$ ,  $Q_{3,16}=8,0$ ,  $Q_{3,19}=2,11$ ,  $Q_{3,20}=2,0$ ,  $Q_{3,21}=2,555$ ,  $Q_{3,22}=5,0$ ,  $Q_{3,27}=7,558$ ,  $Q_{3,29}=4,882$  მგვარ.

როგორც ვხედავთ იმ კვანძებში, სადაც  $\sigma$  მაღალია და რეაქტიული დატვირთვაც უფრო დიდია, ასევე მაღალია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ხარისხი (პროცენტული მნიშვნელობა): მე-16, მე-20, 22-ე კვანძებში 100%, ხოლო 27-ე და 29-ე კვანძებში 75,6 და 97,64% შესაბამისად. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა ამოვხსნათ მკვებავი ქსელისთვის მანაწილებელი ქსელების გათვალისწინების გარეშე (ნახ.5.3). გვაქვს:

“1” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,7}=0$ ,  $Q_{3,8}=0$ ;  $\Sigma Q_{\text{კ}}=0$ ;

“3” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,11}=3,586$ ,  $Q_{3,12}=5,586$  მგვარ;  $\Sigma Q_{\text{კ}}=9,172$ ;

“4” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,17}=2,537$ ,  $Q_{3,18}=8,537$  მგვარ;  $\Sigma Q_{\text{კ}}=11,074$ ;

“5” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,23}=8,757$ , მგვარ;  $\Sigma Q_{\text{კ}}=8,757$ ;

“6” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,27}=6,946$   $Q_{3,28}=1,946$  მგვარ;  $\Sigma Q_{\text{კ}}=8,892$ ;

განგარიშების შედეგები გვიჩვენებს, რომ მკვებავი ქსელი, მისი ინტერესებიდან გამომდინარე (აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების მინიმიზაცია), არამიზანშეწონილად მიიჩნევს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას “1” სადაბლებელ ქვესადგურში. რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია უფრო ეკონომიკურია იმ ქვესადგურებში, რომელთა 10 და 35

კვ ძაბვის კვანძებისთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი  $\sigma$  უფრო დიდია. კერძოდ, “3”, “4”, “5” და “6” ქვესადგურებში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის პროცენტული მნიშვნელობა (ქვესადგურის ჯამური რეაქტიული დატვირთვის მიმართ) შესაბამისად, შეადგენს:  $(9,172/30) \cdot 100=30,57\%$ ,  $55,37\%$ ,  $35,03\%$  და  $59,28\%$ . ცხრილი 5.1

კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობები

	2	7	9	10	11	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23	25	26	27	29
7	2,88	5,264	4,264	4,264	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
9	2,88	4,264	15,144	5,264	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
10	2,88	4,264	5,264	25,02	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	1,824	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
11	2,08	1,824	1,824	1,824	4,784	3,784	3,784	3,784	3,784	2,784	2,784	2,784	2,784	2,78	2,78	2,4	2,4	2,4	2,4
13	2,08	1,824	1,824	1,824	3,784	14,66	4,784	4,784	4,784	2,784	2,784	2,784	2,78	2,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
14	2,08	1,824	1,824	1,824	3,784	4,784	16,64	7,90	7,90	2,784	2,784	2,784	2,78	2,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
15	2,08	1,824	1,824	1,824	3,784	4,784	7,90	16,64	16,64	2,784	2,784	2,784	2,78	2,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
16	2,08	1,824	1,824	1,824	3,784	4,784	7,90	16,64	26,52	2,784	2,784	2,784	2,78	2,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
17	2,08	1,824	1,824	1,824	2,784	2,784	2,784	2,784	2,784	6,784	5,784	5,784	5,78	5,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
19	2,08	1,824	1,824	1,824	2,784	2,784	2,784	2,784	2,784	5,784	16,66	16,66	6,78	6,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
20	2,08	1,824	1,824	1,824	2,784	2,784	2,784	2,784	2,784	5,784	16,66	36,42	6,78	6,78	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
21	2,08	1,824	1,824	1,824	2,784	2,784	2,784	2,784	2,784	5,784	6,784	6,784	26,5	26,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
22	2,08	1,824	1,824	1,824	2,784	2,784	2,784	2,784	2,784	5,784	6,784	6,784	26,5	36,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
23	4,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	8,0	7,0	7	6	6
25	4,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	7,0	17,9	12,9	6	6
26	4,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	7,0	12,9	15,4	6	6
27	4,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	6,0	6	6	11	10
29	4,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	6,0	6	6	10	30,8

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა ამოვხსნათ თითოეული მანაწილებელი ქსელისთვის მკვებავი ქსელის გათვალისწინების გარეშე ( $\alpha=2 \cdot 10^{-2}$ ) გვაქვს:

“1” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,9}=0$ ,  $Q_{3,10}=1.938$  მგვარ;

“3” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,13}=0$ ,  $Q_{3,14}=0$ ,  $Q_{3,15}=0$ ,  $Q_{3,16}=4,614$  მგვარ;

“4” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,19}=0$ ,  $Q_{3,20}=0$ ,  $Q_{3,21}=0$ ,  $Q_{3,22}=2,917$  მგვარ;

“5” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,25}=0$ ,  $Q_{3,26}=0$ ;

“6” სადაბლებელი ქვესადგური  $Q_{3,29}=0$ .



წარმოადგენს ელექტროგადაცემის ქსელში ჯამური დანახარჯების მინიმიზაცია.

საბაზრო ეკონომიკის პრინციპის შესაბამისად, ელექტროგადაცემის ქსელი დაყოფილია ნომინალური ძაბვისა და დანიშნულების მიხედვით და სხვადასხვა კომპანიის კუთვნილებას წარმოადგენს. თითოეული კომპანიის დაინტერესების საგანს წარმოადგენს მის კუთვნილებაში არსებული გადაცემის ქსელის მუშაობის მაღლეფექტურობა. ამ მიზნის მისაღწევად, ხშირ შემთხვევებში, ეკონომიურად მიზანშეწონილი აღმოჩნდება ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია. მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური სიმძლავრისა და ქსელში მისი განთავსების ადგილის დადგენა, როგორც ავლნიშნეთ, სისტემური ხასიათის ამოცანაა და ამდენად, იგი კონკრეტული კომპანიის არეალის ფარგლებს გარეთ გადის. ასეთ შემთხვევაში, დაინტერესებულ კომპანიათა ურთიერთ შეთხმების საფუძველზე შესაძლებელია ამოხსნილი იქნეს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანათა სისტემური მიდგომის მეთოდის მოდიფიცირებით, რომელიც გაითვალისწინებს თანადაფინანსების პრინციპს.

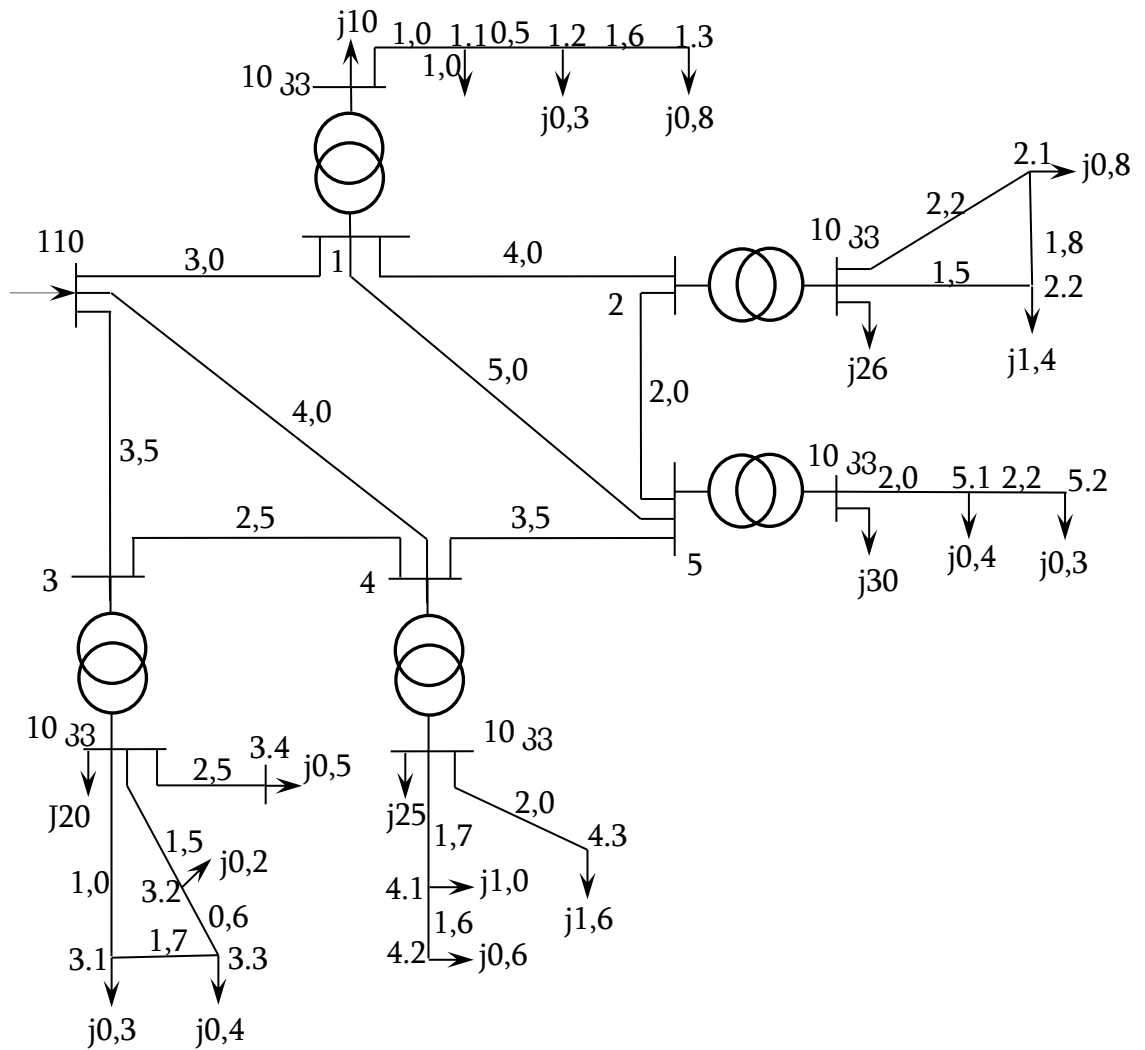
[28]-ში ნაჩვენებია, რომ მკვებავი ქსელი (მაღალი ძაბვის ქსელი) მოცემულ კონკრეტულ სადაბლებელ ქვესადგურში, ამ ქვესადგურთან მიერთებულ მანაწილებელ ქსელში დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე, არამიზანშეწონილად მიიჩნევა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას. თუმცა ამ მანაწილებელ ქსელში, მკვებავი ქსელის გათვალისწინების გარეშე, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკონომიურად მიზანშეწონილია. აქვე ნაჩვენებია პირიქითი შემთხვევაც. კერძოდ, მკვებავი ქსელი. სხვა სადაბლებელი ქვესადგურის მანაწილებელ ქსელში მიზანშეწონილად მიიჩნევა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას, ხოლო თვითონ მანაწილებელი ქსელი კი მისი ინტერესებიდან გამომდინარე, არ მიიჩნევა მიზანშეწონილად ასეთ გადაწყვეტილებას. ასათი სახის წინამდებობრივი

სიტუაცია შესაძლებელია დარეგულირებული იქნეს ე.წ. თანადაფინანსების პრინციპის საფუძველზე.

თანადაფინანსების პრინციპი გულისხმობს მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ხარჯები განაწილებული იქნეს კომპანიათა შორის თავიანთ ქსელებში მიღებული ეკონომიური ეფექტის შესაბამისად.

მანაწილებელ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის თანადაფინანსების პრინციპის არსი განვიხილოთ ქვემოთ ნახ.5.4-ზე ნაჩვენები ელექტროგადაცემის ქსელისათვის. ამ ნახატზე ნაჩვენებია კვანძების რეაქტიული დატვირთვები და უბანთა აქტიური წინაღობები. გამოთვლების გამარტივების მიზნით სადაბლებელი ტრანსფორმატორების აქტიური წინაღობები უგულვებელყოფილია. როგორც ნახაზიდან ჩანს ელექტრული ქსელი შეიცავს 110 კვ ძაბვის მკვებავ ქსელს და 10 კვ ძაბვის ხუთ მანაწილებელ ქსელს. შესაბამისად გვაქვს ერთი მაღალი ძაბვის ქსელის მესაკუთრე კომპანია („მძკ კომპანია“) და ხუთი დაბალი ძაბვის ქსელის მესაკუთრე კომპანია („დძკ კომპანია-1“, „დძკ კომპანია-2“, „დძკ კომპანია-3“, „დძკ კომპანია-4“ და „დძკ კომპანია-5“).

„მძკ კომპანიის“ ინტერესებში შედის 110 კვ ძაბვის მკვებავ ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების მინიმიზაცია სადაბლებელი ტრანსფორმატორების 10 კვ ძაბვის სალტეზე რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენების გზით. „დძკ კომპანიათა ინტერესებში კი შედის დანაკარგების მინიმიზაცია თავიანთ მანაწილებელ ქსელებში მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენებით უშუალოდ მომხმარებელთა კვანძებში.



ნახ.5.4

წინასწარ დადგენილი იქნა ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალური მნიშვნელობა 3.21 გამოსახულების შესაბამისად

$$\alpha = - \frac{(E_{\text{ს}} + \alpha_{\text{ინ.}} + \alpha_3) K_{0,3} + \Delta P_3 \% \cdot 10^{-2} T_0 C_0}{\tau C_0}$$

სადაც:  $K_{0,3}$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის ხვედრითი ღირებულება, ლარი/მგვარ;

$E_{\text{გამ.}} = \frac{1}{T_{\text{გამ.}}}$  - კაპიტალური ხარჯების გამოსყიდვის ნორმატიული

კოეფიციენტი,

სადაც  $T_{\text{გამ.}}$  ინვესტიციის დაფარვის (მოწყობილობის გამოსყიდვის)

ვადა;



$\alpha_{\text{ინ.}}$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის საექსპლუატაციო ხარჯების წლიური საბანკო დანარიცხვის ფარდობითი მნიშვნელობა;

$\alpha_3$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის საექსპლუატაციო ხარჯების ფარდობითი

მნიშვნელობა;

$\Delta P_3\%$  - მაკომპენსირებელი დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები;

$T_0$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის ჩართული მდგომარეობის ხანგრძლივობა, სთ;

$C_0$  - ელექტროენერჯის ტარიფი მოცემულ ქსელში, ლარი/მგვტსთ;

$\tau$  - მაქსიმალური დანაკარგების დრო, სთ/წელი.

ამ პარამეტრთა რიცხვითი მნიშვნელობების ( $K_{0,3} = 20000$  ლარი/მგვარ;

$E_{\text{გ.ა.}} = 0,1$  (ინვესტიცია 10 წლის ვადით);  $\alpha_{\text{ინ.}} = 0,1$  (საბანკო წლიური დანარიცხები 10%);  $\alpha_3 = 0,03$  (დანადგარის საექსპლოატაციო ხარჯები 3%);

$T_0 = 8760$  სთ;  $C_0 = 100$  ლარი/მგვტ სთ დაბალი ძაბვის მანაწილებელ ქსელებში და  $C_0 = 60$  ლარი/მგვტ სთ მაღალი ძაბვის ქსელში; ( $\tau = 2500$  სთ/წელი) ჩასმის შემდეგ გვაქვს  $\alpha_{\text{დ.ა.}} = -2,5408 \cdot 10^{-2}$ ,  $\alpha_{\text{გ.ა.}} = -3,767 \cdot 10^{-2}$ .

ამ სიდიდეთა გათვალისწინებით ოპტიმიზაციის განტოლებათა სისტემის ამოხსნა გვამღევს: „მძქ კომპანიის“ (მაღალი ძაბვის) ქსელის კვანძებისათვის  $Q_{3,2} = 3,473$  და  $Q_{3,5} = 2,819$  მგვარ. ხოლო „დძქ კომპანიის“ (დაბალი ძაბვის) მანაწილებელი ქსელების კვანძებისათვის კი  $Q_{3,1.3} = 0,697$ ,  $Q_{3,2.2} = 0,511$ ,  $Q_{3,4.1} = 0,253$ ,  $Q_{3,4.2} = 0,60$ ,  $Q_{3,4.3} = 0,965$  და  $Q_{3,5.2} = 0,188$  მგვარ.

დაბალი ძაბვის მანაწილებელ ქსელში გამოთვლებით მიღებული მაკომპენსირებელი სიმძლავრის დაყენებისთვის საჭირო კაპიტალური ხარჯები (ინვესტიციები), ინვესტიციების გადახდისათვის (საბანკო დანარიცხების გათვალისწინებით) საჭირო წლიური ხარჯები, დანადგარის მომსახურების წლიური საექსპლუატაციო ხარჯები, მაკომპენსირებელ დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებით მიღებული

წლიური ეკონომია ნაჩვენებია ცხრ.5.2-ში. ამ ცხრილის ბოლო სვეტში ნაჩვენებია მაღალი ძაბვის ქსელში დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი განაწილებული თითოეულ დაბალი ძაბვის ქსელში დადგმული მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრთა პროპორციულად.

ცხრილი 5.2

მანაწ. ქსელი	მკ. დანადგ. სიმძლავრე, მგვარ	კაპიტალური ხარჯები, ლარი	ინვესტიციის გადახდის წლიური ხარჯები, ლარი	დანადგარის მომსახურების ხარჯები, ლარი	დანადგარში დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები, ლარი	წლიური ეკონომია ლარი		
						დაბალი ძაბვის ქსელში		მაღალი ძაბვის ქსელში
						ბრუტო	ნეტო	ნეტო
დმქ-1	0,697	13940	2788	418,2	1221,1	8190	6550,7	2833,3
დმქ-2	0,511	10220	2044	306,6	895,3	3959	2757,1	2977,2
დმქ-3	0	0	0	0	0	0	0	0
დმქ-4	1,818	36360	7272	1090,8	3185,1	20732,5	16456,6	7390,2
დმქ-5	0,188	3760	752	112,8	329,4	1563,8	1121,6	764,2
ჯამი	3,214	64280	12856	1315,2	5630,9	34445,3	26886,0	13065

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ „დმქ კომპანია-1“ მანაწილებელ ქსელში, დანადგარის მომსახურებისა და ამ დანადგარში დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯების დაფარვის შემდეგ, კომპანიის წლიური მოგება შეადგენს  $8190 - (418,2 + 1221,1) = 6550,7$  ლარი/წელი. ანალოგიურად, დანარჩენი კომპანიების წლიური მოგება შეადგენს: „დმქ კომპანია-1“ – 6550,7, „დმქ კომპანია-2“ – 2757,1, „დმქ კომპანია-4“ - 16456,6 და „დმქ კომპანია-5“ - 1121,6 ლარი/წელი. მაღალი ძაბვის ქსელის ეკონომიური ეფექტი (წლიური საექსპლუატაციო დანახარჯები ამ ქსელში არ არის) შეადგენს 13065 ლარი/წელი განაწილებული თითოეულ დაბალი ძაბვის ქსელში დადგმული მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრთა პროპორციულად. ამ მონაცემების საფუძველზე განაწილდება „მმქ კომპანიასა“ და „დმქ კომპანიებს“ შორის ინვესტიციების გადახდის წლიური ხარჯები. მაგალითად, „დმქ კომპანია-1“ მანაწილებელ ქსელში დადგმული მაკომპენსირებელი დანადგარისთვის ინვესტიციის წლიური გადასახადი

შეადგენს 2788 ლარს. ამ დანადგარის დაყენებით „დექ კომპანია-1“-ის წმინდა (ნეტო) წლიური ეკონომია 6550,7 ლარი, ხოლო „მძკ კომპანიისა“ კი 2833,3 ლარი. ამ მოგებათა პროპორციულად განაწილება წლიური საინვესტიციო გადასახადი, რაც „დექ კომპანია-1“-ისთვის შეადგენს 1946,22 ლარს, ხოლო „მძკ კომპანიისთვის“-კი 842,78 ლარს. შესაბამისად, წმინდა წლიური მოგება იქნება „დექ კომპანია-1“-ისთვის 4604,48 ლარი, ხოლო „მძკ კომპანიისთვის“ კი 1991,52 ლარი. ამავე პრინციპით გამოითვლება გადასახადები და წმინდა მოგებები სხვა კომპანიებთან მიმართებაში (ცხრ.5.3).

ცხრილი 5.3

მანაწილებელი ქსელი	ინვესტიციების გადასახადის წლიური მოცულობა, ლარი/წელი	„დექ კომპანია“			„მძკ კომპანია“		
		წმინდა ეკონომია, ლარი	გადასახადი, ლარი	წლიური წმინდა მოგება, ლარი	წმინდა ეკონომია, ლარი	გადასახადი, ლარი	წლიური წმინდა მოგება, ლარი
დექ-1	2788	6550,7	1946,22	4604,48	2833,3	841,78	1991,52
დექ-2	2044	2757,1	1165,73	1591,37	2077,2	878,27	1198,93
დექ-4	7272	16456,6	5018,38	11438,22	7390,2	2253,62	5136,58
დექ-5	752	1121,6	447,26	674,34	764,2	304,74	459,46
ჯამი	12856	26886,0	8577,59	18308,41	13065	4278,41	8786,59

საინვესტიციო ვადის დამთვრების შემდეგ კომპანიათა წმინდა მოგებები გაიზრდება. კერძოდ, „მძკ კომპანიისთვის“ 13065 ლარამდე და „დექ კომპანია-1“-ისთვის 6550,7 ლარამდე და ა.შ.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ მაღალი ძბვის ქსელის მიმართ ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისას ეკონომიურად მიზანშეწონილია მაკომპენსირებელი დანადგარი დავაყენოთ „2“ და „5“ ქვესადგურების დაბალი ძბვის სალტეებზე -  $Q_{კ,2} = 3,473$  და  $Q_{კ,5} = 2,819$  მგვარ.

იმ შემთხვევაში, როცა მაღალი ძბვის ქსელი მიზანშეწონილად მიიჩნევა დაბალი ძბვის მანაწილებელ ქსელში დაყენებული იქნეს უფრო მეტი სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი, მაშინ უფრო ეფექტურია ეს დამატებითი კომპენსაცია განვანხორციელოთ დაბალი ძბვის

მანაწილებელ ქსელის მომხმარებელთა კვანძებში. ამასთან კვანძში დაყენებული მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრე არ უნდა აღემატებოდეს ამ კვანძის დატვირთვას მაქსიმალურ რეჟიმში.

დამატებითი კომპენსაციის განხორციელება დამატებით მოგებას მოგვცემს და, ამასთან, დამატებით ხარჯებსაც მოითხოვს, რაც განაწილებული უნდა იქნეს მონაწილე კომპანიებს შორის დამატებითი მოგებების მიხედვით.

განვიხილოთ “დმქ კომპანია-5“-ის მანაწილებელ ელექტროქსელში დამატებითი კომპენსაციის საკითხი. ამ ქსელში კომპანიის ინტერესებიდან გამომდინარე ეკონომიურად მიზანშეწონილია 0,188 მგვარ სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი დავაყენოთ 5.2 კვანძში გვაქვს 0,4 მგვარ დატვირთვა ანუ ქსელის ჯამური დატვირთვა შეადგენს 0,7 მგვარ-ს. რადგანაც  $Q_{3,5} = 2,819$  მგვარ განსახილველ მანაწილებელ ელექტროქსელში შეგვიძლია განვახორციელოთ რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაცია ანუ 5.2 კვანძში დავაყენოთ 0,3 მგვარ სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი, ხოლო 5.1 კვანძში 0,4 მგვარ სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი. შესაბამისად, დამატებითი კაპიტალური ხარჯები იქნება  $(0,4 + 0,3 - 0,188) \times 20000 = 10240$  ლარი, ხოლო დანადგარის მომსახურებისა და დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები იქნება 307,2 და 897,02 ლარი შესაბამისად, რაც გადახდილი იქნება “დმქ კომპანია-5“-ის მიერ, როგორც მის ქსელში დაყენებული და მის კუთვნილებაში მყოფი მაკომპენსირებელი დანადგარის საექსპლუატაციო ხარჯები.

თუ ჩავთვლით, რომ დაბალი ძაბვის დანარჩენ მანაწილებელ ქსელში დამატებითი კომპენსაცია არ ხორციელდება, მაშინ  $(0,4 + 0,3 - 0,188) = 0,512$  მგვარ რეაქტიული სიმძლავრის დამატებითი კომპენსაცია “დმქ კომპანია-5“-ის და „მმქ კომპანიის“ ქსელში დამატებით გამოიწვევს დანაკარგების შემცირებას და ეკონომიური ეფექტი მიაღწევს შესაბამისად 1381,2 და 3855 ლარს. მაშასადამე, წლიური მოგება “დმქ კომპანია-5“-ისთვის

შეადგენს  $(1381,2 - 307,2 - 897,02) = 176,98$  ლარს და „მძკ კომპანიისთვის“ 3855 ლარს. საინვესტიციო ხარჯების პროპორციული წლიური გადასახადი შეადგენს  $(0,1 + 0,1) \times 10240 = 2048$  ლარს, რაც განაწილებული იქნება მოგებათა პროპორციულად. შესაბამისად, კომპანიების მიერ საინვესტიციო ხარჯების დასაფარავად წლიური გადასახადი შეადგენს 89,9 და 1958,1 ლარს. შესაბამისად წმინდა მოგება იქნება “დძკ კომპანია-5“-ისთვის  $176,98 - 89,9 = 87,08$  და “მძკ კომპანიისთვის“  $3855 - 1958,1 = 1896,9$  ლარი/წელი.

განხილული მაგალითის საფუძველზე შეგვიძლია ჩავწეროთ საანგარიშო გამოსახულებები, რომლის მიხედვითაც განხორციელდება ინვესტიციის დაფარვა (მაკომპენსირებელი დანადგარის გამოსყიდვა) თანადაფინანსების პრინციპით

$$I_{ა.ა} = I \cdot \frac{N_{ა.ა}}{N_{ა.ა} + (N_{დ.ა} - N_{გ.ს.} - N_{ჯ})} \quad \text{და} \quad I_{დ.ა} = I \cdot \frac{N_{ა.ა} - N_{გ.ს.} - N_{ჯ}}{N_{დ.ა} + (N_{დ.ა} - N_{გ.ს.} - N_{ჯ})},$$

სადაც:  $I_{ა.ა}$  - მაღალი ძაბვის ქსელის წილი ინვესტიციის დაფარვაში, ლარი/წელი;

$I_{დ.ა}$  - დაბალი ძაბვის ქსელის წილი ინვესტიციის დაფარვაში, ლარი/წელი;

$I = \left( \frac{1}{T_{ა.ა}} + \alpha_{ა.ა} \right) \cdot K_{0,ა} \cdot Q_{ა}$  ინვესტიციის დაფარვის წლიური მოცულობა, ლარი/წელი;

$N_{ა.ა} = (\Delta P_{ა.ა} - \Delta P_{ა.ა}) \cdot \tau \cdot C_{ა.ა}$  - მაღალი ძაბვის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომია, ლარი/წელი ( $\Delta P_{ა.ა} - \Delta P_{ა.ა}$  სიმძლავრის დანაკარგები მაღალი ძაბვის ქსელში კომპენსაციამდე და კომპენსაციის შემდეგ);

$N_{დ.ა} = (\Delta P_{დ.ა} - \Delta P_{დ.ა}) \cdot \tau \cdot C_{დ.ა}$  - დაბალი ძაბვის ქსელში ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომია, ლარი/წელი ( $\Delta P_{დ.ა} - \Delta P_{დ.ა}$  სიმძლავრის დანაკარგები დაბალი ძაბვის ქსელში კომპენსაციამდე და კომპენსაციის შემდეგ);

$N_{გ.ს.} = \alpha_{ჯ} \cdot K_0 \cdot Q_{ჯ}$  - მაკომპენსირებელი დანადგარის წლიური საექსპლუატაციო ხარჯები, ლარი/წელი;

$N_j = \Delta P_j \% \cdot 10^{-2} \cdot Q_j T_0 \cdot C_{d,d}$  - მაკომპენსირებელ დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები, ლარი/წელი.

ჩატარებული გამოთვლები და ამ გამოთვლების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანადაფინანსების პრინციპი „დბქ კომპანიებს“ აძლევს ეკონომიკურ სტიმულს თავიანთ ქსელში უფრო მაღალი აქტიურობით განხილონ რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრისა და განთავსების ადგილის შერჩევის ამოცანა.

## დასკვნა

საბაზრო ეკონომიკის პრინციპის შესაბამისად, ელექტროგადაცემის ქსელი დაყოფილია ნომინალური ძაბვისა და დანიშნულების მიხედვით და სხვადასხვა კომპანიის კუთვნილებას წარმოადგენს. თითოეული კომპანიის დაინტერესების საგანს წარმოადგენს მის კუთვნილებაში არსებული გადაცემის ქსელის მუშაობის მაღლეფექტურობა. ამ მიზნის მისაღწევად, ხშირ შემთხვევებში, ეკონომიურად მიზანშეწონილი აღმოჩნდება ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია. მაკომპენსირებელი დანადგარის ოპტიმალური სიმძლავრისა და ქსელში მისი განთავსების ადგილის დადგენა, როგორც ავლიმენტ, სისტემური ხასიათის ამოცანაა და ამდენად, იგი კონკრეტული კომპანიის არეალის ფარგლებს გარეთ გადის. ასეთ შემთხვევაში, დაინტერესებულ კომპანიათა ურთიერთ შეთხმების საფუძველზე შესაძლებელია ამოხსნილი იქნეს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანათა სისტემური მიდგომის მეთოდის მოდიფიცირებით, რომელიც გაითვალისწინებს თანადაფინანსების პრინციპს.

ჩატარებული კვლევის შედეგების მიხედვით შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1. თანადაფინანსების პრინციპი გულისხმობს მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ხარჯები განაწილებული იქნეს კომპანიათა შორის თავიანთ ქსელებში მიღებული ეკონომიური ეფექტის შესაბამისად.
2. დადგენილი იქნა ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რაც საშუალებას გვაძლევს წინასწარ შევაფასოთ კომპენსაციის პრიორიტეტულობა კვანძების მიხედვით.
3. დაბალი ძაბვის მანაწილებელ ქსელში გამოთვლებით მიღებულია მაკომპენსირებელი სიმძლავრის დაყენებისთვის საჭირო კაპიტალური ხარჯები (ინვესტიციები), ინვესტიციების გადახდისათვის (საბანკო

დანარიცხების გათვალისწინებით) საჭირო წლიური ხარჯები, დანადგარის მომსახურების წლიური საექსპლუატაციო ხარჯები, მაკომპენსირებელ დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებით მიღებული წლიური ეკონომია.

4. ნაჩვენებია მაღალი ძაბვის ქსელში დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი განაწილებული თითოეულ დაბალი ძაბვის ქსელში დადგმული მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრთა პროპორციულად.

5. ქმედების ეფექტურობის თვალსაზრისით ეკონომიკურად მიზანშეწონილია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია უპირველესად განხორციელდეს ელექტრულად უშორეს კვანძში, რომელიც დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის დიდი აბსოლიტური მნიშვნელობით ხასიათდება;

6. აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით მაკომპენსირებელი დანადგარის მიერთების ადგილად რეკომენდირებულია 6-10/0,38 კვ ძაბვის სატრანსფორმატორო ჯიხურების 6-10 ან 0,38 კვ ძაბვის სალტები;

7. ქსელის იერარქიული სტრუქტურის ანალიზის საფუძველზე ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ რაც უფრო დაბლა გადავდივართ იერარქიის ერთი ვერტიკალის გასწვრივ, მით უფრო ნაკლებად არსებითია იერარქიის მეორე ვერტიკალის კვანძების რეაქტიული დატვირთვებისა და ამ დატვირთვების კომპენსაციის გავლენა განსახილველი ვერტიკალის კვანძებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სიდიდეზე;

8. შედგენილია ცხრილები და ამ მონაცემების საფუძველზე განაწილდება „მძკ კომპანისა“ და „დძკ კომპანიებს“ შორის ინვესტიციების გადახდის წლიური ხარჯები.

9. განხილული მაგალითების საფუძველზე შეგვიძლია ჩავწეროთ საანგარიშო გამოსახულებები, რომლის მიხედვითაც განხორციელდება



ინვესტიციის დაფარვა (მაკომპენსირებელი დანადგარის გამოსყიდვა) თანადაფინანსების პრინციპით.

10. ჩატარებული გამოთვლები და ამ გამოთვლების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანადაფინანსების პრინციპი „დმქ კომპანიებს“ აძლევს ეკონომიკურ სტიმულს თავიანთ ქსელში უფრო მაღალი აქტიურობით განხილონ რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრისა და განთავსების ადგილის შერჩევის ამოცანა.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. გ. მახარაძე, ფ. ახალაძე, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სისტემური მიდგომის მეთოდის პრობლემები და ახალი მეთოდის არსი, ქუთისის მე-2 საერთშორისო კომპენსაციის მასალები, 2013, გვ 5-6.
2. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.: Энергоиздат, 1982.
3. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисев М.С. Регулирование напряжения в электрических системах. М.: Энергоатомиздат., 1985.
4. Временная инструкция по расчету и анализу потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. - М.: ОРГРЭС, 1976. -56 с.
5. Выбор мощности и размещения компенсирующих устройств в энергосистеме / М.И. Мардер, Е.А. Привалов, Р.Н. Шапиро и др. - В кн.: Регулирование напряжения в электрических сетях, М.: Энергия, 1968. с. 455-461.
6. Глазунов А.А., Хиен Нгуен, Строев В.А. Об экономически целесообразной емкостной компенсации в сетях промышленных предприятий. - Электричество, 1968, № 3, с. 6-11.
7. Железко Ю.С., Карпов Ф.Ф. Учет потерь элестроэнергии в сети энергосистемы при выборе компенсирующих устройств в распределительных сетях. - Промышленная энергетика, 1975, № 3, с. 38-40.
8. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах - М.: Энергоиздат, 1981. - 200 с.
9. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии: М.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Железко Ю.С. Методика определения оптимального значения реактивной мощности, передаваемой потребителю. - Промышленная энергетика, 1977, №1, с. 49-51.
11. Идальчик В.И. Электрические системы и сети - М.: Энергоатомиздат, 1989-592 с.
12. კიკალიშვილი მ. აქტიური სიძლავრის დანაკარგების

- ფარდობითი ნაზრდი. ენერგია 1(3). 2000. გვ. 119-121.
13. მახარაძე გ. ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი 2005წ
  14. Махарадзе Г.Т., Буадзе В.В. Компенсация реактивной мощности в локальных электрических сетях, Сборник научных трудов, Тбилиси, Изд-во ГТУ, 1990.
  15. მახარაძე გ., კიკალიშვილი მ. ელექტრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ეკვივალენტობის პრინციპით. ენერგია. 4(12). 1999. გვ. 36-38.
  16. მახარაძე გ., კიკალიშვილი მ. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია მაგისტრალურ და რადიალურ ელექტრულ ქსელებში. ენერგია. 4(16). 2000. გვ. 107-112.
  17. მახარაძე გ., კიკალიშვილი მ. რეგიონულ მანაწილებელ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის მათემატიკური მოდელი. სტუ-ს შრომები (452). თბილისი. 2004.
  18. Меарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973.
  19. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. - М.: Энергия, 1975. - 128 с.
  20. Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. О выборе компенсирующих устройств. - Электрические станции, 1963, № 9, с 43-47.
  21. Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в электрических сетях. - М.: Энергия, 1968 - 153 с.
  22. Мельников Н.А. Электрические сети и системы. - М.: Энергия, 1975. - 463 с.
  23. Методика определения оптимального значения реактивной мощности, передаваемой в сеть потребителя. - М.: ОРГРЭС. 1976. - 24 с.
  24. Основы построения промышленных сетей / Г.М. Каялов, Э.А.Каджан, И.Н. Ковалев, Э.Г. Курений. М.: Энергия, 1978.
  25. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М., Федин В.Т. Компенсирующие и регулирующие устройства в электрических системах. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение,

1983. - 112 ს.

26. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы - М.: Энергия, 1978.

27. Фадеев В.В. Оптимизация компенсации реактивных мощностей потребителей при проектировании сетей энергосистем, Электрические станции. 1985. № 4, с 40-43.

28. მახარაძე გ. ახალაძე ფ. მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების ინტერესთა ურთიერთგათვალისწინება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას. ენერჯია 3(71) 2014 გვ 29-32

29. Казак Н.А. Технико-экономический расчет компенсации реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий. Электричество, 1961, №12. с. 28-31.

30. Карпов Г.М. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М. Энергия, 1975, 182 с.

31. ახალაძე ფ. მანაწილებელ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია თანადაფინანსების პრინციპით. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მოამბე 2(4) 2014

32. მახარაძე გ. ახალაძე ფ. ელექტრულ ქსელში სიმძლავრის დანაკარგების ოპტიმალური ფარდობითი ნაზრდი. ენერჯია 2 (74) 2015