

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ვახტანგ ბანცაძე

არასიმეტრიული დამყარებული რეჟიმების ანალიზი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეზეზატი

თბილისი

2010 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის
ელექტროენერჯის წარმოების, გადაცემის და განაწილების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სტუ-ს ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკისა და
ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის, ელექტროენერჯის წარმოების,
გადაცემისა და განაწილების №17 მიმართულების

ასოცირებული პროფესორი: ნინა თურქია

რეცენზენტები:

1. მიხეილ რუხვაძე – სტუ - ს ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკისა და
ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის, ელექტროენერჯის წარმოების,
გადაცემისა და განაწილების №17 მიმართულების სრული პროფესორი
2. იაკირ ბიჯამოვი - საქართველოს ენერგეტიკისა და ენერგეტიკულ
ნაგებობათა ს/კ ინსტიტუტის ელექტრული მანქანების განყოფილების
გამგე, ტ.მ.დ.

დაცვა შედგება 2011 წლის ” 12 ” თებერვალს, 12⁰⁰ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია №806
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

სრული პროფესორი

/გ.ხელიძე/

რეზიუმე

ვახტანგ ბანცაძის დისერტაცია „არასიმეტრიული დამყარებული რეჟიმების ანალიზი“ ეხება აქტუალურ პრობლემას. ნაშრომი შედგება 141 გვერდისაგან და დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის გაფორმების ინსტრუქციის მიხედვით მოიცავს: ტიტულის გვერდს, ხელმოწერების გვერდს, საავტორო უფლებების გვერდს, რეზიუმეს ორ ენაზე (ქართულ-ინგლისური), შინაარსს (სარჩევს), ნახაზების ნუსხას. ძირითადი ტექსტი შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, ექვსი თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან.

შესავალში განხილულია კვლევის აქტუალობა, პრობლემის შესწავლის მდგომარეობა, კვლევის მიზანი და ამოცანები, კვლევის საგანი, თეორიული და მეთოდოლოგიური საფუძვლები, კვლევის მეცნიერული სიახლე, ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა, ნაშრომის აპრობაცია, მისი მოცულობა და სტრუქტურა.

პირველ თავში განხილულია აღნიშნულ პრობლემასთან დაკავშირებული თეორიული საფუძვლები. განხილულია ელექტრული ქსელების ანალიზის ტოპოლოგიური მეთოდები. სისტემის მდგომარეობის ამსახველი განტოლებები (სხვადასხვა საფეხურის მქონე ძაბვის ქსელებისათვის), აღწერილია რეჟიმის აქტიური და პასიური პარამეტრები, ჩანაცვლების სქემის სახეები. განხილულია აღნიშნული საკითხთან დაკავშირებული ლიტერატურა.

მეორე თავში მოცემულია მათემატიკური მოდელირების საკითხები. დამუშავებული და აღწერილია განზოგადებული პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც იძლევა გარკვეულ უპირატესობას არსებულთან შედარებით და აგრეთვე იძლევა კომპიუტერული რესურსების დაზოგვის საშუალებას.

მესამე თავში მოცემულია ნორმალური რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების ალგორითმი. შეიცავს ძაბვის რეგულირების იმიტაციას. ითვალისწინებს დატვირთვის დამოკიდებულებას ძაბვაზე, ასახულს სტატიკური მახასიათებლით. პროგრამაში გათვალისწინებულია ინფორმაციის დაგროვება მონაცემთა ბაზაში ცხრილების სახით, რომელიც წარმოადგენს შემდგომში საწყის ინფორმაციას სხვადასხვა ტიპის (მოკლე შერთვების რეჟიმების გაანგარიშების შემთხვევაში) გაანგარიშებებში.

მეოთხე თავში მოცემულია ჩვენი კვლევების ძირითადი საკითხები დაკავშირებული სიმეტრიული და არასიმეტრიული მოკლე შერთვების ანგარიშებთან. განხილულია რთული სიმეტრიული მოკლე შერთვების ანგარიში, სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდის გამოყენება არასიმეტრიული რეჟიმების გაანგარიშებისას. მეხუთე თავში დამუშავებულია მეთოდოლოგია, რომელიც ეხება ერთდროული სიმეტრიული და არასიმეტრიული მოკლე შერთვების გაანგარიშებას.

არასიმეტრიული ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშების ერთიანი მეთოდოლოგიის ჩამოყალიბება საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ შესაბამისი ანგარიშები ნებისმიერი სახისა და კომბინაციის ავარიის დროს.

როგორც ცნობილია არასიმეტრიული დაზიანებების ანალიზი ეყრდნობა სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდს, რომლის არსი მდგომარეობს

არასიმეტრიული რეჟიმის დაშლაში სამ სიმეტრიულ რეჟიმად, რათა შემდგომ თითოეული მიმდევრობის სქემაში გამოყენებული იქნეს ყველა ის მეთოდი, რომელიც სამართლიანია სიმეტრიული სისტემებისათვის. ამის უფლებას იძლევა ის დებულება, რომ ცალკეული მიმდევრობის სქემაში ცირკულირებს მხოლოდ შესაბამისი მიმდევრობის დენები და ურთიერთკავშირი ძაბვებსა და დენებს შორის აღიწერება ცნობილი კანონებით, ხოლო კავშირი მიმდევრობებს შორის მყარდება ავარიის ადგილას იმ სასაზღვრო პირობების მიხედვით, რომელიც ახასიათებს ამა თუ იმ დაზიანებას. ამგვარად წინასწარ უნდა დადგინდეს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემების პასიური პარამეტრები და გაითვალდოს მათი შესაბამისი კვანძური გამტარებლობისა და კვანძური წინაღობების მატრიცები განივი ასიმეტრიის შემთხვევაში.

ნებისმიერი სახის არასიმეტრიული რეჟიმის წარმოდგენა ერთფაზა დაზიანებების შესაბამისი ელექტრული რეჟიმების სუპერპოზიციით საშუალებას იძლევა სხვადასხვა სახის არასიმეტრიული რეჟიმი, და მათ შორის მოკლე შერთვებიც, აღეწეროს წრფივი განტოლებებით, რაც თავის მხრივ შეუზღუდავს გახდის შესაძლო ავარიების ანალიზს.

განტოლებების კოეფიციენტები, ანუ კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინაღობები განივი ასიმეტრიის დროს გათვლილი უნდა იყოს წინასწარ (საწყისი ქსელის შესაბამისად) პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებისათვის. კვანძური წინაღობების მატრიცის ელემენტები უცვლელი რჩებიან ავარიების რაოდენობისა და კომბინაციების მიუხედავად.

დაზიანების უნიფიცირების მიზნით სხვადასხვა სახის მოკლე შერთვები წარმოვადგინეთ, როგორც ერთფაზა მოკლე შერთვების კომბინაცია. რათა ელექტრული რეჟიმის აღმწერი განტოლებები შევადგინოთ ერთიანი წესით გარკვეული (მოკლე შერთვის სახეობიდან გამომდინარე) შემზღუდავი (სასაზღვრო) პირობების გათვალისწინებით. მაგ. ორფაზა მოკლე შერთვა მიწაზე - როგორც ორი ერთფაზა მოკლე შერთვა, სამფაზა მოკლე შერთვა როგორც სამი ერთფაზა მოკლე შერთვა. ამ დროს აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იყოს კვანძების შერწყმის პირობა (იმ კვანძების სადაც განიხილება ერთფაზა მოკლე შერთვები), რაც გულისხმობს ამ კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინაღობების ტოლობას.

ერთიანი მიდგომის ჩამოსაყალიბებლად ფაზათაშორისო მოკლე შერთვაც წარმოვადგინეთ ერთფაზა მოკლე შერთვების კომბინაციით. ჩვენ დავეყრდენით ორფაზა მოკლე შერთვის (მიწაზე) შემთხვევისათვის მიღებულ განტოლებას და გავითვალისწინეთ ფაზათაშორისი მოკლე შერთვის პირობები, რომლებიც დაედო ამ განტოლებათა სისტემას.

ბოლოს მოცემულია დასკვნები და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალი.

კვლევის აქტუალობა. ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილება უნდა ხდებოდეს ქსელის მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში, ანუ უზრუნველყოფილი უნდა იყოს მუშაობის საიმედოობა და ენერჯის ხარისხი. ხშირად ნორმალური რეჟიმის დარღვევა ხდება სხვადასხვა ავარიული სიტუაციებისას. მაგალითად მოკლე შერთვებით, ხაზის ან ფაზის გაწყვეტებით, ან მათი კომბინაციით (სხვადასხვა სახის გრძივი და განივი დაზიანებებით). ქსელის ელემენტები დაცული უნდა იყოს ავარიული დენების მიერ დაზიანებისაგან.

ენერგეტიკული სისტემის მდგრადი, უავარიო და ეკონომიური მუშაობა შეუძლებელია სარელეო დაცვისა და ავტომატიკის მოწყობილობების გარეშე. დაზიანებული უბნის სწრაფი და სელექტიური გამორთვა ხდება თანამედროვე სარელეო დაცვის მოწყობილობებით. მათი საიმედო მუშაობისათვის გათვლილი უნდა იყოს შესაძლო ავარიული პარამეტრები. ამ პარამეტრების გათვლა გაანგარიშებას ეძღვნება მრავალი ნაშრომი და ჯერ კიდევ მიმდინარეობს ამ მიმართულებით კვლევა ძიება. ჩვენ დავამუშავეთ მეთოდიკა რთული ავარიული რეჟიმების გასაანგარიშებლად.

არსებული მეთოდების ნაკლოვანება. ჩვენთვის ცნობილი ალგორითმების მიხედვით, ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშება არ არის შესაძლებელი ორზე მეტი ერთდროული დაზიანების შემთხვევაში.

ნაშრომის მიზანი. ჩვენს მიზანს წარმოადგენდა მეთოდიკის დამუშავება, რომელიც ავარიული პარამეტრების გაანგარიშების საშუალებას მოგვცემდა ნებისმიერი სახისა და რაოდენობის მოკლე შერთვების დროს.

მეცნიერული სიახლე. დავამუშავეთ ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა გავიანგარიშოთ ნებისმიერი რაოდენობის ერთდროული სიმეტრიული და სხვადასხვა სახის არასიმეტრიული მოკლე შერთვები.

წარმოდგენილი მეთოდიკის საფუძველზე შევქმენით მათემატიკური მოდელი და ჩავატარეთ ანგარიშები პროგრამა MATLAB-ის საშუალებით. შემდგომში მიღებული მოდელის საფუძველზე შესაძლებელია დამუშავდეს პროგრამა მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემაში თანამედროვე დიზაინითა და გრაფიკით. ამ მეთოდის გამოყენებით კონკრეტული ქსელისათვის

ჩავატარეთ ანგარიშები ერთდროული არასიმეტრიული დაზიანებების შემთხვევაში.

ნაშრომში წარმოდგენილია არასიმეტრიული ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშების ალგორითმები, დაფუძნებული სისტემის მდგომარეობის ამსახველ კვანძურ განტოლებებზე.

არასიმეტრიული მოკლე შერთვის შემთხვევაში, სიმეტრიული სისტემებისათვის ჩამოყალიბებული თეორია გადავიტანეთ ავარიული რეჟიმების სიმეტრიულ მდგენელებში.

ე.ი თითოეული მიმდევრობის სქემაში დამოკიდებულება დენებსა და ძაბვებს შორის აღწერეთ კვანძური განტოლებებით, წინასწარ, თითოეული მიმდევრობის სქემისათვის გათვლილი კვანძური წინაღობების მატრიცის საშუალებით. ამ განტოლებათა გაანგარიშება ხდება ერთფაზა მოკლე შერთვისათვის დადგენილი სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით, რასაც უცნობების რიცხვი დაჰყავს დაზიანებათა რიცხვამდე. ამგვარად, განხილული მეთოდის თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ ნებისმიერი სახის დაზიანება წარმოიღვინება როგორც ერთფაზა მოკლე შერთვების რეჟიმების ზედდება.

ერთფაზა მოკლე შერთვის სასაზღვრო პირობები მოსახერხებელია უნიფიცირებული განტოლებების მისაღებად. ამიტომ ყველა სახის მოკლე შერთვას განვიხილავთ როგორც ერთფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმების ზედდებას. ასე მაგალითად, თუ სამი ერთფაზა მოკლე შერთვის (A, B და C ფაზებში) აღმწერ განტოლებებს დავადებთ კვანძების შერწყმის პირობას, რაც ითვალისწინებს კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღობების ტოლობას სამივე მიმდევრობის სქემებისათვის, მივიღებთ დაზიანების ადგილას დენების ფაზურ მნიშვნელობებს. იგივე ითქმის მიწაზე ორფაზა მოკლე შერთვის შემთხვევაში.

ფაზათაშორისი მოკლე შერთვებიც წარმოვადგინეთ აღნიშნული განტოლებებით, რომელთაც დაედოთ დამატებითი პირობა, განპირობებული ერთი ფაზის მეორე ფაზასთან უშუალო შეერთებით. ამ დამატებით პირობას

შეესაბამება ერთ-ერთი დაზიანებული ფაზის დენების (პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის სქემებში) შემობრუნება 120⁰-ით.

ამგვარად აღნიშნული განტოლებები ნებისმიერი სახის და რაოდენობის ერთდროული არასიმეტრიული მოკლე შერთვის გაანგარიშების საშუალებას იძლევიან.

ნაშრომის აპრობაცია.

- ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №17 მიმართულების თემატურ სემინარებზე და მოწონებული იქნა.

- 2009 წელი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია სამეცნიერო კონფერენცია, ენერგეტიკის სექცია - II ადგილი.

- 2010 წელი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია ენერგეტიკის სექცია - II ადგილი.

პუბლიკაციები. დისერაციის თემაზე გამოქვეყნებულია სტატიები რეცენზირებად, რეფერირებად რეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში.

თავი I

ნაშრომში წარმოდგენილ პრობლემასთან დაკავშირებით არსებული ლიტერატურის მიმოხილვა

ენერგოსისტემის პროექტირება და ექსპლუატაცია მოითხოვს დიდი რაოდენობით კვლევებს და გაანგარიშების ჩატარებას ნორმალური და ავარიული რეჟიმების პარამეტრების განსაზღვრასთან დაკავშირებით. ამ კვლევებს მიეკუთვნებიან დამყარებული ნორმალური რეჟიმების გაანგარიშებები, სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის ანალიზი, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების განაწილების ოპტიმიზაცია, მოკლე შერთვის დენების განსაზღვრა, მარეგულირებელი მოწყობილობებისა და ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის პარამეტრთა განსაზღვრა და სხვა. ენერგოსისტემის განვითარება იწვევს ამ ტიპის სამუშაოების გართულებას, რაც თავის მხრივ მოითხოვს თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების მაღალ დონეს.

დამყარებული რეჟიმის გაანგარიშებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იმ გარემოებების გამო, რომ ამ ანგარიშის შედეგები (ნაკადგანაწილება, კვანძური ძაბვები, ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგები) აუცილებელია არა მარტო ექსპლუატაციის პროცესისათვის, არამედ აუცილებელია სხვადასხვა ამოცანების ამოხსნისას. როგორებიცაა რეჟიმების ოპტიმიზაცია, გარდამავალი პროცესების ანგარიში, მოკლე შერთვების ანგარიში და სხვა.

ელექტრული სისტემების დამყარებული რეჟიმების ანგარიშისას, პასიური ელემენტების არაწრფივობა, როგორც წესი არ არის გათვალისწინებული. ამ მხრივ ჩანაცვლების სქემის გრძივი ნაწილი, ყოველთვის წრფივია. ამავე დროს, როგორც წესი, დამყარებული რეჟიმების ანგარიშისას ითვალისწინებენ დენის წყაროების არაწრფივ მახასიათებლებს.

დენის წყაროების არაწრფივობა შეესაბამება კვანძებში გენერატორებისა და მომხმარებლების ტვირთების მოცემას მუდმივი სიმძლავრით, ასევე დატვირთვების მოცემას მათი სტატიკური მახასიათებლებით, რომლებიც

წარმოდგენენ მომხმარებლის ტვირთის დამოკიდებულებას ძაბვაზე. ასეთი არაწრფივი ენერჯის წყაროების არსებობისას ელექტრული სისტემის დამყარებული რეჟიმები აღიწერება არაწრფივი ალგებრული განტოლებებით.

ავარიული რეჟიმების მათემატიკური მოდელები აღიწერებიან სისტემის მდგომარეობის ამსახველი იგივე განტოლებებით როგორც მიღებულია ნორმალური რეჟიმების ანალიზის დროს.

ელექტრული ქსელის ელექტრული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშება და ანალიზი წარმოებს ჩანაცვლების სქემების მიხედვით. ჩანაცვლების სქემა ძირითადად შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ყველა არსებული შტოს პასიური პარამეტრებით - წინაღობებითა და გამტარობებით, ან განზოგადებული პარამეტრებით, რომლებიც ასევე ასახავენ ქსელის თვისებებს.

ყველა შემთხვევაში სქემის ტოპოლოგია აისახება ინციდენტის I და II მატრიცებით, რომლებიც თავის მხრივ აისახებიან სქემის პასიური პარამეტრების ამსახველ მატრიცებში.

ელსისტემის ჩანაცვლების სქემაში გენერაცია და მომხმარებლის ტვირთები შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც კვანძური დენების ან სიმძლავრეების საშუალებით, ასევე შესაბამისი წინაღობებით ან გამტარობებით.

ორივე ტიპის ჩანაცვლების სქემის გამოყენებას საფუძვლად უდევს გარკვეული მოსაზრება და მიზანი, რომელიც შეიძლება გამომდინარეობდეს ამოცანის სპეციფიკურობიდან და არსებული რესურსების შესაძლებლობიდან.

ამ დროს სისტემის მდგომარეობა შეიძლება აღწერილი იყოს როგორც კვანძური, ისე კონტურული განტოლებებით. მეორე სახის ჩანაცვლების სქემის გამოყენების შემთხვევაში სისტემის მდგომარეობა შეიძლება აღიწეროს განზოგადებულ პარამეტრებიანი განტოლებებით, რაც წარმოდგენს ელექტრული სისტემის მდგრადობის ანალიზისა და ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშების საფუძველს. მოკლე შერთვის დენების გაანგარიშებისათვის გამოიყენება კვანძური ძაგების განტოლებები ან მათი შებრუნებული განტოლებები.

თავი II

ელექტრული ქსელების განზოგადებული პარამეტრები

ელექტროენერგეტიკის ის მათემატიკური ამოცანები, რომლებიც აღიწერებიან წრფივი ალგებრული განტოლებებით, შესაძლებელია გადაწყვეტილი იყოს ეკვივალენტური მოდელირების საფუძველზე. ანუ ისეთი ეკვივალენტური ფიზიკური მოდელის შექმნის საფუძველზე, რომელიც იძლევა შესაბამისი ალგებრული განტოლებების აგების და, აქედან გამომდინარე, შესაბამისი წესის დადგენის საშუალებას.

თუ წრფივ განტოლებათა სისტემა ასახავს დენებისა და ძაბვების ურთიერთდამოკიდებულებას, მაშინ იგი ფაქტიურად არის ამ განტოლებების საძიებელი ცვლადების (ანუ შესაბამისი იდეალური წყაროების) მიერ შექმნილი ელექტრული რეჟიმების სუპერპოზიცია.

მაგალითად, კვანძური ძაბვების მატრიცული განტოლება $Y_{\text{კვ}} \cdot U_{\text{კვ}} = I_{\text{კვ}}$ არის საძიებელი ძაბვების ტოლი იდეალური ძაბვის წყაროების მიერ შექმნილი რეჟიმების სუპერპოზიცია და მას შეესაბამება ფიზიკური მოდელი, სადაც კვანძებსა და ბაზისურ კვანძს შორის ჩართულია იდეალური ძაბვის წყაროები (განტოლებათა უცნობების შესაბამისი).

ფიზიკურ მოდელებში დენის წყაროს შეცვლა ძაბვის წყაროთი და პირიქით, იწვევს შესაბამისი განტოლებების კოეფიციენტთა მატრიცის, ანუ კვანძური გამტარობების მატრიცის შებრუნებას. შებრუნებული მატრიცა კი წარმოადგენს კვანძური წინაღობების მატრიცას, რომლის ელემენტები წარმოადგენენ ქსელის განზოგადებულ პარამეტრებს.

თუ განვიხილავთ განტოლებას, რომელიც აკავშირებს უცნობ კვანძურ დენებს კვანძურ ძაბვებთან, უნდა წარმოვიდგინოთ უცნობი დენის წყაროები ჩართული კვანძებსა და ბაზისურ კვანძს შორის. ამ შემთხვევაში კოეფიციენტების მატრიცა იქნება კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინაღობების მატრიცა.

ნაშრომში მოყვანილია კვანძური წინაღობების მატრიცის გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც კომპიუტერული რესურსების ეფექტურად გამოყენების საშუალებას იძლევა.

თავი III

ნორმალური რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების ალგორითმი

მოცემულ თავში წარმოდგენილია ნორმალური რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების ალგორითმი. განვიხილავთ მათემატიკურ მოდელს, რომელიც ეფუძნება კვანძური ძაბვების განტოლებას:

$$\dot{Y}_{\text{კვ}} (\dot{U}_{\text{კვ}} - U_{\text{ბ}}) = I_{\text{კვ}}$$

ანუ
$$\dot{Y}_{\text{კვ}} \dot{U}_{\text{კვ}} = \begin{bmatrix} S_i^* \\ U_i^* \end{bmatrix} + \dot{Y}_{\text{კვ}} U_{\text{ბ}}$$

სადაც $\dot{Y}_{\text{კვ}}$ – არის კვანძების საკუთარი და ურთიერთგამტარებლობის მატრიცა.

$\dot{U}_{\text{კვ}}$, $U_{\text{ბ}}$ – კვანძური ძაბვებისა და ბაზისური ძაბვების ვექტორ – მატრიცები.

$\begin{bmatrix} S_i^* \\ U_i^* \end{bmatrix}$ – კვანძური დენების ვექტორ–მატრიცაა.

ნორმალური რეჟიმის აქტიური პარამეტრების გაგნგარიშების დროს გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება ენერჯის ხარისხს, ამიტომ გათვალისწინებული უნდა იყოს დიდი სისტემებისათვის დამახასიათებელი პრობლემები.

პირველ რიგში ეს ეხება გენერატორულ სალტებზე ძაბვის რეგულირების პრობლემას და დატვირთვების სტატიური მახასიათებლების გათვალისწინებას, რეაქტიული სიმძლავრეების ნაკადების მართვასთან დაკავშირებულ გრძივ და განივ კომპენსაციას. არაწრფივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნისას, დასახული მიზნების მისაღწევად, ასევე მნიშვნელოვანია სისტემის მდგომარეობის ამსახველი განტოლებების ამოხსნისათვის შესაფერისი მათემატიკური მეთოდის შერჩევა.

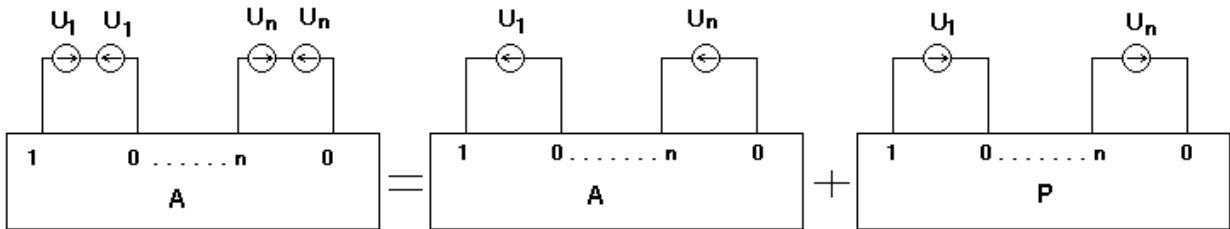
ზეიდელის მეთოდთან შედარებით უკეთესი შედეგი მივიღეთ მარტივი იტერაციის მეთოდის გამოყენებისას, ვინაიდან ამ დროს საშუალება მოგვეცა ყოველი შემდგომი იტერაციული ბიჯი დაგვეკავშირებინა გარდამავალი პროცესის შესაბამის ელექტრულ რეჟიმთან, რასაც წარმატება არ ქონდა ზეიდელის მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში. ამგვარი მათემატიკური მოდელის გამოყენება მართებული გამოდგა $\dot{Z}_{\text{კ}}$ მატრიცის გამოყენების შემთხვევაში, რასაც ვერ მივაღწიეთ კვანძური გამტარებლობის საწყისი ფორმის გამოყენების შემთხვევაში. ვინაიდან $\dot{Z}_{\text{კ}}$ მატრიცის გამოყენების შემთხვევაში ($\dot{Y}_{\text{კ}}$ მატრიცის გამოყენებასთან შედარებით) თვითოეულ ბიჯზე მიღებული კვანძური ძაბვები ახლოს არიან საძიებელთან და პრაქტიკულად ქმნიან ძაბვების ცვლილებების რეალურ სურათს, რაც აუცილებელია ძაბვის რეგულატორის მუშაობის იმიტაციისათვის.

თავი IV

დამყარებული რეჟიმების ანგარიში სიმეტრიული და არასიმეტრიული მოკლე შერთვების დროს

ელექტრულ ქსელებში დამყარებული რეჟიმები, რომლებიც აღიწერებიან წრფივი ალგებრული განტოლებებით, შეიძლება იმიტირებული იქნენ ეკვივალენტური ფიზიკური მოდელებით, სადაც განტოლებების საძიებელი უცნობები წარმოდგენილი იქნებიან ქსელში შესაბამის ადგილას ჩართული იდეალური ენერჯის წყაროებით. ხოლო ელექტრული რეჟიმი წარმოდგენილი იქნება, როგორც ამ იდეალური ენერჯის წყაროების მიერ შექმნილი ელექტრული რეჟიმების სუპერპოზიცია.

მოკლე შერთვა შეიძლება წარმოვადგინოთ ორი ტოლი სიდიდისა (მათ შორის, ნორმალური რეჟიმის სათანადო კვანძური ძაბვების ტოლი) და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძაბვის წყაროების ჩართვით.



მოკლე შერთვის დროს აქტიურ და პასიურ ქსელში ძაბვის წყაროების ჩართვა აქტიურ ქსელში ჩართული იდეალური ძაბვის წყაროები, რომლებიც სიდიდითა და მიმართულებით ემთხვევიან ნორმალური რეჟიმის კვანძურ ძაბვებს, ნორმალურ რეჟიმს არ ცვლიან, ხოლო პასიურ ქსელში ჩართული საწინააღმდეგოდ მიმართული ძაბვის წყაროები სუპერპოზიციის შედეგად შტოებში ქმნიან მოკლე შერთვის დენების ავარიულ შემდგენებს, მოკლე შერთვის ადგილას კი ავარიულ დენებს.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ მოკლე შერთვის დენების ანგარიშის თანამედროვე კომპიუტერული მეთოდები ძირითადად ეყარებიან კვანძურ განტოლებებს.

ნახაზზე წარმოდგენილ პასიურ ქსელში ჩართული კვანძური ძაბვების საწინააღმდეგოდ მიმართული ძაბვების მქონე ძაბვის წყაროები, სუპერპოზიციის შედეგად ქმნიან ელექტრულ რეჟიმს, რომელიც აღიწერება მატრიცული განტოლებით:

$$Y_{\text{კვ}} U_{\text{კვ}} = I_{\text{კვ}}$$

სადაც $Y_{\text{კვ}}$ – კვანძების საკუთარი და ურთიერთგამტარობის მატრიცა,

$U_{\text{კვ}}$ – ნორმალური რეჟიმის კვანძური ძაბვების ვექტორ-მატრიცა,

$I_{\text{კვ}}$ – კვანძების, ამ შემთხვევაში, მოკლე შერთვის დენების ვექტორ-მატრიცა.

$Y_{\text{კვ}} = M \cdot Y_{\text{დ}} \cdot M^T$ სადაც M - ინციდენციის I მატრიცაა, იგი ასახავს დამოუკიდებელ კვანძებსა და შტოებს შორის დამოკიდებულებას ანუ ელ. ქსელის გრაფიკულ სახეს, შეიცავს იმდენ სტრიქონს რამდენი დამოუკიდებელი კვანძიც არსებობს სქემაში და იმდენ სვეტს რამდენი შტოც არის, ხოლო M^T - ინციდენციის M მატრიცის ტრანსპონირებული მატრიცაა, $Y_{\text{დ}}$ - დიაგონალური გამტარებლობის მატრიცაა.

ყოველი კონკრეტული დაზიანების შემთხვევაში ზემოთ მოყვანილი განტოლების კოეფიციენტთა მატრიციდან გაუსის მეთოდით უნდა გამოირიცხოს ის კვანძური ძაბვები, რომელთა შესაბამის კვანძებში არ აქვს ადგილი მოკლე შერთვას და მიღებული მატრიცული ტოლობიდან განისაზღვროს დენები დაზიანების ადგილას. ამ ალგორითმის თავისებურებაა კომპიუტერული რესურსების ეკონომია ცალკეული კერძო შემთხვევის შესაბამისი გაანგარიშების დროს, რადგანაც ამ დროს ადგილი აქვს კვანძური გამტარებლობის მატრიცის ელემენტების გადაანგარიშებას და არა ამ მატრიცის შებრუნებას.

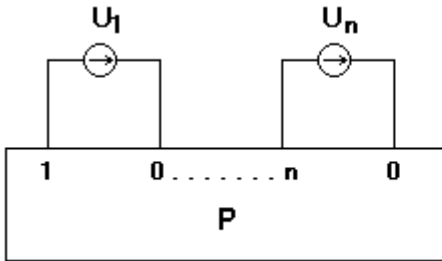
თუ ზემოთ მოყვანილ განტოლებიდან განვსაზღვრავთ კვანძურ ძაბვებს (ვიხილავთ მეორე ალგორითმს), ე.ი. ფიზიკურ მოდელში (ნახ.1) არსებულ ძაბვის წყაროებს შევცვლით დენის წყაროებით, და გადავალთ (ნახ.2)-ზე წარმოდგენილ ფიზიკურ მოდელზე, კოეფიციენტთა მატრიცა შეიცვლება შებრუნებული მატრიცით:

$$Y_{\text{კვ}}^{-1} I_{\text{კვ}} = U_{\text{კვ}},$$

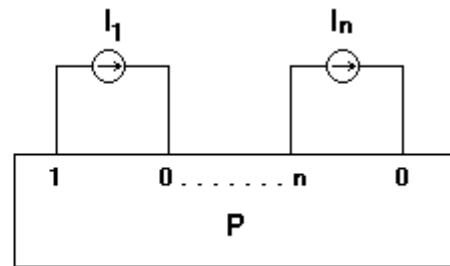
სადაც $Y_{\text{კვ}}^{-1} = Z_{\text{კვ}}$ არის კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღობების მატრიცა, ანუ

$$Z_{\text{კვ}} I_{\text{კვ}} = U_{\text{კვ}}.$$

მართალია კვანძური წინააღობების მატრიცის გაანგარიშება თხოულობს საკმაოდ დიდ კომპიუტერულ რესურსს, მაგრამ უკვე შემდგომი გაანგარიშებები, დაკავშირებული მოკლე შერთვების კერძო შემთხვევებთან, მოითხოვენ უმნიშვნელო რესურსებს, რადგანაც $Z_{\text{კვ}}$ მატრიცის ელემენტები მოკლე შერთვების რაოდენობისა და მათი კომბინაციის მიუხედავად უცვლელი რჩება (იდეალური დენის წყაროს უსასრულოდ დიდი წინააღობის გამო) და შეესაბამება საწყისი ქსელის კვანძების საკუთარ და ურთიერთწინააღობების მატრიცის ელემენტებს, რაც ამ ალგორითმს გარკვეულ უპირატესობას ანიჭებს.



ნახ.1



ნახ.2

$I_{\text{კვ}}$ ვექტორ-მატრიცაში ის ელემენტები, რომელთა შესაბამის კვანძებში მოკლე შერთვას არა აქვს ადგილი, ნულის ტოლია და შესაბამისად $Z_{\text{კვ}}$ მატრიცაზე გადამრავლებისას ამოირჩევა ის სვეტები, რომელთა შესაბამის კვანძებში ადგილი აქვს მოკლე შერთვას. ხოლო $U_{\text{კვ}}$ ვექტორ-მატრიცაში მოკლე შერთვის შესაბამისი ელემენტები ავარიამდელი (ნორმალური) რეჟიმის კვანძური ძაბვების ტოლი იქნება და მათი მეშვეობით განისაზღვრება განტოლებები, რომელთა ამოხსნაც გვაძლევს მოკლე შერთვის დენებს დაზიანების ადგილას.

თავი 5

დროში თანხვედრილი ერთფაზა მოკლე შერთვები

არასიმეტრიული ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშების ერთიანი მეთოდის ჩამოყალიბება საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ შესაბამისი ანგარიშები ნებისმიერი სახისა და კომბინაციის ავარიის დროს. ავარიული სიტუაციების აღმწერი განტოლებების უნიფიცირებისათვის შესაძლებელი გამოდგა ყველა სახის დაზიანების წარმოდგენა ერთფაზა დაზიანებით გარკვეული სასაზღვრო პირობების გათვალსწინებით.

როგორც ცნობილია არასიმეტრიული დაზიანებების ანალიზი ეყრდნობა სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდს, რომლის არსი მდგომარეობს არასიმეტრიული რეჟიმის დაშლაში სამ სიმეტრიულ რეჟიმად: პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის რეჟიმებად რათა შემდგომ თითოეული მიმდევრობის სქემაში გამოყენებული იქნეს ყველა ის მეთოდი, რომელიც სამართლიანია სიმეტრიული სისტემებისათვის. ამგვარად წინასწარ უნდა დადგინდეს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემების პასიური პარამეტრები და გაითვალოს მათი შესაბამისი კვანძური გამტარებლობისა და კვანძური წინაღობების მატრიცები.

ფაზის ოპერატორი a , რომლის მოდული უდრის ერთს, ხოლო არგუმენტი 120° , საშუალებას იძლევა სიმეტრიული სისტემის ნებისმიერი ვექტორი გამოვსახოთ იმავე სისტემის რომელიმე ერთი ვექტორით.

მოკლე შერთვის დენების მოდელირება დაზიანების ადგილას ხდება დენის წყაროებით, რომლებიც შესაბამისი განტოლებების ამოხსნის შემდეგ იქნებიან მოკლე შერთვის დენების ტოლი.

თუ მოკლე შერთვის მოდელირებას მოვახდენთ დაზიანების ადგილას იდეალური დენის წყაროების ჩართვით, მაშინ ამ დენის წყაროების ურთიერთქმედების აღმწერი განტოლებების კოეფიციენტები უცვლელი იქნება მოკლე შერთვის რაოდენობისა და მათი კომბინაციის მიუხედავად (იდეალური დენის წყაროს უსასრულოდ დიდი წინაღობის გამო).

განტოლებების კოეფიციენტები, ანუ კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღმდეგობები განივი ასიმეტრიის დროს გათვლილი უნდა იყოს წინასწარ (საწყისი ქსელის შესაბამისად) პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებისათვის. კვანძური წინააღმდეგობების მატრიცის ელემენტები უცვლელი რჩებიან ავარიების რაოდენობისა და კომბინაციების მიუხედავად.

განვიხილოთ სამი ერთდროული ერთფაზა მოკლე შერთვები i, j და k კვანძებში შესაბამისად A, B და C ფაზებზე.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის სქემები წარმოადგენენ სიმეტრიულ სამფაზა სქემებს, სადაც ადგილი აქვს სამფაზა მოკლე შერთვებს i, j, k კვანძებში.

პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის სქემებში დაზიანების ადგილას დენები წარმოდგენილი არიან განსაკუთრებული ფაზის დენებისა და ვექტორის ძვრის a ოპერატორის მეშვეობით, რათა შემდგომ უცნობთა რიცხვის შემცირების მიზნით გამოვიყენოთ ის დამატებითი პირობები, რომლებსაც ადგილი აქვთ ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს დაზიანების ადგილას, კერძოდ: $I' = I'' = I^0$ და $U' + U'' + U^0 = 0$.

ამრიგად, პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის სქემების i კვანძში B და C ფაზის დენები (დაზიანების ადგილას) გამოსახულია A ფაზის დენის საშუალებით, j კვანძში A და C ფაზის დენები B ფაზის დენის მეშვეობით, ხოლო k კვანძში A და B ფაზის დენები – C ფაზის დენით (ნახ.1, ნახ.2, ნახ.3)

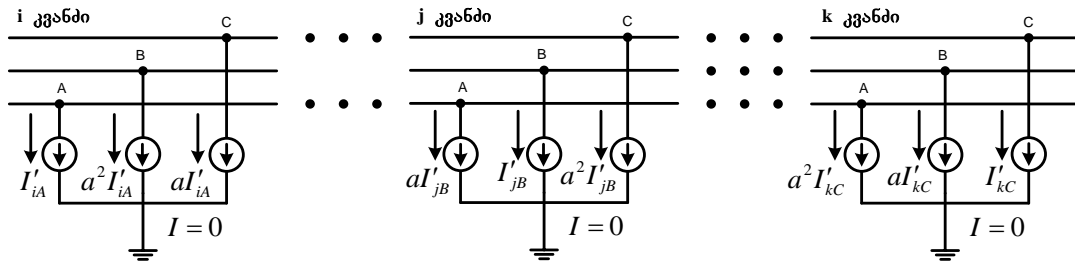
$$i \text{ კვანძისათვის } \left. \begin{aligned} I'_{iA} = I''_{iA} = I^0_{iA} \\ U'_{iA} + U''_{iA} + U^0_{iA} = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$j \text{ კვანძისათვის } \left. \begin{aligned} I'_{jB} = I''_{jB} = I^0_{jB} \\ U'_{jB} + U''_{jB} + U^0_{jB} = 0 \end{aligned} \right\}$$

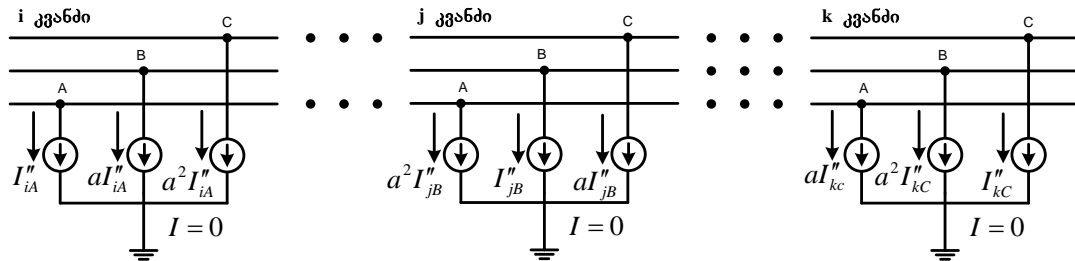
$$k \text{ კვანძისათვის } \left. \begin{aligned} I'_{kC} = I''_{kC} = I^0_{kC} \\ U'_{kC} + U''_{kC} + U^0_{kC} = 0 \end{aligned} \right\}$$

თუ პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებში (ნახ.1, ნახ.2, ნახ.3) დაზიანების ადგილას გამავალ დენებს წარმოვადგენთ ამ დენების

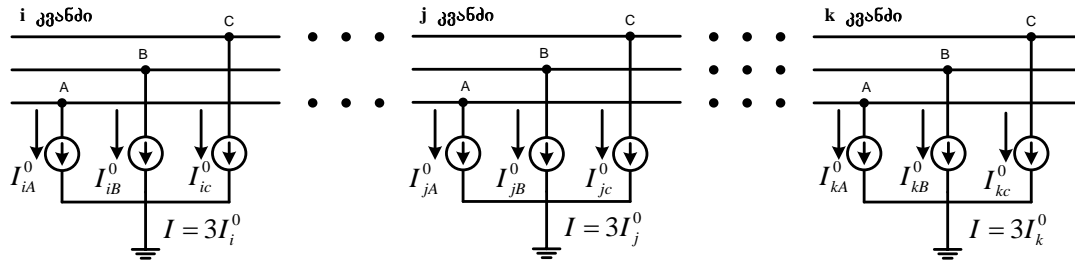
ტოლი სიდიდისა და მიმართულების მქონე დენის წყაროებით, მაშინ ამ ქსელებში არსებული ელექტრული რეჟიმები უცვლელი იქნება, ხოლო დაზიანების ადგილის მოდელირება უსასრულოდ დიდი წინააღობის მქონე დენის წყაროებით, საშუალებას მოგვცემს სისტემის მდგომარეობის ამსახველ განტოლებებში კოეფიციენტებად გამოვიყენოთ სათანადო მიმდევრობის ქსელის კვანძური პარამეტრები – კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები, რომელთა მნიშვნელობა არ შეიცვლება დაზიანების რაოდენობისა და ადგილმდებარეობის მიხედვით.



ნახ. 1 პირდაპირი მიმდევრობის სქემა



ნახ. 2 უკუ მიმდევრობის სქემა



ნახ. 3 ნულოვანი მიმდევრობის სქემა

როგორც ცნობილია პირდაპირი მიმდევრობის დენები ცირკულირებს მხოლოდ პირდაპირი მიმდევრობის ქსელში, ამიტომ i კვანძის შესაბამისი განტოლება იქნება i, j, k კვანძების A ფაზის დენების ურთიერთქმედების განტოლება, j კვანძის – i, j, k კვანძების B ფაზის დენების

ურთიერთქმედების განტოლება და შესაბამისად k კვანძის – C ფაზის დენების ურთიერთქმედების განტოლება:

i კვანძის განტოლებებს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობების სქემების მიხედვით ექნება სახე:

$$Z'_{ii}I'_{iA} + Z'_{ij}aI'_{jB} + Z'_{ik}a^2I'_{kC} = E_{iA} - U'_{iA}$$

$$Z''_{ii}I''_{iA} + Z''_{ij}a^2I''_{jB} + Z''_{ik}aI''_{kC} = -U''_{jB}$$

$$Z^0_{ii}I^0_{iA} + Z^0_{ij}I^0_{jB} + Z^0_{ik}I^0_{kC} = -U^0_{iA}$$

მიღებული განტოლებების აჯამვა i კვანძისათვის ერთფაზა მ.შ. სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით მოგვცემს:

$$(Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iA} + (aZ'_{ij} + a^2Z''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jB} + (a^2Z'_{ik} + aZ''_{ik} + Z^0_{ik})I'_{kC} = E_{iA}$$

ანალოგიურად მივიღებთ განტოლებებს j და k კვანძებისათვის:

$$(a^2Z'_{ji} + aZ''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iA} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (aZ'_{jk} + a^2Z''_{jk} + Z^0_{jk})I'_{kC} = E_{jB} = a^2E_{jA}$$

$$(aZ'_{ki} + a^2Z''_{ki} + Z^0_{ki})I'_{iA} + (a^2Z'_{kj} + aZ''_{kj} + Z^0_{kj})I'_{jB} + (Z'_{kk} + Z''_{kk} + Z^0_{kk})I'_{kC} = E_{kC} = aE_{kA}$$

საბოლოოდ მივიღებთ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iA} + (aZ'_{ij} + a^2Z''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jB} + (a^2Z'_{ik} + aZ''_{ik} + Z^0_{ik})I'_{kC} = E_{iA} \\ (a^2Z'_{ji} + aZ''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iA} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (aZ'_{jk} + a^2Z''_{jk} + Z^0_{jk})I'_{kC} = E_{jB} = a^2E_{jA} \\ (aZ'_{ki} + a^2Z''_{ki} + Z^0_{ki})I'_{iA} + (a^2Z'_{kj} + aZ''_{kj} + Z^0_{kj})I'_{jB} + (Z'_{kk} + Z''_{kk} + Z^0_{kk})I'_{kC} = E_{kC} = aE_{kA} \end{cases} \quad (1)$$

მიღებული წრფივი განტოლებათა სისტემით აღიწერება ზემოთ აღნიშნული დაზიანება, ანუ ერთდროული ერთფაზა მოკლე შერთვები i , j , k კვანძებში, როდესაც i კვანძში დამოკლებულია ფაზა A , j კვანძში ფაზა B და k კვანძში ფაზა C . მისი ამონახსნი არის დაზიანების ადგილას ფაზური დენების მესამედი.

განტოლებათა სისტემის კოეფიციენტების ანალიზისას შევამჩნევთ, რომ უცნობების კოეფიციენტები ყალიბდებიან გარკვეული წესით, რომელიც დამოკიდებულია იმაზე თუ რა მიმართებაშია თვითოეული უცნობების შესაბამისი დაზიანებული ფაზა (i , j ან k კვანძებში) განსაკუთრებულ ფაზასთან – თანმხვედრილია, ჩამორჩენილია თუ წინმსწრები. ამგვარად იმ კვანძების შესაბამისი საკუთარი და ურთიერთწინააღობები, რომლებიც

ამორჩევიან მთელი სქემის შესაბამისი მატრიცებიდან პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებისათვის გადაანგარიშდებიან ფორმულებით:

$$[Z'] + [Z''] + [Z^0] = [Z_{\text{თანხვედრ}}] - \text{თანხვედრილი ფაზისათვის.}$$

$$a[Z'] + a^2[Z''] + [Z^0] = [Z_{\text{ჩამორჩენილი}}] - \text{ჩამორჩენილი ფაზისათვის.}$$

$$a^2[Z'] + a[Z''] + [Z^0] = [Z_{\text{წინმსწრები}}] - \text{წინმსწრები ფაზისათვის.}$$

თუ (1) განტოლებათა სისტემას დავადებთ კვანძების შერწყმის პირობას $Z_{ii} = Z_{jj} = Z_{kk} = Z_{ij} = Z_{ik} = Z_{kj}$ ანუ ჩავთვლით რომ i, j, k ერთიდაიგივე კვანძია, მივიღებთ განტოლებათა სისტემას, რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია გავიანგარიშოთ სხვადასხვა სახის მოკლე შერთვები. დაზიანებების აღწერის უნიფიცირების მიზნით, სხვადასხვა სახის მოკლე შერთვებს წარმოვადგენთ, როგორც ერთფაზა მოკლე შერთვების კომბინაციას. რათა შემდეგ ელექტრული რეჟიმის აღმწერი განტოლებები შევადგინოთ ერთიანი წესით, გარკვეული (მოკლე შერთვის სახეობიდან გამომდინარე) შემზღუდავი (სასაზღვრო) პირობების გათვალისწინებით. მაგალითად ორფაზა მოკლე შერთვა მიწაზე - როგორც ორი ერთფაზა მოკლე შერთვა, სამფაზა მოკლე შერთვა როგორც სამი ერთფაზა მოკლე შერთვა. ამ დროს აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იყოს კვანძების შერწყმის პირობა (იმ კვანძების სადაც განიხილება ერთფაზა მოკლე შერთვები), რაც გულისხმობს ამ კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღობების ტოლობას სამივე მიმდევრობის სქემაში.

ფაზათაშორისი მოკლე შერთვები

არასიმეტრიული ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშების ერთიანი მეთოდის ჩამოყალიბება საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ შესაბამისი ანგარიშები ნებისმიერი სახისა და კომბინაციის ავარიის დროს. ავარიული სიტუაციების აღმწერი განტოლებების უნიფიცირებისათვის შესაძლებელი გამოდგა ყველა სახის დაზიანების წარმოდგენა ერთფაზა დაზიანებით გარკვეული სასაზღვრო პირობების გათვალსწინებით.

როგორც ცნობილია არასიმეტრიული დაზიანებების ანალიზი ეყრდნობა სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდს, რომლის არსი მდგომარეობს არასიმეტრიული რეჟიმის დაშლაში სამ სიმეტრიულ რეჟიმად: პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის რეჟიმებად რათა შემდგომ თითოეული მიმდევრობის სქემაში გამოყენებული იქნეს ყველა ის მეთოდი, რომელიც სამართლიანია სიმეტრიული სისტემებისათვის. ამის უფლებას იძლევა ის დებულება, რომ ცალკეული მიმდევრობის სქემაში ცირკულირებს მხოლოდ შესაბამისი მიმდევრობის დენები და ურთიერთკავშირი ძაბვებსა და დენებს შორის აღიწერება ცნობილი კანონებით, ხოლო კავშირი მიმდევრობებს შორის მყარდება ავარიის ადგილას იმ სასაზღვრო პირობების მიხედვით, რომელიც ახასიათებს ამა თუ იმ დაზიანებას. ამგვარად წინასწარ უნდა დადგინდეს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემების პასიური პარამეტრები და გაითვალოს მათი შესაბამისი კვანძური გამტარებლობისა და კვანძური წინააღობების მატრიცები განივი ასიმეტრიის შემთხვევაში.

ნაშრომში მიწაზე მოკლე შერთვები (ორფაზა და სამფაზა) ადვილად წარმოვადგინეთ ერთფაზა მოკლე შერთვებით მიწაზე. ერთიანი მიდგომის ჩამოსაყალიბებლად საჭიროა იყო ფაზათაშორისი მოკლე შერთვის წარმოდგენა ორი ერთფაზა მოკლე შერთვით მიწაზე, რათა მიგვეიღო ყველა სახის არასიმეტრიული მოკლე შერთვის აღმწერი უნიფიცირებული განტოლებები.

ფაზათაშორისო მოკლე შერთვის ერთფაზა მოკლე შერთვების კომბინაციით წარმოდგენისას, ჩვენ დავეყრდენით ორფაზა მოკლე შერთვის

(მიწაზე) შემთხვევისათვის მიღებულ განტოლებებსა და გავითვალისწინეთ დამატებითი პირობები, რომლებიც დაედო ამ განტოლებათა სისტემას.

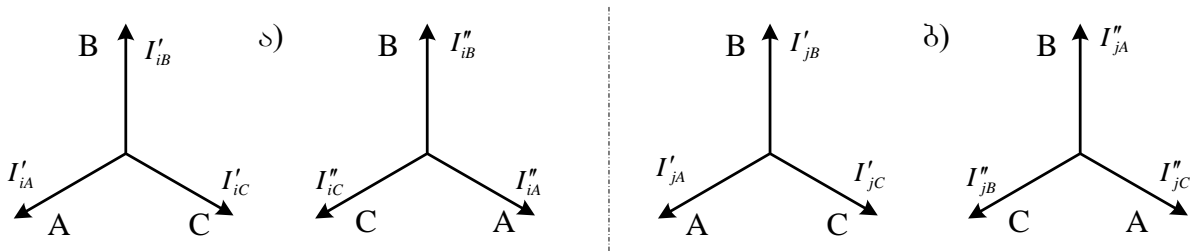
i კვანძში ორფაზა მოკლე შერთვა მიწაზე აღიწერება განტოლებებით:

$$\begin{cases} (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iB} + (aZ'_{ii} + a^2Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iC} = aE_{iA} \\ (a^2Z'_{ii} + aZ''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iB} + (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iC} = a^2E_{iA} \end{cases}$$

სადაც: $Z'_{ii}, Z''_{ii}, Z^0_{ii}$ – i კვანძის საკუთარი წინააღობაა სამივე მიმდევრობის სქემაში; E_{iA} – i კვანძის A ფაზის ძაბვაა

ერთფაზა მოკლე შერთვის დამახასიათებელი პირობაა, რომ დაზიანების ადგილას განსახილველი ფაზის სხვადასხვა მიმდევრობის დენები, ერთმანეთის ტოლია ფაზით და აბსოლუტური სიდიდით. ამ პირობის დაცვით, i და j კვანძებისათვის ავაგეთ სამივე მიმდევრობის დენების დიაგრამა როცა i კვანძში დამოკლებულია B ფაზა და j კვანძში კი C ფაზა. ამ კვანძების შერწყმა, გვაძლევს მიწაზე ორფაზა მოკლე შერთვას.

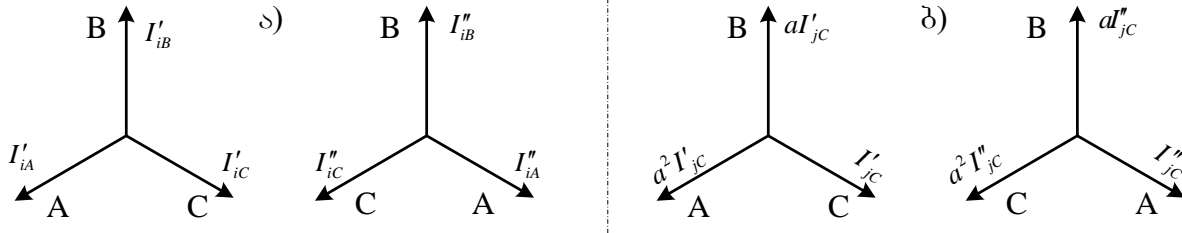
$$Z'_{ii} = Z'_{jj} = Z'_{ij} \quad Z''_{ii} = Z''_{jj} = Z''_{ij} \quad Z^0_{ii} = Z^0_{jj} = Z^0_{ij}$$



დენების დიაგრამები ა) ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს B ფაზაში (i კვანძში); ბ) ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს C ფაზაში (j კვანძში)

როგორც უკვე აღვნიშნეთ ფაზათაშორისი მოკლე შერთვის დროს პირობის გარდა საჭიროა დამატებითი პირობები, რომლებიც ითვალისწინებს i კვანძის B ფაზის მიერთებას j კვანძის C ფაზასთან ($I_B = -I_C$), ანუ $I'_{Bi} = -I'_{Cj} = I''_{Bi} = -I''_{Cj}$ ამ პირობის შესრულება შეესაბამება j კვანძის პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენების დიაგრამების მობრუნებას 120° -ით, რათა j კვანძის C ფაზის პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენები დაემთხვენ i კვანძის B ფაზის შესაბამის დენებს. ნულოვანი მიმდევრობის დენების სიდიდე განისაზღვრება სამივე მიმდევრობის სქემების პარამეტრებით და

ვინაიდან დენების ნულოვანი სისტემა ქმნის ერთფაზა სისტემას, მისი მიმართულება დაემთხვევა განსაკუთრებული ფაზის პირდაპირი ან უკუ მიმდევრობის დენების მიმართულებას. ერთფაზა მოკლე შერთვის სასახლვრო პირობებიდან გამომდინარე:



დენების დიაგრამები: ა) i კვანძის პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენების დიაგრამა. ბ) j კვანძის პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენების დიაგრამა 120° -ით შემობრუნების შემდეგ.

i კვანძისათვის დენების განტოლებებს სამივე მიმდევრობის სქემებისათვის i კვანძის B ფაზის მიმართ ექნებათ სახე:

$$\left. \begin{aligned} Z'_{ii} I'_{Bi} + aZ'_{ij} I'_{Cj} &= E'_{Bi} - U'_{Bi} \\ Z''_{ii} I''_{Bi} + aZ''_{ij} I''_{Cj} &= U''_{Bi} \\ Z^0_{ii} I^0_{Bi} + Z^0_{ij} I^0_{Cj} &= -U^0_{Bi} \end{aligned} \right\}$$

მოცემული განტოლება ასახავს i და j კვანძების დენების ურთიერთდამიკიდებულებას ერთფაზა სისტემაში. განტოლებების შეკრება გვაძლევს განტოლებას i კვანძისათვის:

$$(Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii}) I'_{Bi} + (aZ'_{ij} + aZ''_{ij} + Z^0_{ij}) I'_{Cj} = E_{Bi} = a^2 E_A$$

დენების განტოლებები სამივე მიმდევრობის სქემებისათვის (j კვანძის C ფაზის მიმართ) იქნება:

$$\left. \begin{aligned} Z'_{jj} aI'_{Cj} + Z'_{ji} I'_{Bi} &= aE'_{Cj} - aU'_{Cj} \\ Z''_{jj} aI''_{Cj} + Z''_{ji} I''_{Bi} &= -aU''_{Cj} \\ Z^0_{jj} I^0_{Cj} + Z^0_{ji} I^0_{Bi} &= -U^0_{Cj} \end{aligned} \right\}$$

ამ განტოლებათა სისტემის პირველი და მეორე განტოლების ყველა წევრი გავამრავლოთ a^2 -ზე და შემდეგ მოვახდინოთ მათი აჯამვა ერთფაზა მოკლე შერთვის პირობების გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$(Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{Cj} + (a^2Z'_{ji} + a^2Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{Bi} = E_{Cj} = aE_A$$

ამგვარად მივიღეთ განტოლებათა სისტემა

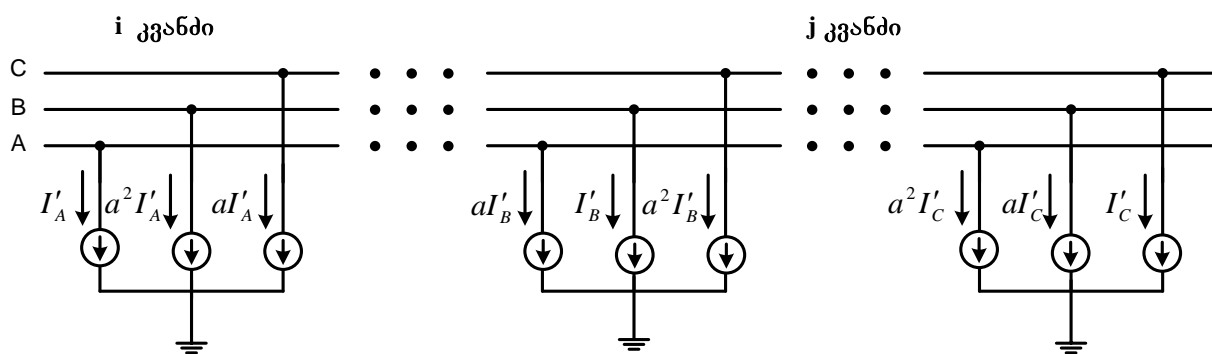
$$\left. \begin{aligned} (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{Bi} + (aZ'_{ij} + aZ''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{Cj} &= a^2E_A \\ (a^2Z'_{ji} + a^2Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{Bi} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{Cj} &= aE_A \end{aligned} \right\}$$

რომლის ამოხსნაც კვანძების შერწყმის პირობის გათვალისწინებით გვაძლევს B და C ფაზური დენების მნიშვნელობის ერთ მესამედს ორფაზა (ფაზათაშორისი) მოკლე შერთვის დროს.

ფაზათაშორისი მოკლე შერთვების ადგილას ფაზური დენების სხვა კვანძებში მომხდარი ერთფაზა მოკლე შერთვას ფაზურ დანებთან ურთიერთდამოკიდებულების დასადგენად განვიხილოთ შემდეგი შემთხვევები.

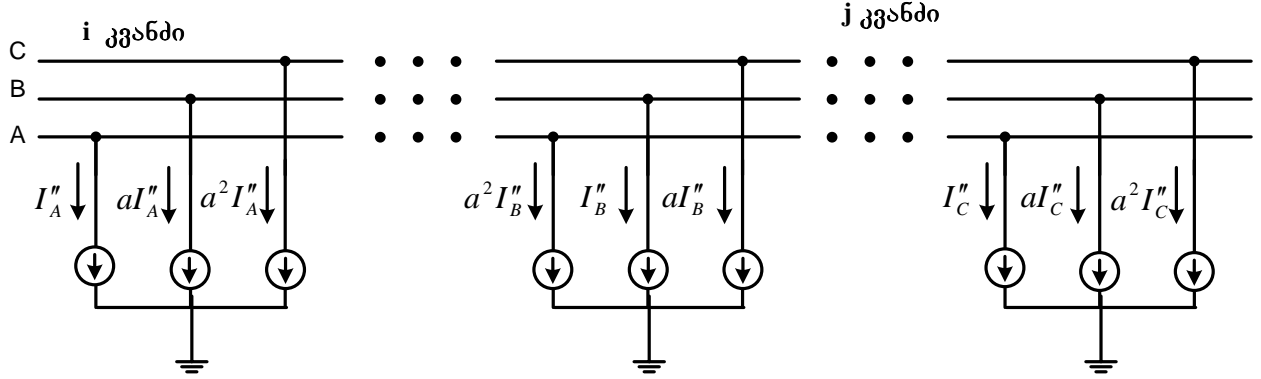
ჯერ განვიხილოთ ერთფაზა მოკლე შერთვა i კვანძში (A ფაზაში) და ფაზათაშორისი (B და C ფაზებს შორის) მოკლე შერთვა j კვანძში.

პირდაპირი მიმდევრობის სქემაში მოკლე შერთვის ადგილას i და j კვანძებში მოვახდინოთ მოკლე შერთვის დენების მოდელირება დენის წყაროებით. j კვანძში განვიხილოთ ორფაზა მოკლე შერთვა როგორც ორი ერთფაზა მოკლე შერთვის კომბინაცია კვანძების შერწყმის პირობის გათვალისწინებით (ზემოთ აღნიშნულის შესაბამისად).



პირდაპირი მიმდევრობის სქემაში i(A ფაზა) და j(B,C ფაზა) კვანძებში მოკლე შერთვის დენების მოდელირება დენის წყაროებით

ასევე მოვახდინოთ მოკლე შერთვის დენების მოდელირება დენის წყაროებით უკუ მიმდევრობის სქემაში:



უკუ მიმდევრობის სქემაში i (A ფაზა) და j (B,C ფაზა) კვანძებში მოკლე შერთვის დენების მოდელირება დენის წყაროებით

A ფაზის დენების დამაკავშირებელ განტოლებებს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებისათვის ექნებათ სახე:

$$i \text{ კვანძისათვის: } \begin{cases} Z'_{ii} I'_{iA} + Z'_{ij} a I'_{jB} + Z'_{ij} a^2 I'_{jC} = E_{iA} - U'_{iA} \\ Z''_{ii} I''_{iA} + Z''_{ij} a^2 I''_{jB} + Z''_{ij} a I''_{jC} = -U''_{iA} \\ Z^0_{ii} I^0_{iA} + Z^0_{ij} I^0_{jB} + Z^0_{ij} I^0_{jC} = -U^0_{iA} \end{cases}$$

მოცემული განტოლებების შეკრება ერთფაზა მოკლე შერთვის პირობის გათვალისწინებით გვაძლევს:

$$(Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii}) I'_{iA} + (a Z'_{ij} + a^2 Z''_{ij} + Z^0_{ij}) I'_{jB} + (a^2 Z'_{ij} + Z''_{ij} + Z^0_{ij}) I'_{jC} = E_{iA}$$

j კვანძის B ფაზისათვის გვექნება:

$$\begin{cases} Z'_{ji} a^2 I'_{iA} + Z'_{jj} I'_{jB} + Z'_{jj} a I'_{jC} = E_{jB} - U'_{jB} \\ Z''_{ji} a I''_{iA} + Z''_{jj} I''_{jB} + Z''_{jj} a I''_{jC} = -U''_{jB} \\ Z^0_{ji} I^0_{iA} + Z^0_{jj} I^0_{jB} + Z^0_{jj} I^0_{jC} = -U^0_{jB} \end{cases}$$

მიღებული განტოლებების შეკრება გვაძლევს:

$$(a^2 Z'_{ji} + a Z''_{ji} + Z^0_{ji}) I'_{iA} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj}) I'_{jB} + (a Z'_{jj} + a Z''_{jj} + Z^0_{jj}) I'_{jC} = E_{jB}$$

j კვანძის C ფაზისათვის გვექნება:

$$\begin{cases} Z'_{ji} a I'_{iA} + Z'_{jj} a^2 I'_{jB} + Z'_{jj} I'_{jC} = E_{jC} - U'_{jC} \\ Z''_{ji} a^2 I''_{iA} + Z''_{jj} a I''_{jB} + Z''_{jj} a^2 I''_{jC} = -a^2 U''_{jC} \\ Z^0_{ji} I^0_{iA} + Z^0_{jj} I^0_{jB} + Z^0_{jj} I^0_{jC} = -U^0_{jC} \end{cases}$$

ბოლო განტოლებათა სისტემის მე-2 განტოლება გავამრავლოთ a -ზე
სამივე განტოლება შევკრიბოთ, მივიღებთ:

$$(aZ'_{ji} + Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iA} + (a^2Z'_{jj} + a^2Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = E_{jC}$$

საბოლოოდ გვექნება:

$$\begin{cases} (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iA} + (aZ'_{ij} + a^2Z''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jB} + (a^2Z'_{ij} + Z''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jC} = E_{iA} \\ (a^2Z'_{ji} + aZ''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iA} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (aZ'_{jj} + aZ''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = a^2E_{jA} \\ (aZ'_{ji} + Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iA} + (a^2Z'_{jj} + a^2Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = aE_{jA} \end{cases}$$

ბოლო განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგად მივიღებთ I'_{iA} , I'_{jB} , I'_{jC} ,
რომელთა გასამმაგებელი მნიშვნელობა არის დენების ფაზური მნიშვნელობა
დაზიანებების ადგილას, i კვანძის A ფაზაში და j კვანძის B და C
ფაზებში.

განვიხილოთ ერთფაზა მოკლე შერთვა i კვანძში (B ფაზაში) და
ფაზათაშორისი (B და C ფაზებს შორის) მოკლე შერთვა j კვანძში.

ანალოგიურად ჩატარებული ანალიზის შედეგად ვღებულობთ
განტოლებათა სისტემას

$$\begin{cases} (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iB} + (Z'_{ij} + Z''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jB} + (aZ'_{ij} + aZ''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jC} = a^2E_{iA} \\ (Z'_{ji} + Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iB} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (aZ'_{jj} + aZ''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = a^2E_{iA} \\ (a^2Z'_{ji} + a^2Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iB} + (a^2Z'_{jj} + a^2Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = aE_{jA} \end{cases}$$

რომლის ამოხსნის შედეგად მიღებული დენების სამზე გამრავლება
გვაძლევს ფაზურ დენებს დაზიანების ადგილას ანუ ფაზურ დენებს i კვანძის
B ფაზაში და j კვანძის B და C ფაზებში

ასევე განვიხილოთ ერთფაზა მოკლე შერთვა i კვანძში (C ფაზაში) და
ფაზათაშორისი (B და C ფაზებს შორის) მოკლე შერთვა j კვანძში, მივიღებთ:

$$\begin{cases} (Z'_{ii} + Z''_{ii} + Z^0_{ii})I'_{iC} + (a^2Z'_{ij} + aZ''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jB} + (Z'_{ij} + a^2Z''_{ij} + Z^0_{ij})I'_{jC} = aE_{iA} \\ (aZ'_{ji} + a^2Z''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iC} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (aZ'_{jj} + aZ''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = a^2E_{iA} \\ (Z'_{ji} + aZ''_{ji} + Z^0_{ji})I'_{iC} + (a^2Z'_{jj} + a^2Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jB} + (Z'_{jj} + Z''_{jj} + Z^0_{jj})I'_{jC} = aE_{jA} \end{cases}$$

რომლის ამოხსნის შედეგად მიღებული დენების სამზე გამრავლება გვაძლევს ფაზურ დენებს დაზიანების ადგილას - i კვანძის C ფაზაში და j კვანძის B და C ფაზებს შორის.

როგორც მიღებული განტოლებებიდან გამომდინარეობს ფაზათაშორისი მ.შ.-ის ანალიზის ჩართვა უნიფიცირებულ მეთოდის კადრში, მოითხოვს განტოლებათა კოეფიციენტების დამატებით გადაანგარიშებას იმისდა მიხედვით თუ რა მიმართებაშია ფაზათაშორისი მ.შ.-ის ავარიული დენები სხვა დაზიანებული ფაზების მიმართ და პირიქით.

როგორც ავარიული რეჟიმების აღმწერი განტოლებებიდან ჩანს, ყველა შემთხვევისათვის, თანმხვედრი, წინმსწრები და ჩამორჩენილი ფაზების შესაბამისი კოეფიციენტები გაიანგარიშებიან ქვემოთ მოყვანილი ფორმულებით, სადაც გამოსახულებებში შემავალი წინააღობები წარმოადგენენ კვანძური მატრიცებიდან (დაზიანებული კვანძის ნომრის შესაბამისი ინდექსების მიხედვით) ამოკრეფილი ელემენტებისაგან შემდგარ მატრიცებს.

$$Z_{თან} = Z' + Z'' + Z^0$$

$$Z_{წინმსწ} = a \cdot Z' + a^2 \cdot Z'' + Z^0$$

$$Z_{ჩამ} = a^2 \cdot Z' + a \cdot Z'' + Z^0$$

$$ZZ_{წინმსწ} = a \cdot Z' + a \cdot Z'' + Z^0$$

$$ZZ_{ჩამ} = a^2 \cdot Z' + a^2 \cdot Z'' + Z^0$$

$$A_{ჩამ} = a^2 \cdot Z' + Z'' + Z^0$$

$$B_{ჩამ} = Z' + a^2 \cdot Z'' + Z^0$$

$$A_{წინმსწ} = a \cdot Z' + Z'' + Z^0$$

$$B_{წინმსწ} = Z' + a \cdot Z'' + Z^0$$

დასკვნა

ნებისმიერი სახის არასიმეტრიული რეჟიმების გასაანგარიშებლად ვეერდნობით სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდს, რომლის თანახმადაც არასიმეტრიული რეჟიმი იშლება სამ სიმეტრიულ რეჟიმად.

სიმეტრიულ მდგენელთა მეთოდის არსი მდგომარეობს არასიმეტრიული რეჟიმის დაშლაში სამ სიმეტრიულ რეჟიმად: პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის რეჟიმებად, რათა შემდგომ, თითოეული მიმდევრობის სქემაში გამოყენებული იქნეს ყველა ის მეთოდი, რომელიც სამართლიანია სიმეტრიული სისტემებისათვის.

არასიმეტრიული ავარიული რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშების ერთიანი მეთოდიკის ჩამოყალიბება საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ შესაბამისი ანგარიშები ნებისმიერი სახისა და კომბინაციის ავარიის დროს. ავარიული სიტუაციების აღმწერი განტოლებების უნიფიცირებისათვის შესაძლებელი გამოდგა ყველა სახის დაზიანების წარმოდგენა ერთფაზა დაზიანებით გარკვეული სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით, რადგანაც ერთფაზა მოკლე შერთვის შესაბამისი სასაზღვრო პირობები იძლევა უცნობების შემცირების საშუალებას (რომელთა რიცხვი მნიშვნელოვნად იზრდება სიმეტრიულ შემდგენლებად დაშლის გამო) მოკლე შერთვების აღმწერი უნიფიცირებული განტოლებების შედგენას. სამფაზა მოკლე შერთვა მიწაზე წარმოვადგინეთ, როგორც ერთფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმების ზედდება დამატებითი პირობების გათვალისწინებით, რაც გულისხმობს ფიქტიური კვანძების შერწყმის პირობას. შერწყმის პირობის ქვეშ ვგულისხმობთ ავარიის შესაბამისი კვანძის საკუთარი და ურთიერთწინააღობების ტოლობას პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებში. ასევე წარმოვადგინთ ორფაზა მოკლე შერთვას მიწაზე (როგორც ორ ერთდროულ ერთფაზა მოკლე შერთვა) შერწყმის პირობის გათვალისწინებით. ამით მოსახერხებელი ხდება სიმეტრიულ დაზიანებებთან ერთად სხვა კვანძებში მომხდარი არასიმეტრიული დაზიანებების განხილვა.

გაანგარიშებების უნიფიცირებული მეთოდის მისაღებად აუცილებელი იყო ასევე ფაზათაშორისი მოკლე შერთვის წარმოდგენა ორი ერთფაზა მოკლე შერთვით მიწაზე, რის შედეგადაც მივიღეთ ყველა სახის არასიმეტრიული მოკლე შერთვის აღმწერი უნიფიცირებული განტოლებები. აღნიშნული ანგარიშების ჩასატარებლად საჭიროა სამივე მიმდევრობის სქემისათვის წინასწარ გაანგარიშებული იქნეს კვანძების საკუთარი და ურთიერთწინააღმდეგობების მატრიცა: Z' , Z'' , Z^0 .

როგორც ვიცით ნებისმიერი რაოდენობის მოკლე შერთვის შემთხვევაში ავარიული რეჟიმის აღმწერი წრფივი განტოლებების შესადგენად საკმარისია საჭირო ელემენტების ამორჩევა ამ მატრიცებიდან. ეს დასტურდება მოკლე შერთვის დენების მოდელირებით იდეალური დენის წყაროების საშუალებით.

განტოლების შედგენისას ჩამოყალიბდა შემდეგი წესი: საკუთარი და ურთიერთწინააღმდეგობები წარმოადგენენ სამივე მიმდევრობის სქემის შესაბამისი მატრიცებიდან $Z'_{\text{კვ}}, Z''_{\text{კვ}}, Z^0_{\text{კვ}}$ ამოკრეფილ ელემენტთა ჯამს.

როგორც ავარიული რეჟიმების აღმწერი განტოლებებიდან ჩანს, ყველა შემთხვევისათვის, თანმხვედრი, წინმსწრები და ჩამორჩენილი ფაზების შესაბამისი კოეფიციენტები გაიანგარიშებიან ქვემოთ მოყვანილი ფორმულებით, სადაც გამოსახულებებში შემავალი წინააღმდეგობები წარმოადგენენ კვანძური მატრიცებიდან (დაზიანებული კვანძის ნომრის შესაბამისი ინდექსების მიხედვით) ამოკრეფილი ელემენტებისაგან შემდგარ მატრიცებს.

$$Z_{\text{თან}} = Z' + Z'' + Z^0$$

$$Z_{\text{წინმსწ}} = a \cdot Z' + a^2 \cdot Z'' + Z^0$$

$$Z_{\text{ჩამ}} = a^2 \cdot Z' + a \cdot Z'' + Z^0$$

$$ZZ_{\text{წინმსწ}} = a \cdot Z' + a \cdot Z'' + Z^0$$

$$ZZ_{\text{ჩამ}} = a^2 \cdot Z' + a^2 \cdot Z'' + Z^0$$

$$A_{\text{ჩამ}} = a^2 \cdot Z' + Z'' + Z^0$$

$$B_{\text{ჩამ}} = Z' + a^2 \cdot Z'' + Z^0$$

$$A_{\text{წინასწ}} = a \cdot Z' + Z'' + Z^0$$

$$B_{\text{წინასწ}} = Z' + a \cdot Z'' + Z^0$$

ჩამოყალიბებულია არასიმეტრიული მოკლე შერთვის აღმწერი უნიფიცირებული განტოლებების შედგენის ალგორითმი, რომელიც კონკრეტული მაგალითის გაანგარიშების საფუძველზე ამ ამოცანის კომპიუტერული პროგრამის დამუშავების საშუალებას მოგვცემს მომავალში. ვინაიდან სირთულეები გვხვდება კონკრეტული სიტუაციის აღმწერი განტოლებების შედგენისას და ამოხსნისას, შესაბამისად ამ მეთოდის პრაქტიკული გამოყენება მოსახერხებელი ხდება კომპიუტერული პროგრამის დამუშავების შემდეგ.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ ამოცანის მათემატიკურად ჩამოყალიბების გარდა აუცილებელია (როგორც მეთოდიკის სისწორის დასადასტურებლად, ასევე შემდგომში მისი პრაქტიკულად გამოყენებისათვის გარკვეული წესების ჩამოსაყალიბებლად) რეალურ მაგალითზე სხვადასხვა სიტუაციების გაანგარიშება. კონკრეტული მონაცემების მიხედვით (პროგრამა MATLAB-ით) ჩვენ გავიანგარიშეთ ყველანაირი შესაძლო კომბინაცია ერთდროული სიმეტრიული და არასიმეტრიული მოკლე შერთვების და მივიღეთ დამაკმაყოფილებელი შედეგი.

Abstract

Vakhtang Botsvadze's dissertation "Analysis of asymmetric established regimen" concerns actual problems. The work consists of 141 pages and according the guidance for thesis drawing up, presented for receiving academic degree of Doctor, contains: pages of a title, a signature, author's rights, abstract in two languages (Georgian-English), content, the list of drawings. Main text consists of introduction, discussion of the literature, six chapters, conclusion and the list of used literature.

Actuality of the research, conditions of problem learning, objects and goals, subject of the research, theoretical and methodological basis, scientific news of the research, approbation of the work, its size and structure are reviewed in the introduction.

Theoretical principles associated with mentioned problem are discussed in the first chapter. Topological methods of electrical network analysis are discussed. Equations expressing the condition of the system (for networks of various level voltage), active and passive parameters of regimen, replacement schemes are discussed. Literature associated to this issue is reviewed.

The issues of mathematical modeling are given in the second chapter. Plural methods of calculation of generalized parameters are worked out and discussed, which give certain preference in comparison with existed ones and it lets to preserve computer resources.

The algorithm of calculation of normal regimen parameters is given in the third chapter. It contains imitation of voltage regulation. It considers relation of loading and voltage, expressed with statistical characters. Accumulation of information in database as tables is considered in the program, which consequently represents an initial information in various (in the case of calculation of short circuits) calculations.

Main issues associated with symmetric and asymmetric short circuits are given in the fourth chapter. Calculation of complex symmetric short circuits, using symmetric part during the calculation of asymmetric regimens are discussed. In the fifth chapter the plural methods, which concern calculation of simultaneous symmetric and asymmetric short circuits, are discussed.

Formation of the united plural methods for calculation of parameters of asymmetric faulty regimen lets conduct corresponding calculations at any type and combination faults.

As it is known the analysis of asymmetric faults is based on the method of symmetric parts, the main point of which is division of existing asymmetric regimen into three symmetric ones to use consequently in the scheme of each sequence all those methods, which are valid for symmetric systems. This is allowed by the regulation, which says that in the scheme of separate sequence only currents of corresponding sequence circulate and interface between voltages and currents are described by known laws, and a connection between sequences is established at the area of faults according those boundary conditions which is characteristic for various faults. Thus passive parameters of direct, back or zero sequences schemes must be determined and in the case of asymmetry lateral matrixes of corresponding nodular conductivity and resistance must be calculated preliminarily.

Presenting any type asymmetric regimen with super-position of electrical regimens corresponding to single-phase faults lets describe various type asymmetric regimens, including short circuits, with linear equations, which makes the analysis of probable faults unlimited.

Coefficients of equations i.e. own and inter-resistance of nodes at lateral asymmetry must be calculated preliminarily (corresponding initial network) for the schemes of direct, back and zero sequences.

In the purpose of faults unification we have represented different types of short circuits as combination of single-phase short-circuits. To make equations describing electrical regimens according united rule (coming out of circuit type) considering restrictive (boundary) conditions. For example: double-phase short-circuit on the ground – as two single-phase short circuit, three-phase short circuit as three single-phase short circuit. In this case circumstances of nodes (those nodes which are reviewed as single-phase short circuits) confluence must be considered, which means equality of these nodes own and inter-resistance.

For establishing united attitude we have represented inter-phase short circuits too with combination of single-phase short circuits. We came out of the equation received for double-phase short circuits (on the ground) and considered conditions of inter-phase short circuits which were added to these system of equations.

At the end conclusions and the list of used literature is given.

გამოქვეყნებული პუბლიკაციები

1. თურქია ნ, ბანცაძე ვ. ელექტრული ქსელების დამყარებული რეჟიმების ამსახველი განზოგადოებული პარამეტრებიანი განტოლებების მიღება ეკვივალენტური მოდელირების საფუძველზე. ჟურნალი ენერჯია. თბილისი 2006წ. №1(37)
2. თურქია ნ, ბანცაძე ვ. დამყარებული რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება ელექტროსისტემების ქვესისტემებად დაშლის საშუალებით. ჟურნალი ენერჯია. თბილისი 2007წ. № 3-4. (70-74)გვ
3. თურქია ნ, ბანცაძე ვ. არასიმეტრიული მოკლე შერთვების აღმწერი განტოლებები. ჟურნალი ენერჯია. თბილისი 2008წ. №3(47). (33-38)გვ
4. Туркия Н. Банцадзе В. Ахаладзе В. Уравнения связывающие аварийные токи при одновременных симметричных и несимметричных коротких замыканиях в произвольных узлах электрической системы. ჟურნალი ენერჯია. თბილისი 2010წ. 3(55). (27-36)გვ