

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თემურ ფიფია

საქართველოს ელექტროსისტემაში არასიმეტრიული რეჟიმების  
გამოკვლევა და ანალიზი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა “ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია”  
შიფრი 0405

თბილისი  
2016

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

ხელმძღვანელი: \_\_\_\_\_ პროფ. გურამ მახარაძე

რეცენზენტები: -----

-----

დაცვა შედგება 2017 წლის \_\_\_\_ თებერვალს, \_\_\_\_\_ საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნი-  
კაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი  
VIII, აუდიტორია 805  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ასოცირებული პროფესორი \_\_\_\_\_ გ. გიგინეიშვილი

**თემის აქტუალობა:** დღეისთვის არსებული არასიმეტრიული რეჟიმების გაანგარიშების მეთოდის დაფუძნებულია მისი სამ სიმეტრიულ მდგენელებად დაშლაზე, რომლებიც ცალკეული ბლოკების სახით არის წარმოდგენილი. აღნიშნული ბლოკების (რეზულტტიური წინააღმდეგობები) ურთიერთკავშირი ასიმეტრიის გამომწვევი დაზიანების მიხედვით იცვლება. ყოველი კერძო შემთხვევისთვის სქემის ექვივალენტური წინააღმდეგობა თავიდან ხდება გადასაანგარიშებელი, ხოლო ზოგ შემთხვევაში როგორც უკვე ვახსენეთ მთლიანად სქემის შეერთების სახე იცვლება. ყოველივე ეს საკმაოდ მოუხერხებელს ქმნის მეთოდს.

საქართველოს ელექტროსისტემის არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობის ინტერესი იმით არის გამოწვეული, რომ იმერეთის ელექტროგადაცემის ხაზის გამორთვისას, სისტემის აღმოსავლეთ ნაწილში ძლიერის სიმძლავრის დეფიციტი ჩნდება, რის გამოც შესაძლებელია სისტემის ნაწილობრივი ან სრული დაშლა განვითარდეს. აქედან გამომდინარე აუცილებელია იმერეთის ორფაზა რეჟიმში მუშაობის საკითხის გამოკვლევა, რაც საშუალებას მოგვცემდა შესაბამისი სიმძლავრის რეზერვების ამოქმედების, თუ ასიმეტრია დასაშვებ ფარგლებში იქნებოდა.

**სამუშაოს მიზანი:** დღეისთვის არ არის გამოკვლეული საქართველოს ელექტროსისტემის არასიმეტრიულ რეჟიმში მუშაობა. დასაშვები არის თუ არა მისი არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობა? აქედან გამომდინარე განხილულ იქნა სხვადასხვა ასიმეტრიული რეჟიმები, რომლებიც გამოწვეულ იყო ერთფაზა წყვეტებით. უკანასკნელის აუცილებლობა იმით იყო განპირობებული, რომ მინიმუმამდე დაყვანილ იყო სამომხმარებლო პუნქტების გამორთვა, მიგვეცა დრო სადისპეტჩერო სამსახურისთვის ამოქმედებინათ რეზერვები, რათა ხაზის წყვეტისას მომხმარებლის ელ მომარაგების შეწყვეტა მინიმუმამდე დაგვეყვანა.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები:** სტატისტიკით ცნობილია, რომ ავარიული გამორთვების ძირითადი ნაწილი გამოწვეულია ერთფაზა მოკლედ შერთვებით, ხშირ შემთხვევაში ის გარდამავალია, მაგრამ თუ ის

გარდამავალი არ არის აუცილებელია მისი დაუყოვნებლივ გამორთვა, რის გამოც მთელი რეჟიმები იცვლება. თუ ეს ხაზი იმერეთია ამ შემთხვევაში სისტემის მდგრადობის საკითხიც კითხვის ნიშნის ქვეშ დგება. აქედან გამომდინარე სისტემის არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობის შესაძლებლობა აუცილებლად უნდა იქნეს გამოკვლეული, რათა შეფასებულ იქნეს დასაშვებია თუ არა ორფაზა რეჟიმი, თუნდაც იმ დროით, რაც საჭირო იქნება გადართვებისა და სიმძლავრის დეფიციტის შევსებისთვის.

ლიტერატურებში მოცემული კომპლექსური ჩანაცვლების სქემების მეთოდით შეუძლებელია ანალიზის გაკეთება, ამიტომ საქართველოს ელექტროსისტემის არასრულფაზა რეჟიმების ანალიზი გაკეთდა „შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცები“-ს გამოყენებით. აღნიშნული ახალი მეთოდის ძირითადი არსი იმაში მდგომარეობს რომ ნებისმიერი სახის ავარიული რეჟიმი განიხილება როგორც ნორმალური და ავარიული მდგენელის ზედდების შედეგი.

ავარიული რეჟიმად განიხილება გაწყვეტის ადგილას ჩართული იდეალური ძაბვის წყაროს მიერ შექმნილი ნაკად განაწილება, რომლის გაანგარიშება ხდება თითოეული მიმდევრობისთვის და შემდგომ მათი და ნორმალური რეჟიმის ზედდებით მიიღება ავარიის შემდგომი რეჟიმი.

სისტემის მდგომარეობის აღწერის მატრიცულ განტოლებათა სისტემიდან მიიღება შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცა, რომელიც თითოეული მიმდევრობისთვის ინდივიდუალურად უნდა იქნეს ერთხელ შედგენილი. აღნიშნული მატრიცები უცვლელი იქნება ნებისმიერი სახის გაწყვეტების განხილვისას.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე:** შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მეთოდის გამოყენებით საქართველოს ელექტროსისტემისთვის გაანგარიშებულ იქნა პირდაპირი უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის გამტარებლობის მატრიცები, რომელთა დაყრდნობით მოხერხდა არასრულფაზა რეჟიმის გამოკვლევა.

მეცნიერული სიახლე შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცაში მდგომარეობს, რომელიც განუსაზღვრელი რაოდენობის ერთდროულ გაწყვეტების განხილვის საშუალებას იძლევა, ამასთან საჭირო არ ხდება სხვადასხვა გაწყვეტებისას, შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცის ხელახლა გადაანგარიშება.

**შედეგების გამოყენების სფერო:** კვლევაში მიღებული შედეგების დახმარებით შესაძლებელია მომხმარებლის ელ მომარაგების იმედიანობის გაზრდა. პრაქტიკულად მთელი ანგარიშები და კვლევა მომხმარებლის ელ მომარაგების უწყვეტობასა და იმედიანობის ამაღლებისთვის არის.

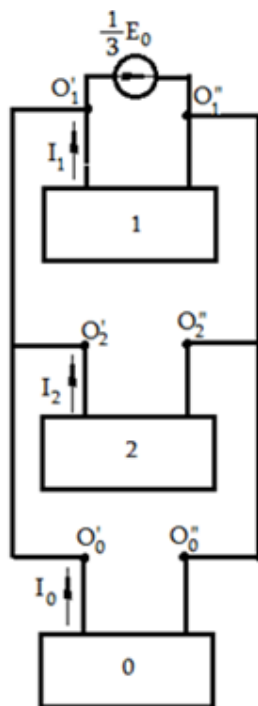
**ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ:** დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 111 გვერდს, სადაც ნაშრომი წარმოდგენილია 6 თავისაგან, 4 ცხრილისაგან და 20 ნახაზისაგან.

ნაშრომის დასაწყისში ხდება არსებულ კლასიკური მეთოდების ზოგადი აღწერა, მათი პრობლემების ასახვა. შემდგომ წარმოდგენილია მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა წინა კლასიკურ მეთოდის პრობლემების გვერდის ავლას. ახალი მეთოდის დაყრდნობით გაკეთებულია საქართველოს ელექტროსისტემის არასრულფაზა რეჟიმის ანგარიშები და ანალიზი, რის საფუძველზეც წარმოდგენილია საბოლოო დასკვნები.

**დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით და ზოგადი დასკვნები:**

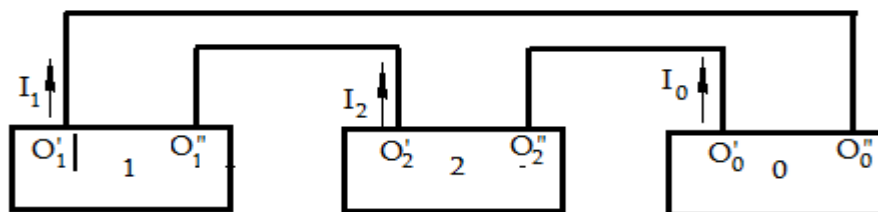
**თავი პირველი:** აქ წარმოდგენილია დღეისთვის არსებული კლასიკური მეთოდის პრობლემები, მისი გამოყენების სირთულეები, კერძოდ:

დღეს არსებული სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურის თანახმად ელექტროსისტემაში არასიმეტრიული რეჟიმების გაანგარიშება წარმოებს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის კომპლექსური ჩანაცვლების სქემის საფუძველზე (ნახ.1), რომელიც ინდივიდუალურად შედგენილი უნდა იქნეს ქსელის ყოველი იმ კონკრეტული O წერტილის მიმართ, სადაც მოხდა ქსელის ელემენტის ერთი ფაზის გაწყვეტა.



ნახ. 1 ერთიფაზის გაწყვეტის დროს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების კომპლექსური ჩანაცვლების სქემა

ამ სქემაზე  $E_0$  გაწყვეტის ადგილზე წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველები დალა. აქ ბლოკების სახით (ბლოკი 1, 2, 0) წარმოდგენილია ქსელის პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ჩანაცვლების სქემები, შედგენილი გაწყვეტის  $O$  წერტილის მიმართ. რომლის მიმართ გამოთვლილი უნდა იქნეს ქსელის ცალკეული მიმდევრობის ჯამური წინააღობები. მათი მიხედვით გამოითვლება სამივე მიმდევრობის დენები გაწყვეტის წერტილის შტოში. ხოლო ორი ფაზის გაწყვეტის დროს კი ქსელის საანგარიშო პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ჩანაცვლების სქემის ბლოკების მიერთების კონფიგურაცია იცვლება იხილეთ ნახ. 2-ზე



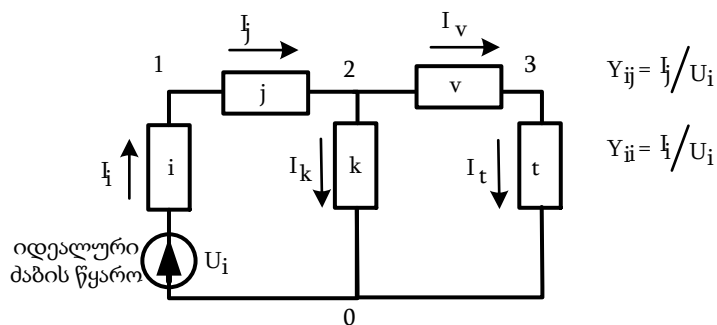
ნახ. 2 ორფაზა გაწყვეტის დროს რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშების კომპლექსური ჩანაცვლების სქემა

არასიმეტრიული რეჟიმების გაანგარიშების დროს არსებული მეთოდოლოგია არ იძლევა უნიფიცირების საშუალებას ანუ იმის საშუალებას, რომ ერთჯერადად შედგენილი ჩანაცვლების სქემის ბაზაზე ჩატარებული იქნეს ქსელის ნებისმიერ შტოში წარმოქმნილი არასრულფაზა რეჟიმის სრულყოფილი ანალიზი. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ყოველი კონკრეტული შემთხვევისთვის შედგენილი უნდა იქნეს ამ კონკრეტული შემთხვევის შესაბამისი კომპლექსური ჩანაცვლების სქემა. აღნიშნული მეთოდოლოგიის ეს ხარვეზი დიდი სისტემებისთვის მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს.

ამავე თავში ასევე წარმოდგენილია კლასიკური მეთოდის ნაკლოვნებების გადაწყვეტის გზები.

შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცის გამოყენების საფუძველზე, რომელიც საშუალებას იძლევა თავიდან აცილებულ იქნას ყოველი კონკრეტულ გადაწყვეტის წერტილის მიმართ ქსელის ცალკეული მიმდევრობის რეზულტიური წინალობებისა და ასევე სისტემის რეზულტიური ელექტრო მამოძრავებელი ძალის გადაანგარიშება.

ასეთი ზოგადი სახის ამოცანის წარმატებით გადაწყვეტის საშუალებას „შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის“ მეთოდი იძლევა, რომელიც დაფუძნებულია „შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის“ მატრიცაზე. აღნიშნული მატრიცა  $Y_{\mathcal{S}}$  აკავშირებს შტოების დენებს, ამავე შტოში ჩართულ იდეალურ ძაბვის წყაროებთან (იდეალური ძაბვის წყაროდ მიჩნეულია ძაბვის წყარო, რომლის შიგა წინალობა ნულის ტოლია). მაგალითად განვიხილოთ:  $i$  შტოს საკუთარი გამტარებლობა  $Y_{ii}$ , აღნიშნული სიდიდე წარმოადგენს  $i$  შტოში ჩართული იდეალური ძაბვის წყაროს მიერ გამოწვეული დენის ფარდობას, ამავე წყაროს ძაბვაზე, ხოლო რაც შეეხება ურთიერთ გამტარებლობის  $Y_{ij}$ , იგი წარმოადგენს  $i$  შტოში ჩართული ძაბვის წყაროს მიერ  $j$  შტოში გამოწვეულ დენის ფარდობას იდეალური ძაბვის წყაროს ძაბვასთან. სქემატურად შეიძლება აღნიშნული პარამეტრები ნახ.3-ზე მოცემული სქემით გაიზომოს.



ნახ. 3 შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის გაზომვის სქემა

სწორედ ამ განსაზღვრებათა საფუძველზე შეიძლება შედგენილი იქნეს შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცა, რომელიც შესაძლებლობას მოგვცემს შტოების დამატების ან გამოკლების (ხაზის რემონტში ჩაყენება ან პირიქით რემონტის შემდეგ ჩართვა) გათვალისწინება. ყოველივე აღნიშნულის დროს საჭირო არ იქნება შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცის გადაანგარიშება, სწორედაც ასეთი შესაძლებლობის გამო არასიმეტრიული რეჟიმის გაანგარიშების „შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის“ მეთოდი ხასიათდება თავისი უნივერსალობით, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ იგი გვამძლევს შესაძლებლობას ორი ფაზის გაწყვეტის მოდულირების და საერთოდ განუსაზღვრელი რაოდენობის გაწყვეტის მოდულირების საშუალებას.

ახალი მეთოდის თანახმად ქსელის მთლიანი სქემისთვის შედგენილი იქნება თითო ჩანაცვლების სქემა ყოველი მიმდევრობისთვის და არ არის საჭირო ყოველი კონკრეტული ავარიის მიხედვით მისი შეცვლა და გადაანგარიშება. რაც საშუალებას იძლევა აღნიშნული მეთოდის უნიფიცირების და შესაბამისად შექმნილ იქნეს პროგრამული ალგორითმი.

მეთოდის მიხედვით არასიმეტრიული რეჟიმის პარამეტრების გამოთვლა შესაძლებელია მისი სამ სიმეტრიულ მდგენელად დაშლის შედეგად ანუ ამ მეთოდის დახმარებით ხდება პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების დადგენა, რომელთა ზედდება ნორმალური რეჟიმის დენთან გვამძლევს არასიმეტრიული რეჟიმის შესაბამის დენს. ამიტომ განსახილველი ელექტრული სისტემა წარმოდგენილ უნდა იქნეს პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის სქემებით, რათა



შედგენილ იქნეს შესაბამისი მიმდევრობის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცა  $Y_{\mathcal{S}}^{(1)}$ ,  $Y_{\mathcal{S}}^{(2)}$  და  $Y_{\mathcal{S}}^{(0)}$ , ხოლო აღნიშნული მიმდევრობების მატრიცების დახმარებით განსაზღვრულ იქნება შესაბამისი მიმდევრობის დენები.

ზემოთ ხსენებული მატრიცების მიღება ხდება ელექტრული სისტემის რეჟიმის მდგომარეობის აღმწერი განტოლებათა სისტემიდან [5], რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს ელექტრული სისტემის ოთხ ძირითად პარამეტრს: კვანძური ძაბვას  $U_{\mathcal{N}}$ , კვანძური დენს  $I_{\mathcal{N}}$ , შტოში გამავალი დენს  $I_{\mathcal{S}}$  და შტოს ე.მ.ძ  $E_{\mathcal{S}}$ . განტოლებათა სისტემის მატრიცულ ფორმას აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{bmatrix} MY_{\mathcal{L}}M^T & MY_{\mathcal{L}} \\ Y_{\mathcal{L}}M^T & Y_{\mathcal{L}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{\mathcal{N}} \\ E_{\mathcal{S}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{\mathcal{N}} \\ I_{\mathcal{S}} \end{bmatrix} \quad (1.3.1)$$

სადაც  $Y_{\mathcal{L}}$  შტოების გამტარებლობის დიაგონალური მატრიცაა, რომლის ფორმირება ხდება შტოების ნომრის მიხედვით, მატრიცის შესაბამის დიაგონალში შესაბამისი გამტარებლობის ჩასმით.  $M$ - ინციდენციის  $I$  მატრიცაა, რომელიც ელექტრული ქსელის ტოპოლოგიას აღწერს, ხოლო  $M^T$ - მისი ტრანსპონირებული მატრიცაა, 1.3.1- მატრიცის გადამრავლების შედეგად ვღებულობთ შემდეგ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} MY_{\mathcal{L}}M^T U_{\mathcal{N}} + MY_{\mathcal{L}} E_{\mathcal{S}} = I_{\mathcal{N}} \\ Y_{\mathcal{L}}M^T U_{\mathcal{N}} + Y_{\mathcal{L}} E_{\mathcal{S}} = I_{\mathcal{S}} \end{cases} \quad (1.3.2)$$

იმისდა მიხედვით, თუ რომელი პარამეტრია მოცემული და რომელი უცნობი, ვღებულობთ შესაბამისი რეჟიმის ამსახველ განტოლებებს. ამრიგად ამ განტოლებებით აღიწერება ნებისმიერი რეჟიმი, როგორც ნორმალური, ისე ავარიული. მაგალითად, რეჟიმის აღმწერი მატრიცული განტოლება, რომელშიც მოცემულია კვანძური დენები და შტოებში ჩართული ე.მ. ძ, ხოლო საძიებოა კვანძური ძაბვები, ან შემთხვევა, როდესაც მოცემულია მხოლოდ კვანძური დენები და ვეძებთ კვანძურ ძაბვებს, არის ამ უნივერსალური განტოლებების კერძო შემთხვევა.

ავარიული რეჟიმების აღსაწერად უნივერსალური განტოლებები (1.3.2) უნდა გარდავსახოთ ისეთნაირად, რომ რეჟიმის საძიებელი პარამეტრები

იყოს კვანძური დენები  $I_{\mathcal{B}}$  და შტოებში ჩართული ძაბვის წყაროები  $E_{\mathcal{B}}$ , ხოლო მოცემული პარამეტრები - კვანძური ძაბვები  $U_{\mathcal{B}}$  და შტოებში გამავალი დენები  $I_{\mathcal{B}}$ . მივიღებთ განტოლებათა სისტემას, რომელიც აღწერს ელექტრულ რეჟიმს, ერთდროული განივი და გრძივი დაზიანებების ნებისმიერი კომბინაციის დროს.

პირველ რიგში განვსაზღვროთ (1.3.2) განტოლებათა სისტემის პირველი გამოსახულებიდან კვანძური ძაბვა:

$$U_{\mathcal{B}} = [MY_{\mathcal{B}}M^T]^{-1}I_{\mathcal{B}} - [MY_{\mathcal{C}}M^T]^{-1}[MY_{\mathcal{C}}] E_{\mathcal{B}} \quad (1.3.3)$$

ვინაიდან გენერაციის ადგილების წარმოდგენას ვაკეთებთ შესაბამისი გენერატორის ძაბვის მქონე იდეალური ძაბვის წყაროსა და მიმდევრობით ჩართულ გენერატორის შიგა გამტარებლობის საშუალებით, კვანძური დენი ჩანაცვლდება ავტომატურად შტოში გამავალ დენით, რაც შტოების რაოდენობას გაზრდის. ანალოგიურად დატვირთვის პუნქტები იქნება გამტარებლობით წარმოდგენილი, რის შედეგად გამოდის რომ  $I_{\mathcal{B}} = 0$ , რის შედეგადაც (1.3.3) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$U_{\mathcal{B}} = -[MY_{\mathcal{C}}M^T]^{-1}[MY_{\mathcal{C}}] E_{\mathcal{B}} \quad (1.3.4)$$

აღნიშნული კვანძური ძაბვის მნიშვნელობა შევიტანოთ (1.3.2) განტოლებათა სისტემის მეორე გამოსახულებაში, რის შედეგადაც მივიღებთ:

$$\left[ Y_{\mathcal{C}} - [Y_{\mathcal{C}}M^T][MY_{\mathcal{C}}M^T]^{-1}[MY_{\mathcal{C}}] \right] E_{\mathcal{B}} = I_{\mathcal{B}} \quad (1.3.5)$$

სადაც გამარტივების მიზნით შემოვიტანოთ აღნიშვნა, კერძოდ:

$$Y_{\mathcal{C}} - [Y_{\mathcal{C}}M^T][MY_{\mathcal{C}}M^T]^{-1}[MY_{\mathcal{C}}] = Y_{\mathcal{B}} \quad (1.3.6)$$

რომელიც წარმოადგენს ქსელის ჩანაცვლების სქემის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობების მატრიცას, რომელიც მიიღება ამ სქემის შტოების  $Y_{\mathcal{C}}$  დიაგონალური მატრიცისა და  $M$  ინციდენციის  $I$  მატრიცის გამოყენებით.

აღნიშვნის შედეგად გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$Y_{\mathcal{B}} \cdot E_{\mathcal{B}} = I_{\mathcal{B}} \quad (1.3.7)$$

შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობების მატრიცა  $Y_{\Sigma}$  აკავშირებს შტოების დენებს შტოებში ჩართულ იდეალურ ძაბვის წყაროებთან (ნულოვანი შინაგანი წინააღობის მქონე ძაბვის წყარო).

ნებისმიერი კონფიგურაციის ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცის შედგენა არ წარმოადგენს სირთულეს, როცა ცნობილია ქსელის გრძივი პარამეტრები. ქსელის ელემენტის განივი პარამეტრები შეიძლება მატრიცაში შეყვანილი იქნეს როგორც გრძივი პარამეტრი - შესაბამისი კვანძისა და ნულოვანი პოტენციალის მქონე კვანძის დამაკავშირებელი გამტარებლობის სახით. ყოველივე აქედან გამომდინარე ნათელია, რომ არასიმეტრიული რეჟიმის გაანგარიშებისას გათვალისწინებული იქნება განივი პარამეტრებიც [5,7,8], რაც უფრო ზუსტს ხდის არასიმეტრიული რეჟიმის გაანგარიშების შედეგებს, ვინაიდან აღნიშნულის გათვალისწინება არ ხდება „კომპლექსურ ჩანაცვლების სქემის“ მეთოდში.

**თავი მეორე:** აქ მოცემულია შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცების საფუძველზე სხვადასხვა გაწყვეტების ავარიული მდგენელების განსაზღვრის მეთოდოლოგია. მაგალითად:

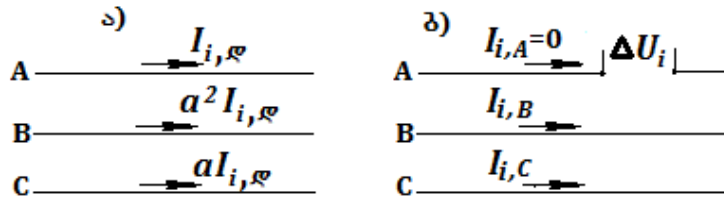
➤ ქსელის რომელიმე  $i$ -ური შტოს ერთი ფაზის გაწყვეტის შემთხვევაში ამოცანის საწყის პირობებს შეადგენს:

- დენი გაწყვეტილ ფაზაში ნულის ტოლია ანუ  $I_i=0$ , მათემატიკურად შეძლება აღნიშნული წარმოდგენილ იქნეს როგორც,

$$I_{i\varphi} - (I_{i(1)} + I_{i(2)} + I_{i(0)}) = 0 \quad (2.1.1)$$

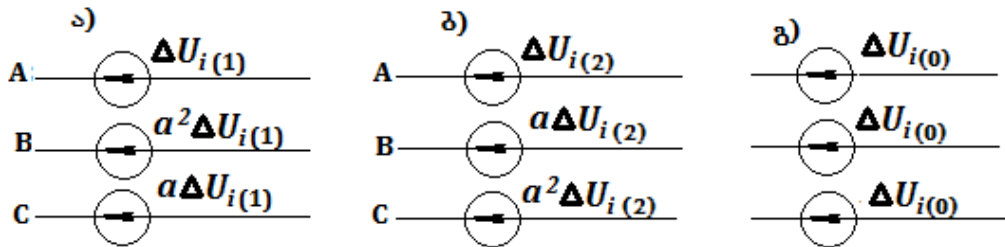
სადაც:  $I_{i\varphi}$   $i$ -ური შტოს დატვირთვის დენი ავარიის წინა რეჟიმში, ხოლო  $I_{i(1)}$ ,  $I_{i(2)}$  და  $I_{i(0)}$  - ამავე ფაზაში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები, გამოწვეული ფაზის გაწყვეტის წერტილში წარმოქმნილი ამავე მიმდევრობის ძაბვებით.

- გაწყვეტის წერტილში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვები  $\Delta U_{i(1)} = \Delta U_{i(2)} = \Delta U_{i(0)} = \Delta U_i \quad (2.1.2)$



ნახ. 2.1.1 ა) –  $i$  ურ შტოში გამავალი დამყარებული რეჟიმის დენები; ბ) –  $i$ -ურ შტოში გამავალი დენები A ფაზის გაწყვეტის შემთხვევაში.  $I_{i,ფ}$  – დამყარებული რეჟიმის დენი მოცემულ შტოში ფაზის გაწყვეტამდე;  $I_{i(A)}$ ,  $I_{i(B)}$  და  $I_{i(C)}$ , – ავარიის შემდგომი დენებია.

(2.1.2) გამოსახულებაში  $\Delta U_i$  ძაბვას აქვს ავარიის წინა რეჟიმის  $I_{i,ფ}$  დენის საწინააღმდეგო მიმართულება.



ნახ. 2.1.2  $i$ -ური შტოს A ფაზის გაწყვეტის შემთხვევაში პირდაპირი (ა), უკუ (ბ) და ნულოვანი (გ) მიმდევრობის ძაბვათა სამფაზა სიმეტრიული სისტემები.

რადგანაც ცალკეული მიმდევრობის ძაბვათა სისტემა ურთიერთ დამოუკიდებელი სამფაზა სიმეტრიული სისტემაა,  $I_{i(1)}$ ,  $I_{i(2)}$  და  $I_{i(0)}$  დენების გამოთვლა შეიძლება ჩავატაროთ (2.1.2) სახის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის გზით, სადაც  $|Y_{i,j}|$  მატრიცის ადგილას ჩაიწერება, შესაბამისად, პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების მიმართ ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა, ხოლო  $|E_i|$  ვექტორ-მატრიცის  $i$ -ურ სტრიქონში ჩაიწერება შესაბამისი მიმდევრობის ძაბვა. ამ ვექტორ-მატრიცის დანარჩენი წევრები ნულის ტოლია. ვინაიდან აღნიშნული ანგარიშით მიღებული დენები ავარიულ მდგენელს წარმოადგენენ.

ამრიგად, პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების დასადგენად გვაქვს შემდეგი სახის გამოსახულებები:

პირდაპირი მიმდევრობის  $I_{i(1)}$  დენებისთვის

$$\begin{vmatrix} Y_{11(1)} & \cdot & Y_{1i(1)} & \cdot & Y_{1n(1)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{i1(1)} & \cdot & Y_{ii(1)} & \cdot & Y_{in(1)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1(1)} & \cdot & Y_{ni(1)} & \cdot & Y_{nn(1)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ \cdot \\ \Delta U_{i(1)} \\ \cdot \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_{1(1)} \\ \cdot \\ I_{i(1)} \\ \cdot \\ I_{n(1)} \end{vmatrix} \quad (2.1.3)$$

სადაც  $|Y_{ij(1)}|$  - ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა, პირდაპირი მიმდევრობის დენების მიმართ, ხოლო  $\Delta U_{i(1)}$  -  $i$  შტოს პირდაპირი მიმდევრობის ძაბვა, გაწყვეტის შედეგად.

უკუ მიმდევრობის  $I_{i(2)}$  დენებისთვის

$$\begin{vmatrix} Y_{11(2)} & \cdot & Y_{1i(2)} & \cdot & Y_{1n(2)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{i1(2)} & \cdot & Y_{ii(2)} & \cdot & Y_{in(2)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1(2)} & \cdot & Y_{ni(2)} & \cdot & Y_{nn(2)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ \cdot \\ \Delta U_{i(2)} \\ \cdot \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_{1(2)} \\ \cdot \\ I_{i(2)} \\ \cdot \\ I_{n(2)} \end{vmatrix} \quad (2.1.4)$$

სადაც  $|Y_{ij(2)}|$  - ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა უკუ მიმდევრობის დენების მიმართ, სადაც  $\Delta U_{i(2)}$  -  $i$  შტოს უკუ მიმდევრობის ძაბვა;

ნულოვანი მიმდევრობის  $I_{i(0)}$  დენებისთვის

$$\begin{vmatrix} Y_{11(0)} & \cdot & Y_{1i(0)} & \cdot & Y_{1n(0)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{i1(0)} & \cdot & Y_{ii(0)} & \cdot & Y_{in(0)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1(0)} & \cdot & Y_{ni(0)} & \cdot & Y_{nn(0)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ \cdot \\ \Delta U_{i(0)} \\ \cdot \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_{1(0)} \\ \cdot \\ I_{i(0)} \\ \cdot \\ I_{n(0)} \end{vmatrix} \quad (2.1.5)$$

სადაც  $|Y_{ij(0)}|$  - ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა ნულოვანი მიმდევრობის დენების მიმართ;  $\Delta U_{i(0)}$  -  $i$  შტოს ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა;

2.1.3, 2.1.4 და 2.1.5 გამოსახულებების გადამრავლების შედეგად დავადგენთ  $i$ -ური შტოს დენებს შესაბამისი მიმდევრობის მიხედვით:

- პირდაპირი მიმდევრობისთვის -  $Y_{ii(1)} \cdot \Delta U_{i(1)} = I_{i(1)} \quad (2.1.6)$

- უკუ მიმდევრობისთვის -  $Y_{ii(2)} \cdot \Delta U_{i(2)} = I_{i(2)}$  (2.1.7)

- ნულოვანი მიმდევრობისთვის -  $Y_{ii(0)} \cdot \Delta U_{i(0)} = I_{i(0)}$  (2.1.8)

მიღებული შედეგების 2.1.1 გამოსახულებებში შეტანისა და 2.1.2 პირობის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$(Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)}) \cdot \Delta U_i = I_{i\varnothing} \quad (2.1.9)$$

საიდანაც, შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს, გაწყვეტის ადგილას დატვირთვის დენის საწინააღმდეგო მიმართულების მქონე ძაბვის მნიშვნელობა:

$$\Delta U_i = \frac{I_{i\varnothing}}{(Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})} \quad (2.1.10)$$

2.1.2 დაშვების საფუძველზე შესაძლებელია 2.1.10 გამოსახულების მნიშვნელობა შეტანილ იქნეს 2.1.3, 2.1.4 და 2.1.5 მატრიცულ გამოსახულებებში, რის შედეგადაც მიღებულ იქნება პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობები ნებისმიერ შტოში,  $i$  შტოში ერთი ფაზის გაწყვეტისას (პირობითად  $A$  ფაზის გაწყვეტის შემთხვევაში).

მაგალითად: რისი ტოლი იქნება  $i$  შტოში  $A$  ფაზის გაწყვეტით გამოწვეული პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობები, რომელიღაც  $m$  შტოში?

2.1.3, 2.1.4 და 2.1.5 მატრიცული გამოსახულებიდან,  $m$  შტოში გამავალი დენის შესაბამისი მიმდევრობის მნიშვნელობები ტოლი იქნება:

- პირდაპირი მიმდევრობისთვის -  $Y_{im(1)} \cdot \Delta U_{i(1)} = I_{m(1)}$  (3.11)

- უკუ მიმდევრობისთვის -  $Y_{im(2)} \cdot \Delta U_{i(2)} = I_{m(2)}$  (3.12)

- ნულოვანი მიმდევრობისთვის -  $Y_{im(0)} \cdot \Delta U_{i(0)} = I_{m(0)}$  (3.13)

აღნიშნული დენის მნიშვნელობები წარმოადგენს კონკრეტული ფაზისას (ამ შემთხვევაში  $A$  ფაზის), თუმცა ფაზის არგუმენტის ცვლილების კოეფიციენტის  $\alpha$  დახმარებით შესაძლებელია,  $A$  ფაზის დენის მნიშვნელობები გადაანგარიშებულ იქნეს  $B$  და  $C$  ფაზისთვის ნახაზ 2.1.2-ის მიხედვით:

$B$  ფაზისთვის:

- პირდაპირი მიმდევრობის დენი  $I_{m(1)B} = a^2 \cdot I_{m(1)A}$
- უკუ მიმდევრობის დენი  $I_{m(2)B} = a \cdot I_{m(2)A}$
- ნულოვანი მიმდევრობის დენი  $I_{m(0)B} = I_{m(0)A}$

C ფაზისთვის:

- პირდაპირი მიმდევრობის დენი  $I_{m(1)C} = a \cdot I_{m(1)A}$
- უკუ მიმდევრობის დენი  $I_{m(2)C} = a^2 \cdot I_{m(2)A}$
- ნულოვანი მიმდევრობის დენი  $I_{m(0)C} = I_{m(0)A}$

პირობა 2.1.1 -ის თანახმად  $m$  შტოში ავარიის შემდგომი რეჟიმის დენი

ტოლია:

$$A \text{ ფაზისთვის: } I_{mA} = I_{m\varphi A} - (I_{m(1)A} + I_{m(2)A} + I_{m(0)A})$$

$$B \text{ ფაზისთვის: } I_{mB} = a^2 \cdot I_{m\varphi B} - (a^2 \cdot I_{m(1)B} + a \cdot I_{m(2)B} + I_{m(0)B})$$

$$C \text{ ფაზისთვის: } I_{mC} = a \cdot I_{m\varphi C} - (a \cdot I_{m(1)C} + a^2 \cdot I_{m(2)C} + I_{m(0)C})$$

როგორც ბოლო სამ გამოსახულებიდან ჩანს გაწყვეტილი ფაზის დენის მნიშვნელობა უშუალოდ ავარიულ შტოში 0-ის ტოლი იქნება (ამ შემთხვევაში A ფაზის დენი  $i$  შტოში), როგორც ეს 2.1.1 პირობაშია მოცემული.

➤ ორ სხვადასხვა წერტილას ერთსახელა ფაზის გაწყვეტის შედეგად შექმნილი რეჟიმის ანალიზი. ამისთვის განვიხილოთ ქსელის რომელიმე  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოების ერთსახელა ფაზის (ვთქვათ A ფაზის) გაწყვეტის შემთხვევაში:

აღნიშნულ შემთხვევაში მართებული იქნება გაწყვეტის კლასიკური მეთოდიდან შემდეგი პირობები:

- დენები გაწყვეტილ ფაზაში, შესაბამისად  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოების გაწყვეტის წერტილებში,  $I_{i-A} = 0$  და  $I_{j-A} = 0$ , რომელიც მათემატიკურად შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგ ნაირად:

$$I_{i-A,\varphi} - (I_{i-A,(1)} + I_{i-A,(2)} + I_{i-A,(0)}) = 0 \quad (2.2.1)$$

$$I_{j-A,\varphi} - (I_{j-A,(1)} + I_{j-A,(2)} + I_{j-A,(0)}) = 0 \quad (2.2.2)$$

სადაც:  $I_{i-A,\varphi}$  და  $I_{j-A,\varphi}$  შესაბამისად,  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოების დატვირთვის დენები ავარიის წინა რეჟიმში;

- $I_{i-A(1)}$ ,  $I_{i-A(2)}$  და  $I_{i-A(0)}$ -  $i$ -ური შტოს ფაზაში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები, გამოწვეული ამ ფაზის გაწყვეტის წერტილში წარმოქმნილი ამავე მიმდევრობის ძაბვებით;
- $I_{j-A(1)}$ ,  $I_{j-A(2)}$  და  $I_{j-A(0)}$ -  $j$ -ური შტოს ფაზაში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები, გამოწვეული ამ ფაზის გაწყვეტის წერტილში წარმოქმნილი ამავე მიმდევრობის ძაბვებით;
- გაწყვეტის წერტილებში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვები:

$$\Delta U_{i-A,(1)} = \Delta U_{i-A,(2)} = \Delta U_{i-A,(0)} = \Delta U_{i-A} \quad (2.2.3)$$

$$\Delta U_{j-A,(1)} = \Delta U_{j-A,(2)} = \Delta U_{j-A,(0)} = \Delta U_{j-A} \quad (2.2.4)$$

(2.2.3) გამოსახულებაში  $\Delta U_{i-A}$  ძაბვას აქვს  $I_{i-A}$  დენის საწინააღმდეგო მიმართულება, ხოლო (2.2.4) გამოსახულებაში  $\Delta U_{j-A}$  ძაბვას კი  $I_{j-A}$  დენის საწინააღმდეგო მიმართულება.

რადგანაც გაწყვეტის წერტილებში წარმოქმნილი ცალკეული მიმდევრობის ძაბვათა სისტემები ურთიერთ დამოუკიდებელი სამფაზა სიმეტრიული სისტემებია, ქსელის შტოებში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების გაანგარიშება შეიძლება ჩავატაროთ (2.1.3), (2.1.4) და (2.1.5) გამოსახულებათა საფუძველზე, რომლებსაც ამ შემთხვევისთვის ექნება შემდეგი სახე:

- პირდაპირი მიმდევრობის  $I_{i-A(1)}$  და  $I_{j-A(1)}$  დენებისთვის

$$\begin{pmatrix} Y_{11(1)} & \dots & Y_{1i(1)} & \dots & Y_{1j(1)} & \dots & Y_{1n(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1(1)} & \dots & Y_{ii(1)} & \dots & Y_{ij(1)} & \dots & Y_{in(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{j1(1)} & \dots & Y_{ji(1)} & \dots & Y_{jj(1)} & \dots & Y_{jn(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1(1)} & \dots & Y_{ni(1)} & \dots & Y_{nj(1)} & \dots & Y_{nn(1)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ \Delta U_{i-A(1)} \\ \dots \\ \Delta U_{j-A(1)} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1(1)} \\ \dots \\ I_{i-A(1)} \\ \dots \\ I_{j-A(1)} \\ \dots \\ I_{n(1)} \end{pmatrix} \quad (2.2.5)$$



სადაც  $|Y_{ij(1)}|$  - ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა პირდაპირი მიმდევრობის დენების მიმართ, ხოლო  $\Delta U_{i-A(1)}$ ,  $\Delta U_{j-A(1)}$  -  $i$ -ურ და  $j$ -ურ შტოებში მოქმედი პირდაპირი მიმდევრობის ძაბვა;

- უკუ მიმდევრობის  $I_{i-A(2)}$  და  $I_{j-A(2)}$  დენებისთვის

$$\begin{pmatrix} Y_{11(2)} & \dots & Y_{1i(2)} & \dots & Y_{1j(2)} & \dots & Y_{1n(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1(2)} & \dots & Y_{ii(2)} & \dots & Y_{ij(2)} & \dots & Y_{in(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{j1(2)} & \dots & Y_{ji(2)} & \dots & Y_{jj(2)} & \dots & Y_{jn(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1(2)} & \dots & Y_{ni(2)} & \dots & Y_{nj(2)} & \dots & Y_{nn(2)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ \Delta U_{i-A(2)} \\ \dots \\ \Delta U_{j-A(2)} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1(2)} \\ \dots \\ I_{i-A(2)} \\ \dots \\ I_{j-A(2)} \\ \dots \\ I_{n(2)} \end{pmatrix} \quad (2.2.6)$$

სადაც  $|Y_{ij(2)}|$  - ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა უკუ მიმდევრობის დენების მიმართ, ხოლო  $\Delta U_{i-A(2)}$ ,  $\Delta U_{j-A(2)}$  -  $i$ -ურ და  $j$ -ურ შტოებში მოქმედი უკუ მიმდევრობის ძაბვა;

- ნულოვანი მიმდევრობის  $I_{i-A(0)}$  და  $I_{j-A(0)}$  დენებისთვის

$$\begin{pmatrix} Y_{11(0)} & \dots & Y_{1i(0)} & \dots & Y_{1j(0)} & \dots & Y_{1n(0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1(0)} & \dots & Y_{ii(0)} & \dots & Y_{ij(0)} & \dots & Y_{in(0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{j1(0)} & \dots & Y_{ji(0)} & \dots & Y_{jj(0)} & \dots & Y_{jn(0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1(0)} & \dots & Y_{ni(0)} & \dots & Y_{nj(0)} & \dots & Y_{nn(0)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ \Delta U_{i-A(0)} \\ \dots \\ \Delta U_{j-A(0)} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1(0)} \\ \dots \\ I_{i-A(0)} \\ \dots \\ I_{j-A(0)} \\ \dots \\ I_{n(0)} \end{pmatrix} \quad (2.2.7)$$

სადაც  $|Y_{ij(0)}|$  - ქსელის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცა ნულოვანი მიმდევრობის დენების მიმართ, ხოლო  $\Delta U_{i-A(0)}$  და  $\Delta U_{j-A(0)}$  - ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა;

ამ გამოსახულებათა საშუალებით, მიღებულ იქნება პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობები, რომლებიც გაივლის შესაბამის შტოებში. ხოლო გაწყვეტის წერტილას გამავალი დენები მნიშვნელობა  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოებისთვის ტოლი იქნება:

- $i$ -ური შტოსთვის

$$\text{პირდაპირი: } Y_{ii(1)} \cdot \Delta U_{i-A(1)} + Y_{ij(1)} \cdot \Delta U_{j-A(1)} = I_{i-A(1)} \quad (2.2.8)$$

$$\text{უკუ: } Y_{ii(2)} \cdot \Delta U_{i-A(2)} + Y_{ij(2)} \cdot \Delta U_{j-A(2)} = I_{i-A(2)} \quad (2.2.9)$$

$$\text{ნულოვანი: } Y_{ii(0)} \cdot \Delta U_{i-A(0)} + Y_{ij(0)} \cdot \Delta U_{j-A(0)} = I_{i-A(0)} \quad (2.2.10)$$

- $j$ -ური შტოსთვის:

$$\text{პირდაპირი: } Y_{ij(1)} \cdot \Delta U_{i-A(1)} + Y_{jj(1)} \cdot \Delta U_{j-A(1)} = I_{j-A(1)} \quad (2.2.11)$$

$$\text{უკუ: } Y_{ij(2)} \cdot \Delta U_{i-A(2)} + Y_{jj(2)} \cdot \Delta U_{j-A(2)} = I_{j-A(2)} \quad (2.2.12)$$

$$\text{ნულოვანი: } Y_{ij(0)} \cdot \Delta U_{i-A(0)} + Y_{jj(0)} \cdot \Delta U_{j-A(0)} = I_{j-A(0)} \quad (2.2.13)$$

ამ გამოსახულებათა შესაბამისი შტოების დენების შეკრებითა და (2.2.3), (2.2.4) ტოლობათა გათვალისწინებით, მივიღებთ:

- $i$ -ური შტოსთვის

$$(Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-A} + (Y_{ij(1)} + Y_{ij(2)} + Y_{ij(0)})\Delta U_{j-A} = I_{i-A(1)} + I_{i-A(2)} + I_{i-A(0)} \quad (2.2.14)$$

- $j$ -ური შტოსთვის:

$$(Y_{ij(1)} + Y_{ij(2)} + Y_{ij(0)})\Delta U_{i-A} + (Y_{jj(1)} + Y_{jj(2)} + Y_{jj(0)})\Delta U_{j-A} = I_{j-A(1)} + I_{j-A(2)} + I_{j-A(0)} \quad (2.2.15)$$

ხოლო მიღებული გამოსახულებისა და (2.2.1), (2.2.2) დაშვების შედეგად მივიღებთ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} (Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-A} + (Y_{ij(1)} + Y_{ij(2)} + Y_{ij(0)})\Delta U_{j-A} = I_{i-A} \text{ და} \\ (Y_{ij(1)} + Y_{ij(2)} + Y_{ij(0)})\Delta U_{i-A} + (Y_{jj(1)} + Y_{jj(2)} + Y_{jj(0)})\Delta U_{j-A} = I_{j-A} \text{ და} \end{cases} \quad (2.2.16)$$

ამ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით მივიღებთ  $\Delta U_{i-A}$  და  $\Delta U_{j-A}$  ძაბვებს, რომელთა საშუალებით (2.2.5), (2.2.6) და (2.2.7) გამოსახულებებში შეტანით, დავადგენთ ქსელის ნებისმიერ  $m$  შტოს  $A$  ფაზაში გამავალ პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენებს, გამოწვეულს შესაბამისი მიმდევრობის სამფაზა სიმეტრიული ძაბვებით, რომლებიც წარმოიქმნა  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოების ერთსახელა ფაზების გაწყვეტით:

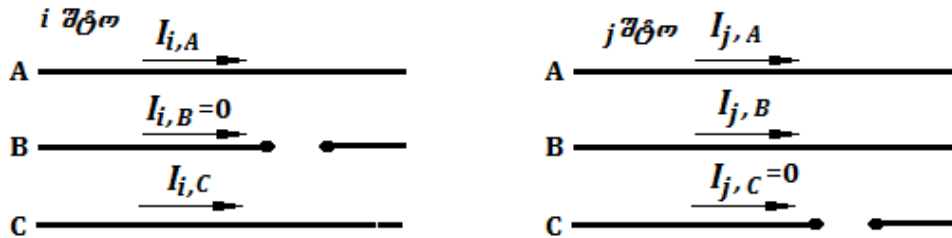
$$\text{პირდაპირი: } Y_{mi(1)} \cdot \Delta U_{i-A(1)} + Y_{mj(1)} \cdot \Delta U_{j-A(1)} = I_{m-A(1)} \quad (2.2.17)$$

$$\text{უკუ: } Y_{mi(2)} \cdot \Delta U_{i-A(2)} + Y_{mj(2)} \cdot \Delta U_{j-A(2)} = I_{m-A(2)} \quad (2.2.18)$$

$$\text{ნულოვანი: } Y_{mi(0)} \cdot \Delta U_{i-A(0)} + Y_{mj(0)} \cdot \Delta U_{j-A(0)} = I_{m-A(0)} \quad (2.2.19)$$

➤ განვიხილოთ ქსელის რომელიმე  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოების სხვადასხვა სახელა ფაზის ერთდროული გაწყვეტის შემთხვევა ( $B$  ფაზა  $i$ -ურ შტოში და  $C$  ფაზა  $j$ -ურ შტოში). ამ შემთხვევაში ამოცანის საწყის პირობებს იქნება:

- დენები გაწყვეტილ ფაზაში,  $I_{i-B} = 0$  (2.3.1) და  $I_{j-C} = 0$  (2.3.2)



ნახ. 2.3.1 ფაზის გაწყვეტა  $i$  და  $j$  შტოში

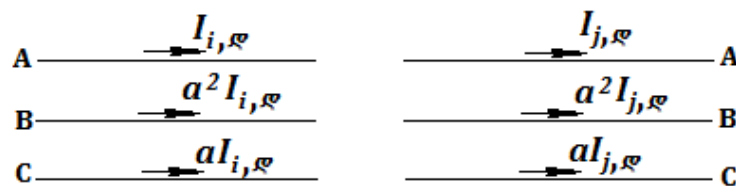
- გაწყვეტის წერტილებში პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვები:

$$\Delta U_{i,(1)} = \Delta U_{i,(2)} = \Delta U_{i,(0)} = \Delta U_i \quad (2.3.3)$$

$$\Delta U_{j,(1)} = \Delta U_{j,(2)} = \Delta U_{j,(0)} = \Delta U_j \quad (2.3.4)$$

რომელთა მოქმედებით გამოწვეული პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენების ზედდება, ამავე შტოს დამყარებული რეჟიმის დენთან აკმაყოფილებენ (2.3.1 & 2.3.2) პირობებს.

ნახაზ 2.3.2-ზე ნაჩვენებია განსახილველ შტოებში გამავალი დენები ავარიის წინა (დამყარებულ) რეჟიმში, რომელთა გამოთვლა შესაძლებელია დამყარებული რეჟიმის ნებისმიერი არსებული საანგარიშო პროგრამით.



ნახ. 2.3.2 დამყარებულ რეჟიმის დენები

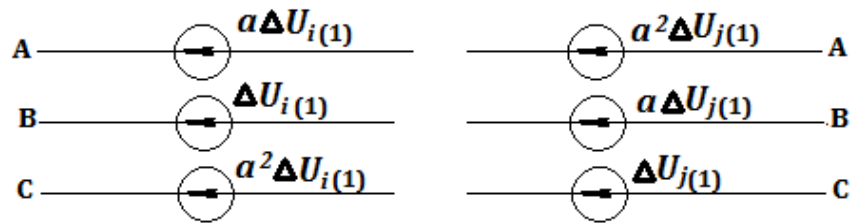
ფაზის ძვრის ოპერატორის გათვალისწინებით პირველი პირობის 2.3.1 და 2.3.2 გამოსახულება შეიძლება შემდეგნაირად ჩაიწეროს (ნახაზი 2.3.1 და 2.3.2-ის მიხედვით):

$$a^2 I_{i-A,ფ} - (I_{i-B,(1)} + I_{i-B,(2)} + I_{i-B,(0)}) = 0 \quad (2.3.5)$$

$$a \cdot I_{j-A,ფ} - (I_{j-C,(1)} + I_{j-C,(2)} + I_{j-C,(0)}) = 0 \quad (2.3.6)$$

სადაც:  $I_{i-A}$  და  $I_{j-A}$  შესაბამისად,  $i$ -ური და  $j$ -ური შტოების დატვირთვის დენები, ავარიის წინა რეჟიმში.  $I_{i-B(1)}$ ,  $I_{i-B(2)}$  და  $I_{i-B(0)}$  -  $i$ -ური შტოს  $B$  ფაზის პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენებია, გამოწვეული ამ ფაზის გაწყვეტის წერტილში წარმოქმნილი ამავე მიმდევრობის ძაბვით. ხოლო  $I_{j-C(1)}$ ,  $I_{j-C(2)}$  და  $I_{j-C(0)}$ -ს  $j$ -ური შტოს  $C$  ფაზის პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენებია, გამოწვეული ამ ფაზის გაწყვეტის წერტილში წარმოქმნილი ამავე მიმდევრობის ძაბვებით;

2.3.3 ნახაზზე წარმოდგენილია პირდაპირი მიმდევრობის ჩანაცვლების სქემის  $i$  და  $j$  შტოები. აქვეა ნაჩვენები ფაზის გაწყვეტის შედეგად ამ შტოებში წარმოქმნილი არასიმეტრიული ძაბვის პირდაპირი მიმდევრობის სამფაზა სიმეტრიული სისტემა. ამ ძაბვებითა და მოცემული მიმდევრობის სქემის



ნახ. 2.3.3 პირდაპირი მიმდევრობის ძაბვა

შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცის საშუალებით განვსაზღვრავთ დაზიანებულ ფაზებში გამავალ პირდაპირი მიმდევრობის იმ დენებს, რომლებიც გამოწვეულია ამ მიმდევრობის ძაბვებით. აღნიშნული დენების განსაზღვრისთვის ძაბვის ვექტორ მატრიცაში შევიყვანოთ  $B$  ფაზის მნიშვნელობა, რომელიც ნახ. 2.3.3-ის მიხედვით  $i$  კვანძისთვის  $\Delta U_{i-B(1)}$  ტოლია, ხოლო  $J$  კვანძისთვის  $a\Delta U_{j-C(1)}$ .

$$\begin{pmatrix} Y_{11(1)} & \dots & Y_{1i(1)} & \dots & Y_{1j(1)} & \dots & Y_{1n(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1(1)} & \dots & Y_{ii(1)} & \dots & Y_{ij(1)} & \dots & Y_{in(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{j1(1)} & \dots & Y_{ji(1)} & \dots & Y_{jj(1)} & \dots & Y_{jn(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1(1)} & \dots & Y_{ni(1)} & \dots & Y_{nj(1)} & \dots & Y_{nn(1)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ \Delta U_{i-B(1)} \\ \dots \\ a\Delta U_{j-C(1)} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1(1)} \\ \dots \\ I_{i-B(1)} \\ \dots \\ I_{j-B(1)} \\ \dots \\ I_{n(1)} \end{pmatrix} \quad (2.3.7)$$

გამოსახულება 5.7-ის გადამრავლების შედეგად მივიღებთ პირდაპირი მიმდევრობის დენებს  $B$  ფაზაში:

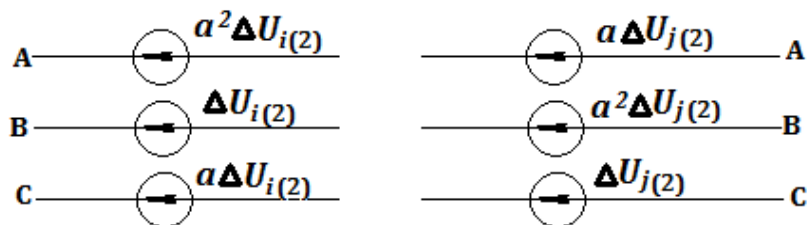
$$i \text{ შტოს } B \text{ ფაზაში: } Y_{ii(1)} \cdot \Delta U_{i-B(1)} + Y_{ij(1)} \cdot a\Delta U_{j-C(1)} = I_{i-B(1)} \quad (2.3.8)$$

$$j \text{ შტოს } B \text{ ფაზაში: } Y_{ji(1)} \cdot \Delta U_{i-B(1)} + Y_{jj(1)} \cdot a\Delta U_{j-C(1)} = I_{j-B(1)} \quad (2.3.9)$$

$J$  შტოს  $C$  ფაზაში გამავალი პირდაპირი მიმდევრობის დენი გასაგებად საჭიროა 2.3.9 გამოსახულება გამრავლდეს ძვრის ოპერატორზე  $a^2$ , რის შედეგადაც მივიღებთ:

$$j \text{ შტოს } C \text{ ფაზაში: } Y_{ji(1)} \cdot a^2\Delta U_{i-B(1)} + Y_{jj(1)} \cdot \Delta U_{j-C(1)} = I_{j-C(1)} \quad (2.3.10)$$

2.3.4 ნახაზზე წარმოდგენილია უკუ მიმდევრობის ჩანაცვლების სქემის  $i$  და  $j$  შტოები. აქვეა ნაჩვენები ფაზის გაწყვეტის შედეგად ამ შტოებში წარმოქმნილი არასიმეტრიული ძაბვის უკუ მიმდევრობის სამფაზა სიმეტრიული სისტემა. ამ ძაბვებითა და მოცემული მიმდევრობის სქემის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცის საშუალებით განვსაზღვრავთ დაზიანებულ ფაზებში გამავალ უკუ მიმდევრობის იმ დენებს, რომლებიც გამოწვეულია ამ მიმდევრობის ძაბვებით.



ნახ. 2.3.4 უკუ მიმდევრობის ძაბვა

რისთვისაც ძაბვის ვექტორ მატრიცაში შევიყვანოთ  $B$  ფაზის მნიშვნელობა, რომელიც ნახ. 2.3.4-ის მიხედვით  $i$  კვანძისთვის  $\Delta U_{i-B(2)}$  ტოლია, ხოლო  $J$  კვანძისთვის  $a^2\Delta U_{j-C(2)}$ .

$$\begin{pmatrix} Y_{i1(2)} & \dots & Y_{ii(2)} & \dots & Y_{ij(2)} & \dots & Y_{in(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1(2)} & \dots & Y_{ii(2)} & \dots & Y_{ij(2)} & \dots & Y_{in(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{j1(2)} & \dots & Y_{ji(2)} & \dots & Y_{jj(2)} & \dots & Y_{jn(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1(2)} & \dots & Y_{ni(2)} & \dots & Y_{nj(2)} & \dots & Y_{nm(2)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ \Delta U_{i-B(2)} \\ \dots \\ a^2\Delta U_{j-C(2)} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1(2)} \\ \dots \\ I_{i-B(2)} \\ \dots \\ I_{j-B(2)} \\ \dots \\ I_{n(2)} \end{pmatrix} \quad (2.3.11)$$

გამოსახულება 2.3.11-ის გადამრავლების შედეგად მივიღებთ უკუ მიმდევრობის დენებს  $B$  ფაზაში:

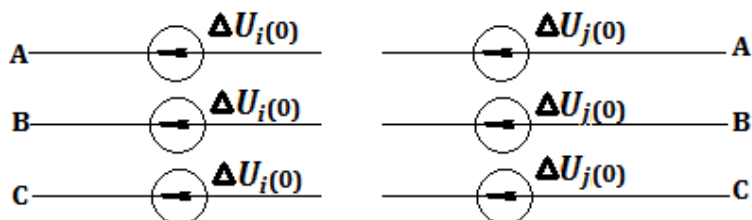
$$i \text{ შტოს } B \text{ ფაზაში: } Y_{ii(2)} \cdot \Delta U_{i-B(2)} + Y_{ij(2)} \cdot a^2 \Delta U_{j-C(2)} = I_{i-B(2)} \quad (2.3.12)$$

$$j \text{ შტოს } B \text{ ფაზაში: } Y_{ji(2)} \cdot \Delta U_{i-B(2)} + Y_{jj(2)} \cdot a^2 \Delta U_{j-C(2)} = I_{j-B(2)} \quad (2.3.13)$$

$J$  შტოს  $C$  ფაზაში გამავალი უკუ მიმდევრობის დენი გასაგებად საჭიროა 2.3.13 გამოსახულება გამრავლდეს ძვრის ოპერატორზე  $a$ , რის შედეგადაც მივიღებთ:

$$j \text{ შტოს } C \text{ ფაზაში: } Y_{ji(1)} \cdot a \Delta U_{i-B(2)} + Y_{jj(2)} \cdot \Delta U_{j-C(2)} = I_{j-C(2)} \quad (2.3.14)$$

2.3.5 ნახაზზე წარმოდგენილია ფაზის გაწყვეტის შედეგად  $i$  და  $j$  შტოებში წარმოქმნილი არასიმეტრიული ძაბვის ნულოვანი მიმდევრობის სამფაზა სიმეტრიული სისტემა. ამ ძაბვებითა და მოცემული მიმდევრობის სქემის შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობათა მატრიცის საშუალებით განვსაზღვრავთ დაზიანებულ ფაზებში გამავალ ნულოვანი მიმდევრობის იმ დენებს, რომლებიც გამოწვეულია ამ მიმდევრობის ძაბვებით.



ნახ. 2.3.5 ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა

$$\begin{pmatrix} Y_{11(0)} & \dots & Y_{1i(0)} & \dots & Y_{1j(0)} & \dots & Y_{1n(0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1(0)} & \dots & Y_{ii(0)} & \dots & Y_{ij(0)} & \dots & Y_{in(0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{j1(0)} & \dots & Y_{ji(0)} & \dots & Y_{jj(0)} & \dots & Y_{jn(0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1(0)} & \dots & Y_{ni(0)} & \dots & Y_{nj(0)} & \dots & Y_{nn(0)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ \Delta U_{i-B(0)} \\ \dots \\ \Delta U_{j-C(0)} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1(0)} \\ \dots \\ I_{i-B(0)} \\ \dots \\ I_{j-C(0)} \\ \dots \\ I_{n(0)} \end{pmatrix} \quad (2.3.15)$$

გამოსახულება 2.3.15-ის გადამრავლების შედეგად მივიღებთ ნულოვანი მიმდევრობის დენებს  $B$  და  $C$  ფაზაში:

$$i \text{ შტოს } B \text{ ფაზაში: } Y_{ii(0)} \cdot \Delta U_{i-B(0)} + Y_{ij(0)} \cdot \Delta U_{j-C(0)} = I_{i-B(0)} \quad (2.3.16)$$

$$j \text{ შტოს } C \text{ ფაზაში: } Y_{ji(0)} \cdot \Delta U_{i-B(0)} + Y_{jj(2)} \cdot \Delta U_{j-C(0)} = I_{j-C(0)} \quad (2.3.17)$$

მიღებული შედეგებით უნდა გავაკეთოთ შემდეგი მათემატიკური გარდაქმნები, რომლის შედეგად მივიღებთ ორ გამოსახულებას, კერძოდ 2.3.8, 2.3.12 და 2.3.16-ის შეტანით 2.3.5 გამოსახულებაში 2.3.3 პირობის გათვალისწინებით. მეორე გამოსახულებას 2.3.10, 2.3.14 და 2.3.17-ის შეტანით 2.3.6 გამოსახულებაში 2.3.4 პირობის გათვალისწინებით.

$$\begin{cases} (Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-B} + (aY_{ij(1)} + a^2Y_{ij(2)} + Y_{ij(0)})\Delta U_{j-C} = a^2I_{i-A} \\ (a^2Y_{ij(1)} + aY_{ij(2)} + Y_{ij(0)})\Delta U_{i-B} + (Y_{jj(1)} + Y_{jj(2)} + Y_{jj(0)})\Delta U_{j-C} = aI_{j-A} \end{cases} \quad (2.3.18)$$

ამ განტოლებათა სისტემიდან განვსაზღვრავთ  $\Delta U_{i-B}$  და  $\Delta U_{j-C}$  ძაბვათა მნიშვნელობებს (ფიქტიური  $i, j$  შტოების პირდაპირი, ან უკუ, ან ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვებს), რომელთა ჩასმით 2.3.7, 2.3.11 2.3.15 გამოსახულებაში გვაძევეს ქსელის ნებისმიერი  $m$  შტოს ფაზებში გამავალ პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობების დენებს. რომლებიც გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებებით.

პირდაპირი მიმდევრობის დენები, რომელიც  $m$  შტოში:

$$\text{ფაზა } A - Y_{mi(1)} \cdot a\Delta U_{i-B(1)} + Y_{jm(1)} \cdot a^2\Delta U_{j-C(1)} = I_{m-A(1)} \quad (2.3.19)$$

$$\text{ფაზა } B - I_{m-B(1)} = a^2I_{m-A(1)} \quad (2.3.20), \text{ ხოლო ფაზა } C - I_{m-C(1)} = aI_{m-A(1)} \quad (2.3.21)$$

უკუ მიმდევრობის დენები, რომელიც  $m$  შტოში:

$$\text{ფაზა } A - Y_{mi(2)} \cdot a^2\Delta U_{i-B(2)} + Y_{jm(2)} \cdot a\Delta U_{j-C(2)} = I_{m-A(2)} \quad (2.3.22)$$

$$\text{ფაზა } B - I_{m-B(2)} = aI_{m-A(2)} \quad (2.3.23)$$

$$\text{ფაზა } C - I_{m-C(2)} = a^2I_{m-A(2)} \quad (2.3.24)$$

ნულოვანი მიმდევრობის დენები, რომელიც  $m$  შტოში:

$$\text{ფაზა } A - Y_{mi(0)} \cdot \Delta U_{i-B(0)} + Y_{jm(0)} \cdot \Delta U_{j-C(0)} = I_{m-A(0)} \quad (2.3.25)$$

$$\text{ფაზა } B - I_{m-B(0)} = I_{m-A(0)} \quad (2.3.26), \text{ ხოლო}$$

$$\text{ფაზა } C - I_{m-C(0)} = I_{m-A(0)} \quad (2.3.27)$$

ამრიგად, დამყარებული რეჟიმის დენების გათვალისწინებით,  $m$  შტოს ფაზებში გამავალი ავარიული დენები იქნება:

$$\text{ფაზა } A - I_{m-A, \varphi} - (I_{m-B(1)} + I_{m-B(2)} + I_{m-B(0)}) = I_{m-A} \quad (2.3.28)$$

$$\text{ფაზა } B - a^2 I_{m-A, \varphi} - (a^2 I_{m-B, (1)} + a I_{m-B, (2)} + I_{m-B, (0)}) = I_{m-B} \quad (2.3.29)$$

$$\text{ფაზა } C - a I_{m-A, \varphi} - (a I_{m-B, (1)} + a^2 I_{m-B, (2)} + I_{m-B, (0)}) = I_{m-C} \quad (2.3.30)$$

იმ შემთხვევაში, როცა ორი ფაზის გაწყვეტას ადგილი აქვს ერთდა იმავე  $i$  შტოში, მაშინ ამ ფაზებში წარმოქმნილი არასიმეტრიულ ძაბვათა მნიშვნელობების საანგარიშო განტოლებათა სისტემა მიიღება (2.3.18) განტოლებათა სისტემიდან, იმის გათვალისწინებით, რომ (ანგარიშების უნიფიცირების მიზნით) ყველა ხაზის ორი და სამი ფაზის გაწყვეტა, წარმოვადგინეთ, როგორც ფიქტიურ ხაზებში ერთ ფაზა გაწყვეტების დროს მიღებული ელექტრული რეჟიმების ზედდება დამატებითი პირობის დაცვით, რაც გულისხმობს ამ ფიქტიური ხაზების შერწყმას. ანუ ფიქტიური ხაზების საკუთარი და ურთიერთ გამტარობების ერთმანეთთან ტოლობას სამივე მიმდევრობის სქემაში. ეს მარტივად შეიძლება განხორციელდეს თუ 2.3.18 განტოლებათა სისტემაში მივიღებთ  $i = j$  და, ამასთან  $\Delta U_{j-C} = \Delta U_{i-C}$ , რის შედეგადაც გვექნება:

$$\begin{cases} (Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-B} + (aY_{ii(1)} + a^2Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-C} = a^2 I_{i-A \varphi} \\ (a^2Y_{ii(1)} + aY_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-B} + (Y_{ii(1)} + Y_{ii(2)} + Y_{ii(0)})\Delta U_{i-C} = a I_{i-A \varphi} \end{cases} \quad (2.3.31)$$

ამ განტოლებათა სისტემიდან განისაზღვრება  $\Delta U_{iB}$  და  $\Delta U_{iC}$  ძაბვის მნიშვნელობები, რომელთა ჩასმით 2.3.7, 2.3.11 და 2.3.15 მატრიცებში შესაძლებელია განისაზღვროს პირდაპირი უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები ნებისმიერ  $m$  შტოში 2.3.19 ÷ 2.3.30 გამოსახულებების მსგავსად.

როგორც ვხედავთ ნებისმიერი სახის წყვეტის მოდულირება არის შესაძლებელი ახალი მეთოდის საშუალებით.

**თავი მესამე:** აღნიშნულ თავში განხილულ იქნა იმერეთის ერთი ფაზის გაწყვეტის შედეგად განვითარებული ავარიული რეჟიმი. რომლის დასაანგარიშებლად და ანალიზის გასაკეთებლად გამოყენებულ იქნა შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცები. რის შედეგადაც მიღებულ იქნა კონკრეტული შედეგები და განსაზღვრულ იქნა აღნიშნული რეჟიმში სისტემის მუშაობის პირობები თ ასეთი არსებობდა.



ანგარიშებმა აჩვენა რომ იმერეთის არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობა თითქმის ყველა საგენერატორო შტოში ქმნის პრობლემას, როგორც ქვემოთ მოცემული ცხრილიდან ვხედავთ უკუ მიმდევრობის დენის მნიშვნელობა დასაშვებ ნორმებს თითქმის ორჯერ ცდება მძლავრ სადგურებში.

თავისუფლად შეიძლება ითქვას აღნიშნულ რეჟიმში სისტემა ვერ იმუშავებს.

ცხ. 1 საგენერატორო ტრ-ებში გამავალი პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები. ავარიის შემდგომი რეჟიმის დენები

შტ	N თავი	N ბოლო	I კა, ავ. შემ. რე	I კა, პირდაპირ	I კა, უკუ	I კა, ნულოვანი	უკუ	ნულ.
1	0-ენგ. გენ 15.75	67-ენგ 500	-0.542+0.472i	0.02856-0.00784i	0.10507-0.03619i	0.10932-0.03379i	15.46%	15.92%
10	3-გარდ 500	52-გარდ გ-9 20	-0.336+0.137i	-0.00538+0.00446i	-0.02154+0.01262i	-0.01398+0.00627i	6.88%	4.22%
16	6-ვარდნ 220	66-ვარდ. გენ 13	-0.239+0.105i	0.01255-0.00438i	0.02865-0.01441i	0.01507-0.00541i	12.29%	6.13%
49	20-გარდ 220	27-გარდაბანი 13	-0.374+0.204i	-0.00532+0.0048i	-0.01834+0.01213i	-0.01792+0.00815i	5.16%	4.62%
53	23-ჟინვალი 220	34-ჟინვ. (გენ) 10	-0.175+0.072i	-0.00393+0.00355i	-0.00964+0.00622i	-0.00691+0.0025i	6.06%	3.88%
59	26-ლაჯან 220	59-ლაჯან 10	-0.109+0.056i	-0.00126+0.00164i	-0.00476+0.00363i	-0.00663+0.00256i	4.88%	5.55%
61	68-ფარავანი 220	69-ფარავან 10	-0.138+0.066i	-0.0051+0.00396i	-0.01882+0.0102i	-0.01435+0.00499i	13.99%	9.93%
63	70-მტკვარი 220	71-მტკვარი 10	-0.104+0.065i	-0.00187+0.00148i	-0.00009+0.00005i	-0.04094+0.01861i	0.08%	36.67%
64	28-ხადორი 110	50-ხადორი 10	-0.046+0.023i	-0.00153+0.00142i	-0.00359+0.00223i	-0.00042+0.00005i	8.22%	0.82%
68	33-ორთაჰ.ჰესი 110	73-ორთაჰ.ჰესი 6	-0.033+0.015i	-0.0008+0.00084i	-0.00119+0.001i	-0.00072+0.00039i	4.29%	2.26%
69	36-ხრამი 1 110	55-ხრამი 1 10	-0.403+0.194i	-0.00764+0.00729i	-0.01247+0.00851i	-0.00362+0.00077i	3.38%	0.83%
73	40-ჩითხევსი 110	56-ჩითხევ 6	-0.037+0.019i	-0.00119+0.00133i	-0.00197+0.00162i	-0.00316+0.0015i	6.13%	8.41%
75	42-მეგრულჰეს 110	57-მეგრულ ჰეს 10	-0.346+0.157i	-0.00381+0.00449i	-0.01196+0.00982i	-0.03579+0.01544i	4.07%	10.26%
77	43-შაურ ჰესი 110	58-შაურჰესი 110	-0.162+0.069i	-0.00218+0.00254i	-0.00487+0.00369i	-0.0072+0.0005i	3.47%	4.10%
79	60-გუმათი 110	61-გუმათი 6	-0.065+0.028i	-0.00067+0.00091i	-0.00231+0.00189i	-0.00266+0.00115i	4.22%	4.09%
81	47-რონჰეს 110	48-რონჰეს 6	-0.126+0.079i	-0.00112+0.00159i	-0.00245+0.00223i	-0.00343+0.00225i	2.23%	2.76%
83	51-გუმათი 1 110	45-გუმათი 1. 6	-0.101+0.071i	-0.00152+0.00214i	-0.0047+0.00418i	0	5.09%	0.00%
85	62-აწ ჰესი 110	62-აწჰესი 6	-0.025+0.017i	0.00128-0.00048i	0.00106-0.00075i	0.00017-0.00003i	4.30%	0.57%
87	64-ბჟუჟაჰესი 110	65-ბჟუჟაჰესი 6	-0.017+0.016i	0.00041-0.00016i	0.00036-0.00027i	0.00011-0.00003i	1.93%	0.49%
88	53-ზაჰესი 110	30-ზაჰესი 6	-0.104+0.056i	-0.00226+0.00233i	-0.0009+0.00078i	-0.00285+0.00131i	1.01%	2.66%
90	80-ვარციხე ჰესი	81-ვარციხ 1 ტრ	-0.198+0.113i	-0.00248+0.00323i	-0.0081+0.00638i	-0.04342+0.02054i	4.52%	21.07%

თავი მეოთხე: პალიასტომი 2-ს ორ ფაზა რეჟიმში მუშაობისას წარმოიქმნება სამ შტოში დასაშვებზე მეტი უკუ მიმდევრობის დენები, კერძოდ ვარდნილ, ბჟუჟა და აწ ჰესების საგენერატორო შტოში.

ცხ. 4.12.1 პალიასტომი 2-ის ორფაზა რეჟიმის დროს საგენერატორო ტრ-ებში გამავალი პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები, ასევე ავარიის შემდგომი რეჟიმის დენები

შტ	N თავი	N ბოლო	I კა, ავ. შემ. რე	I კა, პირდაპირ	I კა, უკუ	I კა, ნულოვანი	უკუ	ნულ.
1	0-ენგ. გენ 15.75	67-ენგ 500	-0.774+0.538i	0.00198-0.00176i	0.00499-0.00568i	0.00454-0.00433i	0.80%	0.67%
10	3-გარდ 500	52-გარდ გ-9 20	-0.294+0.113i	0.00041-0.00034i	0.0006-0.00064i	0.00003-0.00001i	0.28%	0.01%
16	6-ვარდნ 220	66-ვარდ. გენ 13	-0.273+0.105i	0.00269-0.0025i	0.00857-0.00977i	0.0111-0.01135i	4.44%	5.43%
49	20-გარდ 220	27-გარდაბანი 13	-0.332+0.178i	0.0004-0.00035i	0.00049-0.00057i	0.00003-0.00001i	0.20%	0.01%
53	23-ჟინვალი 220	34-ჟინვ. (გენ) 10	-0.154+0.06i	0.00029-0.00025i	0.00025-0.00027i	0.00001	0.22%	0.01%
59	26-ლაჯან 220	59-ლაჯან 10	-0.097+0.048i	0.00006+0.00012i	-0.00007+0.0004i	-0.00014+0.0002i	0.38%	0.23%
61	68-ფარავანი 220	69-ფარავან 10	-0.099+0.046i	0.00039-0.00031i	0.00054-0.00056i	0.00003-0.00001i	0.71%	0.03%
63	70-მტკვარი 220	71-მტკვარი 10	-0.061+0.045i	0.00014-0.00012i	0	0.00008-0.00002i	0.00%	0.11%
64	28-ხადორი 110	50-ხადორი 10	-0.041+0.019i	0.00011-0.0001i	0.0001-0.00011i	0	0.33%	0.00%
68	33-ორთაჰ.ჰესი 110	73-ორთაჰ.ჰესი 6	-0.03+0.013i	0.00006-0.00006i	0.00003-0.00004i	0	0.15%	0.00%
69	36-ხრამი 1 110	55-ხრამი 1 10	-0.379+0.177i	0.00057-0.00052i	0.00032-0.00038i	0.00001	0.12%	0.00%
73	40-ჩითხევსი 110	56-ჩითხევ 6	-0.03+0.015i	0.00008-0.00003i	0.00003+0.00001i	-0.00001+0.00002i	0.09%	0.07%
75	42-მეგრულჰეს 110	57-მეგრულ ჰეს 10	-0.294+0.128i	0.00024+0.00005i	0.00009+0.00031i	-0.00011+0.0002i	0.10%	0.07%
77	43-შაურ ჰესი 110	58-შაურჰესი 110	-0.147+0.063i	0.00014+0.00003i	0.00003+0.00012i	-0.00003+0.00003i	0.08%	0.03%
79	60-გუმათი 110	61-გუმათი 6	-0.059+0.024i	0.00004+0.00006i	-0.00003+0.0002i	-0.00006+0.00009i	0.32%	0.17%
81	47-რონჰეს 110	48-რონჰეს 6	-0.119+0.074i	0.00006+0.00011i	-0.00002+0.00022i	-0.00006+0.00013i	0.16%	0.10%
83	51-გუმათი 1 110	45-გუმათი 1. 6	-0.094+0.065i	0.00009+0.00015i	-0.00004+0.00042i	0	0.37%	0.00%
85	62-აწ ჰესი 110	62-აწჰესი 6	-0.039+0.038i	-0.00115+0.00242i	-0.00194+0.00449i	-0.00788+0.01242i	8.98%	27.01%
87	64-ბჟუჟაჰესი 110	65-ბჟუჟაჰესი 6	-0.023+0.027i	-0.00035+0.00077i	-0.00064+0.00156i	-0.00481+0.00831i	4.75%	27.07%
88	53-ზაჰესი 110	30-ზაჰესი 6	-0.098+0.051i	0.00017-0.00017i	0.00002-0.00003i	0	0.03%	0.00%
90	80-ვარციხე ჰესი	81-ვარციხ 1 ტრ	-0.145+0.086i	0.00013+0.00024i	-0.0001+0.00069i	-0.0009+0.00146i	0.41%	1.02%

აღსანიშნავია ის ფაქტიც რომ აღნიშნული პროცენტული მნიშვნელობა გამოყვანილია ავარიის შემდგომი რეჟიმის დენების მიმართ, რაც გარკვეულ ცდომილებას იძევა. სამართლიანი და სწორი იქნება უკუ მიმდევრობის დენების შეფარდება შესაბამის რეჟიმის დროს მომუშავე გენერატორების ნომინალურ დენთან, რის შედეგადაც აღმოვაჩინთ რომ აწ ჰესის გარდა სხვა შტოებში 3%-ზე დაბალი იქნება უკუ მიმდევრობის დენის მნიშვნელობა. აქედან გამომდინარე თუ მიღებულ იქნება შესაბამისი ღონისძიებები აწ ჰესის შტოში უკუ მიმდევრობის დენების შემცირებისთვის, ეს რეჟიმი შეიძლება დაშვებულ იქნეს, თუ არა ამ შემთხვევაში დაუშვებელია.

როგორც დაკვირვებებიდან ჩანს არასრულ ფაზა რეჟიმების მიმართ განსაკუთრებით მგრძნობიარენი არიან მცირე სიმძლავრის სადგურები.

**თავი მეხუთე:** როგორც ანგარიშიდან და ქვემოთ მოცემული ცხრილიდან ჩანს ქართლი 2-ის არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობა არცერთ სადგურსა და მინაერთს უქმნის პრობლემს. თითოეულ შტოში უკუ მიმდევრობის დენი არ ცდება 3%. აღნიშნული განპირობებულია ქართლი 2-ს პარალელური 500 კვ-იანი ქსელის არსებობით.

ყოველივე აქედან გამომდინარე თავისუფლად შეიძლება ითქვას რომ ამ შტოს არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობა დასაშვებია.

ცხ. 5.8 ქართლი 2-ის ორფაზა რეჟიმის დროს საგენერატორო ტრ-ებში გამავალი პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის დენები, ასევე ავარიის შემდგომი რეჟიმის დენები

შტ	N თავი	N ბოლო	I კვ, ავ. შემ. რც	I კვ, პირდაპირ	I კვ, უკუ	I კვ, ნულოვანი	უკუ	ნულ.
1	0-ენგ. გენ 15.75	67-ენგ 500	-0.788+0.546i	-0.00038-0.00042i	-0.00128-0.00149i	-0.00101-0.00133i	0.20%	0.17%
10	3-გარდ 500	52-გარდ გ-9 20	-0.293+0.116i	0.00022+0.00026i	0.00087+0.00111i	0.00055+0.00082i	0.45%	0.31%
16	6-ვარდ 220	66-ვარდ. გენ 13	-0.297+0.128i	-0.00026-0.00022i	-0.00056-0.00048i	-0.00017-0.00021i	0.23%	0.08%
49	20-გარდ 220	27-გარდაბანი 13	-0.331+0.181i	0.00026+0.00029i	0.00092+0.00105i	0.00083+0.00122i	0.37%	0.39%
53	23-ჟინვალი 220	34-ჟინვ. (გენ) 10	-0.154+0.062i	0.00022+0.00024i	0.00056+0.00065i	0.00052+0.00082i	0.52%	0.58%
59	26-ლაჯან 220	59-ლაჯან 10	-0.097+0.047i	-0.00006-0.00005i	-0.00017-0.00015i	-0.00014-0.00019i	0.21%	0.22%
61	68-ფარავანი 220	69-ფარავან 10	-0.1+0.046i	-0.00006-0.00007i	-0.00026-0.0003i	-0.00026-0.00036i	0.36%	0.40%
63	70-მტკვარი 220	71-მტკვარი 10	-0.062+0.044i	-0.00002-0.00002i	0	-0.00086-0.001i	0.00%	1.73%
64	28-ხადორი 110	50-ხადორი 10	-0.041+0.02i	0.00008+0.00008i	0.00017+0.00021i	0.00001+0.00003i	0.59%	0.07%
68	33-ორთაჭ. ჰესი 110	73-ორთაჭ ჰესი 6	-0.03+0.013i	0.00005+0.00005i	0.00008+0.00007i	0.00006+0.00007i	0.33%	0.28%
69	36-ხრამი 1 110	55-ხრამი 1 10	-0.378+0.179i	0.00042+0.00044i	0.00071+0.00078i	0.00018+0.00041i	0.25%	0.11%
73	40-ჩითხვავისი 110	56-ჩითხვავ 6	-0.03+0.015i	0.00001+0.00001i	0.00001+0.00002i	-0.00004-0.00004i	0.07%	0.17%
75	42-მევრულჰესი 110	57-მევრულ ჰეს 10	-0.296+0.126i	-0.00014-0.00012i	-0.0004-0.00032i	-0.00084-0.00103i	0.16%	0.41%
77	43-შაურ ჰესი 110	58-შაურჰესი 110	-0.148+0.062i	-0.00008-0.00007i	-0.00015-0.00013i	-0.00008-0.00023i	0.12%	0.15%
79	60-გუმათი 110	61-გუმათი 6	-0.059+0.024i	-0.00003-0.00003i	-0.00009-0.00007i	-0.00006-0.00008i	0.18%	0.16%
81	47-რონჰეს 110	48-რონჰეს 6	-0.119+0.073i	-0.00006-0.00005i	-0.0001-0.00008i	-0.00011-0.00009i	0.09%	0.10%
83	51-გუმათი 1 110	45-გუმათი 1. 6	-0.095+0.064i	-0.00008-0.00007i	-0.00019-0.00015i	0	0.21%	0.00%
85	62-აწ ჰესი 110	62-აწჰესი 6	-0.028+0.019i	-0.00004-0.00003i	-0.00005-0.00003i	-0.00002-0.00002i	0.17%	0.08%
87	64-ბჟუჟაჰესი 110	65-ბჟუჟაჰესი 6	-0.018+0.016i	-0.00001-0.00001i	-0.00002-0.00001i	-0.00001-0.00001i	0.09%	0.06%
88	53-ზაჰესი 110	30-ზაჰესი 6	-0.098+0.052i	0.00013+0.00013i	0.00006+0.00005i	0.00022+0.00029i	0.07%	0.33%
90	80-ვარციხე ჰესი	81-ვარციხ 1 ტრ	-0.146+0.082i	-0.00012-0.00011i	-0.00003-0.00026i	-0.00108-0.00125i	0.24%	0.99%

**თავი შეექვსე:** აქ მოცემულია ქართლი -2-ისა და გოდა 2-ს ერთდროული ერთფაზა გაწყვეტის ანგარიში, რომელიც საშუალებას იძლევა განსაზღვრულ იქნეს ავარიული რეჟიმის შემდგომი დენების მნიშვნელობები.

**დასკვნა:** შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცების გამოყენებით შესაძლებელია გაანგარიშებულ იქნეს შესაბამისი მიმდევრობის კოეფიციენტების მატრიცა, რომელიც უცვლელი იქნება ნებისმიერი რაოდენობისა და სახის არასიმეტრიული რეჟიმების საანგარიშოდ. შესაძლებელი ხდება შეიქნას პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის ჩანაცვლების სქემები, რომლის პარამეტრები და კონფიგურაციები მუდმივი იქნება ერთფაზა გაწყვეტისთვისაც და ორფაზა გაწყვეტისთვისაც, ასევე სხვადასხვა შტოში ერთდროული გაწყვეტების შემთხვევაშიც. რაც შესაძლებელს ხდის შექმნილ იქნას ალგორითმი.

მეთოდზე დაყრდნობით გაკეთდა საქართველოს ელექტროსისტემის არასიმეტრიული რეჟიმების იმიტაციები. მოხერხდა სხვადასხვა შტოებში ფაზის წყვეტის შედეგად გამოწვეულ ასიმეტრიულ რეჟიმის ანალიზის გაკეთება. კერძოდ განხილულ იქნა იმერეთის, ქართლი-2-ს და პალიასტომი 2-ს ერთიფაზის გაწყვეტის შედეგად შექმნილი ასიმეტრიული რეჟიმები.

1. ანგარიშებმა აჩვენა რომ იმერეთის არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობა თითქმის ყველა საგენერატორო შტოში ქმნის პრობლემას, უკუ მიმდევრობის დენის მნიშვნელობა თითქმის ორჯერ ცდება დასაშვებ ნორმებს მძლავრ სადგურებში. მიუხედავად ამისა ავარიის შემდგომის დენები ხაზების გამტარ უნარიანობას არ ჭარბობს, ასევე არ ფიქსირდება ტრანსფორმატორებში გამავალი დენის გადაჭარბება მის ნომინალურ დენს.
2. პალიასტომი 2-ს ორ ფაზა რეჟიმში მუშაობისას პრობლემა წარმოიქმნება სამ შტოში, კერძოდ ვარდნილ (4,5%), ბჟუჟა (4,5%) და აწ ჰესების (8,98%) საგენერატორო შტოში უკუ მიმდევრობის დენები დასაშვებ ნორმებს ცდება. აღსანიშნავია ის ფაქტიც რომ აღნიშნული პროცენტული

მნიშვნელობა გამოყვანილია ავარიის შემდგომი რეჟიმის დენების მიმართ, რაც გარკვეულ ცდომილებას იძევა. სამართლიანი და სწორი იქნება უკუ მიმდევრობის დენების შეფარდება შესაბამის რეჟიმის დროს მომუშავე გენერატორების ნომინალურ დენთან, რის შედეგადაც აწ ჰესის გარდა სხვა შტოებში 3%-ზე დაბალი იქნება უკუ მიმდევრობის დენის მნიშვნელობა. აქედან გამომდინარე თუ მიღებულ იქნება შესაბამისი ღონისძიებები აწ ჰესის შტოში უკუ მიმდევრობის დენების შემცირებისთვის, ეს რეჟიმი შეიძლება დაშვებულ იქნეს, თუ არა მაშინ დაუშვებელია.

3. ქართლი 2-ის ორფაზა რეჟიმში მუშაობა არცერთ სადგურსა და მინაერთისათვის არის საშიში. თითოეულ შტოში უკუ მიმდევრობის დენი არ ცდება 3%. აღნიშნული განპირობებულია ქართლი 2-ს პარალელური 500 კვ-იანი ე.გ.ხ-ს არსებობით. ყოველივე აქედან გამომდინარე თავისუფლად შეიძლება ითქვას, რომ ამ შტოს არასრულფაზა რეჟიმში მუშაობა დასაშვებია.

შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა იმისა, რომ ავარიულ (წყვეტის) კვანძზე მიერთებულ შტოებზე განსაკუთრებით დიდი უკუ მიმდევრობის დენები ჩნდება. ასევე შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა იმისა, რომ არასიმეტრიული რეჟიმების მიმართ განსაკუთრებით მგრძობიარენი არიან დაბალი სიმძლავრის სადგურები.

ასევე განხორციელდა ორ სახვადასხვა შტოში ერთფაზა წყვეტის შედეგად განვითარებული ასიმეტრიული რეჟიმის ანალიზი.

შტოების საკუთარი და ურთიერთ გამტარებლობის მატრიცების გამოყენებით შესაძლებელია ნებისმიერი რაოდენობისა და სახის გაწყვეტების გამოკვლევა.

### ნაშრომის აპრობაცია და პუბლიკაციები:

1. თ. ფიფია „გრძივი ასიმეტრიის გაანგარიშების მეთოდები“. ჟურნალი „ენერჯია“ N4(72)/2014 გვ. 76-80
2. ნ. თურქია, თ. ფიფია „დენების განსაზღვრა ფაზების გრძივი პარამეტრების ასიმეტრიის დროს“. ჟურნალი: „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“. No.2(vol.74),2015. გვ 38-42
3. N. Turkia, T. Phiphia, V. Bantsadze “Creation of Mathematical Model for Simultaneous Asymmetric Faults in Electric Systems”. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“ თბილისი კოსტავას 77. აკადემიკოს ი. ფრანგიშვილის დაბადების 85-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. გვ 380-386
4. გ. მახარაძე თ. ფიფია „არასრულფაზოვანი რეჟიმების ამსახველი განტოლებები“. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. გვ 81

## Abstract

Nowadays, people's lives, and generally civilization, that much is depended on electric energy, that even for a small time intermission of power will cause a number of problems. Coming out from this, it's inescapable to increase reliability and quality parameters of electric power supply system.

Statistics indicates that a large share of accidental damage comes from wired injury. Privately, 70-80% is due to one phase injury, often this is phase discontinuity. In this case transmission line restart is made by relay protection. If it is unsuccessful, high voltage line will be in complete disabling. For one's part it causes energy supply restriction or interruption.

We can consider Imereti transmission line (T.L) case. Its emergency shutdown in electrical system causes power shortage, which according to the regime, ends with partially or fully collapses. This is because accumulated energy based in west Georgia stays only 220 and 110 kv line for transfer in the east Georgia, but its capacity is not enough.

There are two ways for problem solving: First, to build alternative 500 kv transmission line or it must be considered double phase mode, at least for that time which will be enough for convenient shifting.

Nowadays according to the existent method any asymmetrical mode can be disband in three symmetrical components: direct, inverse and zero sequenced. Accordingly each sequence, equivalent circuit so called integrated circuits. This method is hard to use to the big systems. It's problematic to compose and execute reports, besides to consider another double phase mode it's necessary to calculate schemes and change – so every private case must be considered separately.

Today's computer technologies allows to create electronic network asymmetric mode to calculate algorithm based on general principles, which allows to calculate simultaneous any points of asymmetric injuries. Mentioned mathematical model allows at the same time two and more different branches modeling phase break. Broken phases can be uniformity or non uniformity.

To decide this point successfully by the universal method, which is based on using generalized linear network settings (branches and their mutual permeability matrix)? Mentioned matrix connects voltage currents in branches; in the same branches ideal voltage sources are connected. Presented methods any kind of longitudinal damage is presented as single – phase disconnect, by which is created electrical interference regimes.

According to post accident mode presents normal modes and emergency energy component overlap result. This can be disintegration by three symmetrical components: direct, inverse and zero. Symmetrical component decomposition allows to consider each components mode separately, which connection is made by boundary conditions.

Presented method allows conducting an unlimited number of breaks. Method universality lies on all of the accounts which don't needs replacement scheme change and recalculation.

By this method contrived electrical system of Georgia asymmetrical mode research, its various single phase discontinuity imitations.

Especially interested was double phase emergency of Imereti, which could allow partially of fully protection from collapse. Also enforcement of the reserve capacity (gas turbines in Gardabani) or even to import. Research shows that in Enguri station tire excluded size reverse sequence currents appear to create. Because of it we can say, that this mode is unacceptable for Georgian electric system.

Non full phase mode of Kartli 2 shows that parameters are not going to go beyond the limits of permissible, in none of the branches. Also over load of electric devices and transmission lines will not happen. Coming from this marked line is permitted to work in double phase mode.

Paliastomi 2's double phase mode work gives hopeful results, in particular reverse sequence voltage current completes 9% in Atshesi, 4.5% in Varnil and bjhujha hydro electric stations. Marked sequences lead out worker mode currents, however if generator toward nominal capacity breads, in this case only tire of Atshesi will create problem, trough Batumi 110 kv substation will managed reverse sequence current restrictions. With appropriate equipment this mode would be acceptable. In other case mode is unacceptable.

An analysis showed, that reverse sequence voltage currents exceeds the permissible limits in generator branches, which directly are connected to emergency (single phase discontinuity) section.

Besides one single phase discontinuity imitation was made and has been defined emergency inputs.

By results of research, showed method gives means to market survey to any kind of interruptions results by developed asymmetric mode.