

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტი

ხელნაწერის უფლებით

პეტრე კაჭკაჭიშვილი

**„სიმძლავრისა და ენერჯის დანაკარგების განსაზღვრა და მათი
შემცირების ტექნიკურ-ორგანიზაციული ღონისძიებები ქუთაისის
მანაწილებელი ელექტრული ქსელის მაგალითზე“**

ინჟინერიის დოქტორის 0719 აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

ქუთაისი

2022 წ

ნაშრომი შესრულდა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი ომარ ზივზივაძე

რეცენზენტები:

მარლენ შალამბერიძე -აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი;

პროფესორი - ემერიტუსი.

ზაზა პაპიძე -აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი;

ასოცირებული პროფესორი.

დისერტაციის დაცვა შედგება _____ 22.12.22 _____

საინჟინრო - ტექნიკური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ შექმნილ სადისერტაციო კომისიის სხდომაზე. მისამართი: ქუთაისი. თამარ მეფის 59. უნივერსიტეტის I კორპუსი, აუდიტორია №1114.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში მისამართზე: 4600. ქუთაისი. თამარ მეფის ქ. 59.

ავტორეფერატი დაიგზავნა “ _____ ” _____

სადისერტაციო საბჭოს

მდივანი

/ნ. სახანბერიძე/

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნას მიეძღვნა 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 ტერიტორიაზეა განფენილი, ზუსტი ინფორმაციის მოპოვება სუბიექტური თუ ობიექტური მიზეზებისა გამო გამწვანებულია 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 გამწვანებულია 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 კომპენსაცია მთელი სისტემის მასშტაბით. აღნიშნულიდან გამომდინარე, 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 ამოცანებად.

სამუშაოს მიზანია წარმოადგინოს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია იმ დოზით, რომ მინიმალური კაპიტალური ხარჯების პირობებში მაქსიმალურად შემციროს აქტიური სიმძლავრის (ენერჯის) დანაკარგები ქ. ქუთაისის მანაწილებელ ქსელში. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია ეს არის მაკომპენსირებელი დანადგარის მიერ რეაქტიული სიმძლავრის მიზნობრივი გენერაცია ან მოხმარება. 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. ამ შემთხვევაში ქ. ქუთაისის მკვებავ და მანაწილებელი ქსელისათვის ჩატარებულია გამოთვლები და ამ გამოთვლების შედეგების ანალიზის საფუძველზე გამოკვეთილია გასატარებელი ღონისძიებები, რომელიც ეკონომიკური ეფექტის მომცემი არის.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. ელექტრულ სისტემაში რეაქტიული დატვირთვის 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.

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

თეორიული კვლევის შედეგად მიღებული გამარტივებული მათემატიკური მოდელის გამოყენებისას დასმული ამოცანის ამოხსნის შედეგები. მათი სიზუსტის შემოწმების მიზნით, შედარდა სისტემური მიდგომის პრინციპის სრულმასშტაბოვანი გათვალისწინებისას მიღებული ამონახსნთა შედეგებს. შედარების შედეგებმა დაადასტურა დისერტაციაში მიღებული მათემატიკური მოდელის სრულფასოვნობა და მისი პრაქტიკაში რეალიზაციის მიზანშეწონილობა.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. მიღებული გამოსახულება წარმოადგენს განსახილველ რეგიონულ ელექტრულ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის ამოხსნის გამარტივებულ მათემატიკურ მოდელს.

$$\sum_{j=1}^k R_{ij} Q_{j3} = - \sum_{j=1}^k R_{ij} Q_j + [(1 - \beta)\sigma_k' - a] \frac{U_b^2}{2}.$$

β კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა სხვადასხვა სახასიათო პარამეტრების მქონე რეგიონული ქსელებისთვის, ზოგადად სხვადასხვა სიზუსტით შეგვიძლია დავადგინოთ ცხრილი 1-ის მიხედვით.

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

$$\sigma' = \frac{2R_{k,k}Q_{k\Sigma}}{U_{\beta}^2}$$

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

ამავე მაღალი ძაბვის მკვებავი ქსელის მონაცემების მიხედვით განვსაზღვრავთ σ_K -ს და შესაბამისად დავადგენთ

$$\sigma'_k = \sigma_K - \sigma$$

განტოლებათა სისტემაში შემავალი $R_{i,j}$ საკუთარი და ურთიერთ წინალობები გამოთვლილი უნდა იქნეს მაღალი ძაბვის მკვებავ ქსელში აღებული მახალანსირებელი კვანძის მიომართ

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

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

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.

პრაქტიკული ღირებულება. პროგრამა PSS/E -ს(Power System Simulator for Engineering)-ის საშუალებით ქუთაისის მკვებავი 110 კილოვოლტის ქსელის რეჟიმების გაანგარიშება, გამოკვლევამ აჩვენა რომ:

დატვირთვის მახასიათებლის შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძაბვის სიდიდე ქსელის კვანძებში არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს.

დატვირთვის მახასიათებლის შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას დანაკარგები ქსელში არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს.

დატვირთვის მახასიათებლის შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ქსელში ხაზების გადატვირთვებს ადგილი არ აქვს.

ყველა საანგარიშო გამოსახულება, სხვადასხვა საწყისი პირობებისას, ჩაწერილია იმ ფორმით, რაც მოხერხებულია პრაქტიკული სარგებლობისთვის.

შედეგების გამოყენების სფეროდ შეიძლება ჩაითვალოს 110 კვ-ის მკვებავი ქსელები სადაც მანაწილებელი ქსელები არის 10, 6 კვ-ის ძაბვის საფეხურის ქსელები.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისა და ლიტერატურის სიისაგან. დისერტაცია წარმოდგენილია 134 გვერდზე.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით და ზოგადი დასკვნები

შესავალში ყურადღება გამახვილებულია თუ რას წარმოადგენს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია იმ დოზით, რომ მინიმალური კაპიტალური ხარჯების პირობებში მაქსიმალურად შემცირდეს აქტიური სიმძლავრის (ენერჯის) დანაკარგები ქსელში. ასევე საუბარია საბაზრო ეკონომიკის განვითარების თანამედროვე პირობებში ელექტრული სისტემის ცალკეულ მანაწილებელ ქსელებში ტექნიკური ხასიათის ამოცანათა ურთიერთ დამოუკიდებელი გადაწყვეტის აქტუალობაზე.

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.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს ქსელში ძაბვისა და აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების რეგულირების თვალსაზრისით. ამ თვალსაზრისით უფრო მოხერხებულია რეგულირებადი მაკომპენსირებელი დანადგარები სინქრონული კომპენსატორები, კონდენსატორთა ბატარეები და მამუნტებელი რეაქტორები.

კომპენსატორები რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის თვალსაზრისით ქსელში ძაბვის ცვლილებისას დადებითი მარეგულირებადი ეფექტით ხასიათდებიან, მაშინ როცა არარეგულირებად კონდენსატორთა ბატარეებს უარყოფითი მარეგულირებადი ეფექტი ახასიათებს, თუმცა ამ უკანასკნელთა მონტაჟი და ექსპლუატაცია შედარებით უფრო მარტივია და ასევე შედარებით ნაკლებ აქტიურ სიმძლავრეს მოითხოვენ ქსელიდან.

მიუხედავად გარკვეული უარყოფითი მხარეებისა მანაწილებელ ქსელში კონდენსატორთა ბატარეა უფრო ფართოდ გამოიყენება, ვიდრე სინქრონული კომპენსატორები, რადგანაც მათი დაყენება შეიძლება:

- უშუალოდ მომხმარებელთან 0,38 კვ ძაბვაზე (ინდივიდუალური კომპენსაცია);
- მანაწილებელ ქსელებში (ჯგუფური კომპენსაცია);
- ქვესადგურების დაბალი ძაბვის (0,38, 6, 10კვ) სალტეებზე (ცენტრალიზებული კომპენსაცია).

ასევე განხილულია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოხსნის თანამედროვე მდგომარეობა. აქ განხილულია პრობლემის არსი სისტემური მიდგომის თვალსაზრისით. ამ პრობლემას მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები მიემდვნა როგორც ყოფილი საბჭოთა კავშირში, ასევე მის ფარგლებს გარეთ. ეს გამოწვეულია იმით, რომ პრობლემის რაციონალური გადაწყვეტის პირობებში ადვილად მიიღწევა დიდი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტი.

ელექტროენერგეტიკის სამეცნიერო-ტექნიკური კომპლექსის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს რეაქტიული დატვირთვის რაციონალური კომპენსაცია, რადგანაც ელექტროსისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის ბალანსიდან გამომდინარე საჭიროა თითქმის მისი ერთი მესამედი გენერირდებოდეს მომხმარებელთა ახლოს დაყენებული მაკომპენსირებელი დანადგარების მიერ. აღნიშნულ სფეროში მრავალწლიანი გამოკვლევები მიმართული იყო დასმული ამოცანის განზომილების შემცირებისა და ცალკეული ქვესისტემების საინფორმაციო დაშორიშორების გადალახვაზე, რაც განპირობებულია ამ ქვესისტემების უწყებრივი

დაქვემდებარებულობით და ქსელის მუშაობის რეჟიმის მიხედვით საწყისი საანგარიშო ინფორმაციის შეგროვების სხვადასხვა შესაძლებლობებით.

აღნიშნული მიმართულებით კვლევის ყველა ამჟამად არსებული რეზულტატები, როგორც ეს ხაზგასმულია ნაშრომში Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей, - М.: Энергоатомиздат, 1990, პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად, რომელთაგანაც პირველს მიეკუთვნება ცალკეული ქვესისტემების ეკვივალენტობის მეთოდები და მეორეს კი ე.წ. პარციალური გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც განსხვავებული მიდგომაა.

Ю.С. Железко თავის ნაშრომში Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии, М.: Энергоатомиздат, 1985, რეკომენდაციას იძლევა ენერგოსისტემის სისტემაწარმომქნელი ქსელის ზემდადანი ძაბვის ხაზების ძირითად ქსელთან მიერთების კვანძებში მოცემულად ჩაითვალოს $P(t)+jQ(t)$ გრაფიკი, რომელიც განსაზღვრული იქნება დამოუკიდებელი გაანგარიშებით. ამ მეთოდით შესაძლებელი ხდება 110-500კვ ძაბვის ენერგოსისტემაში შემავალი ყოველი მანაწილებელი ქსელის რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმიზაციის შემდეგ განისაზღვროს ჯამური შემავალი რეაქტიული სიმძლავრე $Q\sum$, რომლის შემდეგ ისმება დამოუკიდებელი ამოცანა მოცემული მანაწილებელი ქსელის კვანძებს შორის $Q\sum$ 'სიმძლავრის ოპტიმალური განაწილების შესახებ.

რიგი ავტორებისა თავიანთ შრომებში რეკომენდაციას იძლევიან მანაწილებელი ქსელი შეიცვალოს ეკვივალენტური აქტიური წინააღმდეგობით, რომელიც გამოითვლება სიმძლავრის ცნობილი დანაკარგების მიხედვით. სხვა მკვლევართა აზრით 6-35კვ ძაბვის ქსელებში შესაძლებელია უფრო მარტივი ეკვივალენტობა. კერძოდ, აღნიშნული ძაბვის ქსელის ეკვივალენტური წინააღმდეგობა შეიძლება მივიღოთ სქემის ხის შტოების წინააღმდეგობით და პარალელური შეკრების გზით. ავტორები თავიანთ მეთოდს პარციალურს უწოდებენ, რომელიც ვრცელდება 6-10კვ ძაბვის შედარებით მოკლე რადიალურ და მაგისტრალურ ხაზებზე, რაც უფრო დამახასიათებელია სამრეწველო ქსელებისთვის. [Основы построения промышленных сетей/ Г.М. Каялов, Э.А. Каджан, И.Н. Ковалев, Э.Гю Курений. М.: Энергия, 1978]. ეს მეთოდი გულისხმობს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის ლოკალიზაციას. არსებულ სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის დასმის 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 ამ სიმძლავრის ოპტიმალური განაწილების საკითხს ქსელის კვანძებს შორის.

ავტორები (Арзамасцев Д.А., Скляр Ю.С.) გვთავაზობს ამოცანა განვიხილოთ იმ დაშვებით, რომ ტექნიკური თუ სხვა ინჟინრული მოსაზრებების საფუძველზე, მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენების ადგილები მოცემულია. ამ შემთხვევაში ამოცანის ამოხსნა განიხილება კოორდინატული დაშვების სვლის მეთოდით.

ზოგიერთი ავტორის (Каялов Г.М., Молодцов В.С.) მიერ კვადრატული პროგრამირების მათემატიკურ ამოცანაზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია

მატრიცულ-გამოთვლითი მეთოდი მაკომპენსირებელი დანადგარებიანი ელექტრული სისტემის რეჟიმის ამსახველი განტოლებების რთული სისტემის ამოხსნის პროცედურა შეიცვალოს ამ დანადგართა სიმძლავრის ოპტიმალური მნიშვნელობების გამოთვლით მზა მატრიცული ფორმულების გამოყენებით.

შედარებით წარმატებულ სპეციალურ მეთოდს წარმოადგენს ხარჯების პოტენციალთა მეთოდი, რომელიც განიხილება რიგი ავტორების ნაშრომებში (Меарович М., Мако Д., Такахага И., Холмский В.Г., Щербина Ю.В. და სხვ.). აქ ამოცანის ამოხსნისას განიხილება ენერგოსისტემის ქსელის პირობითი სქემა, რომელიც შეიცავს ქსელის ელემენტების მხოლოდ აქტიურ წინააღმდეგობებს და კვანძების საანგარიშო რეაქტიულ დატვირთვებს.

ავტორები Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. და Федин В.Т. გვთავაზობენ პრობლემის გადაწყვეტისთვის გამოვიყენოთ ე.წ. კრიტერიალური მეთოდი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ მაკომპენსირებელი დანადგარების არა მარტო სიმძლავრე და დაყენების ადგილები, არამედ მათი დაყენების რაციონალური რიგითობაც.

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

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

ელექტრული ქსელის განსახილველი კვანძის მიმართ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ცალკეული შემდგენები, გამოწვეული შესაბამისად მოცემული კვანძისა და ქსელის დანარჩენი კვანძების დატვირთვებით:

$$\sigma_i = \sigma_i^1 + \sigma_i^{ii}$$

სადაც:

$$\sigma_i^1 = \frac{2}{U_n^2} R_{ii} Q_i \quad \text{და} \quad \sigma_i^{ii} = \frac{2}{U_n^2} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n R_{ij} Q_j$$

ელექტრულ ქსელში კვანძური დატვირთვების მიხედვით აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებას აქვს სახე

$$\Delta P = \frac{1}{U_n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j)$$

ამ გამოსახულებაში კვანძის გენერაცია აიღება “პლუს” ნიშნით, დატვირთვა კი “მინუს” ნიშნით.

ამ შეთანხმების მიხედვით $\Delta P(Q_i)$ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას აქვს სახე, რომელიც გვიჩვენებს i -ურ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კონპენსაციის დროს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების ხასიათს.

ამ დროს უცვლელი რჩება დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის σ_{iii} შემდგენი, ხოლო σ_i^1 შემდგენის აბსოლიტური მნიშვნელობა მცირდება კომპენსაციის პროპორციულად და იგი ნულის ტოლი ხდება კვანძში რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაციის შემთხვევაში. σ_i^1 შემდგენის შემცირება კვანძის საკუთარი წინააღმდეგობის პროპორციულია. რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის მიზანშეწონილობა უნდა ვეძებოთ იმ კვანძებისთვის, სადაც აქტიური სიმძლავრის

დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის აბსოლიტური მნიშვნელობა უდიდესია და ამასთან მაღალია ამ კვანძის საკუთარი წინაღობა.

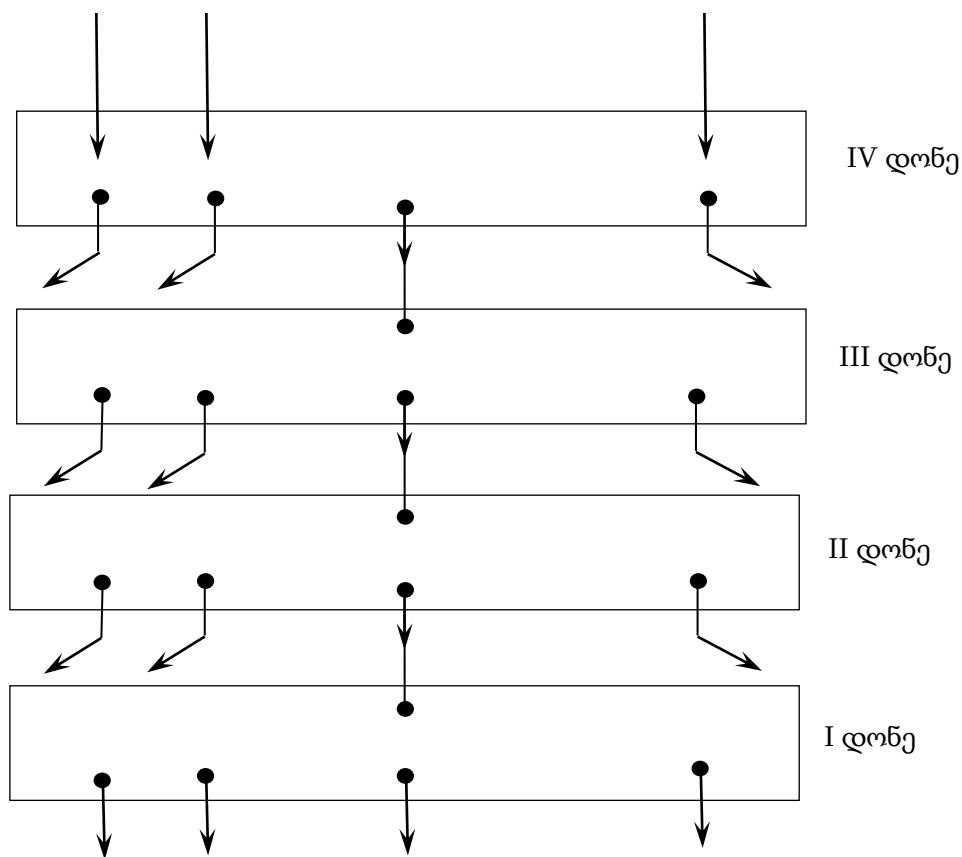
თუ არ გავითვალისწინებთ მაკომპენსირებელი დანადგარის შექმნის, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის ხარჯებს, მაშინ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით ეფექტურია რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაცია, ქსელის ყველა კვანძში. რადგანაც ყოველი ტექნიკური დანადგარი, და მათ შორის მაკომპენსირებელიც, მოითხოვს მნიშვნელოვან კაპიტალურ და საექსპლუატაციო ხარჯებს, მოცემული კონკრეტული ქსელის შემთხვევაში იარსებებს დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ცალსახად განსაზღვრული ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის შემდეგ დატვირთვის შემდგომი კომპენსაცია არაეკონომიკურია.

ასევე 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.

ელექტრული სისტემა ქსელის ძაბვების მიხედვით დაყოფილია ოთხ იერარქიულ ვერტიკალურ დონედ (ნახ. 1):

ამ დაყოფისას იგულისხმება, რომ k დონის ქსელს ელექტრული კავშირი აქვს მის ზემდგომ $k+1$ დონის ქსელის მხოლოდ ერთ კვანძთან. იერარქიის IV დონეზე განთავსებულია ძირითადი წყაროები, რომელთაგანაც ნებისმიერი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც მარბალანსირებელი კვანძი.

პრობლემისადმი ასეთი მიდგომისას III და უფრო დაბალი დონის მანაწილებელ ავტონომიურ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია გარკვეული ხარისხით გავლენას ახდენს მკვებავ ქსელში სიმძლავრეთა გადანაწილებაზე და, შესაბამისად, დანაკარგების შეფასების თვალსაზრისით გლობალური ხასიათის ამოცანის ამოხსნისას საჭიროა შეფასებული და გათვალისწინებული იქნეს ეს გავლენა. კერძოდ, ვერტიკალურ სტრუქტურაში მდებარე III, II და I დონეების ავტონომიურ ქსელებში უფრო ზუსტი ამოცანის ამოხსნის მისაღებად დამატებით უნდა იქნეს გათვალისწინებული მკვებავი ქსელის სხვა კვანძებში მიერთებულ ავტონომიურ ქსელებში რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის β ხარისხი.



ნახ. 1

- I დონე – 0.38 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელი
- II დონე – 6-10კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელი
- III დონე – 35-110 კვ ძაბვის მანაწილებელი ქსელი
- IV დონე – 220-500კვ ძაბვის მკვებავი ქსელი

იერარქიული სტრუქტურის გათვალისწინებით რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანა შეიძლება დასმული იქნეს სხვადასხვა სახით, იმის და მიხედვით ქსელის რომელი დონის კვანძებში გვსურს მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება და მოცემულია თუ საძიებელია კვების წყაროების რეაქტიული გენერაცია. ამ ამოცანათა რაოდენობა შეადგენს რვას, რომელთაგანაც ყველაზე უფრო გლობალურად მიიჩნევა IA ამოცანა, რადგანაც ამ დროს ვერტიკალური იერარქიის გასწვრივ ყველა დონეზე დადგენილი იქნება მაკომპენსირებელი დანადგარების ოპტიმალურ სიმძლავრეთა მნიშვნელობები და ამასთან განისაზღვრება გენერაციის წყაროების ოპტიმალური რეაქტიული დატვირთვები.

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის პრობლემისადმი შემოთავაზებული ყველა მეთოდი და მიდგომა ხასიათდება როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მხარეებით და მეტნაკლები წარმატებით გამოიყენება ამა თუ იმ დანიშნულებისა და კონფიგურაციის ელექტრულ ქსელებში.

იერარქიის დონე	კვანძები, სადაც გათვალისწინებულია მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება	კვების წყაროების რეაქტიული გენერაცია	ამოცანის ინდექსი
I	A _I , B _IM _I	საძიებელია	IA
		მოცემულია	IB
II	A _{II} , B _{II}M _{II}	საძიებელია	IIA
		მოცემულია	IIB
III	A _{III} , B _{III}M _{III}	საძიებელია	IIIA
		მოცემულია	IIIB
IV	A _{IV} , B _{IV}M _{IV}	საძიებელია	IVA
		მოცემულია	IVB

დადგენილია რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის გლობალური ამოცანის გამარტივების საფუძვლები:

1. ქსელის იერარქიული სტრუქტურის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ იერარქიის ერთი ვერტიკალის გასწვრივ რაც უფრო დაბლა გადავდივართ, მით უფრო ნაკლებად არსებითია მეორე ვერტიკალური იერარქიის კვანძების დატვირთვებისა და კომპენსაციის გავლენა განსახილველი ვერტიკალის კვანძებში დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სიდიდეზე;

2. იერარქიის IV დონეზე, სადაც ენერგოგადაცემის ხაზები პრაქტიკულად ყოველთვის დატვირთულია ნატურალურ სიმძლავრეზე ნაკლები ტვირთით, ხაზების მიერ რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია თითქმის ყოველთვის ჭარბობს ამავე ხაზებში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებს და შედეგად იერარქიის ამ დონეზე გვაქვს ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრე, რაც რიგ შემთხვევაში გაკომპენსირებული უნდა იქნეს მაშუნტებელი რეაქტორებით, აქედან გამომდინარე გვაქვს საკმარისი საფუძველი, რათა აღნიშნული ამოცანის დასმისას მბალანსირებელ კვანძად პირობითად ავირჩიოთ განსახილველი ვერტიკალური სტრუქტურის IV დონესთან დამაკავშირებელი კვანძი;

3. ვერტიკალური იერარქიის I დონე ეს არის 0.38 კვ ძაბვის დამოუკიდებელი ღია ქსელი, რომლის 6-10/0.38კვ ძაბვის სატრანსფორმატორო ჯიხურებიდან იკვებება 0.38 კვ ძაბვის ერთფაზა მომხმარებლები, ხოლო მაღალი ძაბვის (6-10) კვ სალტეებიდან კი როგორც ანგარიშის ანალიზმა გვიჩვენა 0,38 კვ ერთფაზა მომხმარებლებთან ერთფაზა მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენებით ეკონომიკური ეფექტი იმდენად უმნიშვნელოა, რომ მისი გაუთვალისწინებლობა ამოცანის ამოხსნის შედეგებზე პრაქტიკულად გავლენას ვერ მოახდენს. ამდენად მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ადგილად მივიჩნევთ 6-10 კვ მანაწილებელი ქსელის 6-10/0,38 კვ ძაბვის სატრანსფორმატორო ჯიხურების სალტეებს;

4. როგორც ვიცით მახალანსირებელი კვანძის მიმართ აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდი ნულის ტოლია, რის გამოც, ჩვენს შემთხვევაში, IV დონე და მასთან მიერთებული დანარჩენი ვერტიკალური იერარქიული დონეები გათვალისწინების მიღმა აღმოჩნდება. ანუ განუხორციელებელი იქნება პრობლემისადმი სისტემური მიდგომის პრინციპი. ამის თავიდან აცილების მიზნით განსახილველი ვერტიკალური სტრუქტურის IV დონესთან მიერთების კვანძი განიხილება პირობით მახალანსირებელ კვანძად, რომლის მიმართ ენერგოსისტემის IV დონის ქსელის არსებობა გათვალისწინებული იქნება ამ კვანძის საკუთარი R_{KK} წინაღობის და დანაკარგების σ_K ფარდობითი ნაზრდის საშუალებით, რომელიც გამოითვლება მკვებავ ქსელში მიღებული მახალანსირებელი კვანძის მიმართ.

მეორე თავი. განხილულია ქ. ქუთაისის 110 კვ ქსელი, რეჟიმის არსებული დატვირთვის შემთხვევაში როცა სიმძლავრის კოეფიციენტია 0,95 გაანგარიშების შედეგი აჩვენებს რომ ქსელში გადატვირთვებს ადგილი არ აქვს. ძაბვის სიდიდე და დანაკარგები არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს. ხაზების გენერირებული რეაქტიული ენერგია უმნიშვნელოა. წარმოდგენილია ქსელის ჩანაცვლების სქემა ელექტრული სისტემის მოდელირების პროგრამაში - PSS/-ს(Power System Simulator for Engineering) და გაანგარიშების შედეგები ესეიგი ქსელის მუშაობის რეჟიმის პარამეტრები ანუ სამიებული (ინფორმაცია) პარამეტრები, კერძოდ ძაბვა ქსელის ყველა კვანძში ასევე აქტიური და რეაქტიული ენერგიის სიდიდეები ყველა კვანძში და ყველა ხაზის თავსა და ბოლოში.

რეჟიმის ამსახავ სქემას ელექტრული სისტემის მოდელირების პროგრამაში - PSS/-ს(Power System Simulator for Engineering) და მასზე წარმოდგენილია ხაზების დატვირთულობა პროცენტულად და ნაკადგანაწილება.

ქსელში გადატვირთვებს ადგილი არ აქვს

ქ/ს ქუთაისი 3-ის და ქ/ს ქუთაისი 6-ის დამაკავშირებელი ხაზი ბაკისუბანი იტვირთება 13%-ით.

ქ/ს ქუთაისი 3-ის და ქ/ს ავანგარდის დამაკავშირებელი ხაზი ქვიტირი იტვირთება 4%-ით.

ქ/ს ავანგარდის და ქ/ს ავტოქარხანას დამაკავშირებელი ხაზი ქვიტირი 1 იტვირთება 11%-ით.

ქ/ს ავტოქარხანას და ქ/ს ავტოქარხანა 2-ის დამაკავშირებელი ხაზი საქარხნო იტვირთება 0%-ით

ქ/ს ავტოქარხანა 2-ის და ქ/ს სათაფლიის დამაკავშირებელი ხაზი გორა იტვირთება 18%-ით

ქ/ს სათაფლიის და ქ/ს ქუთაისი 4-ის დამაკავშირებელი ხაზი ბანოჯა იტვირთება 29% ით.

ქ/ს ქუთაისი 4-ის და გუმათ ქესის დამაკავშირებელი ხაზი ჭომა იტვირთება 38%-ით.

გუმათ ჰესისა და რიონ ჰესის დამაკავშირებელი ხაზები მოწამეთა 1 და მოწამეთა 2 დაიტვირთებიან მაქსიმუმ 7 %-ით.

ქ/ს ქუთაისი 5-ის დამაკავშირებელი ხაზები მოწამეთა 1-თან და მოწამეთა 2-თან დაიტვირთებიან მაქსიმუმ 10%-ით.

რიონ ჰესისა და ქ/ს ბაკისუბნის დამაკავშირებელი ხაზი მუხიანი დაიტვირთება 34%-ით

რიონ ჰესისა და ქ/ს დიდი ქუთაისის დამაკავშირებელი ხაზი სარბევი დაიტვირთება 0%-ით.

ქ/ს დიდი ქუთაისისა და ქ/ს ქუთაისი 6-ის დამაკავშირებელი ხაზი გეგუთი დაიტვირთება 34%-ით.

ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაში როცა სიმძლავრის კოეფიციენტია 0,95 და დატვირთვა ინსტრუქციის მიხედვით განაწილებული შემდეგნაირად:

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები რომელთა სიდიდე არაა დამოკიდებული ძაბვაზე $P = const, Q = const$ არის 50%.

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები რომელთა სიდიდე პირდაპირ პროპორციულია ძაბვის სიდიდის $P = K_1 U$ და $Q = K_1 U$ არის 30%.

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები რომელთა სიდიდე პირდაპირ პროპორციულია ძაბვის კვადრატისა $P = g U^2$ და $Q = b U^2$ არის 20 %.

რეჟიმის ამსახავ სქემას ელექტრული სისტემის მოდელირების პროგრამაში - PSS/-ს(Power System Simulator for Engineering) და მასზე წარმოდგენილია ხაზების დატვირთულობა პროცენტულად და ნაკადგანაწილება. ქსელში გადატვირთვებს ადგილი არ აქვს

ქ/ს ქუთაისი 3-ის და ქ/ს ქუთაისი 6-ის დამაკავშირებელი ხაზი ბაკისუბანი იტვირთება 22%-ით. ქ/ს ქუთაისი 3-ის და ქ/ს ავანგარდის დამაკავშირებელი ხაზი ქვიტირი იტვირთება 24%-ით. ქ/ს ავანგარდის და ქ/ს ავტოქარხანას დამაკავშირებელი ხაზი ქვიტირი 1 იტვირთება 42%-ით.

ქ/ს ავტოქარხანას და ქ/ს ავტოქარხანა 2-ის დამაკავშირებელი ხაზი საქარხნო იტვირთება 13%-ით. ქ/ს ავტოქარხანა 2-ის და ქ/ს სათაფლიის დამაკავშირებელი ხაზი გორა იტვირთება 32%-ით. ქ/ს სათაფლიის და ქ/ს ქუთაისი 4-ის დამაკავშირებელი ხაზი ბანოჯა იტვირთება 61% ით.

ქ/ს ქუთაისი 4-ის და გუმათ ქესის დამაკავშირებელი ხაზი ჭომა იტვირთება 79%-ით. გუმათ ჰესისა და რიონ ჰესის დამაკავშირებელი ხაზები მოწამეთა 1 და მოწამეთა 2 დაიტვირთებიან მაქსიმუმ 18 %-ით. ქ/ს ქუთაისი 5-ის დამაკავშირებელი ხაზები მოწამეთა 1-თან და მოწამეთა 2-თან დაიტვირთებიან მაქსიმუმ 27%-ით. რიონ ჰესისა და ქ/ს ბაკისუბნის დამაკავშირებელი ხაზი მუხიანი დაიტვირთება 88%-ით.

რიონ ჰესისა და ქ/ს დიდი ქუთაისის დამაკავშირებელი ხაზი სარბევი დაიტვირთება 0%-ით. ქ/ს დიდი უთაისისა და ქ/ს ქუთაისი 6-ის დამაკავშირებელი ხაზი გეგუთი დაიტვირთება 77%-ით.

ძალოვანი ტრანსფორმატორების 100%-ით დატვირთვის შემთხვევაში როცა სიმძლავრის კოეფიციენტია 0,95 და დატვირთვა ინსტრუქციის მიხედვით განაწილებული შემდეგნაირად:

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები რომელთა სიდიდე არაა დამოკიდებული ძაბვაზე $P = const, Q = const$ არის 50%.

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები რომელთა სიდიდე პირდაპირ პროპორციულია ძაბვის სიდიდის $P = K_1 U$ და $Q = K_1 U$ არის 30%.

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები რომელთა სიდიდე პირდაპირ პროპორციულია ძაბვის კვადრატისა $P = g U^2$ და $Q = b U^2$ არის 20 %.

რეჟიმის ამსახავ სქემას ელექტრული სისტემის მოდელირების პროგრამაში - PSS/-ს(Power System Simulator for Engineering) და მასზე წარმოდგენილია ხაზების დატვირთულობა პროცენტულად და ნაკადგანაწილება.

ქ/ს ქუთაისი 3-ის და ქ/ს ქუთაისი 6-ის დამაკავშირებელი ხაზი ბაკისუბანი იტვირთება 25%-ით. ქ/ს ქუთაისი 3-ის და ქ/ს ავანგარდის დამაკავშირებელი ხაზი ქვიტირი იტვირთება 27%-ით. ქ/ს ავანგარდის და ქ/ს ავტოქარხანას დამაკავშირებელი ხაზი ქვიტირი 1 იტვირთება 49%-ით.

ქ/ს ავტოქარხანას და ქ/ს ავტოქარხანა 2-ის დამაკავშირებელი ხაზი საქარხნო იტვირთება 16%-ით. ქ/ს ავტოქარხანა 2-ის და ქ/ს სათაფლიის დამაკავშირებელი ხაზი გორა იტვირთება 38%-ით. ქ/ს სათაფლიის და ქ/ს ქუთაისი 4-ის დამაკავშირებელი ხაზი ბანოჯა იტვირთება 71% ით.

ქ/ს ქუთაისი 4-ის და გუმათ ქესის დამაკავშირებელი ხაზი ჭომა იტვირთება 93%-ით. გუმათ ჰესისა და რიონ ჰესის დამაკავშირებელი ხაზები მოწამეთა 1 და მოწამეთა 2 დაიტვირთებიან მაქსიმუმ 21 %-ით. ქ/ს ქუთაისი 5-ის დამაკავშირებელი ხაზები მოწამეთა 1-თან და მოწამეთა 2-თან დაიტვირთებიან მაქსიმუმ 32%-ით. რიონ ჰესისა და ქ/ს ბაკისუბნის დამაკავშირებელი ხაზი მუხიანი დაიტვირთება 103%-ით.

პროგრამაPSS/E -ს(Power System Simulator for Engineering)-ის საშუალებით ქუთაისის მკვებავი 110 კილოვოლტის ქსელის რეჟიმების გაანგარიშება-გამოკვლევამ აჩვენა რომ:

დატვირთვის მახასიათებლის არცერთი შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაშიც კი ძაბვის სიდიდე ქსელის კვანძებში არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს.

დატვირთვის მახასიათებლის არცერთი შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაშიც კი დანაკარგები ქსელში არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს.

დატვირთვის მახასიათებლის არცერთი შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაშიც კი ქსელში ხაზების გადატვირთვებს ადგილი არ აქვს.

ძალოვანი ტრანსფორმატორების 100%-ით დატვირთვის შემთხვევაში გადაიტვირთება გადამცემი ხაზი მუხიანი.

მესამე თავში განხილული კონკრეტული ქვესადგურებისა და ფიდერების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე გამოვლინდა ის ფიდერები სადაც საჭიროა საკომპენსაციო დანადგარების განთავსება, კერძოდ, ესენია ნკვ-იანი ფიდერები: „რეზინები“ და „ქვიტირი“. ასეთ შემთხვევაში ვიყენებთ რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის პარციალურ მეთოდს. პარციალური მეთოდი გულისხმობს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ამოცანის ლოკალიზაციას. კერძოდ, განიხილება მაღალი 6,10 კვ BFK და დაბალი 0,38 კვ HBK მაკომპენსირებელი დანადგარები. ამასთან დაბალი ძაბვის მაკომპენსირებელი დანადგარების ხვედრითი ღირებულება მეტია, ვიდრე მაღალი ძაბვისა. შესაბამისად საკომპენსაციო დანადგარების, კონკრეტულად სინქრონული კომპენსატორის, განთავსება ხდება 6 კვ სალტეზე.

კომპენსაციის შემდეგ მიღებული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ძაბვები კვანძებში გაზრდილია, მაგალითად კვანძ „c“ -ზე ძაბვა 5,4 კვ -დან გაიზარდა 5,96 კვ-მდე, ხოლო

კვანძ „Z” -ზე 0,3 კვ-დან 0.4 მდე. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის შემდეგ, შესაბამისად ელექტროგადამცემი ხაზების დატვირთვა შემცირებულია.

რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის შემდეგ 6 კვ კვანძ „X”- ზე ძაბვა 5.3 კვ-დან გაზარდა 5,8კვ-მდე, ხოლო 0,4 კვ კვანძ „C”-ზე ძაბვა 0.2 კვ- დან გაიზარდა 0,4 კვ-მდე. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარის დადგმის შემდეგ, შესაბამისად ელექტროგადამცემი ხაზების დატვირთულობა შემცირდა.

მკვებავი ქსელი, ქუთაისის ელექტრული სექმისთვის, წარმოადგენს 110 კვ ძაბვის რთული შეკრულ 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.

შესაბამისად ჩემი კვლევის მეორე ეტაპზე წარმოდგენილია საერთო სქემა, რომელიც შეიცავს როგორც მკვებავ (იერარქიული სტრუქტურის III დონე) ქსელს ისე მანაწილებელს (ანუ ვერტიკალური იერარქიული სტრუქტურის II დონეს) , სადაც ქვესადგურები და დაკავშირებულია ერთმანეთთან, რაც მოგვცემს საშუალებას გავიგოთ, პირველ რიგში, ქვესადგურებს შორის ნაკადგანაწილება. ასევე იერარქიული სტრუქტურის სხვადასხვა დონეზე რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის ურთიერთგავლენა.

ანგარიშის შედეგებმა გვიჩვენა რომ ძაბვები კვანძებში არ შეესაბამება ტექნიკურ-ექსპლუატაციის წესებით განსაზღვრულ ნორმებს. კერძოდ ქ/ს „ავტოქარხანას“ შემთხვევაში 110კვ-იან სალტეზე ძაბვა არის 108კვ, იგივე მდგომარეობაა ქ/ს“ბაკისუბნის“ შემთხვევაშიც.

ამ შემთხვევაში საკომპენსაციო დანადგარების დადგმის ადგილად შეირჩა ის ქვესადგურები, რომლებიც კვებას დებულობენ ელექტროსადგურებიდან, რადგან ისინი წარმოადგენენ რეაქტიული სიმძლავრის გენერირების პირდაპირ წყაროს. შესაბამისად საკომპენსაციო დანადგარები დაიდგა ქ/ს „ქუთაისი 4“-ში, ქ/ს „ქუთაისი 5“ და ქ/ს „ბაკისუბანში“.

გაანგარიშების შედეგების მიხედვით, იმ ქვესადგურებში სადაც ძაბვა კომპენსაციამდე იყო დაბალი, კომპენსაციის შემდეგ გაიზარდა. კერძოდ: ქ/ს“ბაკისუბანში“ და ქ/ს „ავტოქარხანაში“ ძაბვა 110 კვ-იან სალტეზე შეადგენს 111კვ-ს და 109,2კვ-ს. ასევე ელექტროგადამცემი ხაზების დატვირთულობა შემცირებულია.

ჩატარებული კვლევებისა და მიღებული შედეგების ანალიზის მიხედვით შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1. აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებისა და რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური კომპენსაციის თვალსაზრისით, მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ადგილად რეკომენდირებულია ქვესადგურის 6-10 კვ ძაბვის სალტე.

2. ქსელის იერარქიული სტრუქტურის ანალიზის საფუძველზე ნაშრომში ნაჩვენებია, განსახილველ მანაწილებელ ქსელში, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია იმ სახით, რომელიც გულისხმობს მოცემული ქსელისა და სისტემის დანარჩენი ნაწილის ურთიერთკავშირს;
3. 0,4კვ. ძაბვის, ხაზის ბოლოში მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება, აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად უფრო მეტ ეფექტს იძლევა მაღალი (35-110კვ) ქსელში, ვიდრე თვით 10/0,4 კვ ძაბვის ქსელში.
4. მიღებულია კვანძების რეაქტიული დატვირთვებით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ოპტიმალური მნიშვნელობის საანგარიშო გამოსახულებები, რაც საშუალებას გვაძლევს წინასწარ შევაფასოთ კომპენსაციის პრიორიტეტულობა კვანძების მიხედვით.
5. ნაჩვენებია მაღალი ძაბვის ქსელში დანაკარგების შემცირებით მიღებული ტექნიკური ეფექტი, განაწილებული თითოეულ დაბალი ძაბვის ქსელში დადგმული რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრთა შესაბამისად.

მეოთხე თავი. ქუთაისის გამანაწილებელი ქსელი მოიცავს 13 ქვესადგურს და მისგან გამომავალ ფიდერებს. ამ ფიდერთა ნომინალური ძაბვებია 6 და 10 კვ. სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგების შემცირება ენერგოსისტემის ეკონომიური მუშაობისათვის აუცილებელი პირობაა. ელექტრულ ქსელებში სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგები შეიძლება დავყოთ ნომინალური ძაბვის საფეხურების მიხედვით. სათანადო ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დანაკარგების მეტი წილი 65% მოდის 0,1-10 კვ ძაბვის ქსელებზე, 10% – 35 კვ ძაბვის ქსელებზე, ხოლო 25% – 110-220 კვ ძაბვის ქსელებზე.

ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, რომ ყველაზე უფრო ქმედითია ღონისძიება, რომელიც ამცირებს ენერჯის დანაკარგებს პირველ რიგში 0,1-10 კვ ქსელებში, ხოლო შემდეგ 35-110 კვ ქსელებში.

დანაკარგების შემცირების ღონისძიებების დასასახად, პირველ რიგში, საჭიროა შევისწავლოთ ის ქსელი, სადაც ეს ღონისძიებებია საჭირო. ჩვენ შემთხვევაში ქუთაისის გამანაწილებელი ქსელი. შესწავლაში იგულისხმება გავიანგარიშოთ რეჟიმის პარამეტრები, რაც გარკვეულ წარმოდგენას შეგვიქმნის ქსელის მდგომარეობაზე. აქ ყურადსაღებია ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტი. რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება შეიძლება ჩავატაროთ ქსელის სხვადასხვა რეჟიმით მუშაობის დროს (დამყარებული რეჟიმი მაქსიმალური დატვირთვისას, დამყარებული რეჟიმი მინიმალური დატვირთვისას). ასევე არსებობს ელექტრული ქსელის მუშაობის სხვა რეჟიმები, რომელსაც ჩვენ არ განვიხილავთ. ელექტრული ქსელის ამ რეჟიმებით მუშაობისას (დამყარებული რეჟიმი მაქსიმალური დატვირთვისას, დამყარებული რეჟიმი მინიმალური დატვირთვისას) ცხადია, რომ რეჟიმის პარამეტრები სხვადასხვა იქნება.

ქუთაისის გამანაწილებელი ქსელი ამჟამად ძირითადად მუშაობს მინიმალური დატვირთვის რეჟიმით, ამიტომ ქსელის მდგრადობის შეფასება და შემდეგ რაიმე დასკვნის გაკეთება ამის საფუძველზე არასწორი იქნება. ელექტრული ქსელის მედეგობა შეიძლება შევაფასოთ მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმის დროს, რაც რეალურად მოსალოდნელია დროის მხოლოდ მცირე მონაკვეთის განმავლობაში.

აქედან გამომდინარეობს, რომ ელექტრული ქსელის მდგომარეობის შესახებ სრულყოფილი ინფორმაციის მიღება შეიძლება მუშაობის ისეთ რეჟიმში, რომლის არსებობის ხანგრძლივობა აღემატება სხვა რეჟიმებით მუშაობის ხანგრძლივობებს.

ამრიგად, ქუთაისის გამანაწილებელი ქსელის 80%-ით დატვირთვის მუშაობის რეჟიმი ყველაზე მეტად შეეფერება ჩვენთვის სასურველს და გადავწყვიტეთ რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ასეთ შემთხვევაში.

ამრიგად, ზემოთ განხილული თეორიული მასალებისა და PSSE პროგრამის ერთობლიობით შევამცირეთ ქუთაისის გამანაწილებელ ქსელში სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგები სამი მეთოდით: 1) სადენტა განივკვეთის შეცვლა ფიდერის მაგისტრალის უბნებზე; 2) რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციით ქსელის აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესება; 3) ქსელის ნომინალური ძაბვის საფეხურის გაზრდა. თავდაპირველად ვამცირებთ ენერჯის დანაკარგებს 1 მეთოდით.

უშუალოდ გაანგარიშების დაწყებამდე PSSE პროგრამის გამოყენებით გავიგოთ რა ფარგლებშია ფიდერებზე რეჟიმის პარამეტრები მისი მაქსიმალური დატვირთულობის დროს. ამით შევაფასებთ ფიდერის ელექტრულ მდგრადობას მოსალოდნელი მაქსიმალური დატვირთვების მიმართ.

ქუთაისის გამანაწილებელ ქსელში, მაქსიმალური დატვირთვისას, გამოიკვეთა ფიდერთა ის ჯგუფი, რომელთა მაგისტრალის უბნებზე სადენები დაიტვირთა დასაშვები დენის 100%-ზე მეტად, რაც აისახა ქსელის კვანძებში ძაბვის დაუშვებელი სიდიდით გადახრით. ეს ფაქტი მიუთითებს ქსელის ამ ნაწილის F და S_{მაქს} პარამეტრების კრიტიკულ შეუსაბამობას. ე.ი ქსელის ამ ნაწილის გამტარუნარიანობა არ შეესაბამება მოსალოდნელ მაქსიმალურ დატვირთვას.

ასევე გამოვლინდა ფიდერთა ნაწილი, რომელთა მაგისტრალური უბნების სადენები, მაქსიმალური რეჟიმით მუშაობისას დაიტვირთა დასაშვები დენის 80-90%-ის ფარგლებში. ე.ი ქსელის ამ ნაწილის გამტარუნარიანობა შეესაბამება მოსალოდნელ მაქსიმალურ დატვირთვას.

მაქსიმალური დატვირთვისას, მოხმარების კვანძებში ძაბვის საჭირო მნიშვნელობის უზრუნველსაყოფად და ამავე დროს, ენერჯის დანაკარგების მინიმუმამდე შესამცირებლად ზოგიერთი ფიდერი მოითხოვს სადენების განივკვეთის გაზრდას ან მაკომპენსირებელი დანადგარის დადგმას.

ასევე მივიღეთ, რომ ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესასრულებლად ზოგიერთ ფიდერზე საჭიროა როგორც სადენტა განივკვეთის გაზრდა, ისე საკომპენსაციო დანადგარის დაყენება.

გარდა ამისა მომხმარებელთა ის ჯგუფი, რომელთაც ნომინალური ძაბვა 6 კვ იყო თითქმის ამოღებულია მუშაობიდან. ზემოთ გაანგარიშებული ერთ-ერთი ქვესადგურის ბაკისუბანის დაბალი ნომინალური ძაბვაა 10 კვ. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ქვესადგურის ფიდერზე „ხაოიანი“ შევამცირეთ ენერჯის დანაკარგები, ეს არ ნიშნავს, რომ ქუთაისის გამანაწილებელი ქსელის ძაბვად 10 კვ საკმარისი არაა იმ მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, რაც ელექტრულ ქსელს წაეყენება. ჩვენი მიზანი იყო გვეჩვენებინა, თუ რამდენად შემცირდებოდა დანაკარგები 10 კვ-იანი ფიდერის შემთხვევაში და ამით გაგვეგო ღონისძიების ეფექტურობა, რაც ვაჩვენეთ ზემოთ.

თუ დავუშვებთ, რომ $E_6 = 1$, მაშინ რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი არ უნდა დაიდგას ზოგიერთ ფიდერზე, არსებული

სადენების პირობებში. ეს ღონისძიება ჩაითვება ეფექტურად, თუ ამავე ფიდერებზე მაგისტრალური უბნების სადენები შეიცვლება $V \Rightarrow \min$ პირობით.

ფიდერთა გარკვეულ ჯგუფში კი $E_6 = 1$ დაშვებისას ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებით დამტკიცდა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ეფექტურობა არსებული სადენების პირობებში.

ზოგადი დასკვნები

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 ავღნიშნეთ, სისტემური ხასიათის ამოცანაა და ამდენად, იგი კონკრეტული კომპანიის არეალის ფარგლებს გარეთ გადის.

პროგრამა PSS/E -ს (Power System Simulator for Engineering)-ის საშუალებით ქუთაისის მკვებავი 110 კილოვოლტის ქსელის რეჟიმების გაანგარიშებამ, გამოკვლევამ აჩვენა რომ:

1. დატვირთვის მახასიათებლის არცერთი შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაშიც კი ძაბვის სიდიდე ქსელის კვანძებში არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს.
2. დატვირთვის მახასიათებლის არცერთი შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაშიც კი დანაკარგები ქსელში არ ცდება დასაშვებ ზღვრებს.
3. დატვირთვის მახასიათებლის არცერთი შესაძლო დასაშვები მნიშვნელობისას ძალოვანი ტრანსფორმატორების 80%-ით დატვირთვის შემთხვევაშიც კი ქსელში ხაზების გადატვირთვებს ადგილი არ აქვს.
4. ძალოვანი ტრანსფორმატორების 100%-ით დატვირთვის შემთხვევაში გადაიტვირთება გადამცემი ხაზი მუხიანი.
5. ჩატარებული კვლევებისა და მიღებული შედეგების ანალიზის მიხედვით შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:
6. აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირებისა და რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური კომპენსაციის თვალსაზრისით, მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენების ადგილად რეკომენდირებულია ქვესადგურის 6-10 კვ ძაბვის სალტე.
7. ქსელის იერარქიული სტრუქტურის ანალიზის საფუძველზე ნაშრომში ნაჩვენებია, განსახილველ მანაწილებელ ქსელში, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია იმ სახით, რომელიც გულისხმობს მოცემული ქსელისა და სისტემის დანარჩენი ნაწილის ურთიერთკავშირს;
8. 0,4კვ. ძაბვის, ხაზის ბოლოში მაკომპენსირებელი დანადგარის დაყენება, აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად უფრო მეტ ეფექტს იძლევა მაღალი (35-110კვ) ქსელში, ვიდრე თვით 10/0,4 კვ ძაბვის ქსელში.
9. მიღებულია კვანძების რეაქტიული დატვირთვებით გამოწვეული აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ოპტიმალური მნიშვნელობის საანგარიშო

- გამოსახულებები, რაც საშუალებას გვაძლევს წინასწარ შევაფასოთ კომპენსაციის პრიორიტეტულობა კვანძების მიხედვით.
10. ნაჩვენებია მაღალი ძაბვის ქსელში დანაკარგების შემცირებით მიღებული ტექნიკური ეფექტი, განაწილებული თითოეულ დაბალი ძაბვის ქსელში დადგმული რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრთა შესაბამისად.
 11. ქუთაისის გამანაწილებელ ქსელში, მაქსიმალური დატვირთვისას, გამოიკვეთა ფიდერთა ის ჯგუფი, რომელთა მაგისტრალის უბნებზე სადენები დაიტვირთა დასაშვები დენის 100%-ზე მეტად, რაც აისახა ქსელის კვანძებში ძაბვის დაუშვებელი სიდიდით გადახრით. ეს ფაქტი მიუთითებს ქსელის ამ ნაწილის F და $S_{აქს}$ პარამეტრების კრიტიკულ შეუსაბამობას. ე.ი ქსელის ამ ნაწილის გამტარუნარიანობა არ შეესაბამება მოსალოდნელ მაქსიმალურ დატვირთვას.
 12. ასევე გამოვლინდა ფიდერთა ნაწილი, რომელთა მაგისტრალური უბნების სადენები, მაქსიმალური რეჟიმით მუშაობისას დაიტვირთა დასაშვები დენის 80-90%-ის ფარგლებში. ე.ი ქსელის ამ ნაწილის გამტარუნარიანობა შეესაბამება მოსალოდნელ მაქსიმალურ დატვირთვას.
 13. მაქსიმალური დატვირთვისას, მოხმარების კვანძებში ძაბვის საჭირო მნიშვნელობის უზრუნველსაყოფად და ამავე დროს, ენერჯის დანაკარგების მინიმუმამდე შესამცირებლად ზოგიერთი ფიდერი მოითხოვს სადენების განიკვეთის გაზრდას ან მაკომპენსირებელი დანადგარის დადგმას.
 14. ასევე მივიღეთ, რომ ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესასრულებლად ზოგიერთ ფიდერზე საჭიროა როგორც სადენთა განიკვეთის გაზრდა, ისე საკომპენსაციო დანადგარის დაყენება.
 15. თუ დავუშვებთ, რომ $E_{\Sigma} = 1$, მაშინ რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი არ უნდა დაიდგას ზოგიერთ ფიდერზე, არსებული სადენების პირობებში. ეს ღონისძიება ჩაითვება ეფექტურად, თუ ამავე ფიდერებზე მაგისტრალური უბნების სადენები შეიცვლება $V \Rightarrow \min$ პირობით.
 16. ფიდერთა გარკვეულ ჯგუფში კი $E_{\Sigma} = 1$ დაშვებისას ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებით დამტკიცდა რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის ეფექტურობა არსებული სადენების პირობებში.
 17. სადენების შეცვლა არაეფექტურია და მაგისტრალის უბნებზე სადენები უნდა შეიცვალოს $\Delta P \Rightarrow \min$ მოთხოვნით.
 18. დადგენილი იქნა ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რაც საშუალებას გვაძლევს წინასწარ შევაფასოთ კომპენსაციის პრიორიტეტულობა კვანძების მიხედვით.
 19. 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.
 20. ნაჩვენებია მაღალი ძაბვის ქსელში დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი განაწილებული თითოეულ დაბალი ძაბვის ქსელში დადგმული მაკომპენსირებელი დანადგარების სიმძლავრეთა პროპორციულად.

სამუშაო აპრობაცია სადისერტაციო თემის მთელი რიგი საკითხები მოხსენებული იყო აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ ქუთაისი 2018 წ. ფ. ახალაძე, პ. კაჭკაჭიშვილი, სტატისტიკური მართვადი მაკომპენსირებელი დანადგარის საშუალებით ელექტრული სიმძლავრისა და ენერჯის დანაკარგების შემცირების ღონისძიება.

სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები:

1. Demuri Chomakhidze1*, Omari Zivzivadze2, Petre Kachkachishvili2, Akaki Kiladze2 .The Role and Importance of the Energy Saving in Georgia. Theoretical Economics Letters, 2018, 8, 1740-1745
2. პეტრე კაჭკაჭიშვილი, ელექტრული სიმძლავრის დანაკარგის ოპტიმალური ფარდობითი ნაზრდი Georgian Scientists/ქართველი მეცნიერები 4(02), 2022, გვ 141-144
3. ფრიდონ ახალაძე, პეტრე კაჭკაჭიშვილი, ტექნიკურ ეკონომიკური მაჩვენებლების პროგნოზი, Georgian Scientists/ქართველი მეცნიერები 4(02), 2022 გვ 150-154