

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

არკადი რიკრიკაძე

ორფაზა/ოთხფაზა დენის გენერაცია – გადაცემა – მოხმარების
რეჟიმების გამოკვლევა და ანალიზი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია.

შიფრი 0405

თბილისი

2017 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი გურამ მახარაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2017 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
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა.

ენერგეტიკისა და ელექტრომანქანათმშენებლობის განვითარების საწყის ეტაპზე პრაქტიკაში დანერგილი იყო ჯერ ერთფაზა, ხოლო შემდგომ ორფაზა და სამფაზა ელექტროდენის სისტემა. დღეისთვის მსოფლიოში სამფაზა სისტემაა გავრცელებული და, შესაბამისად, მრეწველობის მრავალ სფეროში დანერგილია სამფაზა ელექტროძრავები ელექტროგენერატორები, ტრანსფორმატორები, და ა.შ.

ერთფაზა ელექტროდენის სისტემამ ვერ შეძლო მრეწველობის მზარდი მოთხოვნების დაკმაყოფილება, რადგანაც იგი ქმნის პულსირებულ და არა მბრუნავ მაგნიტურ ველს. ეს უკანასკნელი კი აუცილებელი პირობაა ელექტროძრავების ფუნქციონირებისათვის. შესაბამისად, ელექტროტექნიკოსების წინაშე დაისვა პრობლემური საკითხი შემუშავებულიყო მბრუნავი მაგნიტური ველის მიღების ხერხი.

ელექტრომანქანების თეორიიდან ცნობილია, რომ მბრუნავი მაგნიტური მომენტის შესაქმნელად ელექტროძრავა უნდა შეიცავდეს მინიმუმ ორ გრაგნილს, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ წანაცვლებული იქნებიან სივრცეში ელექტრულად 90° -ით და იკვებებოდეს ორფაზა ქსელიდან, ანუ ისეთი ელექტროქსელიდან, რომელშიც ერთი ფაზის დენი მეორისაგან წანაცვლებული იქნება აგრეთვე დროში 90° გრადუსით.

საყოფაცხოვრებო დანიშნულების პრაქტიკამ მოიტანა აუცილებლობა, რომ ადამიანის ცივილიზებულად არსებობისათვის მან გამოიყენოს მრავალი ელექტრომექანიკური იარაღი და მოწყობილობა. მაგალითად: სარეცხი მანქანა, კონდიციონერი, მაცივარი, ჭურჭლის სარეცხი მანქანა და სხვა მრავალი. მაგრამ საცხოვრებელ სახლებში ერთფაზა ელექტროქსელია შეყვანილი. იმ მიზნის განხორციელებისათვის, თუ ელექტროძრავამ როგორ იფუნქციონიროს ერთფაზა ელექტროქსელიდან, თავის დროზე ეს პრობლემა შემდეგნაირად გადაიჭრა. ელექტროძრავას სტატორში ჩაახვიეს ორი გრაგნილი, რომლებიც ერთმანეთისაგან სივრცეში განათავსეს 90° -ით)

წანაცვლებული, ხოლო დროში მათი წანაცვლება კონდენსატორის მეშვეობით მოახდინეს ისევ 90⁰-ით. ასეთი შესრულებით ელექტროძრავას მექანიკური დატვირთვის ცვლილების დროს ფაზებში გადის სხვადასხვა სიდიდის ელექტროდენი, შედეგად ელექტროძრავაში მბრუნავი წრიული მაგნიტური ველის ნაცვლად ვღებულობთ ელიფსურ მბრუნავ მაგნიტურ ველს, ანუ ელექტროძრავა მუშაობს არასიმეტრიულ რეჟიმში. ამ დროს იზრდება ელექტრული და მაგნიტური კარგვები, მცირდება ძრავას მ.ქ.კ. ხოლო კონდენსატორის არსებობის აუცილებლობა იწვევს ელექტროძრავას მოცულობის, მასისა და თვითღირებულების გაზრდას, ელექტროძრავას დამზადებისა და მომსახურების ტექნოლოგიური პროცესის გართულებასა და, შესაბამისად, მუშაობის საიმედობის შემცირებას.

ორფაზა ქსელის არსებობის პირობებში კი ორფაზა ძრავას ფუნქციონირებისათვის კონდენსატორები ზედმეტი ელემენტია. და ამ შემთხვევაში ორფაზა ძრავას სიმძლავრე 15%-ით კი არ დაიკლებს (როგორც ეს მისი ერთფაზა ქსელიდან კონდენსატორის მეშვეობით მუშაობის დროს ხდება), არამედ სამფაზა ძრავას სიმძლავრის სიდიდეს გაუტოლდება, ვინაიდან მის მიერ შექმნილი მბრუნავი მაგნიტური ველი ელიფსურის ნაცვლად, აუცილებლად წრიული იქნება თუ მის ელექტროკვებას სიმეტრიული სიდიდის ორფაზა ძაბვით მოვახდენთ. ზემოაღნიშნული თეორიულად დასაბუთებულია ჩვენს მიერ სამეცნიერო სტატიაში “ორფაზა და სამფაზა ელექტრომანქანების სიმძლავრეთა შესახებ“, რომელიც გამოქვეყნდა ჟურნალ „მეცნიერება და ტექნოლოგია“-ში №1(721), 2016.

აღნიშნული პრობლემები და ხარვეზები მოხსნილი იქნება თუ ერთფაზა ელექტროქსელიდან მომუშავე ორგრაგნილიანი ელექტროძრავების კვებას განვახორციელებთ არა ერთფაზა ელექტროქსელიდან გამშვი და მუშა კონდენსატორების გამოყენებით, არამედ 90⁰-იანი კუთხით დაძრული ორფაზა ელექტროქსელიდან.

დღეს მსოფლიოში სამფაზა ელექტროდენის მიღება სამგრაგნილიანი

სამფაზა სინქრონული ელექტროგენერატორების მეშვეობით ხორციელდება. თეორიულად დავასაბუთოთ, რომ სიმეტრიული სამფაზა ელექტროდენის მიღება ორი (90°-იანი ძვრის კუთხის მქონე) ფაზური გრაგნილითაც შესაძლებელია. შევქმენით ინოვაციური პრინციპიალური ელექტრული სქემა. ამის თაობაზე განაცხადი შევიტანეთ საქპატენტში, და ჩვენზე გაიცა პატენტი სასარგებლო მოდელზე № U 1926 დასახელებით „ორგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანა“. ვინაიდან ელექტრული მანქანა ფუნქციონირებს ძრავულ რეჟიმში. ამიტომ აღნიშნული ელექტრომანქანის დანერგვა უკვე სადღეისოდ შესაძლებელია არა მარტო გენერაციაში, არამედ მრეწველობის მრავალ სფეროში, როგორც ელექტროძრავა. იგი არსებულ სამფაზა ელექტრომანქანებთან შედარებით გამოირჩევა მეტი საიმედოობით და ნაკლები თვითღირებულებით.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში, მიუხედავად თანდათანობით წინ გადადგმული ნაბიჯებისა, ჩვენს მიერ ორფაზა/ოთხფაზა გენერაცია-გადაცემა-მოხმარების საკითხების წინ წამოწევა განპირობებულია მასში არსებული პრობლემებით, რომლებიც მოითხოვენ დროულ გადაწყვეტას, კერძოდ:

1. ელექტროგადაცემის ხაზის გამტარუნარიანობის ამაღლება;
2. ელექტროენერჯის მიწოდების საიმედოობის გაზრდა, ელექტროგადაცემის ხაზების ავარიული ამორთვების შემცირების მიმართულებით;
3. მოხმარებლის მხრიდან ელექტროგადაცემის სისტემისადმი წაყენებული მოთხოვნების უზრუნველყოფა მინიმალური დანახარჯების პირობებში სისტემის ძირითადი ელემენტების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის გამარტივება და საიზოლაციო მასალების ხარჯების შემცირება;
4. გარემოსადმი ნაკლები ეკოლოგიური ზიანის მიყენება.
5. გამარტივებული მომსახურების ენერგეტიკული კვანძების შექმნა.

აღნიშნული საკითხების გამოკვლევა აქტუალურია, ვინაიდან ხაზის გამტარუნარიანობის ამაღლება არსებული ტექნოლოგიებით (სამფაზა სისტემით) ხორციელდება მრავალჯაჭვიან ზემდალ და ულტრამაღალ ძაბვე-

ბზე გადასვლით, ეს კი აძვირებს როგორც მისი მშენებლობის და გადაცემის ხარჯებს (ზრდის როგორც ფერადი ისე შავი ლითონის და საიზოლაციო მასალის ხარჯს), ამცირებს საიმედოობას და აუარესებს ეკოლოგიას. აქედან გამომდინარე დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება აღნიშნული საკითხების ინოვაციური გზით გადაწყვეტას.

XIX ს-ის ბოლოს ნ. ტესლას მიერ ოთხსადენიანი ორფაზა არაშეკრული სისტემის დანერგვამ საფუძველი ჩაუყარა ცვლადი დენის ენერგეტიკას, რომელშიც ორი სადენი ფაზური სადენის ფუნქციას ასრულებდა, ხოლო დანარჩენი ორი, უკუსადენის ფუნქციას. თუ ამ ორ სადენს ერთ სადენში გავერთიანებთ, გვექნება სამსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემა, რომლის უკუ (მესამე) სადენში გამავალი დენი $\sqrt{2}$ -ჯერ მეტია ფაზურ სადენთან შედარებით. უკუ სადენი პრაქტიკულად თითქმის ნულოვანი პოტენციალის მქონე სადენია და, ამიტომ მის გარშემო სივრცეში გვირგვინის წარმოქმნის ალბათობა გამორიცხულია და ამასთან, იგი ხაზებზე შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც მეხდამცავი გვარლი.

თეორიულად განვიხილეთ სამსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის გამოყენების შესაძლებლობა მაღალი და ზემოდალი ნომინალური ძაბვის 220–500კვ ხაზებისათვის. დღეს 500კვ და მეტი ძაბვის სამფაზა ელექტროგადაცემის ხაზებზე გამოიყენება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განთავსებული სამად გახლეჩილი ფაზური სადენები (ცხრა ცალი ფოლად-ალუმინის სადენი) და ორი მეხდამცავი გვარლი, აქედან გამომდინარე, სამსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის შემთხვევაში ექვსი შექმნის სამადგახლეჩილ ორფაზას, ხოლო დანარჩენი სამი შეასრულებს უკუ სადენისა და მეხდამცავი გვარლის ფუნქციას. ამრიგად, ელექტროგადაცემის ხაზზე გვექნება ორი მეხდამცავი გვარლის ეკონომია.

მეხდამცავი გვარლის რაოდენობის შემცირება გამოიწვევს შავი ლითონის ხარჯის შემცირებას; ეს კი მნიშვნელოვნად გაამარტივებს საყრდენების კონსტრუქციას; თითქმის 33%-ით შეამცირებს სახაზო იზოლატორებისა და სახაზო არმატურის ხარჯს; თითქმის ორჯერ შეამცირებს ხაზის ტრასის გა-

ნივ ზომას, რაც განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია ერთი მხრივ, მაღალი ღირებულების უნიკალური ტყის მასივებში და მეორე მხრივ, მაღალმთიან ვიწრო ხეობებში გამავალი ხაზების შემთხვევაში.

მთაგორიან რეგიონებში გამავალ ხაზებზე დიდი ხვედრითი წილი აქვს კუთხურ საყრდენებს, რომლებიც სამი დამოუკიდებელი საყრდენისაგან (თითოეული ფაზისთვის) შედგება. ორფაზა გადაცემის დროს კი საკმარისი იქნება ერთი საყრდენი (ორი ფაზისთვის). ხაზზე საყრდენების რაოდენობის შემცირება და კონსტრუქციის გამარტივება შავი ლითონის მნიშვნელოვან ეკონომიას მოგვცემს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფაზური სადენების რაოდენობიდან გამომდინარე, ორფაზა ელექტროგადაცემის ხაზის ავარიული ამორთვის ალბათობა სამფაზა ელექტროგადაცემის ხაზის ავარიული ამორთვის ალბათობის 2/3 -ს ანუ 66,7% შეადგენს. ე.ი. ორფაზა ელექტროგადაცემის ხაზის უავარიო მუშაობის ხანგრძლივობა 33.3%-ით გაიზრდება.

სამსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის სისტემის შექმნა სტიმულს მისცემს ელექტრომანქანათმშენებლობაში სამფაზა ელექტრომანქანების ნაცვლად შეიქმნას ორფაზა ელექტრომანქანები, რაც გაამარტივებს მათი დამზადების ტექნოლოგიას და, შესაბამისად, შემცირდება საჭირო მასალების ხარჯი. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე წინასწარი შეფასებით ორფაზა ელექტროგადაცემა უფრო ხელსაყრელია, რადგანაც მას გააჩნია მთელი რიგი ზემოთ ჩამოთვლილი დადებითი მომენტები პლიუს ხაზების მშენებლობისას მიყენებული გარემოსადმი ნაკლები ეკოლოგიური ზიანი.

ორგრაგნილიანი ორფაზა და ორგრაგნილიანი სამფაზა გენერატორებისა და ძრავების წარმოება მომგებიანია ვინაიდან მათი დამზადება იგივე ტექნოლოგიითაა შესაძლებელი რაც სამფაზა ელექტრომანქანების, ამასთან სტატორში სამი გრაგნილის ნაცვლად მხოლოდ ორი გრაგნილის ჩახვევა დაგჭირდება, შესაბამისად ნაკლები საიზოლაციო მასალის გამოყენება და ნაკლები გამომყვანი წვეროების შედუღება იქნება საჭირო, რაც დამზადების ტექნოლოგიურ პროცედურას შედარებით გაამარტივებს. ამავე მიზეზით

მისი საიმედოობა შედარებით მაღალი იქნება. ორგრაგნილიანი ელექტრომა-
ნქანების გამოყენების შემთხვევაში ხაზური ძაბვა შესაბამისად $\sqrt{3}$ -ჯერ და
 $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ -ჯერ ნაკლები იქნება, ანუ ელექტროუსაფრთხოების მხრივ სამგრაგნი-
ლიან სამფაზა ელექტრომანქანებთან შედარებით ნაკლებ ელექტროსა-
ფრთხეს შეიცავენ.

დღევანდელი გადმოსახედიდან გამომდინარე XX ს-ის დასაწყისში ორ-
ფაზა არაშეკრული სისტემის უარყოფით შეცდომა იყო დაშვებული, ვინა-
იდან ელექტროენერჯის გადაცემა ორფაზა დენითაც შესაძლებელია, მას
სამფაზა გადამცემ სისტემასთან შედარებით არა მარტო ეკონომიური, არა-
მედ ეკოლოგიური და საიმედოობის მხრივაც გააჩნია უპირატესობა.

ორფაზა ენერგეტიკულ სისტემებში ორფაზა მომხმარებლის ჩართვის შე-
მთხვევაში ასიმეტრიული დატვირთვების სიდიდის მნიშვნელობა საგრძნო-
ბლად შემცირდება დღევანდელ სამფაზა სისტემასთან შედარებით.

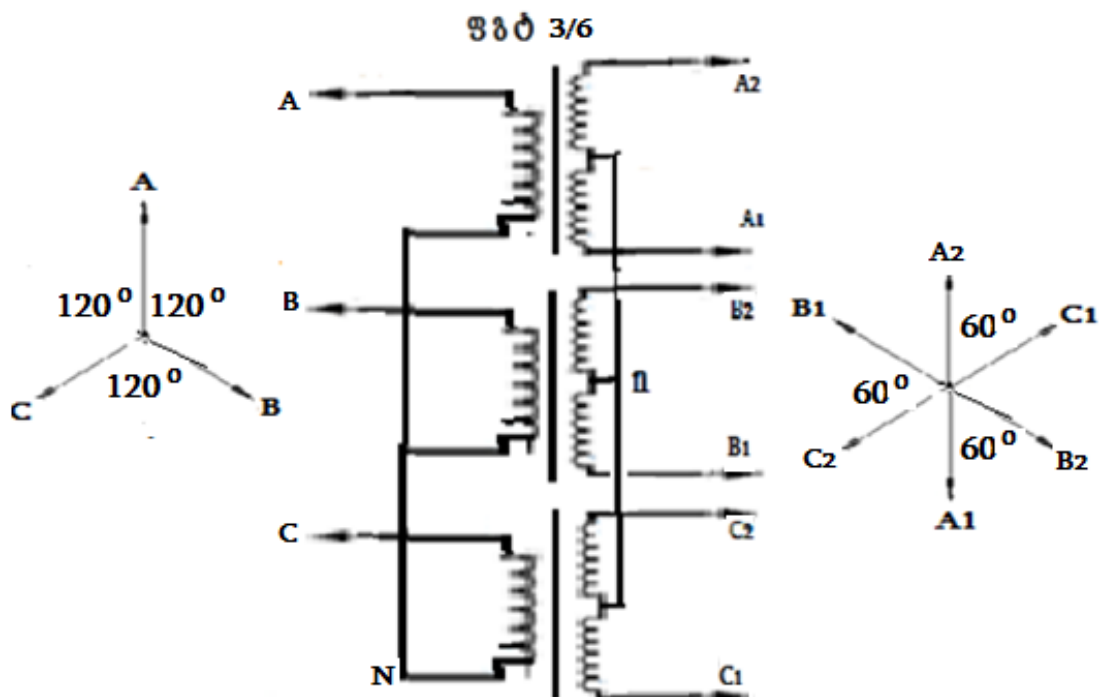
ენერგეტიკაში ზემოთაღნიშნული პრობლემური საკითხის, საჭაერო ხაზე-
ბის გამტარუნარიანობის ამაღლების გაუმჯობესების მიმართულებით რამო-
დენიმე ათეული წელია კვლევას აწარმოებენ მრავალი ქვეყნის ენერგეტი-
კოსები. მათ შორის გამოირჩევა ა.შ.შ-სა და რუსეთის მეცნიერები. ამ მიმა-
რთულებით ბოლო ხანებში გამოიკვეთა ორი მიმართულება:

1. ა.შ.შ-ში ექვსფაზა ელექტროგადაცემაზე მუშაობენ ([https://www. slideshare. net/ naibedya1/six-phase-transmission](https://www.slideshare.net/naibedya1/six-phase-transmission)). Seminar Report of Six Phase Transmission System. Published on Jan 31, 2015.

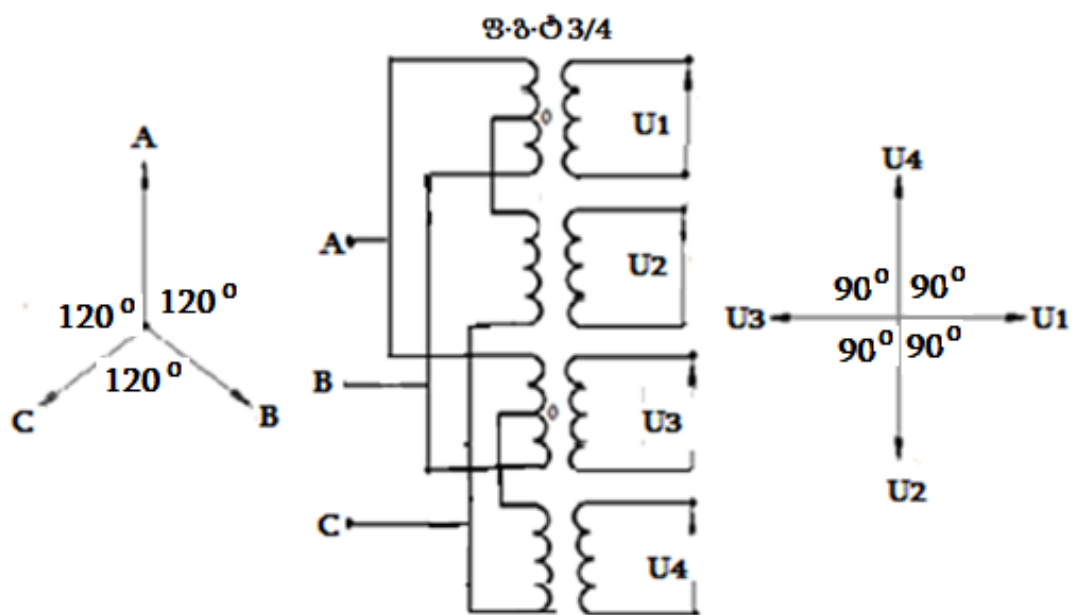
2. რუსეთის ფ.რ-ში კი ოთხფაზა ელექტროგადაცემაზე. (Красильникова Т. Г. Автореферат Диссертаций. «Разработка четырехфазной технологии передачи электроэнергии на дальние расстояния». «Новосибирский государственный технический университет»), 2013.

მათ მიერ ექვსფაზა და ოთხფაზა სისტემის მიღების ხერხებს გააჩნია რო-
გორც დადებითი ისე უარყოფითი მხარეები. ექვსფაზა დენის მიღება მა-

რტივად არის გადაწყვეტილი, ელექტროტექნიკაში ცნობილი ხერხით (ნახ.1), იგი სამი ტრანსფორმატორის გამოყენებით ხორციელდება, რის გამოც იზრდება ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის თვითღირე-



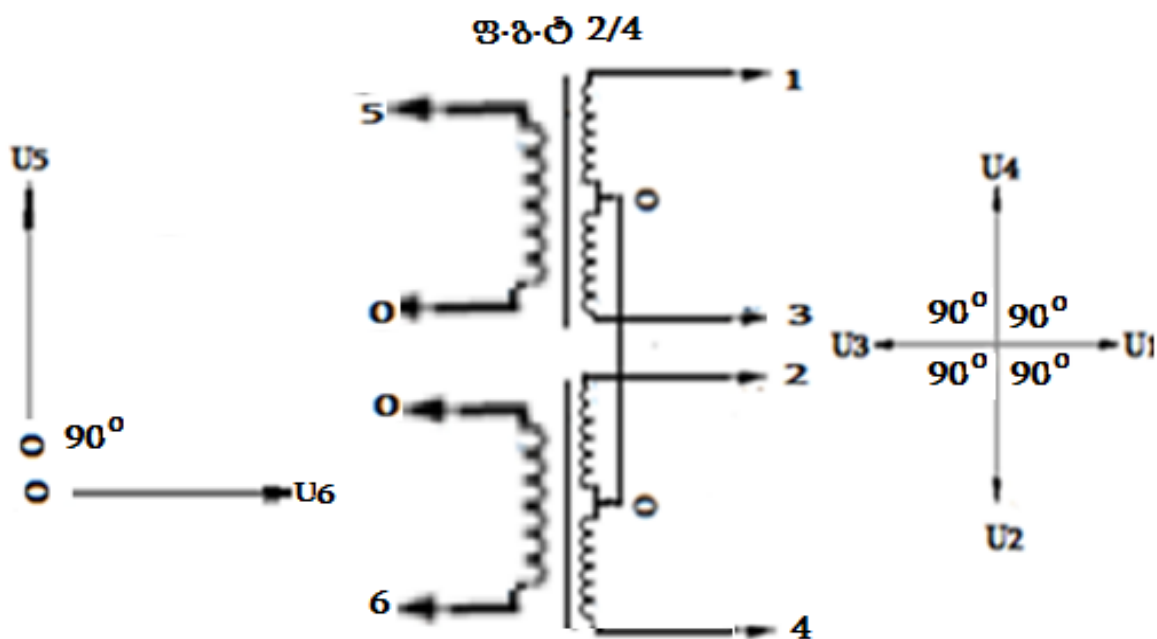
ნახ.1 სამფაზა-ექვსფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორი (ფ.გ.ტ. 3/6)



ნახ.2 ორი ცალი ჩ. სკოტის სამფაზა-ორფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორი (ფ.გ.ტ. 3/4).

ბულება და მცირდება შესაბამისად საიმედოება. რუსეთის ენერგეტიკოსები ოთხფაზა დენის მიღებას ახორციელებენ ცნობილი ამერიკელი მეცნიერის სკოტის ორი სამფაზა–ორფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის (ნახ.2) გამოყენებით. მასში ტრანსფორმატორების რაოდენობა ოთხია, რაც კიდევ უფრო აძვირებს მის თვითღირებულებას და ამცირებს საიმედოებას.

მათგან განსხვავებით თეორიულად დავამუშავეთ ორფაზა–ოთხფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის პრინციპიალური ელექტრული სქემა, რომელიც საშვალეხს მოგვცემს ორფაზა დენის გენერაციით მარტივად მივიღოთ ოთხფაზა სიმეტრიული სისტემა, იგი გამოირჩევა ნაკლები თვითღირებულებით და მეტი საიმედოობით, საჭიროებს მხოლოდ ორ ტრანსფორმატორს (ნახ.3.), ანუ მისი დამზადება შედარებით მარტივია.



ნახ.3. ორფაზა–ოთხფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორი (ფ.გ.ტ. 2/4).

აღნიშნული პრობლემების მათ მიერ გადაწყვეტა, როგორც ჩანს მხოლოდ ელექტროგადაცემის მიმართულებით შემოიფარგლება. ჩვენი მცდელობა კი

აღნიშნული საკითხების კომპლექსურ ჭრილში: გენერაცია–გადაცემა–მოხმარების მიმართულებით მოიაზრება, ვინაიდან ისინი ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირში არიან და მათი ცალკე განხილვა მიზანშეწონილად არ მიგვაჩნია.

სამუშაოს მიზანი.

თეორიულად დამუშავდეს გენერირებული ელექტროენერჯის ორფაზა და ოთხფაზა გადაცემის სისტემა, გაანალიზდეს მათი მუშაობის რეჟიმული პარამეტრები და ეს პარამეტრები შეფასდეს ტექნიკო–ეკონომიკური მაჩვენებლების თვალსაზრისით. გამოვლინდეს ამ სისტემების დადებითი და უარყოფითი მხარეები. გამოკვლეული იქნეს ორფაზა ქსელიდან ორგრაგნილიანი ძრავების მუშაობის ეფექტურობის საკითხები.

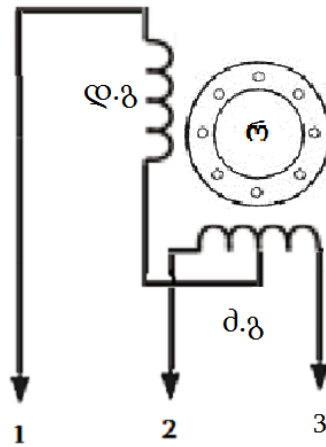
კვლევის ობიექტი და მეთოდები.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ელექტროენერგეტიკული სისტემა. კონკრეტულად, ორგრაგნილიანი ელექტრული მანქანები და მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის საჰაერო ხაზები. კვლევის მეთოდები დაფუძნებულია ელექტროტექნიკისა და ელექტრული მანქანების თეორიულ დებულებებსა და ძირითად ფუნდამენტალურ კანონებზე.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.

დამუშავებულია ორგრაგნილიანი–სამფაზა (90° გრადუსიანი ფაზათა ძვრის კუთხის მქონე) ელექტრომანქანა და მისი სამფაზა სისტემაში ჩართვის ელექტრული სქემა, რომელიც გენერატორულ რეჟიმში მოგვცემს 120°–იანი ფაზური ძვრის კუთხის მქონე სიმეტრიულ სამფაზა დენებს, ხოლო ძრავულ რეჟიმში კი გამორიცხავს გამშვი და მუშა კონდენსატორების გამოყენებას და უზრუნველყოფს ძრავას მუშაობის საიმედოობის ამაღლებას (ნახ.4.), რაზედაც მიღებულია პატენტი № U 1926 სასარგებლო მოდელზე. აქ დამატებითი გრაგნილის ერთი ბოლო მიერთებულია ძირითადი გრაგნი–

ლის შუა წერტილში, გამომყვანი წვერები 1–2–3 ჩართულია სამფაზა ქსელში.



ნახ.4.ორგრაგნილიანი–სამფაზა მანქანა.

დასმულ ამოცანაში განსახორციელებელი მიზნიდან გამომდინარე კვლევის პროცესში ძირითადი საკვანძო საკითხების დამუშავების შედეგად მიღებულ იქნა:

- 1.გენერირებული ორფაზა ელექტროგადაცემის ფაზური ელექტრული პარამეტრების საანგარიშო გამოსახულებები;
- 2.მომხმარებლის სალტეებზე მუშა ძაბვის საწყის მონაცემებზე დამოკიდებულების საანგარიშო გამოსახულებები.
- 3.რაც მაღალია ელექტროგადაცემის ნომინალური ხაზური ძაბვა, მით მეტი ხარისხით უნდა განხორციელდეს ორფაზა ელექტროგადაცემის მესამე (უკუ) სადენის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაცია, რათა ხაზის რეჟიმის პარამეტრები დასაშვები სიდიდის ფარგლებში იყოს.

ოთხფაზა ელექტროგადაცემის მიმართულებით ჩატარებული კვლევის, ანალიზისა და რიცხვითი მაგალითის გაანგარიშების საფუძველზე მიღებულია შემდეგი:

- 1.გენერირებული ოთხფაზა ელექტროგადაცემის ფაზური ელექტრული პარამეტრების საანგარიშო გამოსახულებები;
- 2.გამოვთვალეთ დენები, როცა ძაბვები ქმნიან ოთხფაზა სიმეტრიულ

სისტემას (ფაზურ ძაბვებს შორის $\alpha = -\pi/2$ ძვრის კუთხეს). მივიღეთ, რომ ოთხფაზა გადაცემის ნეიტრალურ სადენში გამავალი დენი ნულის ტოლია. აქედან გამომდინარე, ოთხფაზა ელექტროგადაცემა ნეიტრალურ სადენს არ ითხოვს და ორფაზა გადაცემისგან განსხვავებით ოთხფაზა გადაცემა შეიძლება ჩავამიწოთ ორივე ბოლოში.

3. ნაჩვენებია, რომ ოთხფაზა საჰაერო ხაზი იმავე გამტარუნარიანობის მქონე სამფაზა ხაზთან შედარებით ეკონომიკურობის უფრო ამაღლებული მაჩვენებლებით ხასიათდება.

4. სამფაზა ელექტროგადაცემასთან შედარებით ოთხფაზა გადაცემის ხაზის გამტარუნარიანობა, იმავე ფაზური ძაბვისა და ფაზური დენის შენარჩუნების პირობებში, $4/3 = 1,33$ – ჯერ ანუ 33%-ით მეტია. თუმცა ოთხფაზა ელექტროგადაცემა ითხოვს მეოთხე ფაზური სადენის დამატებას ანუ 33%-ით იზრდება ფერადი ლითონის ხარჯი ხაზზე. ამდენივეთი გაიზრდება აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები ხაზში.

5. ორფაზა/სამფაზა/ოთხფაზა ელექტროგადაცემის სისტემების ურთიერთშედარებითი ანალიზის საფუძველზე მოხდა მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეების თეორიული დასაბუთება;

6. რიცხვითმა გამოთვლებმა აჩვენა, რომ სამფაზა ელექტროგადაცემის ხაზის ფაზური სადენის ტევადობასთან შედარებით ოთხფაზა ელექტროგადაცემის ხაზის ფაზური სადენის ტევადობა იზრდება: 220 კვ ძაბვის ხაზის შემთხვევაში დაახლოებით 5,32%-ით, ხოლო ტალღური წინაღობა მცირდება 2,6%-ით. 500 კვ ძაბვის გადამცემი ხაზის შემთხვევაში ოთხფაზა ხაზის სადენის ტევადობა 9,6%-ით იზრდება, ხოლო ხაზის ტალღური წინაღობა დაახლოებით 4,5%-ით მცირდება. ამ შემთხვევაში მიღებულია, რომ ფაზური სადენები განლაგებულია ერთ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

7. დიდი სიმძლავრეების ზემორეულ მანძილზე გადაცემის პრობლემის გადაწყვეტა მიზანშეწონილია ოთხფაზა სისტემაზე გადასვლით, რამდენადაც იგი ელექტროგადაცემის ტექნიკურ-ეკონომიკური, საიმედოობისა და ეკოლოგიური მახასიათებლების არსებითად გაუმჯობესებას იძლევა. ასეთი

ელექტროგადაცემის საფუძველს წარმოადგენს ოთხფაზა გაწონასწორებული სიმეტრიული სისტემა 90°-იანი ფაზათა ძვრით.

8.თეორიულად დავამუშავეთ ორფაზა-ოთხფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის პრინციპიალური ელექტრული სქემა, რომელიც საშვალეზს მოგვცემს ორფაზა დენის გენერაციით მივიღოთ ოთხფაზა სიმეტრიული სისტემა და პირიქით, რომელიც გამოირჩევა სიმარტივით, საიმედოობით და ნაკლები თვითღირებულებით. (ნახ.3).

9.ოთხფაზა ხაზის მთავარი განმასხვავებელი თავისებურება მდგომარეობს ფაზების საყრდენებზე განლაგების წესში, რომლის დროსაც ხაზი ქმნის ცვლადი დენის ორ დამოუკიდებელ ორფაზა სიმეტრიულ სისტემას, ამასთან თითოეულში ძაბვები და დენები უკუფაზაშია. რაც ხაზის ნატურალური სიმძლავრის ზრდის საშუალებას იძლევა.

პრაქტიკული ღირებულება (მნიშვნელობა).

ორფაზა/ოთხფაზა სისტემის დანერგვა გაზრდის ელექტროგადაცემის საიმედოებასა და უავარიო ექსპლოატაციის ხანგრძლივობას, აგრეთვე გაამარტივებს მის მომსახურებას. ორფაზა მომხმარებლის ჩართვა მკვეთრად შეამცირებს სამფაზა ქსელის არასიმეტრიულობის ხარისხს და შესაბამისად, აქტიური ენერჯის დანაკარგებს, განპირობებულს უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების დინებით არასიმეტრიულობის დროს.

დღემდე როგორც სამრეწველო დანიშნულების ქარხნა-ფაბრიკებში ასევე საცხოვრებელი სახლების პირველ სართულამდე ელექტროენერჯის მიყვანა ოთხძარღვიანი საკაბელო (სამი ფაზა და ნული) სადენით ხორციელდება. ორფაზა ელექტროქსელის დანერგვის შემთხვევაში კი როგორც სამრეწველო დანიშნულების საწარმოებში ისე საცხოვრებელ სახლებში ელექტროენერჯის მიყვანა მხოლოდ სამძარღვიანი კაბელით განხორციელდება (ორი ფაზა და ნული). რაც განსაკუთრებულად შეამცირებს არა მარტო ფერად ლითონზე გაწეული დანახარჯებს არამედ ასევე შემცირდება დანახარჯები სამონტაჟო სამუშაოებზე. საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ელექ-

ქტროტექნიკური მანქანა-იარაღებში, აპარატურაში და ინსტრუმენტებში ორფაზა ელექტროძრავების დანერგვით მათი სიმძლავრე 15%-ით გაიზრდება იგივე გაბარიტების დროს არსებულ კონდენსატორულ ძრავებთან შედარებით და გაუტოლდება სამფაზა ძრავების სიმძლავრეს. ამავდროულად გაიზრდება საიმედოობა და შემცირდება თვითღირებულება.

ოთხფაზა ელექტროგადაცემის დროს როგორც შუალედური საყრდენი ანძების კონსტრუქცია ისე კუთხურ-ანკერული საყრდენების კონსტრუქციაც მარტივდება, ხოლო კუთხურ-ანკერული საყრდენების რაოდენობა მთაგორიან რეგიონებში დამონტაჟების დროს მცირდება (სამის ნაცვლად გვექნება ორი საყრდენი) სამსადენიან სამფაზა გადაცემასთან შედარებით. ამასთან თუ ერთჯაჭვა ოთხფაზა გადაცემის სადენების ჯამური კვეთი ტოლი იქნება ორჯაჭვა სამფაზა გადაცემის სადენების ჯამური კვეთის, მაშინ ოთხფაზა ხაზში თითოეული ფაზის შემდგენების რიცხვი 1.5-ჯერ მეტი გვექნება, ვიდრე ცალკეულ სამფაზა ხაზში. ეს თავის მხრივ გამოიწვევს ოთხფაზა ხაზის ფაზის გახლეჩის ეკვივალენტური რადიუსის გაზრდას. ამიტომ ერთჯაჭვა ოთხფაზა ხაზის ნატურალური სიმძლავრე სამფაზა ხაზთან შედარებით შესაძლებელია გაიზარდოს 2-ჯერ და მეტჯერ. ამასთან ერთად საიზოლაციო მასალის-გირლიანდების ხარჯიც შემცირდება თითქმის 33%-ით.

არსებული პრობლემების პრაქტიკულად გადაწყვეტა შესაძლოა სამი ვარიანტით იქნეს განხორციელებული, კერძოდ:

1. ვახორციელებთ ორფაზა (90⁰-იანი ფაზური ძვრის კუთხის მქონე) გენგენერაციას, რომელსაც ვაკავშირებთ ჩვენს მიერ შემუშავებული ორფაზა-ოთხფაზა ერთი ცალი ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის მეშვეობით ოთხფაზა ელექტროგადაცემის ხაზთან, შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით. ხაზის ბოლოში კი ვიყენებთ ოთხფაზა-ორფაზა ერთ ცალ ფაზაგარდამქმნელ ტრანსფორმატორს, შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით, შემდეგ კი მანაწილებელი ქსელების მეშვეობით მიღებული ორ-

ფაზა დენი სამი სადენის მეშვეობით მიგვყავს როგორც საწარმოო ისე საყოფაცხოვრებო დანიშნულების მომხმარებლებთან.

2.ვახორციელებთ ორგრაგნილიან სამფაზა გენერაციას და მას ვაკავშირებთ ჩარლზ სკოტის ორი ცალი სამფაზა-ორფაზა ფაზოგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის მეშვეობით ოთხფაზა გადაცემის ხაზთან შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით. ხაზის ბოლოში კი ვიყენებთ ჩვენს მიერ შემუშავებული ოთხფაზა-ორფაზა ფაზაგარდამქმნელ ტრანსფორმატორს შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით, რის შემდეგაც მანაწილებელი ქსელების მეშვეობით მიღებული ორფაზა დენი სამი სადენის მეშვეობით მიგვყავს როგორც საწარმოო ისე საყოფაცხოვრებო დანიშნულების ორფაზა მომხმარებლებთან.

3.ვახორციელებთ ორგრაგნილიან სამფაზა გენერაციას და მას ვაკავშირებთ სკოტის ორი ცალ სამფაზა-ორფაზა ფაზოგარდამქმნელი (სამაღლებელი) ტრანსფორმატორის მეშვეობით ოთხფაზა გადაცემის ხაზთან შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით. ხაზის ბოლოში ვიყენებთ ისევ ორ ცალ სკოტის ფაზაგარდამქმნელ (სადაბლებელ) ტრანსფორმატორს, შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით, რის შემდეგაც მანაწილებელი ქსელების მეშვეობით მიღებული სამფაზა დენი მიგვყავს სამფაზა მომხმარებლებთან. ამ შემთხვევაში სასურველია სამფაზა მომხმარებელი დაკომპლექტებული იყოს ჩვენი პატენტით ორგრაგნილიანი-სამფაზა ელექტროძრავებით.

შედეგების გამოყენების სფერო.

ენერგეტიკა, ელექტრომექანიკა და მრეწველობის მრავალი სფერო სადაც ხორციელდება ელექტრომანქანების გამოყენება (სყოფაცხოვრებო, საფეიქრო, კვების მრეწველობა, სამშენებლო, სამედიცინო, სოფლის მეურნეობა, ქიმიური მრეწველობა, სამხედრო და.ა.შ).

კვლევების შედეგების გამოყენება შესაძლებელია ელექტრული ენერჯის გენერაცია (6 – 10 – 35 კვ) – გადაცემის მიმართულებით 6 – 10 – 35 – 110 – 220 – 330 – 500-750 კვ ძაბვის სიდიდის ჩათვლით, ხოლო მოხმარების

მიზნით 220–380–660ვ (50ჰც), ხოლო 24–42ვ (200–400ჰც) სოფლის მეურნეობის, სამედიცინო, სამშენებლო, კვების მრეწველობასა და 40ვ 1000ჰც სამხედრო და კოსმოსური ხომალდების მრეწველობის ჩათვლით.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.

დისერტაცია შედგება სარჩევისაგან, რეზიუმესაგან, შესავალისაგან, ხუთი თავისაგან, კვლევის შედეგად მიღებული დასკვნებისაგან, ლიტერატურის სიისაგან. დისერტაცია წარმოდგენილია 167 გვერდზე.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით.

შესავალში მოყვანილი და ნაჩვენებია ელექტროგადაცემის მოკლე ისტორიული ცნობები და მისი განვითარების საფეხურები. დასმულია საკითხი მისი შესაძლო შემდგომი გაუმჯობესება განვითარების შესახებ, თანამედროვე პირობებისა და მოთხოვნების გათვალისწინებით.

პირველ თავში განხილულია ცვლადი დენის ერთფაზა, ორფაზა და სამფაზა ელექტრომანქანები, ჩატარებულია მათი შედარებითი ანალიზი, რის საფუძველზეც შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1. აღნიშნულია ორფაზა ელექტროქსელიდან მომუშავე ორგრაგნილიანი ორფაზა და სამფაზა ელექტროქსელიდან მომუშავე ორგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანების გამოყენების შესაძლო სფეროები და მათი უპირატესობა ერთფაზა ელექტროქსელიდან მომუშავე ორგრაგნილიან კონდენსატორულ ელექტრულ მანქანებთან შედარებით;
2. დასაბუთებულია ორგრაგნილიანი (90°-იანი ფაზური ძვრის კუთხის მქონე) სამფაზა ელექტრომანქანის სამფაზა ელექტროქსელში ჩართვის შესაძლებლობა და აღნიშნულია, რომ ამ დროს მისი სტატორის გრაგნილები სიმეტრიულად იტვირთება 120°-იანი ფაზური ძვრის კუთხის მქონე სიდიდის დენებით;
3. დასაბუთებულია ორგრაგნილიანი ორფაზა და სამგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანების სიმძლავრეთა ტოლობა.

4.ორგრაგნილიანი ორფაზა და ორგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანები, სამფაზა ელექტრომანქანებთან შედარებით მეტი საიმედოობით, შედარებით დამზადების ნაკლები შრომატევადობით, ნაკლები თვითღირებულებითა და გაადვილებული მომსახურეობით გამოირჩევა.

5.ორფაზა ელექტროქსელიდან მომუშავე ორფაზა ელექტრომანქანის სიმძლავრე, ერთფაზა ქსელიდან მომუშავე ორფაზა კონდესატორულ ელექტრომანქანის სიმძლავრეზე მეტია, ხოლო სამფაზა ელექტროქსელიდან მომუშავე სამფაზა ელექტრომანქანის სიმძლავრის ტოლფასია.

მეორე თავში ჩატარებულია მრავალფაზა (სამფაზა და ორფაზა) სისტემის ზოგადი მიმოხილვა. მიღებულია სიმეტრიული სამფაზა სისტემის სადენებში გამავალი დენების საანგარიშო გამოსახულებები.

მესამე თავში ჩატარებული კვლევისა და შესაბამისი ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1.ორფაზა და სამფაზა ელექტროგადაცემის სისტემების დაკავშირება შესაძლებელია ჩარლზ სკოტის ორფაზა-სამფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორებით, რომელთა საშუალებით ძაბვათა ორფაზა სისტემა გადაყვანილი იქნება ძაბვათა სამფაზა სისტემაზე და პირიქით;

2.ორფაზა გადაცემისა და სამფაზა გადაცემის ფაზური ძაბვების ტოლობისას, ხაზის გამტარუნარიანობის შენარჩუნებისა და ხაზზე იმავე განიკვეთის ფაზური სადენის გამოყენებისას, დანაკარგები ორფაზა გადაცემაში იზრდება 3-ჯერ. მაგრამ ხაზზე ფერადი ლითონის ხარჯი დარჩება იგივე, რაც სამფაზა გადაცემისას;

3.იმისათვის, რომ ორფაზა გადაცემით მომხმარებელთან მიწოდებული იქნეს იგივე სიმძლავრე, რაც სამფაზა გადაცემისას, საჭიროა დაცული იქნეს შემდეგი ტოლობა: $2S_{ფ(2)} = 3S_{ფ(3)}$; ანუ $S_{ფ(2)} = 1,5S_{ფ(3)}$;

4.ორფაზა გადაცემისა და სამფაზა გადაცემის ხაზის გამტარუნარიანობის შენარჩუნების დროს თუ ორფაზა და სამფაზა გადაცემების ხაზური ძაბვები ტოლია ამ შემთხვევაში ხაზზე იმავე განიკვეთის ფაზური სადენის გამო-

ყენებისას, დანაკარგები ორჯაზა გადაცემის დროს იზრდება 2-ჯერ. ხოლო ხაზზე ფერადი ლითონის ხარჯი დარჩება იგივე, რაც სამჯაზა გადაცემისას;

5. ხაზის გამტარუნარიანობის შენარჩუნებისას, თუ ორჯაზა და სამჯაზა გადაცემების ხაზური ძაბვები ტოლია. ამ შემთხვევაში ხაზზე 1,225-ჯერ მეტი განიკვეთის ფაზური სადენის გამოყენებისას, დანაკარგები ორჯაზა გადაცემაში იზრდება 1,63 ჯერ. ხოლო ხაზზე ფერადი ლითონის ხარჯი ასევე იზრდება 1,225-ჯერ;

6. თეორიული დამტკიცების გზით დადგენილია სამსადენიანი ორჯაზა გადაცემის ფაზური სადენებისა და უკუსადენის ელექტრული პარამეტრები;

7. ორჯაზა გადაცემის ფაზური სადენებისა და უკუსადენის რეაქტიული წინაღობა, პრაქტიკულად, სამჯაზა ელექტროგადაცემის ფაზური სადენების რეაქტიული წინაღობების ტოლია.

8. ჩატარებული კვლევის საერთო ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ორჯაზა გადაცემის სისტემის განხორციელებისას, ხაზის გამტარუნარიანობის შენარჩუნებისა და ტექნიკური უსაფრთხოების წესების მოთხოვნების დაცვის მიზნით, ორჯაზა და სამჯაზა ელექტროგადაცემის ნომინალურ პარამეტრებს შორის შესრულებული უნდა იქნეს ცხრილ 1-ში ნაჩვენები თანაფარდობებიდან მეოთხე, კერძოდ:

ცხრ.1

№	ძირითადი მოთხოვნა	შესაბამისად	გამომდინარეობს	შედეგი
1	$S_{(2)}=S_{(3)}$	$S_{ფ(2)}=1,5S_{ფ(3)}$	$U_{ფ(2)}=U_{ფ(3)},$ $I_{ფ(2)}=1,5I_{ფ(3)}$	$U_{ბ(2)}=0,82U_{ბ(3)}$ $F_{(2)}=F_{(3)}, V_{(2)}=V_{(3)}$ $\Delta P_{(2)} = 3\Delta P_{(3)},$
2	$S_{(2)}=S_{(3)}$	$S_{ფ(2)}=1,5S_{ფ(3)}$	$U_{ფ(2)}=U_{ფ(3)},$ $I_{ფ(2)}=1,5I_{ფ(3)}$	$U_{ბ(2)}=0,82U_{ბ(3)}$ $F_{(2)}=1,5F_{(3)}, V_{(2)}=1,5V_{(3)}$ $\Delta P_{(2)} = 2\Delta P_{(3)},$
3	$S_{(2)}=S_{(3)}$	$S_{ფ(2)}=1,5S_{ფ(3)}$	$U_{ფ(2)}=1,225U_{ფ(3)},$ $I_{ფ(2)}=1,225I_{ფ(3)}$	$U_{ბ(2)}=U_{ბ(3)}$ $F_{(2)}=F_{(3)}, V_{(2)}=V_{(3)}$ $\Delta P_{(2)} = 2\Delta P_{(3)},$
4	$S_{(2)}=S_{(3)}$	$S_{ფ(2)}=1,5S_{ფ(3)}$	$U_{ფ(2)}=1,225U_{ფ(3)},$ $I_{ფ(2)}=1,225I_{ფ(3)}$	$U_{ბ(2)}=U_{ბ(3)}$ $F_{(2)}=1,225F_{(3)},$ $V_{(2)}=1,225V_{(3)}$ $\Delta P_{(2)} = 1,63\Delta P_{(3)}$

ა.ორფაზა სისტემის ფაზური ძაბვა სამფაზა სისტემის ფაზურ ძაბვასთან შედარებით გაიზარდოს 1,225-ჯერ;

ბ.ფაზური სადენის განიკვეთი, დენის იგივე სიმკვრივის შენარჩუნების მიზნით, ასევე გაიზარდოს 1,225-ჯერ;

გ.ორფაზა ელექტროგადაცემა ჩამიწდეს მხოლოდ ერთ ბოლოში.

9.მიღებულია ორფაზა ელექტროგადაცემის სადენთა ეკვივალენტური ინდუქციურობის საანგარიშო გამოსახულებები 50 ჰც სიხშირის ცვლადი დენის საჰაერო ხაზების ალუმინის სადენებისათვის და საანგარიშებია 1 კმ სიგრძის საჰაერო 35–500კვ ხაზის რეაქტიულ–ინდუქციური წინაღობა (ომი/კმ) როგორც ფაზური ისე უკუ სადენისათვის.

მეოთხე თავში ჩატარებული კვლევისა და განხილული რიცხვითი მაგალითების გაანგარიშების შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1.ზედდების მეთოდის გამოყენებით მიღებულია ორფაზა გადაცემის რეჟიმის პარამეტრების საანგარიშო გამოსახულებები დატვირთვის დენისა და დატვირთვის სიმძლავრის მიხედვით;

2.ორფაზა გადაცემის დროს რეჟიმის პარამეტრები უფრო გაუარესებულია, განსაკუთრებით როგორც ძაბვების სიდიდესთან ისე მათ კუთხური ძვრის სიდიდესთან მიმართებაში; ორფაზა და სამფაზა ელექტროგადაცემისას, როცა გადასაცემი სიმძლავრე ერთი და იგივეა, ორფაზა ელექტროგადაცემის ხაზში ძაბვის ვარდნილობა ($U_{თავი}/U_{ბოლო}$) 22,5%-ით მეტია, ვიდრე სამფაზა ელექტროგადაცემის ხაზში;

3.დადგენილია, რომ ორფაზა ელექტროგადაცემისას ძაბვის ხარისხის გაუმჯობესება უფრო ეფექტურია მესამე (უკუსადენის) რეაქტიული წინაღობის კომპენსაციის გზით;

4.მიღებულია ორფაზა ელექტროგადაცემის უკუსადენის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაციის საანგარიშო გამოსახულება ამ სადენში ძაბვის დანაკარგის წინასწარი შეზღუდვის პირობით;

- 5.ორფაზა ელექტროგადაცემის რეჟიმის პარამეტრები გაუმჯობესებულია უკუსადენის რეაქტიული წინააღობის 50–100%-იანი კომპენსაციის შემდეგ;
- 6.რაც მაღალია ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვა, მით მეტი ხარი–სხით უნდა განხორციელდეს მესამე სადენის რეაქტიული წინააღობის კომპენსაცია, რათა ხაზის რეჟიმის პარამეტრები დასაშვების ფარგლებში იყოს.
- 7.ხაზის რეჟიმის დასაშვები მნიშვნელობიდან გამომდინარე ორფაზა ელექტროგადაცემა უფრო დაბალი გამტარუნარიანობით ხასიათდება;
- 8.თუ გამოვიყენებთ ოთხსადენიან ორფაზა ელექტროგადაცემას, რომლის მესამე და მეოთხე სადენი ერთდროულად იქნება უკუსადენი, მაშინ თითოეულ ამ სადენში გაივლის ორჯერ უფრო ნაკლები დენი, ვიდრე სამსადენიან ორფაზა ელექტროგადაცემის მესამე სადენში. აქედან გამომდინარე, ორჯერ შემცირდება ძაბვის ვარდნა და შესაძლებელი იქნება რამდენადმე ავამაღლოთ გადასაცემი სიმძლავრე ანუ გავზარდოთ ხაზის გამტარუნარიანობა.
- 9.გამოთვლებმა აჩვენა, რომ თუ ოთხსადენიან ორფაზა ელექტროგადაცემის ფაზურ ძაბვას ავიღებთ 1,225-ჯერ მეტს, ვიდრე სამფაზა ელექტროგადაცემის ფაზურ ძაბვას და ამავე დროს, სადენების განიკვეთს გავზრდით ასევე 1,225-ჯერ, რაც ფაზურ სადენებში დენის ამდენჯერვე გაზრდის საშუალებას გვაძლევს ამ დროს უკუსადენების განიკვეთი სიდიდით შეიძლება ავილოთ $\sqrt{2}/2) \cdot 1,225 \cdot F_{(3)} = 0,866F_{(3)}$ ტოლად, მაშინ ოთხ სადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის გამტარუნარიანობა იგივე იქნება, რაც სამფაზა ელექტროგადაცემისა, თუმცა ოთხსადენიან ორფაზა ელექტროგადაცემის ხაზზე ადგილი აქვს ფერადი ლითონის ხარჯის ზრდას თითქმის 39%-ით, ხოლო სიმძლავრის დანაკარგები იზრდება 1,58-ჯერ;
- 10.ოთხსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის საყრდენი, რომელზედაც უკუსადენები განთავსებულია მეხდამცავი გვარლების პოზოციაში, უფრო ნაკლები სიმაღლისაა, ვიდრე სამფაზა ელექტროგადაცემის საყრდენი. საყრდენთა სიმაღლეში სხვაობა ფაზათაშორისი მანძილის ტოლია.

11.სადენების ჰორიზონტალური განლაგების შემთხვევაში ოთხსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის საყრდენი თითქმის ორჯერ უფრო ნაკლები განისაა, ვიდრე სამფაზა ელექტროგადაცემის საყრდენი. გარდა ამისა, სამფაზა ელექტროგადაცემის ხაზებზე სამი ცალი კუთხურ-ანკერული საყრდენის ნაცვლად, შეიძლება გამოვიყენოთ ერთი ცალი ოთხსადენიანი ორფაზა საყრდენი. ეს, ერთი მხრივ, იწვევს საყრდენების დამზადებისთვის საჭირო შავი ლითონის ხარჯის შემცირებას და, მეორე მხრივ, მცირდება ხაზის მშენებლობის, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის ხარჯები. გარდა ამისა, ხაზის ტრასის განის შემცირება უფრო ამარტივებს ხაზის ტრასის შერჩევის ამოცანას მთიანი რელიეფის პირობებში.

მეხუთე თავში ჩატარებული კვლევისა და განხილული რიცხვითი მაგალითების გაანგარიშების შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

1. მიღებულია ოთხფაზა ელექტროგადაცემის დატვირთვის ფაზური დენების საანგარიშო გამოსახულებები;
2. ჩატარებულია ოთხფაზა ელექტროგადაცემის ხაზის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ფაზური სიმძლავრისა და ფაზური ძაბვის მიხედვით, 220 კვ-იანი და 100კმ სიგრძის ხაზისათვის გადასაცემი სიმძლავრის დროს

$$S = P + jQ = 200 + j120 \text{ მგვა} .$$

3. ნაჩვენებია სამფაზა და ორფაზა გენერაციიდან ჩ. სკოტის სამფაზა-ორფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორებით და ჩვენს მიერ შემუშავებული პრინციპიალური ელექტრული სქემით ორფაზა-ოთხფაზა ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორების მეშვეობით ოთხფაზა გადამცემ ხაზთან შესაძლო დაკავშირება.

4. მიღებულია ოთხფაზა ელექტროგადაცემის სადენთა ეკვივალენტური ინდუქციურობის საანგარიშო გამოსახულებები 50 ჰც სიხშირის ცვლადი დენის საჰაერო ხაზების ალუმინის სადენებისათვის და ნაანგარიშებია 1 კმ სიგრძის საჰაერო 35-500კვ-მდე ხაზის რეაქტიულ-ინდუქციური წინააღობა (ომი/კმ) ფაზური სადენისათვის. აგრეთვე ოთხსადენიანი ოთხფაზა და სამ-

სადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის სადენთა გასაშუალოებული ტევადობის გამოსათვლელი გამოსახულებები.

3. 220–500კვ ძაბვის გადამცემი ხაზის შემთხვევაში ოთხფაზა ხაზის სადენის ტევადობა შესაბამისად 5,32%-ით და 9,6%-ით იზრდება, ხოლო ტალღური წინაღობა დაახლოებით 2,6%-ით და 4,5%-ით მცირდება სამფაზა ელექტროგადამცემ ხაზთან შედარებით.

ზოგადი დასკვნები.

ჩატარებული თეორიული კვლევებისა და ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე მიღებულია შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

1. თეორიულად დამუშავდა გენერირებული ელექტროენერჯის გადაცემის ორფაზა/ოთხფაზა სისტემა, გაანალიზდა მათი მუშაობის რეჟიმული პარამეტრები და ეს პარამეტრები შეფასდა ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების თვალსაზრისით. გამოვლინდა ამ სისტემების დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

2. გამოკვლეული იქნა ორფაზა ქსელიდან ორგრაგნილიანი ძრავების მუშაობის ეფექტურობის საკითხი.

3. განხორციელდა ჩარლზ სკოტის ფაზაგარდამქმნელი ტრანსფორმატორის თეორიული საფუძვლების განვითარება, რომლის ბაზაზეც მიღებულ იქნა ინოვაციური ორგრაგნილიანი-სამფაზა ელექტრული მანქანის აგება. პატენტი № U 1926.

4. დასაბუთებულია ორგრაგნილიანი ორფაზა და სამგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანების სიმძლავრეთა ტოლობა.

5. იმისათვის, რომ ორფაზა გადაცემით მომხმარებელთან მიწოდებული იქნეს იგივე სიმძლავრე, რაც სამფაზა გადაცემისას, საჭიროა დაცული იქნეს შემდეგი ტოლობა

$$2S_{\text{ფ}(2)} = 3S_{\text{ფ}(3)}; \quad \text{ანუ} \quad S_{\text{ფ}(2)} = 1,5S_{\text{ფ}(3)};$$

6. ორფაზა გადაცემის დროს რეჟიმის პარამეტრები უფრო გაუარესებულია, განსაკუთრებით როგორც ძაბვების სიდიდესთან ისე მათ კუთხური ძვრის

სიდიდესთან მიმართებაში; ორფაზა და სამფაზა ელექტროგადაცემისას, როცა გადასაცემი სიმძლავრე ერთი და იგივეა, ორფაზა ელექტროგადაცემის ხაზში ძაბვის ვარდნილობა ($U_{თავი}/U_{ბოლო}$) 22,5%-ით მეტია, ვიდრე სამფაზა ელექტროგადაცემის ხაზში;

7. ორფაზა ელექტროგადაცემის რეჟიმის პარამეტრები გაუმჯობესებულია უკუსადენის რეაქტიული წინაღობის 50–100%-იანი კომპენსაციის შემდეგ;

8. რაც მაღალია ელექტროგადაცემის ნომინალური ძაბვა, მით მეტი ხარისხით უნდა განხორციელდეს მესამე სადენის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაცია, რათა ხაზის რეჟიმის პარამეტრები დასაშვების ფარგლებში იყოს.

9. სადენების ჰორიზონტალური განლაგების შემთხვევაში ოთხსადენიანი ორფაზა ელექტროგადაცემის საყრდენი თითქმის ორჯერ უფრო ნაკლები განისაა, ვიდრე სამფაზა ელექტროგადაცემის საყრდენი. გარდა ამისა, მთავორიან რეგიონში ორფაზა ელექტროგადაცემის ხაზებზე სამფაზიანთან შედარებით სამი ცალი კუთხურ-ანკერული საყრდენის ნაცვლად, შეიძლება გამოვიყენოთ ერთი ცალი ოთხსადენიანი ორფაზა საყრდენი. ეს, ერთი მხრივ, იწვევს საყრდენების დამზადებისთვის საჭირო შავი ლითონის ხარჯის შემცირებას და, მეორე მხრივ, მცირდება ხაზის მშენებლობის, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის ხარჯები. გარდა ამისა, ხაზის ტრასის განის შემცირება უფრო ამარტივებს ხაზის ტრასის შერჩევის ამოცანას მთიანი რელიეფის პირობებში.

10. სამსადენიანი ორფაზა და განსაკუთრებით ოთხსადენიანი ოთხფაზა ელექტროგადაცემა, სამსადენიანი სამფაზა გადაცემასთან შედარებით მთელი რიგი დადებითი მომენტებით ხასიათდება ესენია: მისი მშენებლობის, მონტაჟის, ექსპლუატაციისა და მომსახურების სიმარტივე, საიზოლაციო მასალის-გირლიანდებისა და შავი ლითონის ნაკლები ხარჯი, შუალედური საყრდენი ანძების კონსტრუქციის სიმარტივე და მთიან რეგიონებში კუთხურ-ანკერული საყრდენების რაოდენობის შემცირება. იგი უფრო ეკოლოგიურია, ვინაიდან მათი მშენებლობა უნიკალური ტყის მასივებზე ნაკლები ზიანის მიყენებით განხორციელდება, ხოლო საიმედოობა მაღალია, რადგან

მათი ფაზური ამორთვების ალბათობა თეორიულად 33,3%-ით მცირდება. ორფაზა ელექტროგადაცემა ნულოვანი მიმდევრობის მდგენელებს არ შეიცავს, რაც მის გამოყენებას საინტერესოს ხდის. დადებითი მომენტების ჩამონათვალს სამსადენიანი ორფაზა გადაცემისათვის ემატება ისიც, რომ მე-3-ე უკუ სადენი გამოყენებული იქნეს მეხდამცავი გვარლის შეთავსების ფუნქციით. ამავდროულად სამფაზა ელექტრომრიცხველებს შეცვლის ორფაზა ელექტრომრიცხველები, რომელნიც უფრო მარტივი, საიმედო, და ნაკლები თვითღირებულების იქნება. ყოველივე აღნიშნული საფუძველს გვაძლევს, ორფაზა/ოთხფაზა ელექტროგადაცემის სისტემა გამოყენებული იყოს მინიმუმ როგორც ალტერნატიული ელექტროგადაცემის სისტემა.

11. ზემონათქვამიდან გამომდინარე აღსანიშნავია, რომ ორფაზა/ოთხფაზა სისტემის დანერგვა სტიმულს მისცემს (ავტომატურად დგება საკითხი) ელექტრომანქანათმშენებელ ქარხნებში განხორციელდეს ორფაზა ძრავების წარმოება და იგი გამოყენებულ იქნეს მრეწველობის სხვადასხვა სფეროში, რომლებიც სამფაზა ძრავებთან შედარებით უფრო საიმედო, შედარებით მარტივად დასამზადებელი და ნაკლები თვითღირებულების იქნებიან, ვინაიდან ნაკლები გამომყვანი წვეროები და ნაკლები გამომყვანი ხუნდების რაოდენობა იქნება საჭირო, ამასთან ერთი და იგივე ფაზური ძაბვების შემთხვევაში (სამფაზა ელექტრულ მანქანებთან მიმართებაში) მათი მომსახურება ნაკლები ელექტროსაფრთხის შემცველია, ვინაიდან მათი ხაზური ძაბვის სიდიდე $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ -ჯერ ნაკლებია სამფაზიანთან შედარებით. ამავე მიზე-

ზით ფაზებს შორის საიზოლაციო მასალა ნაკლებად დაზიანდება, ხოლო დამზადების ტექნოლოგია იგივეა რაც არსებული ელექტრული მანქანებისათვის. დღემდე როგორც სამრეწველო დანიშნულების ქარხნა-ფაბრიკებში ასევე საცხოვრებელი სახლების პირველ სართულამდე ელექტროენერჯის მიყვანა ოთხძარღვიანი საკაბელო (სამი ფაზა და ნული) სადენით ხორციელდება. ორფაზა/ოთხფაზა ელექტროქსელის დანერგვის შემთხვევაში კი ქარხნებსა და ფაბრიკებში, აგრეთვე საცხოვრებელ სახლებში ელექტროენე-

რგის მიყვანა სამმარღვიანი კაბელით განხორციელდება (ორი ფაზა და ნული). რაც განსაკუთრებულად შეამცირებს არა მარტო ფერად ლითონზე გაწეული დანახარჯებს არამედ ასევე შემცირდება დანახარჯები სამონტაჟო სამუშაოებზე. საყოფაცხოვრებო დანიშნულების მანქანებსა და იარაღებში ჩამონტაჟებული ძრავების სიმძლავრე. დაახლოებით 15%-ით გაიზრდება. აგრეთვე გაიზრდება საიმედოობა და შემცირდება ორფაზა (უკონდენსატორი) ელექტროძრავების დამზადების თვითღირებულება, არსებულ კონდენსატორულ ელექტროძრავებთან შედარებით, ამასთან ერთად გაადვილდება მათი მომსახურება.

12. როდესაც მოთხოვნაა დიდი სიდიდის ელექტროენერგიების გადაცემაზე იყენებენ მრავალჯაჭვა სამფაზა გადაცემას, ამასთან ცდილობენ მაღალი ძაბვით განხორციელდეს ეს გადაცემა. ოთხფაზა ოთხსადენიანი სიმეტრიული ელექტროგადაცემის დანერგვის შემთხვევაში იგივე სიდიდის სიმძლავრეების გადაცემა დაახლოებით ორჯერ ნაკლები სიდიდის ძაბვებით იქნება შესაძლებელი.

ნაშრომის აპრობაცია.

სადისერტაციო თემის რიგი საკითხები მოხსენებული იყო XXIII საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე ბულგარეთში ქ. ვარნაში და სტუდენტთა 84 – ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე ქ. თბილისში.

1. INTERNATIONAL SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE “TRANS & MOTAUTO 15. 24-27.06.2015 VARNA BULGARIA ISSN: 1310-3946. Рикрикадзе А. и др. «Результаты исследований самовозбуждающихся асинхронных генераторов». стр. 49-51.

2. რიკრიკაძე ა. „ორგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანები“. სტუდენტთა 84 – ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია.

ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის სექცია. თეზისები საკონფერენციო სტატიაზე. თბილისი, 20 ივნისი, 2016.

სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები:

3. რიკრიკაძე ა. „ორფაზა და სამფაზა ელექტრომანქანების სიმძლავრეთა შესახებ“. სამეცნიერო რეფერირებადი ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლო-გეები“ № 1(721) თბილისი 2016 გვ. 73–75

4. რიკრიკაძე ა. მახარაძე გ. „ორგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანა“. სამეცნიერო –ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“ თბილისი. №2 (78)/2016. გვ. 55–57.

5. რიკრიკაძე ა. „ოთხფაზა ელექტროგადაცემის სადენტო ინდუქციურობა და ტევადობა“. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი“ ბიზნეს–ინჟინერინგი“ №4. 2016. გვ. 250–254.

6. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი საქპატენტი. პატენტი სასარგებლო მოდელზე. პატენტის ნომერი და სახეობის კოდი GE U 2017 1926 Y დასახელება: ორგრაგნილიანი სამფაზა ელექტრომანქანა. პატენტმფლობელი და გამომგონებელი: გურამ მახარაძე, არკადი რიკრიკაძე. გამოქვეყნების თარიღი 2017 02 10. განაცხადის ნომერი AU 2016. განაცხადის შეტანის თარიღი 2016 03 09.

Summary

In the thesis questions of generation-transmission and consumption of two-phase and four-phase current are investigated. A literature review was conducted on these issues. The historical stages of the development of multiphase electrical systems are considered. The works carried out on these issues in the USA and the RSFSR are indicated.

The increase in the transmission capacity of the power transmission line on the existing technology has exhausted its practical possibilities as it requires the use of multi-chain three-phase systems with high and ultra-high voltages, which complicates the construction and installation of the line, reduces the reliability of electricity transmission and also worsens the ecology. In connection with this, it is of great practical importance to address these issues in innovative ways.

The above mentioned problems are solved by innovative and alternative directions. In the process of reviewing the above-mentioned tasks, studies were conducted on the above listed issues, after the elaboration of which theoretically received:

Expressions for calculating the electrical parameters of a two-phase and four-phase transmission;

2. Expressions for calculating the return currents of a two-phase three-wire overhead line. An analysis of these expressions is carried out;

3. A comparative analysis has been made between two, three and four-phase power transmission systems, as well as the theoretical justification of their positive and negative sides.

4. The parameters of the regime are analyzed. These parameters were evaluated by technical and economic indicators;

5. Expressions for the calculation of reactive inductive resistance and the average value of the electrical capacity of the wires for three-wire two-phase and four-wire four-phase power lines.

6. Expressions for calculating the compensation of the reactive inductive resistance of a two-phase power transmission line, taking into account the preliminary percentage limitation of the voltage drop values. Theoretical studies have shown that a three-wire two-phase transmission is worse than a three-phase transmission. But if we make 100% compensation of the inductive resistance of the return wire by the capacitive resistance (capacitor bank), we can eliminate the asymmetry of the voltage in the phase conductors and the asymmetry of the angle of shear between them.

From the point of view of comparison, we calculated two-, three- and four-phase transmission lines for a voltage of 220 kV with a throughput of 150 mW, as well as a calculation of a two-phase line for 500 kV. The length of the line is 80 km. The calculation showed that the four-phase line in front of the three-phase line has a large throughput, it was found that the greater the number of phases, the lower the voltage between phases (line voltage). This makes it possible to bring the

phase conductors closer together, and the inductive resistance to decrease. At the same time, the reactive-capacitive resistance increases, which leads to a decrease in the line's wave resistance and a sharp increase in the density of transmitted natural power. In the course of the research, a two-winding three-phase electric machine was developed, the windings are shifted by 90 degrees from each other, it can operate from a three-phase electrical network and generate a three-phase alternating current. For innovative development, we were granted a patent for utility model No. 2017.

The above mentioned problems are solved by innovative and alternative directions:

1. By generating a two-phase current and using a two-phase / four-phase transformer-converter, Also a four-wire overhead power line. At the end of the line we use a four-phase / two-phase transformer converter.
2. Three phase generator (with two windings according to the Scott's scheme). Use of Scott phase transducers. Transmission of four-wire current. At the end of the overhead power line, we will use a four-phase / two-phase converter/.
3. The three-phase generator (patent No.U 1926) is connected to two Scott transformers, which are connected to a four-phase power line. The line is again connected to two Scott transformers, which are connected to a three-phase distribution line, which is the source of electric power for three-phase electric motors manufactured in accordance with our patent.
4. Thanks to the four-phase power transmission, the design of the intermediate and angular supports (masts) is simplified. In mountain areas - the number of corner supports for the two phases will be enough only one. The transmitted power for a four-phase power transmission will be equal to the power when transmitting a two-circuit three-phase system. At the same time, consumption of insulation materials (electric garlands) will be less by 33%.
5. The introduction of a two-phase electrical network with a three-core cable will allow the use of two-phase electric motors in household electrical appliances that will replace single-phase electric motors connected through capacitors. Their cost will be less, reliability is higher and the power will be equal to the power of the three-phase electric motor.
- 6 Alternatively, we can also successfully introduce a three-phase electric machine with two windings (90th phase shift) in industry in accordance with our patent, which will have relatively high reliability and lower costs. If this machine has the same phase voltage as the existing three-phase machine, then its electrical safety will be higher than that of the existing three-phase