საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ფრიდონი ახალაძე

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაცია

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია შიფრი 0405

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი გურამ მახარაძე

რეცენზენტები: ----------

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

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი ----------

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური 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 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.

სამუშაოს მიზანია წარმოადგინოს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალურ კომპენსაციას იმ დოზით, რომ მინიმალური კაპიტალური ხარჯების პირობებში მაქსიმალურად შემცირდეს აქტიური სიმძლავრის (ენერგიის) დანაკარგები 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 ავღნიშნეთ, სისტემური ხასიათის ამოცანაა და ამდენად, იგი კონკრეტული კომპანიის არეალის ფარგლებს გარეთ გადის. ასეთ შემთხვევაში, დაინტერესებულ კომპანიათა ურთიერთ შეთნხმების საფუძველზე შესაძლებელია ამოხსნილი იქნეს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანათა სისტემური მიდგომის მეთოდის მოდიფიცირებით, რომელიც გაითვალისწინებს თანადაფინანსების პრინციპს.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. 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.

მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების განსხვავებული ინტერესებიდან გამომდინარე, რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური 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 რეალიზაცის მიზანშეწონილობა.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. კომპენსაციის ამოცანის ორ ეტაპად განხილვის საფუძველზე შეგვიძლია ჩავწეროთ საანგარიშო გამოსახულებები, რომლის მიხედვითაც განხორციელდება ინვესტიციის დაფარვა (მაკომპენსირებელი დანადგარის გამოსყიდვა) თანადაფინანსების პრინციპით

$$I_{მ.ძ.} = I \cdot \frac{N_{მ.ძ}}{N_{მ.ძ.}+(N_{დ.ძ}-N_{ეკს.}-N_{ვ})} \quad \text{და} \quad I_{დ.ძ.} = I \cdot \frac{N_{მ.ძ}-N_{ეკს.}-N_{ვ}}{N_{დ.ძ}+(N_{დ.ძ.}-N_{ეკს.}-N_{ვ})},$$

სადაც: $I_{მ.ძ.}$ - მაღალი ძაბვის ქსელის (მ.ძ.ქ.) წილი ინვესტიციის დაფარვაში, ლარი/წელი;

$I_{დ.ძ.}$ - დაბალი ძაბვის ქსელის (დ.ძ.ქ.) წილი ინვესტიციის დაფარვაში, ლარი/წელი;

$I = (\frac{1}{T_{ვსმ}} + \alpha_{ინ}) \cdot K_{0,ვ} \cdot Q_{ვ}$ ინვესტიციის დაფარვის წლიური მოცულობა, ლარი/წელი;

$N_{მ.ძ} = (\Delta P_{მ.ძ} - \Delta P_{მ.ძ}) \cdot \tau \cdot C_{მ.ძ}$ - მაღალი ძაბვის ქსელში ელექტროენერგიის. დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომია, (ლარი/წელი)

($\Delta P_{მ.ძ} - \Delta P_{მ.ძ}$)სიმძლავრის დანაკარგები მაღალი ძაბვის ქსელში კომპენსაციამდე და კომპენსაციის შემდეგ);

$N_{დ.ძ} = (\Delta P_{დ.ძ} - \Delta P_{დ.ძ}) \cdot \tau \cdot C_{მ.ძ}$ - დაბალი ძაბვის ქსელში ელექტროენერგიის დანაკარგების შემცირებით მიღებული ეკონომია,

ლარი/წელი ($\Delta P_{ad} - \Delta P_{ad}$ სიმძლავრის დანაკარგები დაბალი ძაბვის ქსელში კომპენსაციამდე და კომპენსაციის შემდეგ);

$N_{ექს.} = \alpha_з \cdot K_0 \cdot Q_з$ - მაკომპენსირებელი დანადგარის წლიური საექსპლუატაციო ხარჯები, ლარი/წელი;

$N_з = \Delta P_з\% \cdot 10^{-2} \cdot Q_з T_0 \cdot C_{ფ.d}$ - მაკომპენსირებელ დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები, ლარი/წელი.

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

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 35, 10, 6 კვ-ის ძაბვის საფეხურის ქსელები.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, ხუთი თავისაგან, დასკვნისა და ლიტერატურის სიისაგან. დისერტაცია წარმოდგენილია 108 გვერდზე.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით და ზოგადი დასკვნები

შესავალში ყურადღება გამახვილებულია თუ რას წარმოადგენს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალურ კომპენსაცია იმ დოზით, რომ მინიმალური კაპიტალური ხარჯების პირობებში მაქსიმალურად შემცირდეს აქტიური სიმძლავრის (ენერგიის) დანაკარგები ქსელში. ასევე საუბარია საბაზრო ეკონომიკის განვითარების თანამედროვე პირობებში

ელექტრული სისტემის ცალკეულ რეგიონულ 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 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 2ω 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 ველის 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 ველის 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 $Q_C = \frac{d}{dt} W_{\text{ელ.}}$.

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 გაცემა-მიღების პროცესში. სწორედ, აღნიშნული პირობის შესრულების შესაბამისი ღონისძიების განხორციელება წარმოადგენს რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალურ კომპენსაციას იმ დოზით, რომ მინიმალური კაპიტალური ხარჯების პირობებში მაქსიმალურად შემცირდეს აქტიური სიმძლავრის (ენერგიის) დანაკარგები ქსელში. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია ეს არის მაკომპენსირებელი დანადგარის მიერ რეაქტიული სიმძლავრის მიზნობრივი გენერაცია ან მოხმარება.

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

კომპენსატორები რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის თვალსაზრისით ქსელში ძაბვის ცვლილებისას დადებითი მარეგულირებადი ეფექტით ხასიათდებიან, მაშინ როცა არარეგულირებად კონდენსატორთა ბატარეიებს 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 ბატარეია 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 ოპტიმალური კომპენსაციის ამოხსნის თანამედროვე მდგომარეობა. აქ განხილულია პრობლემის არსი სისტემური მიდგომის თვალსაზრისით. ამ პრობლემას მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები მიეძღვნა როგორც ყოფილი საბჭოთა კავშირში, ასევე მის ფარგლებს გარეთ. ეს გამოწვეულია იმით, რომ პრობლემის რაციონალური გადაწყვეტის პირობებში ადვილად მიიღწევა დიდი ტექნიკურ-ეკონომოკური 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 ეკვივალენტირების მეთოდები და მეორეს კი ე.წ. პარციალური გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც განსხვავებული მიდგომაა.

Ю.С. Железко თავის ნაშრომში Компенсация реактивной мошности и повышение качества электроэнергии, М.: Энергоатомиздат, 1985, რეკომენდაციას იძლევა ენერგოსისტემის სისტემაწარმომქნელი ქსელის ზემაღალი 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 *ᲥᲔ*, რომლის შემდეგ ისმება დამოუკიდებელი ამოცანა მოცემული მანაწილებელი ქსელის კვანძებს შორის *ᲥᲔ* 'სიმძლავრის ოპტიმალური განაწილების შესახებ.

რიგი ავტორებისა თავიანთ შრომებში რეკომენდაციას იძლევიან მანაწილებელი ქსელი შეიცვალოს ეკვივალენტური აქტიური წინაღობით, რომელიც გამოითვლება სიმძლავრის ცნობილი დანაკარგების მიხედვით. სხვა მკვლევართა აზრით 6-35კვ ძაბვის ქსელებში შესაძლებელია უფრო მარტივი ეკვივალენტირება. კერძოდ, აღნიშნული ძაბვის ქსელის ეკვივალენტური წინაღობა შეიძლება მივიღოთ სქემის ხის შტოების წინაღობათა მიმდევრობითი 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.

რიგი ავტორები (Арзамасцев Д.А., Скляров 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., Такахара И., Холмский В.Г., Щербина Ю.В. და სხვ.). აქ

ამოცანის ამოხსნისას განიხილება ენერგოსისტემის ქსელის პირობითი სქემა, რომელიც შეიცავს ქსელის ელემენტების მხოლოდ აქტიურ წინაღობებს 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.

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.

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

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

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:

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

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 ნახაზ 1-ზე ნაჩვენები სახე, რომელიც გვიჩვენებს i-ურ კვანძში რეაქტიული დატვირთვის კონპენსაციის დროს ქსელში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების შემცირების ხასიათს.

ამ დროს უცვლელი რჩება დანაკარგების ფარდობითი ნაზრდის σ_i^{ii} 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 წინაღობის 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 შეძენის, 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

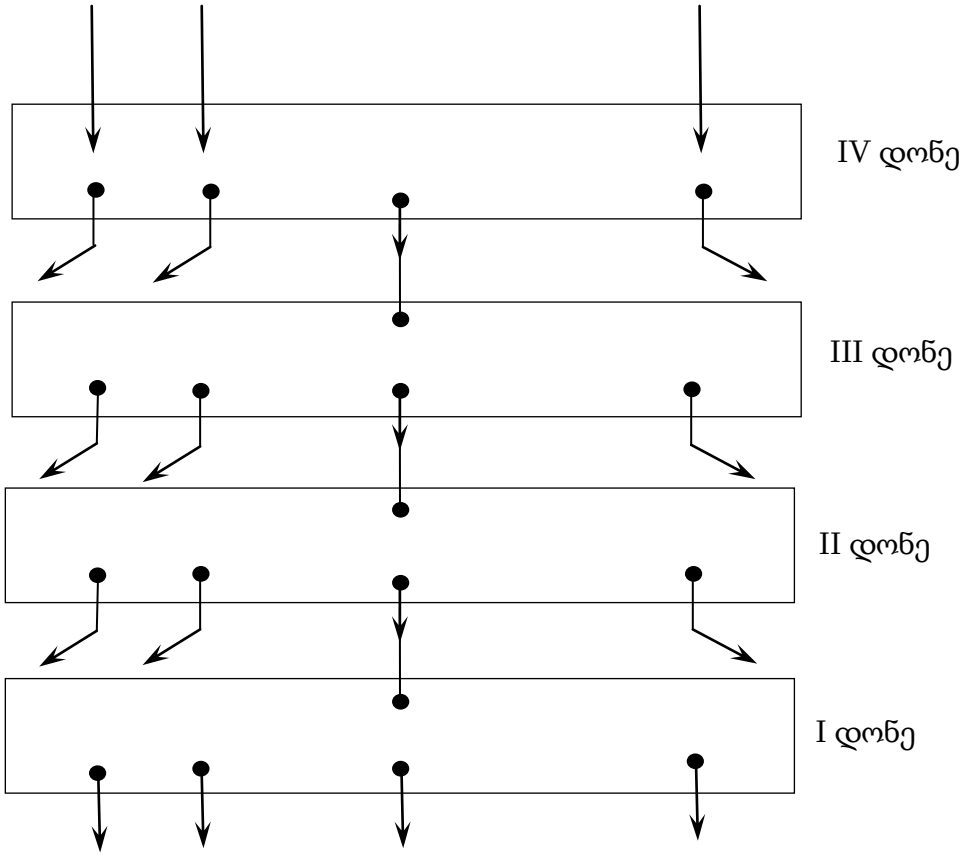
ნაზრდის ცალსახად განსაზღვრული ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის შემდეგ დატვირთვის შემდგომი კომპენსაცია არაეკონომიკურია.

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.

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 მაბალანსირებელი 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.

იერარქიის დონე	კვანძები, სადაც გათვალისწინებულია მაკომპენსირებელი დანადგარების დაყენება	კვების წყაროების რეაქტიული გენერაცია	ამოცანის ინდექსი
I	A_I, B_I……..M_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

მეოთხე თავი. რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური 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.

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

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

სადაც:

Q_J–*J*-ური კვანძის რეაქტიული დატვირთვა (აიღება “-” ნიშნით);

n–სამომხმარებლო კვანძების საერთო რიცხვი ქსელში;

$U_ك$–ბაზისური ძაბვა, კვ;

R_{ij}–კვანძებისსაკუთარი (როცა $i=J$) დაურთიერთწინაღობა (როცა $i \neq J$), დაყვანილი ბაზისურ ძაბვაზე;

α–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.

რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის სისტემური მიდგომის მეთოდი შესაძლებელ;ია 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.

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 მაბალანსირებელ 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 სატანსფორმატორო ჯიხურების სალტეებს;

4. როგორც ვიცით მაბალანსირებელი 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 მაბალანსირებელ 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 მაბალანსირებელი კვანძის მიმართ.

ამრიგად, ყველა ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, მანაწილებელ ქსელში რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციის ამოცანის დასმისას დასაშვებია განვიხილოთ ვერტიკალური იერარქიის III და II დონე და, მასთან, საინჟინრო გაანგარიშებისთვის საკმარისი სიზუსტით შენარჩუნებული იქნება ამოცანის ამოხსნისთვის სისტემური მიდგომის პრინციპი.

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.

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.

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.

ნაჩვენებია, რომ მკვებავი ქსელი (მაღალი ძაბვის ქსელი) მოცემულ კონკრეტულ სადაბლებელ ქვესადგურში, ამ ქვესადგურთან მიერთბულ 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 მიიჩნევს რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციას, ხოლო თვითონ მანაწილებელი ქსელი კი მისი ინტერესებიდან გამომდინარე, არ მიიჩნევს მიზანშეწონილად ასეთ გადაწყვეტილებას. ასათი სახის წინაამდეგობრივი 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.

კომპენსაციის ამოცანის ორ ეტაპად განხილვის საფუძველზე შეგვიძლია ჩავწეროთ საანგარიშო გამოსახულებები, რომლის მიხედვითაც განხორციელდება ინვესტიციის დაფარვა (მაკომპენსირებელი დანადგარის გამოსყიდვა) თანადაფინანსების პრინციპით

$$I_{მ.ძ.} = I \cdot \frac{N_{მ.ძ}}{N_{მ.ძ.}+(N_{დ.ძ}-N_{ექს.}-N_{ვ})} \quad \text{და} \quad I_{დ.ძ.} = I \cdot \frac{N_{მ.ძ}-N_{ექს.}-N_{ვ}}{N_{დ.ძ}+(N_{დ.ძ.}-N_{ექს.}-N_{ვ})},$$

სადაც: $I_{მ.ძ.}$ - მაღალი ძაბვის ქსელის (მ.ძ.ქ.) წილი ინვესტიციის დაფარვაში, ლარი/წელი;

$I_{დ.ძ.}$ - დაბალი ძაბვის ქსელის (დ.ძ.ქ.) წილი ინვესტიციის დაფარვაში, ლარი/წელი;

$I = (\frac{1}{T_{ამ}} + \alpha_{ინ}) \cdot K_{0,ვ} \cdot Q_{ვ}$ ინვესტიციის დაფარვის წლიური მოცულობა, ლარი/წელი;

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

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

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

$N_{ვ} = \Delta P_{ვ}\% \cdot 10^{-2} \cdot Q_{ვ} T_0 \cdot C_{დ.ძ}$ - მაკომპენსირებელ დანადგარში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებით გამოწვეული ხარჯები, ლარი/წელი.

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

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. ასეთ შემთხვევაში, დაინტერესებულ კომპანიათა ურთიერთ შეთნხმების 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 სალტეები;

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 „მძქ კომპანიასა“ და „დძქ 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 „დძქ კომპანიებს“ აძლევს ეკონომიკურ სტიმულს თავიანთ ქსელში უფრო მაღალი აქტიურობით განხილონ რეაქტიული დატვირთვის მაკომპენსირებელი დანადგარის სიმძლავრისა და განთავსების ადგილის შერჩევის ამოცანა.

სამუშაო აპრობაცია სადისერტაციო თემის მთელი რიგი საკითხები მოხსენებული იყო აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე ,,ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 25-26 მაისი ქუთაისი 2013წ. მახარაძე გ. ახალაძე ფ. რეაქტიული სიმძლავრის ოპტიმალური კომპენსაციის სისტემური მიდგომის მეთოდის პრობლემები და ახალი მეთოდის არსი.

სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები:

1. მახარაძე გ. ახალაძე ფ. მკვებავი და მანაწილებელი ქსელების ინტერესთა ურთიერთგათვალისწინება რეაქტიული დატვირთვის ოპტიმალური კომპენსაციისას. ენერგია 3(71) 2014

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

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

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 lowing 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 lowing 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, capacious 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.