

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თორნიკე აფრიაშვილი

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ნეიტრალის ჩამიწების საკითხები

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"
შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2019 წ.

საავტორო უფლება © 2019 წელი, თორნიკე აფრიაშვილი

თბილისი

2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით აფრიაშვილი თორნიკეს მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ნეიტრალის ჩამიწების საკითხები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

_____ , 2019 წელი

ხელმძღვანელი: _____ პროფესორი მ. რუხვაძე

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: თორნიკე აფრიაშვილი

თემის დასახელება: „იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ნეიტრალის ჩამიწების საკითხები“

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____, 2019 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო თემა ეხება საშუალო ძაბვის ქსელების ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების შესწავლასა და მის გავლენას ერთფაზა დამიწებისგან გამოწვეულ გადამეტაბებებსა და რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპებზე. საშუალო ძაბვის ქსელების პროექტირებისას ნეიტრალის დამიწების რეჟიმის სწორი შერჩევა მნიშვნელოვანი საკითხია. როგორც წესი, ამაზე არის დამოკიდებული მომხმარებლების საიმედო ელექტრომომარაგება, ელექტრომოწყობილობებისა და კაბელების ექსპლუატაციის ვადა, ადამიანებისა და ცხოველების უსაფრთხოება და რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები;

თემა საკმაოდ აქტუალურია, რადგან დისერტაციაში შემოთავაზებულია საქართველოს საშუალო ძაბვის ქსელის იზოლირებული ნეიტრალის დამიწება აქტიური წინაღობით. ამჟამად, საქართველოს საშუალო ძაბვის ქსელი მუშაობს იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმით. ცნობილია, რომ ძველი, ჯერ კიდევ საბჭოთა კავშირის დროს შემოღებული „ელექტროდანადგართა მოწყობის წესების“ („ПУЭ“) თანახმად, საქართველოში იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწება არ წარმოადგენს ავარიას, ლიმიტირებულია მხოლოდ დამიწების არსებობის დრო (2 საათი) და დამიწების მაქსიმალური დასაშვები დენი, თუმცა აღნიშნულ ქსელში ერთი ფაზის დამიწება იწვევს გადამეტაბებებს, რომლის ჯერადობაც საკმაოდ მაღალია და ხშირ შემთხვევაში აზიანებს ძვირადღირებული ელექტრომოწყობილობების იზოლაციას, რაც სერიოზული ავარიის გამომწვევი მიზეზი ხდება. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ დაუმიწებელ ნეიტრალიან (იზოლირებულ) ქსელში ერთი ფაზის დამიწებისას გართულებულია დაზიანების ადგილის დადგენა და მისი დროული აღმოფხვრა, რის გამოც აღნიშნულ ქსელებს უწევთ მოცემულ რეჟიმში ხანგძლივი მუშაობა, რაც არამარტო ადამიანებსა და ცხოველებს უქმნის საფრთხეს, არამედ ელექტრომოწყობილობების ექსპლუატაციის ვადასაც ამცირებს.

სადირსეტაციო ნაშრომში შესრულებულ კვლევებს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგან წარმოდგენილია საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების მოდელირებები. საქართველოს საშუალო ძაბვის ქსელების კონკრეტულ მაგალითებზე დაყრდნობით შეასძლებელი ხდება შეირჩეს ნეიტრალის დამიწების ოპტიმალური რეჟიმი, სადაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპებს, რომელიც დააკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ ყველა მოთხოვნას.

საკვლევი თემის სამეცნიერო სიახლედ შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ ნაშრომში შემოთავაზებულია, აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალის მქონე შეკრულ საშუალო ძაბვის ქსელში რელეური დაცვის განხორციელების ორი ვარიანტი, კერძოდ პირველი ვარიანტის შემთხვევაში შეკრული ქსელი ჯერ გაიხსნება (გაიყოფა ორ ნაწილად) ЗСИ

და 3Io ფაქტით და შემდეგ, როგორც რადიალური ქსელში, ისე იმოქმედებს ნულოვანი მიმდევრობის დენური დაცვა, ხოლო რელეური დაცვის მეორე ვარიანტის თანახმად დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზი გამოირთვება კასკადურად. ჯერ მიმართული დენური დაცვით, შემდეგ კი $I_0=I_2$ ტოლობის პრინციპზე მომუშავე რელეური დაცვით.

თავი I ეხება საშუალო ძაბვის ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების თეორიულ მიმოხილვას, სადაც წარმოდგენილია ნეიტრალის დამიწების ოთხი ძირითადი რეჟიმი და მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები, ასევე ასახულია ნეიტრალის დამიწების რეჟიმების შერჩევის მსოფლიო პრაქტიკა და მიდგომები. გარდა ამისა მოცემულ თავში, იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული პროცესების შესასწავლად წარმოდგენილია 35/10 კვ ძაბვის ქვესადგური „გორი 35“-ის ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვის მოდელირება და აღნიშნული გადამეტაბვის შედეგად ძაბვის ტრანსფორმატორის დაზიანების მაგალითი.

თავი II ეხება საშუალო ძაბვის იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთი ფაზის დამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვის მათემატიკურ მოდელირებას, სადაც მიღებული დიფერენციალური განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირება განხორციელებულია რუნგე-კუტტის მეთოდით. ასევე, აღნიშნულ თავში ნაჩვენებია ქვესადგური „ხაშური 35“-ის 35 კვ ძაბვის იზოლირებული ნეიტრალით მომუშავე ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული ავარიის განვითარების მოდელირება, სადაც, ასევე, განხილულია სარელეო დაცვის მოწყობის და დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზის აღმოჩენის სირთულეები. გარდა ამისა, განხორციელებულია ერთფაზა დამიწების მოდელირება ნეიტრალის რკალმქრობი კოჭით და რეზისტორით დამიწების შემთხვევებში.

თავი III ეხება ერთფაზა მოკლე შერთვისაგან რელეური დაცვის განხორციელების მოწყობის პრინციპებს. აქ წარმოდგენილია რადიალურ-განშტოვებულ და შეკრული ქსელებში ერთფაზა მოკლე შერთვების მოდელირება, რის საფუძველზეც შემოთავაზებულია ერთფაზა მოკლე შერთვებისგან დასაცავად რელეური დაცვის განხორციელების სხვადასხვა პრინციპები. აღნიშნულ თავში, ასევე ასახულია გორის რაიონის 35 კვ ძაბვის შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვისგან რელეური დაცვის მოწყობისა და მოქმედებების პრინციპები.

თავი IV ეხება ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზს, კერძოდ განხილულია ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს აქტიურ წინაღობაში გამავალი სიმძლავრის გავლენა ქსელში არსებული გენერატორების ბრუნთა რიცხვზე, შესაბამისად წარმოდგენილია „ორთაჭალა ჰესის“ და ოზურგეთის რაიონის ქსელების ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობისას ერთფაზა მოკლე შერთვის და მათ მიერ გამოწვეული სიხშირის ცვლილებების მოდელირებები.

Resume

The dissertation subject touches upon study of the working modes of neutrals of medium voltage networks and its effect on the overvoltage caused by single-phase grounding and the principles of arranging relay protection. Correct selection of the neutral grounding mode in course of designing medium voltage network is the issue of significant importance. As a rule, reliable electricity supply of consumers, electric equipment and term of operation of the cables, safety of humans and animals and the principles of relay protection arrangement depends on this.

This subject is actual, as it offers grounding of isolated neutral of medium voltage network with active resistance in Georgia. Currently, medium voltage network of Georgia operates with the mode of isolated neutral. It is known that according to the old Rules of Electrical Facilities Maintenance introduced during Soviet Union, single-phase fault in isolated neutral network in Georgia does not represent breakdown, only grounding period (2 hours) and maximum permissible current are limited. However, single-phase fault in the network gives rise to the overvoltage, sequence of which is quite high and, often damages isolation of expensive electric devices, becoming reason causing serious breakdown. It shall be noted that when grounding single phase in ungrounded neutral (isolated) network, it is difficult to establish location of breakdown and its timely elimination, for which said networks are to operate in the said mode for longer time, thus not only threatening humans and animals, but also – reducing useful operation term of electric devices.

Studies performed in the dissertation thesis are of practical importance, as they are comprised of the modelling of different modes of operation of neutrals of medium voltage network. On the particular example of medium voltage network of Georgia, it becomes possible to select optimal mode of grounding of neutral, where relay protection arrangement principles are of special importance, to satisfy all requirements set to it.

We may consider the fact that Thesis offers two options of implementing relay protection in the closed medium voltage network of the neutral grounded with active resistance to be scientific innovation of the subject matter. In case of the first option, closed network first opens (divided in two parts) with $3U_0$ and $3I_0$ facts; then, as in radial network, it operates zero sequence current protection. According to the second option of relay protection, damaged power transmission line will cut down in cascade form – first with current protection and then with the relay protection operating on the principle of I_0-I_2 equation.

First Chapter touches upon theoretical review of the operation modes of medium voltage neutral, presenting four main modes of neutral grounding and their advantages and disadvantages. It also reflects global practice and approaches for selection of neutral grounding modes. Moreover, for studying the processes caused by single-phase grounding in the isolated neutral network, modelling of overvoltage caused by single-phase grounding in 35/10 kV voltage substation Gori

35 is presented in the same Chapter, as well as the example of damaging voltage transformer by the said overvoltage.

Second Chapter touches upon mathematic modeling of overvoltage caused by the single-phase grounding in the network of isolated neutral of medium voltage, where numerical integration of the received differential equation is performed in accordance with Runge-Kutta method. Herewith, said Chapter shows modelling of development of breakdown caused by single-phase grounding in the network operating with isolated neutral of 35 kV voltage of the substation Khashuri 35. It also gives description of the arrangement of relay protection and difficulties with identification of the damaged power transmission line. Moreover, modeling of single-phase grounding is performed with arcing reel and in case of grounding with resistor.

Third Chapter touches upon single-phase short circuit relay protection arrangement principles. It presents modeling of single-phase short circuits in the radial-branched and closed networks, based on which different principles of implementing relay protection for single-phase short circuits are offered. This Chapter also describes the principles for arrangement of relay protection and operation for single-phase short circuit in the 35 kV closed network in Gori Region.

Fourth Chapter touches upon analysis of neutral operation modes in the autonomous systems, particularly reviewing single-phase short circuit period in active resistor, impact of outflow capacity on the amount of turns of the generators existed in the network. It also presents modelling of single-phase short circuit operation in autonomous modes of the networks of Ortachala HPP and Ozurgeti Region and capacity changes caused by them.

შინაარსი

შესავალი.....	16
ლიტერატურის მიმოხილვა.....	19
თავი 1. საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმები.....	23
1.1. საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმების ანალიზი	23
1.2. იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი.....	27
1.3. 6-35 კვ ძაბვის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით.....	30
1.4. საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწება რეზისტორის მეშვეობით.....	36
1.5. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული გადამეტება	42
თავი 2. საშუალო ძაბვის იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის მოდელირება.....	49
2.1. იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის მათემატიკური მოდელი	49
2.2. გადამეტებების ანალიზი ხაშურის 35 კვ ქსელის მაგალითზე.....	58
2.3. ერთფაზა დამიწების მოდელირება ATPDraw-ში რკალმქრობი კოჭით და რეზისტორით ნეიტრალის დამიწების შემთხვევაში.....	71
თავი 3. რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები.....	76
3.1. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში რელეური დაცვის განხორციელება.....	76
3.2. ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა განშტოვებულ ქსელში	78
3.3. ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა შეკრულ ქსელში	80
3.4. ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა გორის 35 კვ ძაბვის შეკრულ ქსელში	92
თავი 4. საშუალო ძაბვის ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი.....	101
4.1. აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალიან ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი	101
4.2. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელის რეჟიმების ანალიზი	111
დასკვნა.....	121
გამოყენებული ლიტერატურა	122

ცხრილების ნუსხა

გვ.

ცხრილი 1. სხვადასხვა ქვეყნებში 3-69 კვ საშუალო ძაბვის ქსელებში ნეიტრალის დამიწების რეჟიმები	25
ცხრილი 2. ქვ/ს „გორი 35“-ის ქსელის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები.....	43
ცხრილი 3. განშტოვებულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობები.....	79
ცხრილი 4. ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობების დამოკიდებულება მოკლე შერთვის ადგილთან	85
ცხრილი 5. ნულოვანი და უკუ მიმდევრობის დენების სიდიდე მშ მდებარეობასთან დამოკიდებულებაში.	91
ცხრილი 6. ნულოვანი და უკუ მიმდევრობის დენების სიდიდე მშ მდებარეობასთან დამოკიდებულებაში-	92
ცხრილი 7. გორის 35 კვ ძაბვის ქსელის ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები.....	94
ცხრილი 8. AVR-SEXS გენერატორის ძაბვის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობის პარამეტრები	107
ცხრილი 9. გენერატორის სიჩქარის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობის IEEE G3 პარამეტრები.....	107
ცხრილი 10. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები.....	113

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწების რეჟიმები	24
ნახაზი 2. 110/10 კვ ქვ/ს „თეთრი წყაროს“ 10 კვ გამანაწილებელი მოწყობილობის 1 სექციის ცალხაზოვანი სქემა	26
ნახაზი 3. დამადაბლებელი ქვესადგური იზოლირებული ნეიტრალით 6-10 კვ ძაბვის მხარეს.....	27
ნახაზი 4 . დამადაბლებელი ქვესადგური რკალმქრობი რეაქტორით დამიწებული ნეიტრალით 6-10 კვ ძაბვის მხარეს	31
ნახაზი 5. სტუქტურული სქემა ქსელის ნეიტრალის დამიწების მამუნტებული რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორის გავლით	32
ნახაზი 6. მამუნტებული რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორით დამიწებული ნეიტრალის რეჯიმის დროს ერთფაზა დამიწებისების სარელეო დაცვის სელექტიურობის ორგანიზების სქემა.....	33
ნახაზი 7. ორტრანსფორმატორიანი ქვესადგური, რომლის ნეიტრალიც 6-10 კვ ძაბვის მხარეს დამიწებულია რეზისტორის გავლით.....	36
ნახაზი 8. რეზისტორის მიერთების ვარიანტები	36
ნახაზი 9. ერთფაზა ჩამიწების დენების ვექტორული დიაგრამა რეზისტორით დამიწებული ნეიტრალის რეჟიმის დროს.	38
ნახაზი 10. 6-35 კვ ძაბვის ნეიტრალის რეზისტორით დამიწებულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვისაგან დასაცავად მოწყობილი სარელეო დაცვის პრინციპიალური სქემა	40
ნახაზი 11. „გორი 35“-ის 35 კვ ძაბვის ქსელი	42
ნახაზი 12 . „გორი 35“-ის 35 კვ ძაბვის ქსელის მოდელი ATPDraw პროგრამაში.....	43
ნახაზი 13. 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა ჩამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვა.....	44
ნახაზი 14. 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა ჩამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვა.....	45
ნახაზი 15. ნეიტრალის ძაბვა მიწის მიმართ	45
ნახაზი 16. 35 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორის ფოლადის დამაგნიტების მრუდი.....	46
ნახაზი 17. ერთფაზა დამიწების დროს ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გამავალი დენი	47
ნახაზი 18. ერთფაზა დამიწების დროს ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გამავალი დენი	48

ნახაზი 19. ხაზის ტევადური და აქტიური გამტარებლობები RC შტოთი ჩანაცვლება.....	49
ნახაზი 20. იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის ჩანაცვლების სქემა	50
ნახაზი 21. პირველი კონტური.....	50
ნახაზი 22. მეორე კონტური	51
ნახაზი 23. მესამე კონტური	52
ნახაზი 24. მეოთხე კონტური.....	52
ნახაზი 25. მეხუთე კონტური	53
ნახაზი 26. მეექვსე კონტური	54
ნახაზი 27. მეშვიდე კონტური	54
ნახაზი 28. ქს „ხაშური“-ს 35 კვ ძაბვის ქსელი.	59
ნახაზი 29. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ძაბვის მოკლე ეგზ-ზე .	61
ნახაზი 30. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ეგზ „ხაშური“-„ლიხი-წევაზე“.....	62
ნახაზი 31. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ეგზ „ლიხი-წევა“- „სურამი-წევა“-ზე.....	63
ნახაზი 32. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ეგზ „სურამი-წევა“- წიფა-წევა“-ზე.....	64
ნახაზი 33. ერთფაზა დამიწების მოდელირება ATPDraw მეშვეობით. 35 კვ ეგზ „სურამი-წევა“-წიფა-წევა“-ზე.....	65
ნახაზი 34. ერთფაზა დამიწებისას წარმოქმნილი რკალის სამჯერადი ანთება-ჩაქრობის დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა).	66
ნახაზი 35. გადამეტძაბვის დროს წარმოქმნილი მაღალსიხშიროვანი რხევების დიაგრამა.....	67
ნახაზი 36. ATPDraw-ში მოდელირებული ქვესადგური ოთხი გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზით.	68
ნახაზი 37. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი.	69
ნახაზი 38. ATPDraw-ში მოდელირების გაშლილი შედეგი, N2 ხაზის გამორთვა-ჩართვა.	69
ნახაზი 39. ATPDraw-ში მოდელირების გაშლილი შედეგი, N3 ხაზის გამორთვა-ჩართვა.	70
ნახაზი 40. ATPDraw-ში მოდელირების გაშლილი შედეგი, N4 ხაზის გამორთვა-ჩართვა.	70
ნახაზი 41. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა გამორთულია.....	71

ნახაზი 42. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 100%-ით.	72
ნახაზი. 43. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 80%-ით.	73
ნახაზი. 44. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 120%-ით.	73
ნახაზი. 45. ATPDraw-ში მოდელირებული ცალხაზოვანი სქემა	74
ნახაზი. 46. ნახ.28. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, დაზიანებულ ფაზაში გამავალი დენი.....	75
ნახაზი. 47. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, გადამეტაბვა ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში	75
ნახაზი. 48. განშტოვებული ქსელი	78
ნახაზი. 49. შერჩეული დროის დანაყენების სქემატური ასახვა.....	79
ნახაზი. 50. შეკრული ქსელი.....	80
ნახაზი. 51. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის ანგარიში.....	81
ნახაზი. 52. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის ანგარიში L7 ეგზ-ზე.....	82
ნახაზი. 53. შეკრულ ქსელის ორად გაყოფის სქემა	83
ნახაზი. 54. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის ანგარიშის სქემა	84
ნახაზი. 55. ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობების ცვლილების მრუდეები	86
ნახაზი. 56. მგრძნობიარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ერთ ფაზა მოკლე შერთვის ადგილზე	87
ნახაზი. 57. ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობების მრუდეები, მიმართული N1 ქვესადგურიდან L6 ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ.....	88
ნახაზი. 58. ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობების მრუდეები, მიმართული N2 ქვესადგურიდან L8 ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ.....	88
ნახაზი. 59. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში გაანგარიშებული შეკრული ქსელი	89
ნახაზი. 60. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში გაანგარიშებული შეკრული ქსელი	90
ნახაზი. 61. გორის 35 კვ ძაბვის ქსელის ცალხაზოვანი სქემა	93
ნახაზი 62. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში მოდელირებული გორის 35კვ ძაბვის ქსელი.....	94

ნახაზი 63. IFC51A5A ტიპის, ნულოვანი მიმდევრობის დენური რელეს დრო-დენური მახასიათებლები	95
ნახაზი 64. 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზის დაცვის ზონები,	96
ნახაზი 65. რელეური დაცვის ამუშავების დრო-დენური მახასიათებლები (შემთხვევა №1)	97
ნახაზი 66. რელეური დაცვის ამუშავების დრო-დენური მახასიათებლები (შემთხვევა №2)	98
ნახაზი 67. რელეური დაცვის ამუშავების დრო-დენური მახასიათებლები (შემთხვევა №3).....	99
ნახაზი 68. ერთფაზა მოკლე შერთვა ელექტროგადამცემ ხაზ „კარალეთი 1“-ზე	100
ნახაზი 69. „ორთაქალქვის“ 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციის ცალხაზოვანი სქემა.....	102
ნახაზი 70. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში მოდელირებული „ორთაქალქვის“ 6 კვ ძაბვის ქსელში ერთი ფაზის დამიწება	104
ნახაზი 71. სს „თელასის“ ცენტრალური გამანაწილებელი მოწყობილობის ცალხაზოვანი სქემა.....	105
ნახაზი 72. წინაღობაში გამოყოფილი სიმძლავრის დამოკიდებულება დამიწების წინაობაზე.....	108
ნახაზი 73. მოდელირების შედეგი I ვარიანტისთვის.....	109
ნახაზი 74. სიხშირის გრაფიკის „საგ“-ების ამუშავების (49,2 ჰც-ზე დაბალი) მონაკვეთი	109
ნახაზი 75. მოდელირების შედეგი II ვარიანტისთვის.....	110
ნახაზი 76. მოდელირების შედეგი III ვარიანტისთვის	111
ნახაზი 77. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელის ცალხაზოვანი სქემა	112
ნახაზი 78. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელში გადამეტაბვის მოდელირება ATPDraw-ს მეშვეობით	113
ნახაზი 79. აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელში გადამეტაბვის მოდელირება ATPDraw-ს მეშვეობით	115
ნახაზი 80. დაზიანებულ ფაზაში გამავალი დენი ნეიტრალის აქტიური წინაღობით დამიწების დროს.....	115
ნახაზი 81. „ბჟუჟაჰის“ გ1 გენერატორის სიხშირის ცვლილება.	116
ნახაზი 82. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში.....	117

ნახაზი 83. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში მინიმალური დატვირთვის დროს.....	118
ნახაზი 84. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში მინიმალური დატვირთვის დროს (გენერატორებზე დატვირთვები გადანაწილებულია სხვანაირად).....	119
ნახაზი 85. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში როდესაც ერთფაზა დამიწების რელეური დაცვის დროის დანაყენებია 1 წამი	120

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

ეგბ – ელექტრო გადაცემის ხაზი;

ქ/ს – ქვესადგური;

მქკ – მარგი ქმედების კოეფიციენტი;

საგ – სიხშირით ავტომატური განტვირთვის მოწყობილობა;

ნომ – ნომინალური;

ა – ამპერი;

ვ – ვოლტი;

ვტ – ვატი;

ჰც – ჰერცი;

კ – კილო;

მგ – მეგა;

შესავალი

თემის აქტუალურობა. სადისერტაციო თემა ეხება საშუალო ძაბვის ქსელების ნეიტრალების მუშაობის რეჟიმების შესწავლასა და მის გავლენას ერთფაზა დამიწებისგან გამოწვეულ გადამეტაბვებსა და რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპებზე. საშუალო ძაბვის ქსელების პროექტირებისას ნეიტრალის დამიწების რეჟიმის სწორი შერჩევა მნიშვნელოვანი საკითხია. როგორც წესი, ამაზე არის დამოკიდებული მომხმარებლების საიმედო ელექტრომომარაგება, ელექტრომოწყობილობებისა და კაბელების ექსპლუატაციის ვადა, ადამიანებისა და ცხოველების უსაფრთხოება და რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები.

თემა საკმაოდ აქტუალურია, რადგან დისერტაციაში შემოთავაზებულია საქართველოს საშუალო ძაბვის ქსელის იზოლირებული ნეიტრალის დამიწება აქტიური წინაღობით. ამჟამად, საქართველოს საშუალო ძაბვის ქსელი მუშაობს იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმით. ცნობილია, რომ ძველი, ჯერ კიდევ საბჭოთა კავშირის დროს შემოღებული „ელექტროდანადგართა მოწყობის წესების“ („ПУЭ“) თანახმად, საქართველოში იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწება არ წარმოადგენს ავარიას, ლიმიტირებულია მხოლოდ დამიწების არსებობის დრო (2 საათი) და დამიწების მაქსიმალური დასაშვები დენი, თუმცა აღნიშნულ ქსელში ერთი ფაზის დამიწება იწვევს გადამეტაბვებს, რომლის ჯერადობაც საკმაოდ მაღალია და ხშირ შემთხვევაში აზიანებს ძვირადღირებული ელექტრომოწყობილობების იზოლაციას, რაც სერიოზული ავარიის გამომწვევი მიზეზი ხდება. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ დაუმიწებელ ნეიტრალიან (იზოლირებულ) ქსელში ერთი ფაზის დამიწებისას გართულებულია დაზიანების ადგილის დადგენა და მისი დროული აღმოფხვრა, რის გამოც აღნიშნულ ქსელებს უწევთ მოცემულ რეჟიმში ხანგძლივი მუშაობა, რაც არამარტო ადამიანებსა და ცხოველებს უქმნის საფრთხეს, არამედ ელექტრომოწყობილობების ექსპლუატაციის ვადასაც ამცირებს.

სამუშაოს მიზანი. სადირსეტაციო ნაშრომის მიზანია გაანალიზოს საქართველოს საშუალო ძაბვის გამანაწილებელი ქსელების ნეიტრალის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმები. ასევე, გამოიკვლიოს საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის სხვადასხვა რეჟიმში მუშაობისას, ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული გადამეტებები. გარდა ამისა, ერთ-ერთი ძირითადი სამუშაოს მიზანია საშუალო ძაბვის გამანაწილებელი ქსელების ნეიტრალის სხვადასხვა რეჟიმით მუშაობისას რელეური დაცვის განხორციელების შესწავლა. დამატებით განხილულია ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს აქტიურ წინალობაში გამავალი სიმძლავრის გავლენა საშუალო ძაბვის ავტონომიურ ქსელებში არსებული გენერატორების ბრუნთა რიცხვზე

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტებად აღებულია და მოდელირებულია საქართველოს საშუალო ძაბვის სხვადასხვა ქსელები, მათ შორის რადიალურ-განშტოვებული და შეკრული საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზები, საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზები და კომბინირებული საჰაერო და საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზები, რომლებზეც მომხდარი ერთფაზა დამიწებები იწვევს მნიშვნელოვან გადამეტებებს. ასევე, კვლევის ობიექტად გამოყენებულია საშუალო ძაბვის ავტონომური სისტემები, რომლის ნეიტრალი დამიძებულია აქტიური წინალობით, სადაც ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს აქტიურ წინალობაში გამავალ სიმძლავრეს გავლენა აქვს აღნიშნულ ქსელში არსებული გენერატორების ბრუნთა რიცხვზე.

ზემოაღნიშნული მოდელირებები ჩატარებულია სხვადასხვა მათემატიკური მოდელირების პროგრამებში, მათ შორის: ATP Draw და DigSILENT PowerFactory.

მეცნიერული სიახლე. საკვლევი თემის სამეცნიერო სიახლედ შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ ნაშრომში შემოთავაზებულია, აქტიური წინალობით დამიწებულ ნეიტრალის მქონე შეკრულ საშუალო ძაბვის ქსელში რელეური დაცვის განხორციელების ორი ვარიანტი, კერძოდ პირველი ვარიანტის შემთხვევაში შეკრული ქსელი ჯერ გაიხსნება (გაიყოფა

ორ ნაწილად) $3U_0$ და $3I_0$ ფაქტით და შემდეგ, როგორც რადიალური ქსელში, ისე იმოქმედებს ნულოვანი მიმდევრობის დენური დაცვა, ხოლო რელეური დაცვის მეორე ვარიანტის თანახმად დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზი გამოირთვება კასკადურად. ჯერ მიმართული დენური დაცვით, შემდეგ კი $I_0=I_2$ ტოლობის პრინციპზე მომუშავე რელეური დაცვით.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული ანალიზი და კვლევები განაწილების სისტემის ოპერატორებს მისცემთ საშუალებას საშუალო ძაბვის ქსელების პროექტირებისას ან მათი რეკონსტრუქციის დროს ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი შეირჩიონ, ისე, რომ ერთი ფაზის დამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვების ჯერადობა იყოს მცირე და თავიდან აირიდონ ადამიანებისა და ცხოველებს დაზიანება და ელექტრომოწყობილობებს შეუნარჩუნონ ქარხანა დამამაზადებლის მიერ მინიჭებული ექსპლუატაციის ვადა. ასევე, ნაშრომში შესრულებულ კვლევებით წარმოდგენილია საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების მოდელირებები. საქართველოს საშუალო ძაბვის ქსელების კონკრეტულ მაგალითებზე დაყრდნობით შეასძლებელი ხდება შეირჩეს ნეიტრალის დამიწების ოპტიმალური რეჟიმი, სადაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპებს, რომელიც დააკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ ყველა მოთხოვნას.

ლიტერატურის მიმოხილვა

6-35 კვ ძაბვის იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ერთფაზა დამიწება წარმოადგენს გადამეტაბვების ერთ-ერთ ძირითად მიზეზს. საბჭოთა კავშირის დროს შემოღებული ელექტროდანადგართა წესების (ПУЭ) თანახმად, 6-35 კვ ძაბვის ქსელი მუშაობს იზოლირებული ან რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით დამიწებული ნეიტრალით. რკალმქრობი რეაქტორის გამოყენება დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევებში, როდესაც ერთფაზა დამიწების დენი აღემატება ზემოაღნიშნულ წესებით განსაზღვრულ სიდიდეებს. მოცემული ნეიტრალის რეჟიმების გამოყენება ემსახურება მხოლოდ ერთფაზა დამიწების დენის, ისეთი სიდიდის შენარჩუნებას, რომელიც უზრუნველყოფს ქსელის ერთი ფაზის დამიწების შემთხვევაში ხანგრძლივ მუშაობას (2-დან 6 საათამდე) ისე, რომ არ შეუწყდეს ელექტრომომარაგება მომხმარებლებს, აღნიშნული დაზიანების დროს [1].

მრავალწლიანმა პრაქტიკულმა გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ნეიტრალის რკალმქრობი რეაქტორით დამიწება ვერ უზრუნველყოფს ერთი ფაზის დამიწების დროს წარმოქმნილი გადამეტაბვების ჯერადობის შემცირებას ქსელში [1].

ნეიტრალის დამიწების რეჟიმის შერჩევაზე დამოკიდებულია, როგორც მომხმარებლების საიმედო ელექტრომომარაგება, ისე, ერთფაზა დამიწების დროს წარმოქმნილი გადამეტაბვებისაგან მოწყობილობების დაზიანების თავიდან არიდება, ქსელების უსაფრთხო ექსპლუატაცია და რელეური დაცვის ეფექტური განხორციელება [7]

ყოფილ საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში წარმოებული 6-35 კვ ძაბვის პოლიეთილენისაგან შეკერილი იზოლაციის მქონე კაბელების მყარი იზოლაციის სისქე არის გაზრდილი, ვინაიდან ერთფაზა დამიწების დროს ჯანსაღ ფაზებს ხშირს შემთხვევაში ხანგრძლივად (2-6 სთ) უწყვეტ მუშაობა მაღალი ჯერადობის გადამეტაბვის რეჟიმში. აქედან გამომდინარე ყოფილ საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში წარმოებული პოლიეთილენისაგან შეკერილი

იზოლაციის მქონე 6-35 კვ ძაბვის კაბელები რთულ პირობებში სამუშაოდ მეტად ადაპტირებულია, ვიდრე სხვა ქვეყნებში წარმოებული. მაგალითად, 10 კვ ძაბვის პოლიეთილენისაგან შეკერილი იზოლაციის მქონე კაბელის იზოლაციის სისქე გაზრდილია 3,4 მმ-დან 4 მმ-მდე, რაც პრაქტიკულად განსაზღვრავს მის ელექტრულ სიმყარეს და ექსპლუატაციის ვადის ხანგრძლივობას [4].

შეკერილი პოლიეთილენის იზოლაციის თვისებები, რომელიც განსხვავებით ზეთით გაჟღენთილი იზოლაციისა მეტად მგრძობიარეა მაღალ სიხშირული გადამეტძაბვების მიმართ, რადგან მყარ იზოლაციაში მომატებული ელექტრული ველის დაძაბულობის ადგილებში ხდება ნახშირბადის მოლეკულებისა და წყალბადის მოლეკულების კავშირის წყვეტა, მაგალითად ტრინგების წვერორბზე, სადაც ელექტრული ველის დაძაბულობა 2-3 ჯერ აღემატება საშუალო მაჩვენებელს, რაც იწვევს შეკერილი პოლიეთილენის იზოლაციის სტრუქტურისა და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ცვლილებას და რის შემდგომაც იწყება იზოლაციის პროგრესული დაშლა[4].

საშუალო ძაბვის გამანაწილებელ ქსელებში ნეიტრალის დამიწება რეზისტორის მეშვეობით მსოფლიოში დღითიდღე პოპულარული ხდება, რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით დამიწებული ნეიტრალის მქონე ქვეყნები, როგორც არის: გერმანია, ავსტრია ჩეხეთი, სლოვაკეთი და ა.შ. ბოლო წლებია ახორციელებენ თავიანთი ქსელის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმის შეცვლას რეზისტორულზე. აქვე აღსანიშნავია, რომ ნეიტრალის დამამიწებელი რკალმქრობი რეაქტორის წარმოებით მხოლოდ ხუთი ქვეყანა არის დაკავებული, კერძოდ: რუსეთის ფედერაცია, ავსტრია (TRENCH), ჩეხეთი (EGE), ჩინეთი (JUNFA) და ინდოეთი, ხოლო რეზისტორის წარმოება ორმოცდაათზე მეტ ქვეყანაში მიმდინარეობს, მათ შორის: ინდოეთი (NATIONAL RESISTORS ONIES), იაპონია (MILOUKI RESISTOR), ამერიკის შეერთებული შტატები (JENKINS), იტალია (TELEMA), კანადა (AVTRON ICP), თურქეთი (HILKAR) და ა.შ. აღსანიშნავია

რეზისტორის მწარმოებლების რაოდენობისა და რკალმქრობი რეაქტორების მწარმოებლებს შორის კონკურენციის შედარება, რაც აშკარად გამოკვეთავს რეზისტორის ღირებულების სიმცირის ერთერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს [8].

აქტიური წინაღობით (რეზისტორით) ნეიტრალის დამიწება არის ორი სახის კერძოდ, მაღალმომიანი და დაბალმომიანი. განსხვავება მხოლოდ ერთფაზა დამიწების დენის სიდიდეშია, თუმცა დენის სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავდა წინაღობის ტიპის შერჩევას, დღეის მდგომარეობით არ არის სტანდარტიზირებული. ამავდროულად ამერიკის შეერთებულ შტატებში ნეიტრალის მაღალმომიანი რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში, ერთფაზა დამიწების დენი არ უნდა აღემატებოდეს 10 ამპერს, ხოლო დაბალმომიანის შემთხვევაში 100-1000 ამპერის დიაპაზონშია, მაგრამ ტიპიურად 400 ამპერი არის მიჩნეული. საფრანგეთის გამანაწილებელი კომპანიის (Electricite de France) ნორმების თანახმად მაღალმომიანი რეზისტორით ნეიტრალის დამიწების შემთხვევაში, ერთფაზა დამიწების დენი არ უნდა აღემატებოდეს 10 ამპერს, ხოლო დაბალმომიანი რეზისტორით - საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზებში არაუმეტეს 300 ამპერი და საკაბელო ელექტროგადამცემ ხაზებში არაუმეტეს 1000 ამპერი. რაც შეეხება ბელგიის ქსელებს, ნეიტრალის დასამიწებლად გამოიყენება მხოლოდ დაბალმომიანი რეზისტორები, სადაც ერთფაზა დამიწების დენი არ უნდა აღემატებოდეს 500 ამპერს. [7]

საშუალო ძაბვის (6-35 კვ) ქსელები, რომლებიც მუშაობენ იზოლირებული ან რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით დამიწებული ნეიტრალით, როგორც წესი, ერთფაზა დამიწების დენი არ აღემატება 20-30 ამპერს. ამიტომ აღნიშნულ ქსელებს უწოდებენ მცირე ერთფაზა დამიწების დენის მქონდე ქსელებს, თუმცა მოცემულ ქსელებში ერთფაზა დამიწება წარმოადგენს დიდ საფრთხეს ადამიანების და ცხოველების სიცოცხლისათვის და ასევე, ელექტრომოწყობილობებისათვის. არსებული ექსპლუატაციის წესები ერთის მხრივ, მოითხოვს მოცემული დაზიანების

სწრაფ, ავტომატურ ამორთვას, ხოლო მეორეს მხრივ, დაზიანების ადგილის პოვნას და შემდგომ გამორთვას [6].

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში, ერთფაზა დამიწების დროს ტევადური დენი შესაძლებელია განისაზღვროს ემპირიული ფორმულებით [6], კერძოდ:

საკაბელო ელექტროგადაცემის ქსელისათვის:

$$I_{C\Sigma} \approx \frac{U_N l_{\Sigma}}{10}$$

საჰაერო ელექტროგადაცემის ქსელისათვის:

$$I_{C\Sigma} \approx \frac{U_N l_{\Sigma}}{350}$$

სადაც,

U_N - ქსელის ნომინალური ძაბვა (6-10 ან 35 კვ);

l_{Σ} - ელექტროგადაცემის ხაზის სიგრე (კმ).

სელექტიური და ამავედროულად მგრძნობიარე ერთფაზა დამიწების დაცვის მოწყობა, რომელიც განკუთვნილი იქნება ყველა ტიპის ქსელისთვის, სადაც ერთფაზა დამიწების დენი მცირეა, ამ დრომდე ვერაზინ მოახერხა. განსაკუთრებით რთულია რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელებში რელეური დაცვის განხორციელება, რადგან ერთფაზა დამიწების დენი თითქმის მთლიანად კომპესირდება რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით. ასევე რელეური დაცვის განხორციელების სირთულეები იქმნება მაშინ, როდესაც ერთფაზა დამიწება ხდება რთულ, შეკრულ ქსელებში [6]

6-35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა დამიწების რელეური დაცვის მიმართ წაყენებული მოთხოვნები იგივეა, რაც სხვა შემთხვევებში, კერძოდ: სელექტიურობა, სწრაფმოქმედება, მგრძნობიარობა და იმედიანობა, რომელიც მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად საჭიროა ქსელში ერთფაზა დამიწების რეჟიმის მაქსიმალურად ზუსტი ანგარიში და რელეური დაცვის მოწყობის სწორი პრინციპის შერჩევა [6].

თავი 1. საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმები

1.1. საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმების ანალიზი

საშუალო ძაბვის ქსელების პროექტირების და რეკონსტრუქციის დროს ნეიტრალის დამიწების რეჟიმის შერჩევა მნიშვნელოვანი საკითხია.

საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი განაპირობებს:

- ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს, დაზიანების ადგილას დენის მნიშვნელობას და გადამეტაბვას დაუზიანებელ ფაზებში;
- სარელეო დაცვის მოწყობას მიწასთან მოკლე შერთვის დაცვისათვის;
- ელექტრული მოწყობილობების იზოლაციის ტიპს;
- გადამეტაბვისაგან დასაცავად გადამეტაბვის შემზღვეველების შერჩევას;
- ელექტროენერჯის მომხმარებლების უწყვეტ ელექტრომომარაგებას;
- ქვესადგურის დამიწების კონტურის დასაშვებ წინააღობას;
- ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს მომუშავე პერსონალის უსაფრთხოებას.

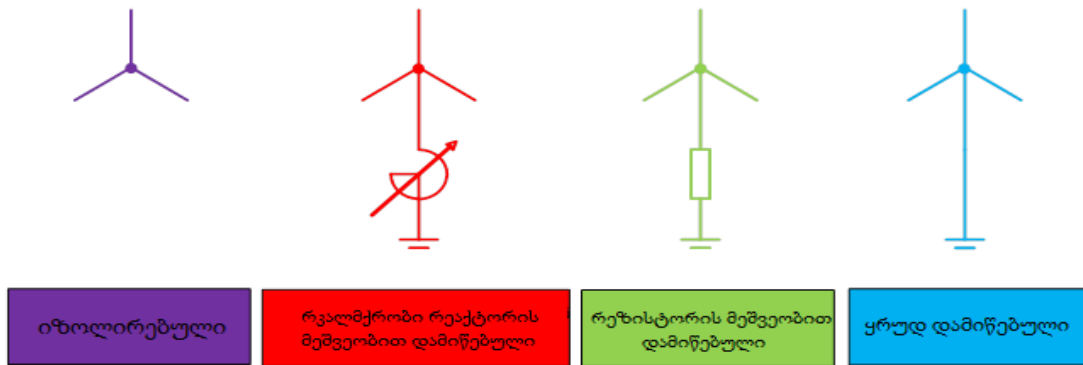
აქედან გამომდინარე ცხადია რომ საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი გავლენას ახდენს, მისი დაგეგმვისას ან რეკონსტრუქციისას მისაღებ ტექნიკური გადაწყვეტილებებზე.

საშუალო ძაბვის ქსელში გამოიყენება ოთხი ტიპის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი (ნახ. 1).

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე მსოფლიოში საშუალო ძაბვის ქსელი (69 კვ-მდე) მაღალი ძაბვის ქსელისგან (110 კვ და ზევით) განსხვავდება იმით რომ საშუალო ძაბვის ქსელში არსებობს ნეიტრალის დამიწების ოთხი რეჟიმი კერძოდ:

- იზოლირებული (დაუმიწებელი);

- დამიწებული რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით;
- დამიწებული აქტიური წინაღობის (რეზისტორის) მეშვეობით;
- ყრუდ დამიწებული.



ნახაზი 1. საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწების რეჟიმები

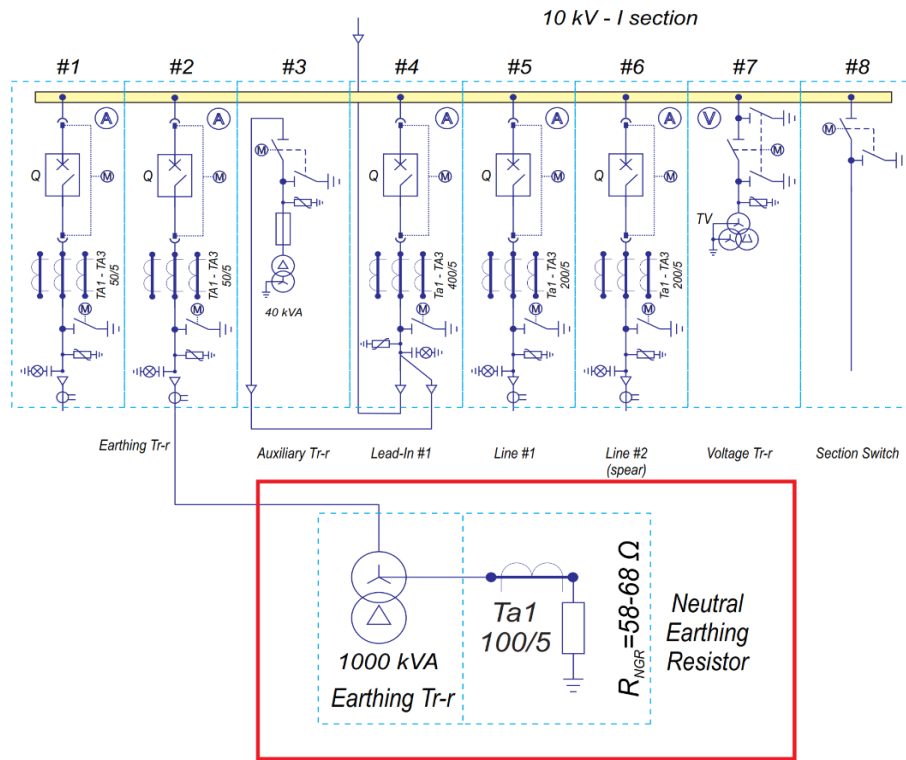
გარდა ჩამოთვლილი ნეიტრალის დამიწების რეჟიმებისა, კიდევ გამოიყენება რკალმქრობი რეაქტორისა და რეზისტორის კომბინაცია (პარალელურად ჩართვა), მაგალითად ასეთი კომბინაცია გვხვდება 20 კვ ძაბვის ქსელში გერმანიაში, სადაც რკალმქრობი რეაქტორი აქრობს მოკლედროიან ერთფაზა იზოლაციის გადაფარვას მიწასთან, ხოლო დაბალძაბის რეზისტორი პარალელურად არის მიერთებული რკალმქრობ კოჭაზე შესაბამისი ძალოვანი ამომრთველის გავლით, რომელიც ნორმალურად გამორთულია და ქსელის ნეიტრალში ირთვება რეაქტორის პარალელურად ერთფაზა დამიწების დენის აქტიური მდგენელის შექმნისათვის, კერძოდ დაბალძაბის რეზისტორი ზემოაღნიშნულ სქემაში უზრუნველყოფს მიწასთან მყარ მოკლე შერთვის დენს, რომელიც სელექტიურად გამოაჩენს დაზიანებულ გამავალი ხაზის უჯრედს (ფიდერს), გარდა სელექტიურობისა აღნიშნული სქემის მუშაობა ამავე დროს მკვეთრად ამცირებს გადამეტაბვას.

ცხრილი 1. სხვადასხვა ქვეყნებში 3-საშუალო ძაბვის ქსელებში ნეიტრალის დამიწების რეჟიმები

ქვეყანა	ნეიტრალის დამიწების მეთოდი			
	იზოლირებული	დამიწებული რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით	დამიწებული რეზისტორის მეშვეობით	ყრუდ დამიწებული
საქართველო	+	+	რამოდენიმე ქვესადგურში	
აშშ			+	+
კანადა			+	+
დიდი ბრიტანეთი			+	+
შვეიცარია		+	+	
ფინეთი	+	+	+	
იტალია		+	+	
ჩეხეთი		+	+	
სლოვაკეთი		+	+	
შვედეთი		+	+	
ნორვეგია		+	+	
რუსეთი	+	+	+	
ავსტრალია			+	+
ესპანეთი		+	+	+
პორტუგალია			+	
საფრანგეთი		+	+	
იაპონია			+	
გერმანია		+	+	
ავსტრია		+	+	
ბელგია			+	

თუ დავაკვირდებით საშუალო ძაბვის ქსელების ექსპლუატაციის მსოფლიო გამოცდილებას (იხ. ცხრ 1) კარგად ჩანს, რომ საქართველოსგან განსხვავებით, სადაც გამოიყენება მხოლოდ იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი (გარდა 2 შემთხვევისა, სადაც გათვალისწინებული იქნა უცხოელი ინჟინრების მოთხოვნა), სხვა ქვეყნებში ხშირად გამოიყენება ნეიტრალის დამიწება რეზისტორით ან რქალმქრობი რეაქტორით. საქართველოში ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების რეჟიმი შედარებით ახალია და გამოყენებულ იქნა „ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენის (BTC) კომპანიის კუთვნილი, თეთრიწყაროდან დასავლეთით, 5 კილომეტრში მდებარე PSG2 (BTC Pump Station 2 in Georgia) ნავთობის სატუმბო სადგურის გარე

ელექტრომომარაგების“ პროექტში, რომელიც დამუშავდა სს „ენერგო-პრო ჯორჯიას“- მიერ. პროექტის ფარგლებში აშენდა 110/10 კვ ძაბვის და 2x6300 კვა დადგმული სიმძლავრის ქვესადგური. ქვესადგურში 10 კვ ძაბვის მხარეს მოეწყო ნეიტრალის ჩამამიწებელი უჯრედი, რისი მეშვეობითაც ქსელს მიუერთდა სპეციალური 1000 კვა სიმძლავრის და 10/0,22 კვ ძაბვის ძალოვანი ტრანსფორმატორი, რომლის მაღალი ძაბვის (10 კვ) მხარეს გრაგნილების შეერთება არის ვარსკვლავი ნულოვანი გამომყვანით, ხოლო დაბალი ძაბვის (0,22 კვ) მხარეს სამკუთხედი.



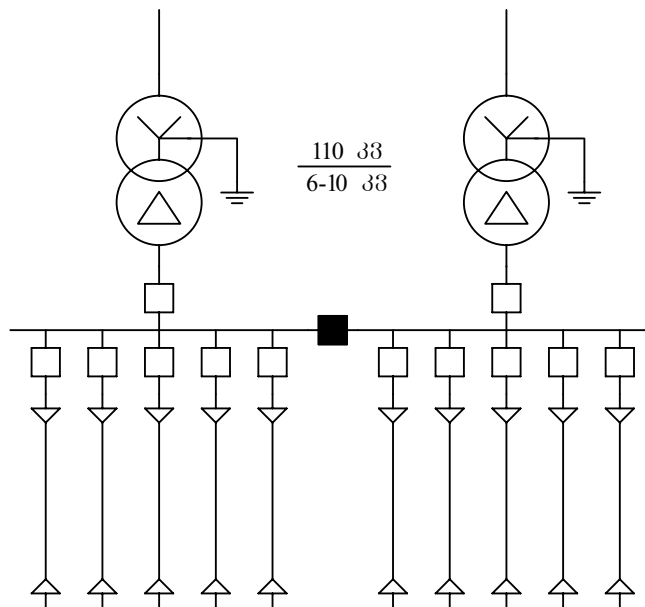
ნახაზი 2. 110/10 კვ ქვ/ს „თეთრი წყაროს“ 10 კვ გამანაწილებელი მოწყობილობის 1 სექციის ცალხაზოვანი სქემა

ზემოაღნიშნულ ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის გრაგნილების ნულოვანი გამომყვანზე დაკავშირებულია დამამიწებელი რეზისტორი, რომელიც მაღალი წნევის მილსადენების (გაზისა და ნავთობის) ახლო მდებარეობის და ობიექტზე არსებული მაღალი ძაბვის (6 კვ) ძრავების გათვალისწინებით 10 კვ ძაბვის ქსელის ნეიტრალის რეჟიმი შეირჩა მცირე

წინააღმდეგობით (58 ომი) დამიწებული, ერთფაზა მოკლე შერთვის მაქსიმალური დენი - 100 ამპერი, ხანგრძლივობა 10 წამი.

1.2. იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი

საქართველოს 6-35 კვ ძაბვის გამანაწილებელი ქსელები საკმაოდ დიდი ხანია იზოლირებული ნეიტრალით მუშაობს. სურათი №3-ზე ნაჩვენებია ტიპური ორ ტრანსფორმატორიანი ქვესადგურის სქემა, იზოლირებული ნეიტრალით 6-10 კვ ძაბვის მხარეს.



ნახაზი 3. დამადაბლებელი ქვესადგური იზოლირებული ნეიტრალით 6-10 კვ ძაბვის მხარეს

როგორც ნახაზი 3-ზე ჩანს, 6-10 კვ ძაბვის ნეიტრალის წერტილი ფიზიკურად არ არსებობს, რადგან ძალოვანი ტრანსფორმატორის 6-10 კვ ძაბვის მხარის გრაგნილები შეერთებულია სამკუთხედის სქემით, ხოლო 35 კვ ძაბვის შემთხვევაში ნეიტრალის წერტილი ფიზიკურად არსებობს, რადგან ძალოვანი ტრანსფორმატორის 35 კვ ძაბვის გრაგნილი უმეტესწილად შეერთებულია ვარსკვლავად ნეიტრალის ამომყვანით,

რომელიც ტრანსფორმატორის ავზის სახურავზე ცალკე მდგომი გამჭოლი იზოლაციის მეშვეობით არის ამოყვანილი.

იზოლირებული ქსელების ექსპლუატაციის მრავალწლიანი გამოცდილება, არამარტო საქართველოში არამედ მთელს მსოფლიოში იძლევა საშუალებას ვისაუბროთ აღნიშნული რეჟიმის არსებულ ხარვეზებზე, კერძოდ:

- რკალური გადამეტებები და იზოლაციის დაზიანება ერთფაზა ჩამიწების დროს, თავდაპირველად ელექტროგადაცემის ხაზის დაუზიანებელ ფაზებში;
- ელექტროგადაცემის ხაზზე იზოლაციის დაზიანება ერთდროულად სხვადასხვა ადგილას (რამოდენიმე გამავალი ხაზის (ფიდერის) ერთდროული იზოლაციის დაზიანება) ერთფაზა მიწასთან ჩამიწების-დროს;
- ძაბვის ტრანსფორმატორების დაზიანება (განსაკუთრებით მყარი იზოლაციის მქონე) ერთფაზა მიწასთან ჩამიწების-დროს;
- დაზიანების ადგილის აღმოჩენის სირთულე;
- ერთფაზა მიწასთან მოკლე შერთვისათვის მოწყობილი სარელეო დაცვების არასწორი (არასელექტიური) მუშაობა ან მისი განხორციელების სირთულე;
- ერთფაზა მიწასთან ჩამიწების ხანგრძლივი (რამოდენიმე საათიანი) არსებობა, რაც საშიშია ადამიანების სიცოცხლისათვის.

ჩამოთვლილი ხარვეზების გამო, საშუალო ძაბვების ქსელების იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი გამორიცხულ იქნა ევროპის უმეტეს ქვეყნებში, ჩრდილოეთ და სამხრეთ ამერიკაში, ავსტრალიაში და სხვა ქვეყნებში გასული საუკუნის 50-60-იან წლებში.

ევროპის უმეტეს ქვეყნებში, ჩრდილოეთ და სამხრეთ ამერიკაში და ავსტრალიაში ქსელის იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი გამოიყენება ძალიან იშვიათად, გამონაკლის შემთხვევებში, ძირითადად საშუალო 3-69

კვ ძაბვის ქსელების ნეიტრალები აღნიშნულ ქვეყნებში მუშაობენ დამიწებული რეზისტორით ან რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით.

საქართველოს მსგავსად იზოლირებული ნეიტრალის მქონე ქსელების სიჭარბით გამოირჩევა ფინეთი, სადაც აღნიშნული რეჟიმი განხორციელებულია მხოლოდ 20 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებით აღჭურვილ ქსელებში და ნეიტრალის აღნიშნული რეჟიმი არსებითად განსხვავდება საქართველოში არსებული პრაქტიკიდან. კერძოდ ფინეთის იზოლირებული ნეიტრალის მქონე 20 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზების ერთფაზა დამიწების დაცვა მოქმედებს დროის დაყოვნების გარეშე, აღნიშნული ავარიური რეჟიმის დროს 20 კვ ძაბვის ეგზ-ს გამორთვა ხდება მყისიერად, ამასთან აღნიშნულ დაცვას თან ახლავს ამომრთველის უარის რეზერვირების ავტომატიკა („აურმ“), რომელიც ამომრთველის უარის შემთხვევაში დაახლოებით 1 წმ-ის დაყოვნებით თიშავს შესაბამისი სექციის შემყვან და სასექციო ამომრთველებს.

ფინეთში აღნიშნული ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმი ძირითადად გამოიყენება 20 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებში, რომელიც განპირობებულია გრუნტის არანორმალურად მაღალი წინააღობით, რადგან ფინეთის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე გრუნტის წინააღობა 20-50-ჯერ აღემატება ევროპის ქვეყნების საშუალო მაჩვენებელს. ასეთი მაღალი გრუნტის ხვედრითი წინააღობისას ნეიტრალის დამიწება (ყრუ ან რეზისტორის გავლით) საგრძნობლად ამცირებს ერთფაზა მოკლემერთვის დენს დაზიანებულ ხაზზე, აღნიშნულიდან გამომდინარე სარელეო დაცვის განხორციელება ან მისი სელექტიურად მუშაობა პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე ფინეთში იზოლირებული ნეიტრალის გამოყენება იძულებითი ღონისძიებაა და მიზეზი, ასეთი ტექნიკური გადაწყვეტილების, არა ელექტრომომარაგების იმედიანობის გაზრდაა, არამედ ადამიანების უსაფრთხოების და ერთფაზა დამიწების დაცვის მგრძნობიარობის ორგანიზებაა.

1.3. 6-35 კვ ძაბვის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით

სურათი №4-ზე ნაჩვენებია ტიპიური ორტრანსფორმატორიანი ქვესადგური, რომლის 6-10 კვ ძაბვის მხარეს ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით.

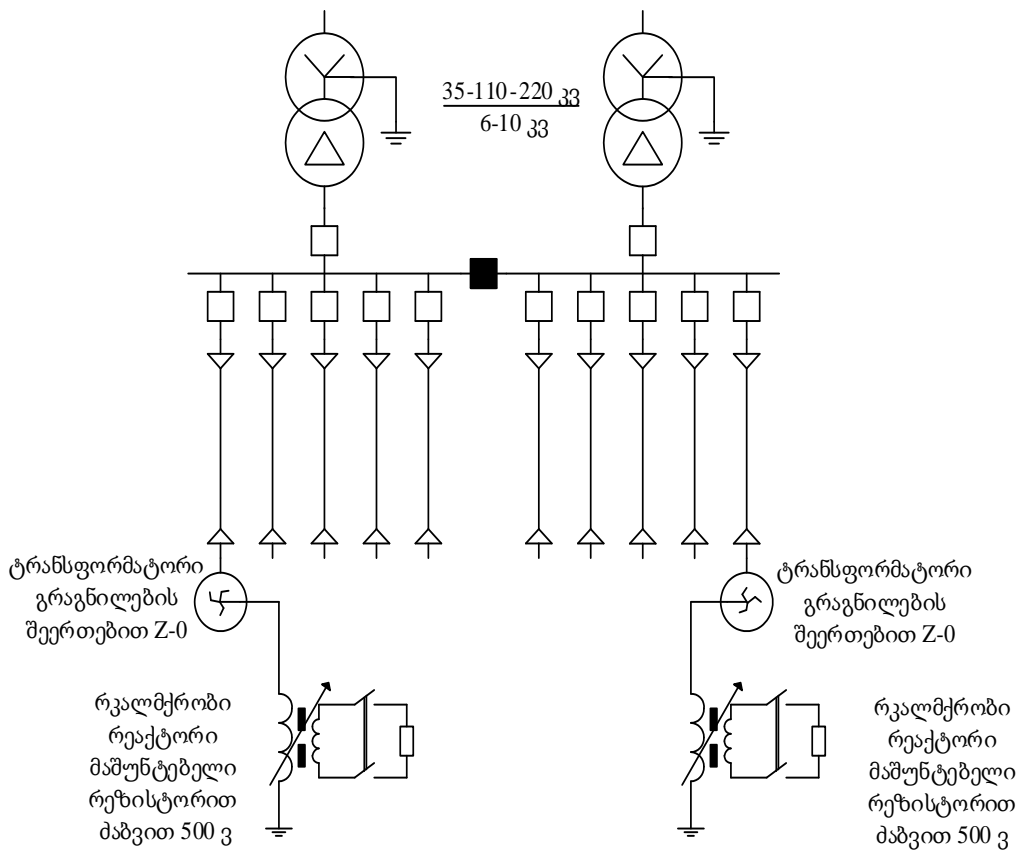
აღნიშნული ნეიტრალის რეჟიმისათვის 6-10 კვ ძაბვის თითოეულ სექციაზე გამოყოფილი უჯრედის მეშვეობით ერთდება სპეციალური ტრანსფორმატორი ნეიტრალის გამომყვანით (გრაგნილების შეერთება Y-0/D ან Z-0) რკალმქრობი რეაქტორის მისაერთებლად.

მიწასთან ერთფაზა ჩამიწების დროს დაზიანების წერტილში რკალმქრობი რეაქტორი წარმოქმნის დენის ინდუქტიურ მდგენელს, რომელიც ტოლია აღნიშნულ წერტილში წარმოქმნილი ტევადური დენის. აქედან გამომდინარე დაზიანების წერტილში ჯამური დენი პრაქტიკულად ნულს უტოლდება და შესაძლებელია წარმოქმნილი მიწასთან ერთფაზა დენის გამორთვა არ განხორციელდეს, და ქსელმა აღნიშნული რეჟიმით გარკვეული დროის განმავლობაში იმუშაოს.

ევროპის საშუალო ძაბვის ქსელებში ფართოდ გამოიყენება ნეიტრალის დამიწება მაშუნტებელი რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორის გავლით. (იხ.ნახ. 4). მაშუნტებელი რეზისტორი ძაბვით 500 ვ ერთდება სპეციალური კონტაქტორის მეშვეობით რკალმქრობი რეაქტორის მეორად 500 ვ ძაბვის ძალოვან გრაგნილში. აღნიშნული ტექნიკური გადაწყვეტილების უპირატესობებია:

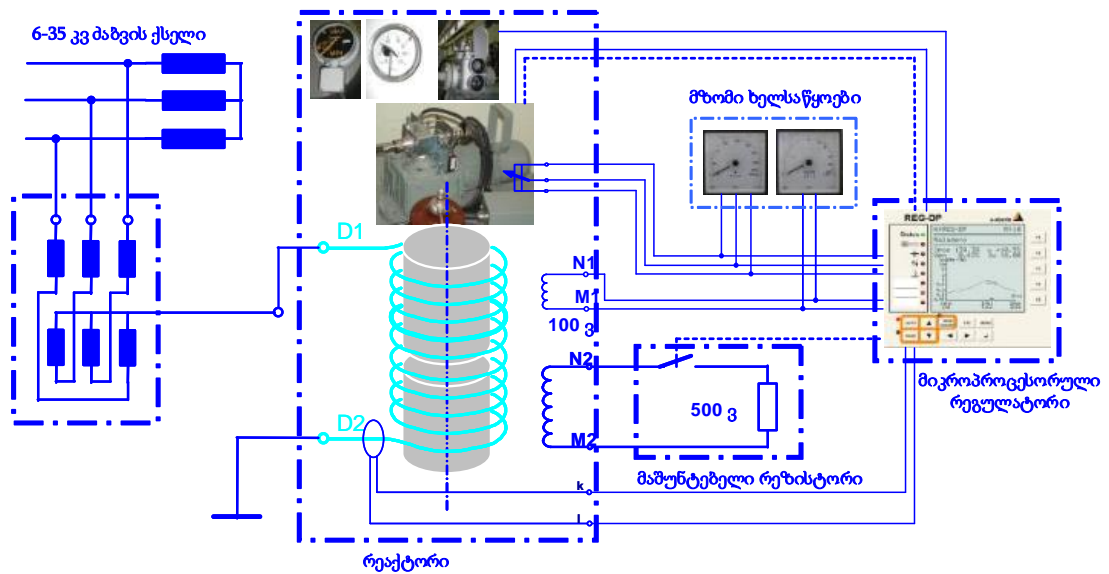
- ერთფაზა დამიწების დროს ქვესადგურიდან ან გამანაწილებელი პუნქტიდან გამავალი ხაზის უჯრედის მყისიერი გამორთვის უზღულვებელყოფა;
- დაზიანების ადგილას მცირე ნარჩი დენი (არა უმეტეს 1-2 ა);

- ერთფაზა ჩამიწების დენის თვით ლიკვიდაცია (განსაკუთრებით საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებში);
- ერთფაზა დამიწების რელეური დაცვის სელექტიურობის განხორციელება;
- მზომი ძაბვის ტრანსფორმატორების ფერორეზონანსული პროცესისგან დაზიანების გამორიცხვა;



ნახაზი 4. დამადაბლებელი ქვესადგური რკალმქრობი რეაქტორით დამიწებული ნეიტრალით 6-10 კვ ძაბვის მხარეს

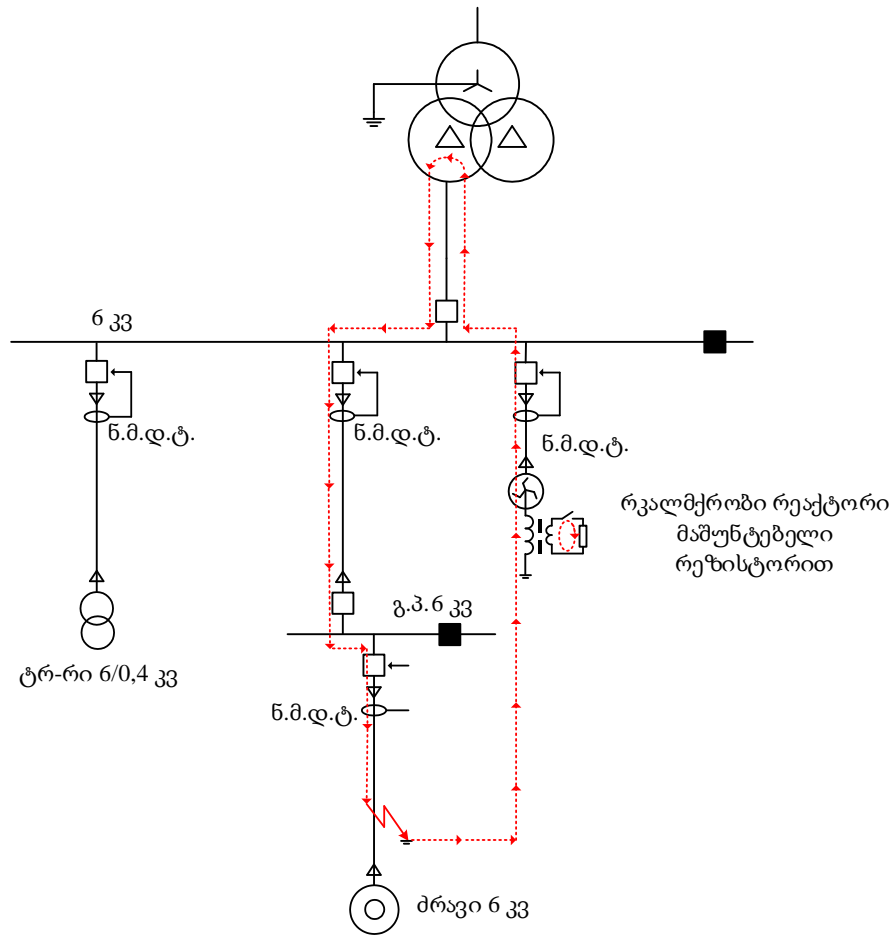
ქვემოთ ნაჩვენებია სტუქტურული სქემა ქსელის ნეიტრალის დამიწების მამუნტებელი რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორის გავლით.



ნახაზი 5. სტუქტურული სქემა ქსელის ნეიტრალის დამიწების მამუნტებელი რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორის გავლით

ყოფილ საბჭოთა კავშირის ქვეყნების 6-35 კვ ძაბვის უმეტესი ქსელები, რომლების ნეიტრალელებიც დამიწებულია რკალმქრობი რეაქტორის გავლით, ხშირად გვხვდება რკალმქრობი რეაქტორის მოძველებული კონსტრუქცია, რომელიც არის ხელით რეგულირებადი და არ გააჩნია მამუნტებელი რეზისტორი.

ზემოაღნიშნულ შემთხვევაში ჩნდება ერთფაზა ჩამიწების დასაცავად სარელო დაცვის სელექტიურობის განხორციელების პრობლემა, რადგან ასეთ ქსელში რთულად განსახორციელებელია ერთფაზა მიწასთან მოკლე შერთვის მარტივი (ANSI 51G) და მიმართულებიანი (ANSI 67N) დაცვები. მარტივი დაცვის შემთხვევისათვის დაზიანებულ მინაერთზე რკალმქრობი რეაქტორი აკომპესირებს (თითქმის ნულამდე დაყავს) მიწასთან ჩამიწების შერთვის დენს ($3I_0$), ხოლო მიმართულებიანი დაცვის განხილვისას, $3I_0$ დენის მიმართულება დაზიანებულ და დაუზიანებულ მინაერთებზე ერთმანეთს ემთხვევა. დაზიანებულ მინაერთზე მიმართულებით „სალტიდან“ მიედინება ინდუქტიური დენი $3I_0$ დაზიანებული მინაერთის საკუთარი ტევადური დენის სიდიდით, ხოლო დაუზიანებულ მინაერთებზე საკუთარი ტევადური დენი მიმართულებით „სალტისკენ“.



ნახაზი 6. მაშუნტებელი რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორით დამიწებული ნეიტრალის რეჟიმის დროს ერთფაზა დამიწების სარელეო დაცვის განხორციელების სქემა

რკალმქრობი რეაქტორით ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი, რომლის მეორად ძალოვან 500 ვ ძაბვის გრაგნილზე მიერთებულია მაშუნტებელი რეზისტორი, იძლევა საშუალებას განხორციელდეს ერთფაზა დამიწების დაცვა სელექტიური, როგორც მარტივი დენური დაცვების გამოყენებით (ANSI 51G), ისევე შედარებით რთული, მიმართულებიანი დენური დაცვები (ANSI 67N). აღნიშნული რეჟიმის დროს ერთფაზა დამიწების დაცვები ზოგადად მუშაობენ სიგნალზე, რადგან დაზიანების ადგილას დენი მცირეა და დაუყოვნებლივ გამორთვას არ საჭიროებს, მაგრამ არაუმეტეს მაშუნტებელი რეზისტორის მქონე რკალმქრობი რეაქტორის მწარმოებელის მიერ ზღვრული დროისა.

დაბალი ძაბვის (500 ვ) მაშუნტებელი რეზისტორიანი რკალმქრობი რეაქტორის გამოყენების/მუშაობის ლოგიკა შემდეგში მდგომარეობს, ერთფაზა მოკლე შერთვამდე რკალმქრობი რეაქტორი მოყვანილია რეზონანსში, ხოლო მაშუნტებელი რეზისტორი გამორთულია. საწყის სტადიაზე მოკლე შერთვის რკალი არამდგრადია და ხდება განმეორებით ანთება და ქრობა, ამ დროს რეაქტორი მოქმედებს როგორც რკალმქრობი მოწყობილობა და იძლევა საშუალებას არ გამოირთოს გამავალი ხაზის უჯრედი.

იმ შემთხვევაში, თუ ერთფაზა ჩამიწება გადავიდა დამყარებულ რეჟიმში, გარკვეული დროის დაყოვნების შემდგომ, რომელიც ეძლევა რეაქტორის მიკროპროცესორულ რეგულატორს, ირთვება მაშუნტებელი რეზისტორი (დროით 3 წამამდე). რეაქტორის მიკროპროცესორული (ციფრული) რეგულატორი იძლევა ბრძანებას 500 ვ ძაბვის მაშუნტებელი რეაქტორის ჩართვაზე, რომელიც რეაქტორის მეორად ძალოვან გრაგნილშია ჩართული (იხ. სურ. 6). აღნიშნულის ჩართვა 1-3 წამში დაზიანებულ ელექტროგადამცემ ხაზზე წარმოქმნის აქტიურ დენს $3I_0$, რომლის სიდიდესაც რეზისტორის წინაღობა განსაზღვრავს და შესაძლებელია მერყეობდეს 5 ა-დან 50 ა-მდე, რომელი სიდიდეც საკმარისია ყველაზე მარტივი დენური დაცვების ასამუშავებლად.

ერთფაზა დამიწებისაგან დასაცავად სარელეო დაცვის ამუშავების დენის დანაყენები (ANSI 51G) აირჩევა მინაერთის საკუთარი ტევადური დენის მიხედვით. თანამდეროვე ციფრული დაცვების შემთხვევაში რეკომენდირებულია სარელეო დაცვის დანაყენები არჩეული იქნეს 1.5-ჯერ მინაერთის საკუთარი ტევადური დენი, ხოლო რაც შეეხება დროის დანაყენების არჩევას, როდესაც დაცვა მუშაობს მხოლოდ სიგნალზე, მიღებულია 0 წმ-დან 0,5 წმ-მდე და დამოკიდებულია ქსელის რეჟიმულ პარამეტრებზე.

ქსელის მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში რკალმქრობი რეაქტორის დაბალი ძაბვის მაშუნტებელი რეზისტორი გამორთულია და არ მოქმედებს

კომპენსირების სიზუსტეზე. რეზისტორი ერთდება მხოლოდ იმ დროს, როდესაც საჭირო ხდება ერთფაზა დამიწების სარელეო დაცვის მოქმედება. თერმული მდგრადობა რეზისტორის მერყეობს 6-დან 60 წამამდე.

რეაქტორის რეგულატორი ახდენს მამუნტებელი რეზისტორის ჩართვას არამდგრადი მოკლედ შერთვის დამყარებულ რეჟიმში გადასაყვანად, როგორც მყისიერად, ისე გარკვეული დროის დაყოვნების შემდგომ. დროის დაყოვნების გასვლის შემდგომ თუ მოკლედ შერთვა არ გადაიზარდა მდგრადში რეაქტორის რეგულატორი რთავს რეზისტორს რითაც ქმნის დენის აქტიურ მდგენელს დაზიანების ადგილას, რომ მოახდინოს ანთებული რკალის სტაბილიზირება. იმ შემთხვევაში, თუ მოკლედ შერთვა თავად აღმოიფხვა 5 წამამდე დროში, რეაქტორის რეგულატორი არ რთავს ქსელში რეზისტორს და აგრძელებს ნორმალურ რეჟიმში მუშაობას.

პროექტირების და ექსპლუატაციის არსებული პრაქტიკის გათვალისწინებით რკალმქრობი რეაქტორის სიმძლავრე ირჩევა ქსელის პერსპექტიული განვითარების და მისი ტევადური დენის გათვალისწინებით.

ტიპიური ინსტრუქცია „РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87)“-ის გათვალისწინებით რკალმქრობი რეაქტორის სიმძლავრე რეკომენდირებულია შიერჩეს ფორმულით:

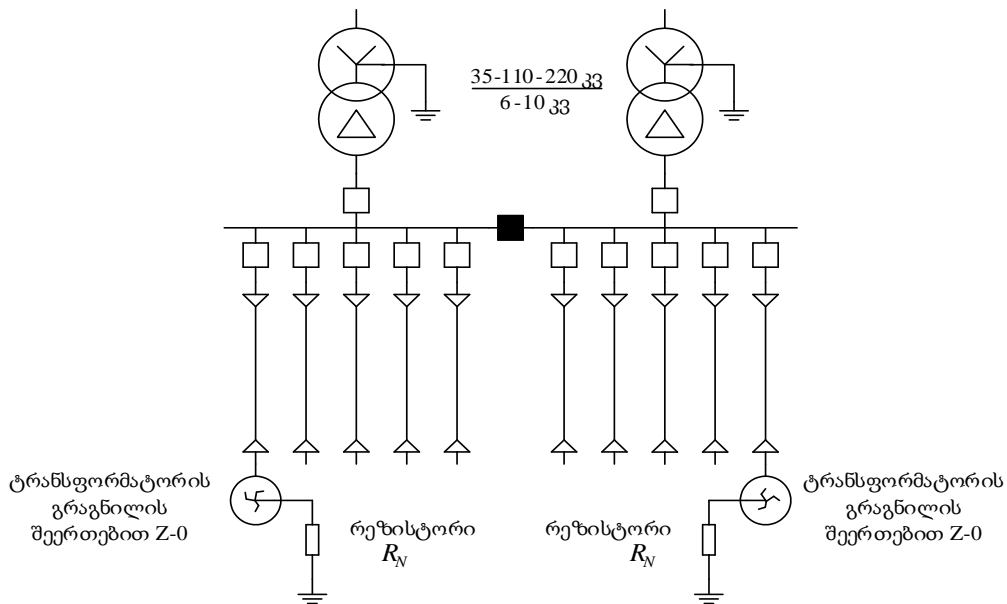
$$Q_p = 1,25 \times \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} \times I_c$$

სადაც, 1,25 - ქსელის განვითარების კოეფიციენტი; $U_{\text{ном}}$ - ქსელის ნომინალური ძაბვა; I_c - ჯამური ტევადური დენი, (გათვალისწინებულია ცენტრალური გამანაწილებელი პუნქტების ტევადური დენები, იმ შემთხვევაში თუ აღნიშნული იკვებება იმავე ქვესადგურიდან)

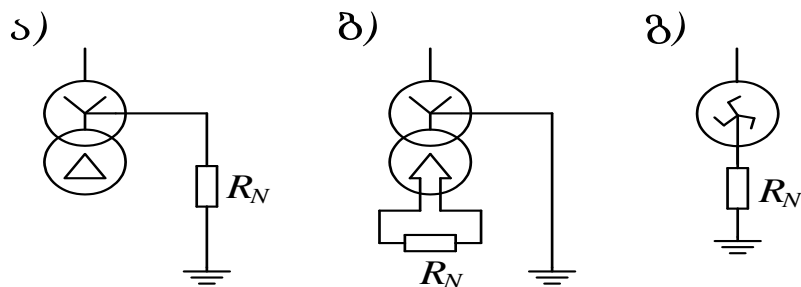
რკამქრობი რეაქტორის ქსელთან მიერთებისათვის განკუთვნილი ძალოვანი ტრანსფორმატორის სიმძლავრე უნდა იყოს არანაკლებ რეაქტორის სიმძლავრისა.

1.4. საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწება რეზისტორის მეშვეობით

სურათი №7-ზე ნაჩვენებია ორტრანსფორმატორიანი ქვესადგური, რომლის ნეიტრალიც 6-10 კვ ძაბვის მხარეს დამიწებულია რეზისტორის გავლით. აღნიშნულ რეჟიმში 6-10 კვ ძაბვის სექციის სალტეზე გამოყოფილია უჯრედი, რომლის მეშვეობითაც მიერთებულია ძალოვანი ტრანსფორმატორი ნულოვანი გამომყვანით მაღალი ძაბვის მხარეს. (ტრანსფორმატორის შეერთების სქემა Y-0/D ან Z-0)



ნახაზი 7. ორტრანსფორმატორიანი ქვესადგური, რომლის ნეიტრალიც 6-10 კვ ძაბვის მხარეს დამიწებულია რეზისტორის გავლით



ნახაზი 8. რეზისტორის მიერთების ვარიანტები

ნახაზი 8-ზე ნაჩვენებია რეზისტორის ქსელთან მიერთების შესაძლო ვარიანტები, როგორც წესი ნეიტრალის დამიწებას რეზისტორით ახდენენ ა) და გ) ვარიანტებით, ხოლო ბ) საკმაოდ იშვიათია და საჭიროებს სპეციალურ ტრანსფორმატორს.

ყველა ზემოთ ნაჩვენები ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად, რომლებიც ქმნიან აქტიურ დენს, კერძოდ:

ნეიტრალის მაღალომიანი რეზისტორული დამიწება, ეს არის დამიწება რეზისტორის გავლთ რომლის ჯამური დენი დამიწების ადგილას (აქტიურ დენს დამატებული ტევადური დენი) არ აჭარბებს 10 ა-ს. როგორც წესი ერთფაზა ჩამიწება მიწასთან ასეთ რეჟიმის დროს არ ითიშება და სარელეო დაცვა მუშაობს სიგნალზე.

ნეიტრალის დაბალომიანი რეზისტორული დამიწება, ეს არის დამიწება რეზისტორის გავლთ რომლის ჯამური დენი დამიწების ადგილას (აქტიურ დენს პლიუს ტევადური დენი) მეტია 10 ა-ზე. როგორც წესი ჯამური დენი 10 ა-ს საგრძნობლად აღემატება და აღწევს ათეულობით და ასეულობით ამპერს, ასეთ შემთხვევაში საჭირო ხდება მინაერთის გამორთვა სელექტიური პირობების გათვალისწინებით, რაც შეიძლება მცირე დროის დაყოვნებით.

ნეიტრალის მაღალომიანი წინააღობით დამიწება ხორციელდება ქსელში, სადაც ტევადური დენი I_C არის არაუმეტეს 5-7 ა, ამავდროულად რეზისტორის მიერ შექმნილი აქტიური დენი I_R ქსელის ტევადურ დენზე მეტი უნდა იყოს:

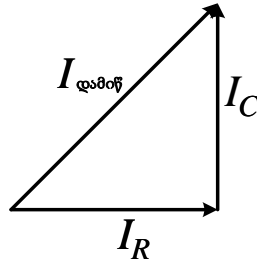
$$I_C \leq 5 - 7 \text{ ა}$$

$$I_C \leq I_R$$

ჯამური დენი ერთი ფაზის დამიწების ადგილას იკრიბება ქსელის ტევადურ დენს დამატებული აქტიური დენი, რომელიც იქმნება ნეიტრალის დამიწების რეზისტორით:

$$I_C = \sqrt{I_C^2 + I_R^2}$$

აღნიშნული აქტიური და ტევადური დენი ჯამდება ვექტორულად და დამრულები არიან ერთმანეთის მიმართ 90° -ით.



ნახაზი 9. ერთფაზა ჩამიწების დენების ვექტორული დიაგრამა რეზისტორით დამიწებული ნეიტრალის რეჟიმის დროს.

ერთი ფაზის დამიწების წერტილში, რეზისტორისაგან შექმნილი აქტიური დენისა და ტევადური დენის სიდიდეების ტოლობის შემთხვევაში, ჯამური დენი მხოლოდ $\sqrt{2}$ -ჯერ იზრდება. მაგალითად, თუ ტევადური დენის სიდიდე 5 ა-ის ტოლია და აქტიური დენის სიდიდეც 5 ა-ია, ჯამური დენი დაზიანების წერტილში მიახლოებით 7 ა იქნება.

ნეიტრალის დაბალმომიანი რეზისტორით დამიწება შესაძლებელია განხორციელდეს ტევადური დენის ნებისმიერი სიდიდის მქონე ქსელში, მოცემულ შემთხვევაში რეზისტორის მიერ შექმნილი აქტიური დენი I_R ქსელის ტევადურ დენზე მეტი უნდა იყოს, როგორც წესი აღნიშნული აქტიური დენი მინიმუმ 2-ჯერ აღემატება ქსელის ტევადურ დენს:

$$I_R \leq 20 \div 2000 \text{ ა}$$

რეზისტორის მიერ შექმნილი აქტიური დენის სიდიდის შერჩევა წარმოადგენს ორ ურთიერთსაწინააღმდეგო დავალების კომპრომისს, კერძოდ ერთფაზა მიწასთან ჩამიწების სარელეო დაცვის მგრძობიარობის ამაღლება ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის სიდიდის ხარჯზე და დაზიანების ადგილას (ერთფაზა მოკლე შერთვა) დენის სიდიდის სელექტიური პირობების გათვალისწინებით, რაც შეიძლება მცირე დროის დაყოვნებით ამორთვა, დამატებით, მოწყობილობების დაზიანების თავიდან ასარიდებლად.

რეზისტორის მეშვეობით ნეიტრალის დამიწების უპირატესობებია:

- მაღალომიანი რეზისტორით დამიწებისას ჩამიწების ამორთვის დროის სიდიდე;
- ქსელში რკალური გადამეტძაბვების არარსებობა;
- მარტივი სარელეო დაცვის განხორციელება;
- მზომი ძაბვის ტრანსფორმატორების, ფერორეზონანსული პროცესებისგან გამოწვეული დაზიანების არარსებობა;
- დაბალომიანი დამიწების შემთხვევაში მომსახურე პერსონალისა და სხვა ადამიანების დაზიანების ალბათობის შემცირება.

რეზისტორის მეშვეობით ნეიტრალის დამიწების ნაკლოვანებებია:

- დაბალომიანი რეზისტორით დამიწების დროს დაზიანების ადგილას გაზრდილი მოკლე შერთვის დენის სიდიდე;
- დაბალომიანი რეზისტორით დამიწების დროს გაზრდილი მოკლე შერთვის დენის სწრაფი ამორთვა, რაც იწვევს ხშირ ელექტროენერჯის მომხმარებლების გამორთვას.

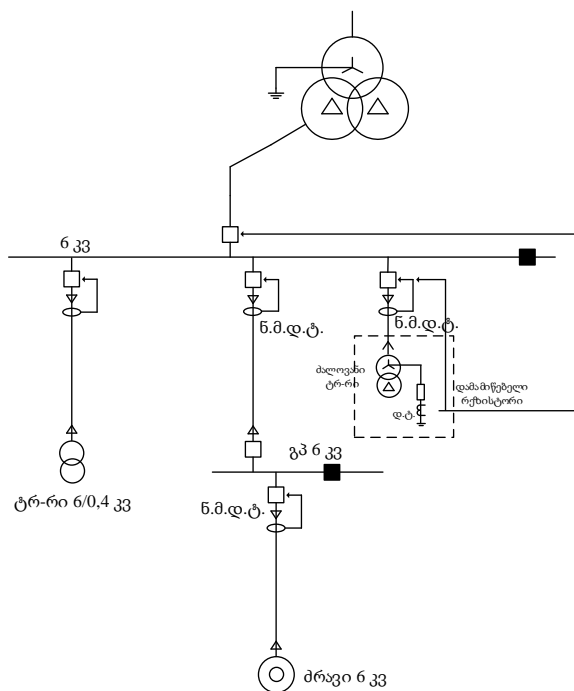
ზემოაღნიშნულმა უპირატესობებმა, როგორც არის გადამეტძაბვების არარსებობა ერთფაზა დამიწების დროს, ფერორეზონანსული პროცესების ძაბვის ტრანსფორმატორის გაჟღენთვის არარსებობა და ერთფაზა მოკლე შერთვის სელექტიური სარელეო დაცვის განხორციელება, საქართველოს ფარგლებს გარეთ განაპირობა ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების რეჟიმის გამოყენების არეალის გაფართოება, ხოლო რაც შეეხება წარმოდგენილ ნაკლოვანებებს (დაზიანების ადგილას გაზრდილი მოკლე შერთვის დენის სიდიდე და რეზისტორით დამიწების დროს გაზრდილი მოკლე შერთვის დენის სწრაფი ამორთვის უზრუნველყოფა) მარტივად გადაწყვეტადია, მაგალითად სარელეო დაცვის დროის დანაყენების შემცირებისა და მომხმარებლების სარეზერვო კვების ორგანიზებით.

ერთფაზა დამიწების სარელეო დაცვა, ნეიტრალის მაღალომიანი რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში, შეიძლება განსხვავდებოდეს,

რადგან, როგორც წესი მაღალმომიანი რეზისტორით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელებში ერთფაზა ჩამიწების დაცვა ქვესადგურში ამოქმედებს გამაფრთხილებელ სიგნალიზაციას, ამასთან შესაძლებელია გამოყენებული იქნას, როგორც მარტივი დენური დაცვები, რომელიც მოქმედებს რეზისტორით შექმნილ ჩამიწების დენის აქტიურ მდგენელზე, ისე მიმართულებიანი დენური დაცვები.

მაღალმომიანი რეზისტორით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელებში ერთფაზა დამიწების დაცვა შეიძლება მოქმედებდეს მინაერთის გამორთვაზეც, მაგრამ დაუყოვნებელი გამორთვის (მოკვეთის) განხორციელება არ არის აუცილებელი.

დაბალმომიანი რეზისტორით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელებში ერთფაზა მოკლე შერთვის დაცვა უნდა მოქმედებდეს მინაერთის გამორთვაზე, მინიმალური დროის დაყოვნებით, დაახლოებით ისეთივე დროით, როგორცაა ორფაზა და/ან სამფაზა მოკლე შერთვის შემთხვევაში მოქმედებს.



ნახაზი 10. 6-35 კვ ძაბვის ნეიტრალის დაბალმომიანი რეზისტორით დამიწებულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვისაგან დასაცავად მოწყობილი სარელეო დაცვის პრინციპიალური სქემა

დაბალმიანი რეზისტორით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელებში ერთფაზა ჩამიწების დენის ამოსართვად გამოიყენება მარტივი დენური დაცვები (ANSI 51G) და მისი დენური დანაყენი განრიდებულია მინაერთის ტევადური დენისაგან. თანამედროვე ციფრული მოწყობილობები, რომლებიც აღჭურვილია შემავალი დენების ფილტრებით, საშუალებას იძლევა მინაერთზე დენური დანაყენები მინუმ 0,01 ა განხორციელდეს, ხოლო დროის დანაყენები სელექტიურობის დაცვის მიზნით საფეხურობრივი პრინციპით ეწყობა, ზრდადობის პრინციპით მიმართული ქვესადგურისაკენ (რადიალურ ქსელებში).

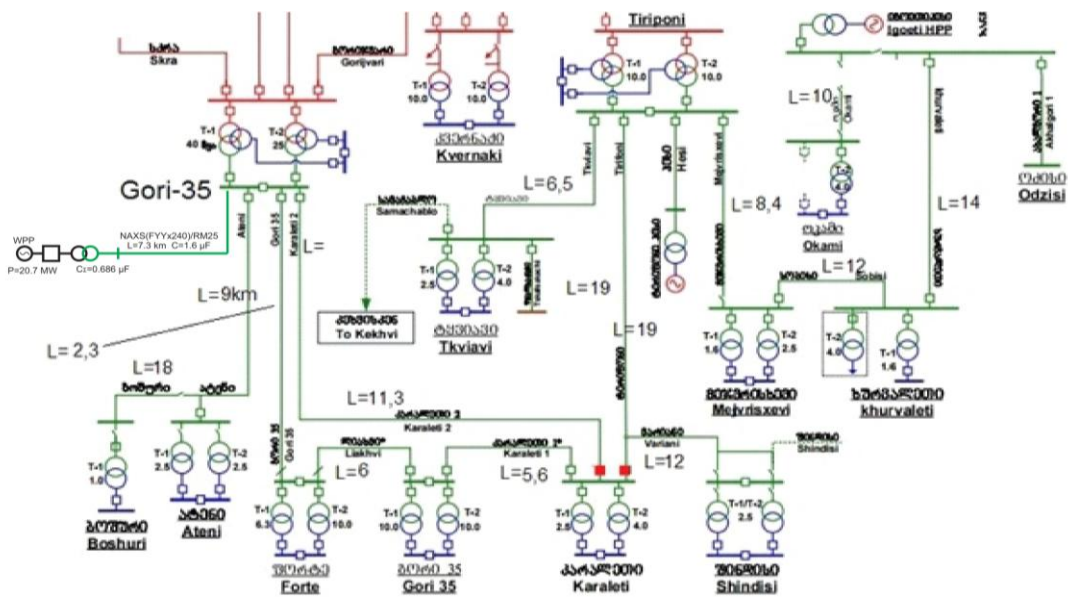
ძალოვანი ქვესადგურის 6(10) კვ გამანაწილებელი მოწყობილობის მინაერთის (ქვესადგურიდან გამავალ ელექტროგადაცემის ხაზზე), ერთფაზა ჩამიწების დროს, სარელეო დაცვის მოქმედების ან გამავალი ხაზის უჯრედის ამომრთველის უარის შემთხვევაში, ხდება აღნიშნულის რეზერვირება, კერძოდ ირთვება გამანაწილებელი მოწყობილობის შემყვანი ამომრთველი, ანალოგიურად, როგორც ორფაზა ან სამფაზა მოკლე შერთვის დროს ხორციელდება გამავალი ხაზის უჯრედებზე (აურმ).

უკიდურეს შემთხვევაში, ნეიტრალის დამამიწებელი რეზისტორი, რომელიც 6(10) კვ გამანაწილებელი მოწყობილობის სალტეზე მიერთებულია სპეციალური ძალოვანი ტრანსფორმატორისა და ამომრთველით და ყველა საჭირო მოწყობილობა აპარატურით დაკომპლექტებული უჯრედის მეშვეობით, ამოირთვება და ქსელს გადაიყვანს იზოლირებულ ნეიტრალიან რეჟიმში, ეს უკანასკნელი გამომდინარეობს იქედან, რომ რეზისტორის თერმული მდგრადობისათვის მწარმოებლების უმეტესობა, რეზისტორის მოკლე შერთვის რეჟიმში მუშაობას ანუ მასში გამავალი რეზისტორის ნომინალური დენის დროის ხანგრძლივობას ზღუდავს 10 წამით.

1.5. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით
გამოწვეული გადამეტება

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული პროცესების შესასწავლად წარმოდგენილია ერთერთი მაგალითი, კერძოდ 35/10 კვ ძაბვის ქვესადგური „გორი 35“-ის სალტეზე გადამეტება, 35 კვ ძაბვის ქსელის ერთერთ ელექტროგადამცემ ხაზზე ერთი ფაზის ჩამიწების დროს.

ქვესადგური „გორი 35“-ის 35 კვ ძაბვის ქსელზე მომხმარებლების გარდა მიერთებულია ქარის ელექტროსადგურის საკაბელო ქსელიც (იხ.ნახ. 11)



ნახაზი 11. „გორი 35“-ის 35 კვ ძაბვის ქსელი

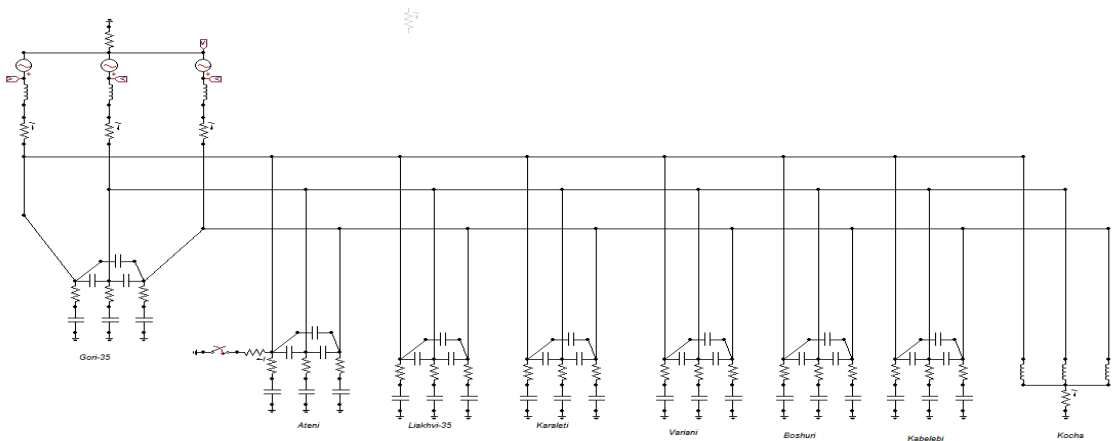
ქვ/ს „გორი 35“-ის ქსელის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების ჯამური ტევადობაა 0,469μF, ხოლო ქარის ელექტროსადგურის, რომელიც მიერთებულია საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზით, ჯამური ტევადობაა 2,286μF. ამრიგად 35 კვ ძაბვის ქსელის დამიწების დენი უდრის:

$$I_c = 3 * 20207 * 314 * (2,286 + 0,469) * 10^{-6} = 52,4 A$$

მიღებული დენი დაუშვებლად დიდია და ამიტომ ქარის ელექტროსადგურის ტერიტორიაზე დამონტაჟებულია 1,23 ჰენრის ინდუქტიურობის მქონე რკალმქრობი კოჭა, რომელიც მიერთებულია 1000 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორის ნეიტრალთან. მოცემულ სქემაში, ATPDraw პროგრამის მეშვეობით ჩატარდა ერთი ფაზის დამიწების მოდელირება.

ცხრილი 2. ქვ/ს „გორი 35“-ის ქსელის საჭაერო ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები

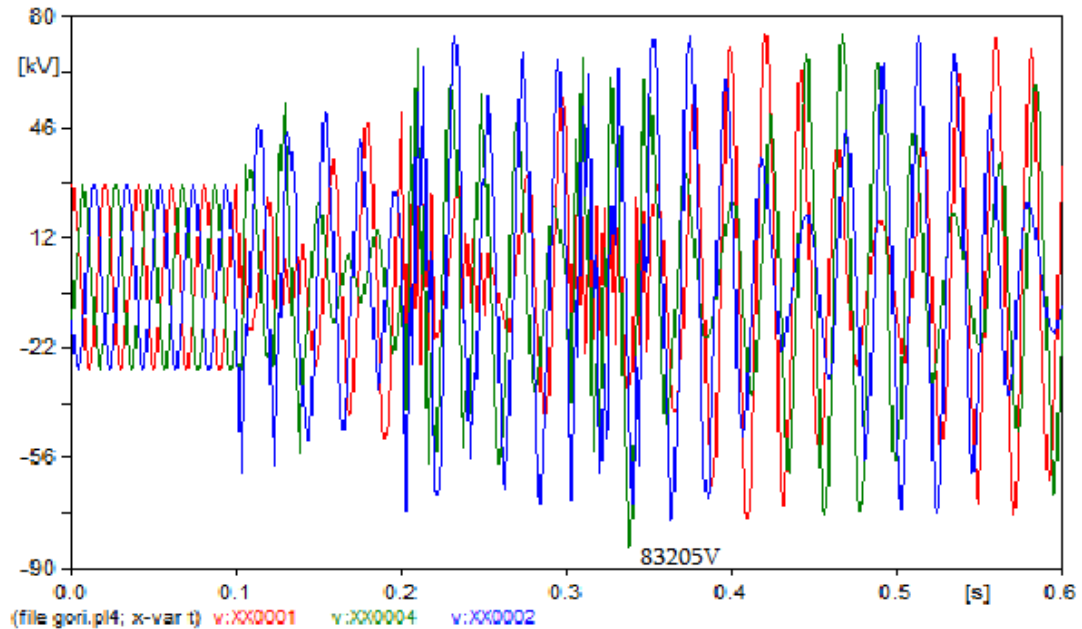
ხაზები	სადენი Smm2	ხაზის სიგრძე L km	კუთრი გამტარობა b0 სიმ/კმ	ხაზის გამტარობა b0 10-6 სიმენსი	ტევადობა C F
გორი-35	120	2.3	2.85	6.555	0.021
ატენი	70	9	2.73	24.57	0.078
ლიახვი-35	120	6	2.85	17.1	0.054
კარალეთი-1	95	5.6	2.81	15.736	0.050
ვარიანი	120	12	2.85	34.2	0.109
ბოშური	70	18	2.73	49.14	0.156



ნახაზი 12. „გორი 35“-ის 35 კვ მაზვის ქსელის მოდელი ATPDraw პროგრამაში

35 კვ მაზვის ქსელში ერთი ფაზის ჩამიწების ინსცენირება განხორციელებულია ელექტროგადამცემ ხაზზე „ატენზე“, სადაც

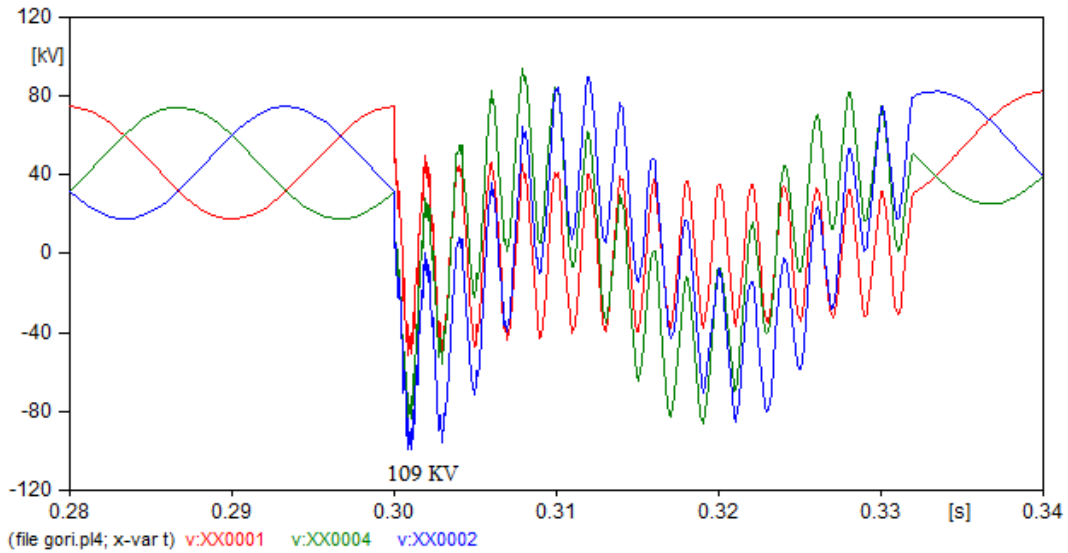
გამოკვეთილია რკალის პერიოდული ანთება-ჩაქრობა, რომელიც იწვევს რხევით პროცესებს, რის შედეგადაც ქსელში წარმოიქმნება გადამეტაბვა.



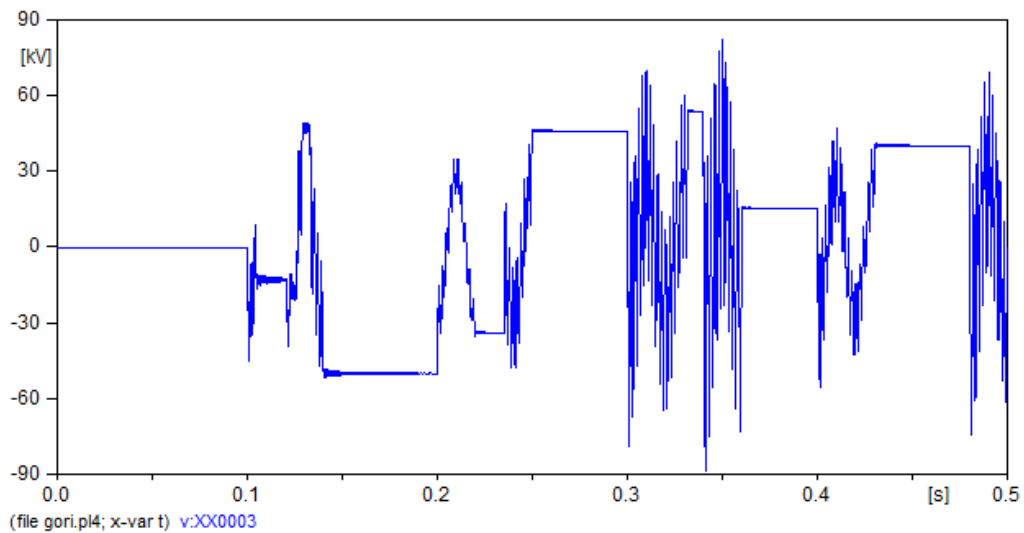
ნახაზი 13. 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა ჩამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვა

ნახაზი 13-ზე მოყვანილ მრუდეებიდან ჩანს 35 კვ ძაბვის ქსელში წარმოქმნილი რხევის პროცესით გამოწვეული გადამეტაბვა, რომლის ჯანმრთელ ფაზაში ძაბვის ამპლიტუდა 83205 ვოლტს აღწევს, აღნიშნული გადამეტაბვის ჯერადობა $K = \frac{83205}{28577} = 2,9$ -ის ტოლია, რომელიც საშიშია იზოლაციისათვის. იმ შემთხვევაშიც, როცა ქარის ელექტროსდგური არ მუშაობს და გორის ქვესადგურთან დამაკავშირებელი ელექტროგადამცემი ხაზი (კაბელი) გამორთულია, შესაბამისად რკალმქრობი კოჭაც აღარ არის მიერთებული გორის 35 კვ ძაბვის ქსელზე. მასში აუცილებლობა აღარ არის, რადგან ერთფაზა დამიწების დენი, მოცემულ შემთხვევაში, 9 ამპერს არ აღემატება, რკალი საკმაოდ სუსტია და ის პერიოდულად ქრება და ინთება. ATPDraw პროგრამის მეშვეობით მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ 35 კვ ძაბვის ქსელის ერთერთ ჯანმრთელ ფაზაში ძაბვის ამპლიტუდა 109000 ვოლტს აღწევს (იხ. ნახ.14), რომლის გადამეტაბვის ჯერადობა უკვე

$K = \frac{109000}{28577} = 3,82$, ეს ყველაფერი აიხსნება მკვებავი ტრანსფორმატორის ნეიტრალში მუხტის დაგროვებით. ნეიტრალის ძაბვა მიწის მიმართ მოყვანილია ნახაზი 15-ზე.



ნახაზი 14. 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა ჩამიწებით გამოწვეული გადამეტება



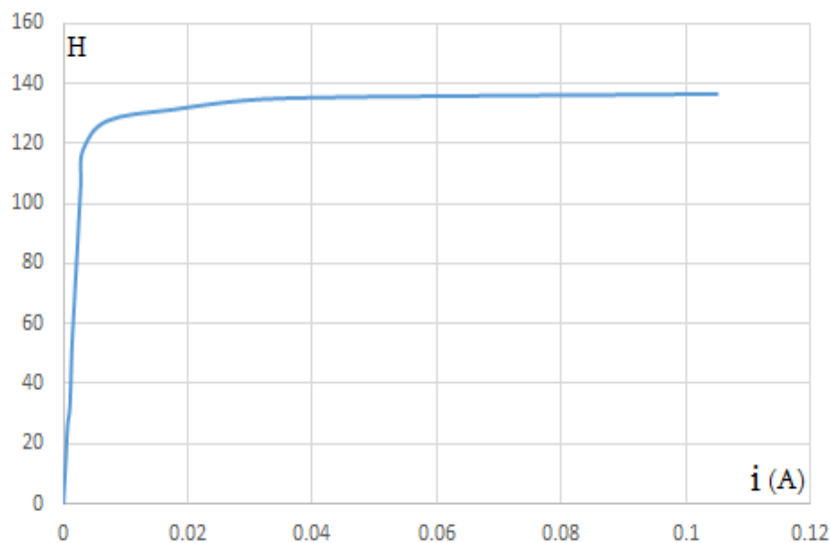
ნახაზი 15. ნეიტრალის ძაბვა მიწის მიმართ

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, გამანაწილებელი ქსელების, როგორც იზოლირებულ ნეიტრალის, ისე რქალმქრობი კოჭის მეშვეობით

ჩამიწებული ნეიტრალის სისტემით მუშაობისას, ერთი ფაზის ჩამიწებისას, დანარჩენ ჯანსაღ ფაზებში წარმოიქმნება გადამეტება, რომელიც აზიანებს, როგორც მოწყობილობების იზოლაციას ისე შეიძლება გამოიწვიოს ძაბვის მზომი ტრანსფორმატორების დაზიანება.

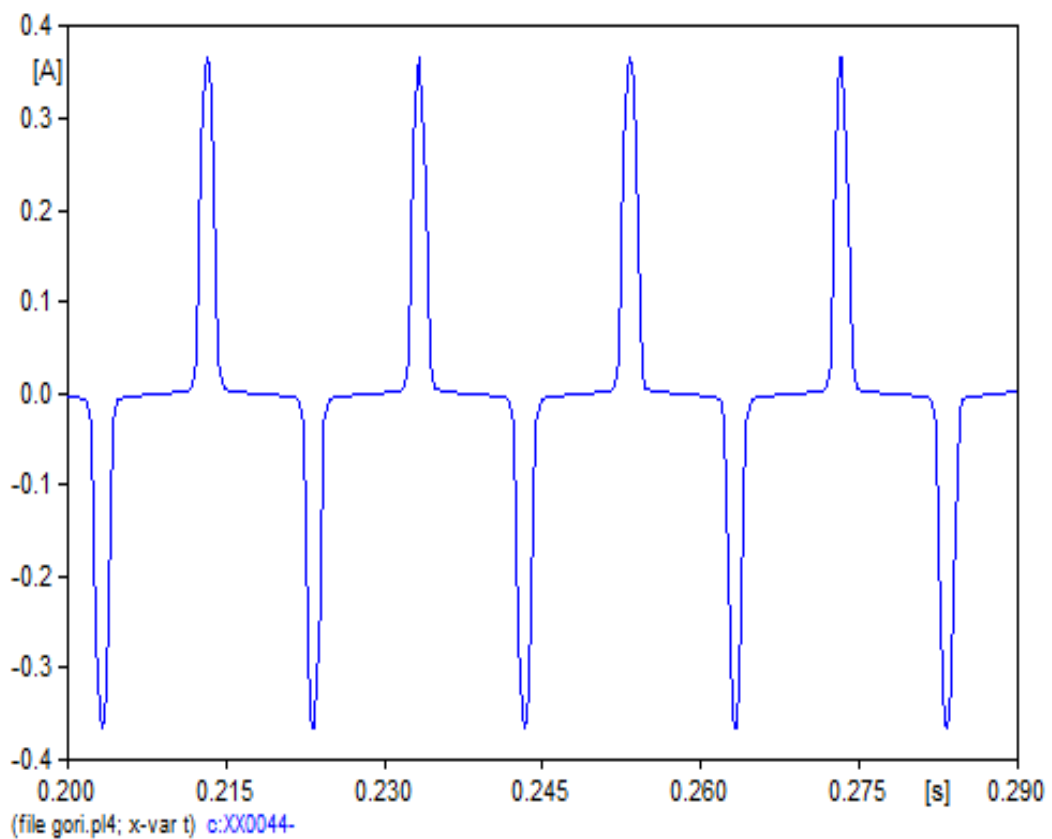
ერთფაზა დამიწების დროს ჯანმრთელი ფაზებში გაზრდილი ძაბვა იწვევს ძაბვის ტრანსფორმატორების გულარების მაგნიტურ გაჟღენთვას, რომელსაც თან სდევს ტრანსფორმატორის ინდუქტიური წინაღობის შემცირება და გრაგნილის დენი მკვეთრად იზრდება. როგორც წესი ძაბვის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი დახვეულია 0,25 მმ დიამეტრის სადენით და ნორმალურ რეჟიმში, გრაგნილში რომოდენიმე მილიამპერი დენი გადის, შესაბამისად გაჟღენთვის პირობებში დენის ზრდა იწვევს გრაგნილის დაუშვებელ გახურებას, რომოდენიმე წუთის შემდეგ, ძაბვის ტრანსფორმატორი გადახურდება და გადაიწვება.

ქვემოთ მოყვანილი 35 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორის ფოლადის დამაგნიტების მრუდის (ნახ.14.) მეშვეობით პროგრამა ATPDraw-ში შეიქმნა ძაბვის ტრანსფორმატორის არაწვრივი მოდელი და ჩატარდა ერთი ფაზის დამიწების მოდელირება ორი შემთხვევისათვის.

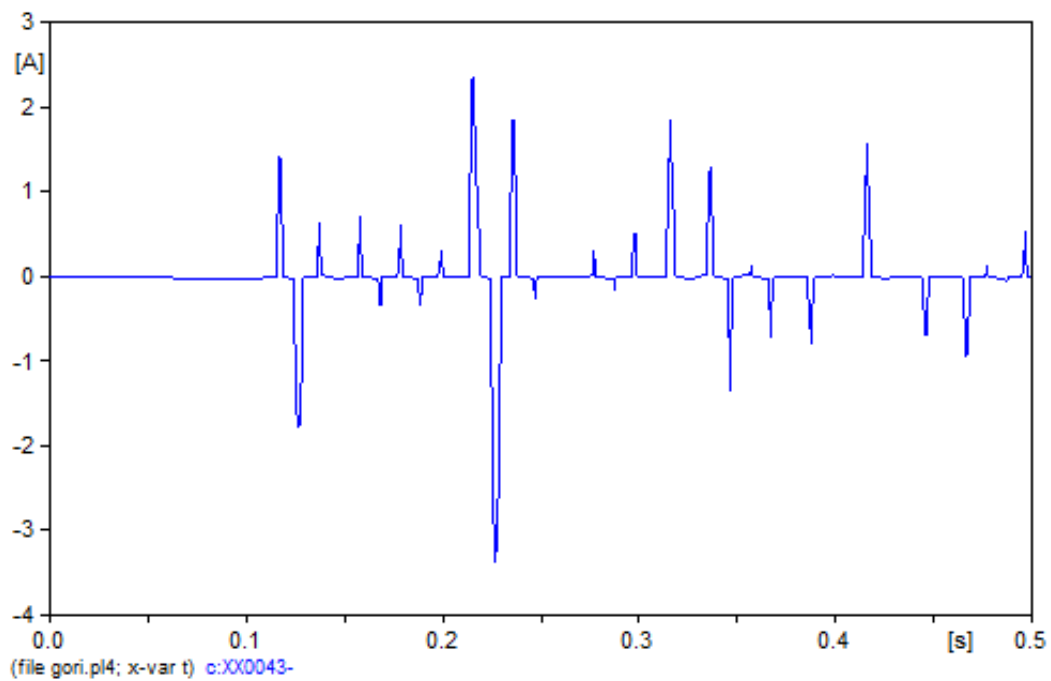


ნახაზი 16. 35 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორის ფოლადის დამაგნიტების მრუდი

პირველი შემთხვევა განვიხილოთ, როდესაც ერთი ფაზის დამიწების დროს ანთებული რკალი მდგრადია. აღნიშნულ შემთხვევაში ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა იზრდება 1,73 ჯერ, რასაც მოჰყვება ძაბვის ტრანსფორმატორის გაჟღერება, შესაბამისად პირველად გრაგნილში დენი იზრდება და აღწევს 0,35 ამპერს (იხ. ნახ. 17.), ხოლო მეორე შემთხვევა განვიხილოთ როდესაც ერთი ფაზის დამიწების დროს ანთებული რკალი არამდგრადია, რაც თავისთავად გადამეტაბვის გამოწვევია და ძაბვის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის დენის სიდიდე 3 ამპერამდე (იხ. ნახ. 18) აღწევს, ორივე შემთხვევის დროს ძაბვის ტრანსფორმატორში დენი რამოდენიმეჯერ მეტია მის ნომინალურ დენზე.



ნახაზი 17. ერთფაზა დამიწების დროს ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გამავალი დენი



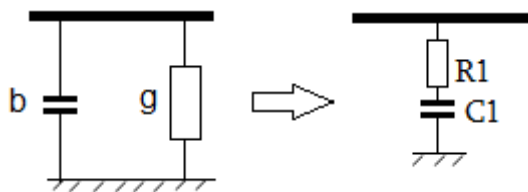
ნახაზი 18. ერთფაზა დამიწების დროს ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში გამავალი დენი

თავი 2. საშუალო ძაბვის იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის მოდელირება

2.1. იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის მათემატიკური მოდელი

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელს გააჩნია გარკვეული თავისებურებები. კერძოდ, ასეთ ქსელში ერთი ფაზის დამიწება არ განიხილება როგორც ავარია, ვინაიდან დამიწების დენები არ აღემატება რამოდენიმე ათეულ ამპერს, მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ერთი ფაზის დამიწება, როგორც წესი ქსელში გადამეტაბვის გამომწვევი მიზეზია. აღნიშნული სწორედ ერთფაზა დამიწების დენის სიმცირით აიხსნება, ვინაიდან მოცემულ შემთხვევაში, ერთფაზა დამიწების ადგილას წარმოქმნილი რკალი სუსტია (არამდგრადია) და ხდება ე.წ. დენის „წყვეტა“, ანუ რკალის ქრობა დენის არანულოვანი მნიშვნელობის დროს.

ზემოაღნიშნული მოვლენის შესასწავლად გამოიყენება მათემატიკური მოდელი, რომლის შექმნისას გარკვეული დაშვებები კეთდება, მაგალითად ხაზის ტევადური და აქტიური გამტარებლობები RC შტოთი იცვლება.

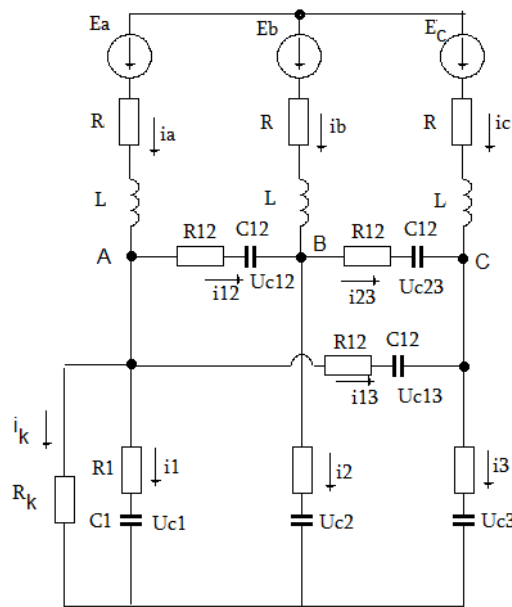


ნახაზი 19. ხაზის ტევადური და აქტიური გამტარებლობები RC შტოთი ჩანაცვლება

მათემატიკური მოდელირებისათვის პირველ ეტაპზე საჭიროა წარმოვადგინოთ ქსელის ჩანაცვლების სქემა (იხ.ნახ. 20), მისი ფაზების ტევადობა მიწის მიმართ არის C_1 და ფაზათაშორისი ტევადობა C_{12} -ია.

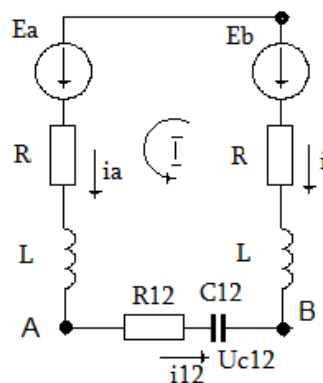
მოცემული ქსელის კვება ხორციელდება წყაროდან, რომლის ფაზებს გააჩნიათ L ინდუქტიურობა და R აქტიური წინააღობა, სამივე ფაზა სიმეტრიულია ხოლო R_k –რკალის წინააღობაა.

გარდამავალი პროცესი ასეთ სქემაში შეიძლება აღვწეროთ კირხჰოფის პირველი და მეორე კანონების საუძველზე. ნახაზი 20-ზე მოყვანილი სქემა შეიცავს 7 დამოუკიდებელ კონტურს.



ნახაზი 20. იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის ჩანაცვლების სქემა

მოცემული ჩანაცვლების სქემიდან პირველი კონტურისათვის (იხ. ნახ 21) გვექნება:



ნახაზი 21. პირველი კონტური

პირველი კონტურისათვის კონტურული ძაბვების განტოლება იქნება:

$$E_a + i_a R + L \frac{di_a}{dt} + i_{12} R_{12} + U_{c12} - L \frac{di_b}{dt} - i_b R - E_b = 0$$

სადაც $E_a = E \sin(\omega t), E_b = E \sin(\omega t + 120)$.

ზემოაღნიშნული გამოსახულება გავამრავლოთ C_{12} , რის შემდეგმაც მივიღებთ:

$$C_{12} E \sin(\omega t) + i_a R C_{12} + L C_{12} \frac{di_a}{dt} + i_{12} R_{12} C_{12} + C_{12} U_{c12} - L C_{12} \frac{di_b}{dt} - i_b R C_{12} - C_{12} E \sin(\omega t + 120) = 0$$

გავაწარმოთ მიღებული გამოსახულება

$$\omega C_{12} E \cos(\omega t) + \frac{di_a}{dt} R C_{12} + L C_{12} \frac{d^2 i_a}{dt^2} + \frac{di_{12}}{dt} R_{12} C_{12} + C_{12} \frac{dU_{c12}}{dt} - L C_{12} \frac{d^2 i_b}{dt^2} - \frac{di_b}{dt} R C_{12} - \omega C_{12} E \cos(\omega t + 120) =$$

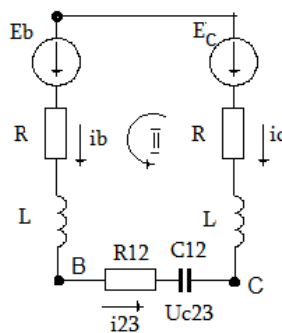
ვინაიდან $C_{12} \frac{dU_{c12}}{dt} = i_{12}$, ავღნიშნოთ $\frac{di_a}{dt} = J_a$ -თი

მოცემული გარდაქმნების შემდგომ პირველი კონტურისათვის გვექნება ორი დიფერენციალური განტოლება:

$$L C_{12} \frac{dJ_a}{dt} + \frac{di_{12}}{dt} R_{12} C_{12} - L C_{12} \frac{dJ_b}{dt} = \omega C_{12} E [\cos(\omega t + 120) - \cos(\omega t)] -$$

$$- R C_{12} J_a - i_{12} + R C_{12} J_b \quad (1) \quad \frac{di_a}{dt} = J_a \quad (2)$$

მეორე კონტურისათვის (იხ. ნახ 22) გვექნება:



ნახაზი 22. მეორე კონტური

მეორე კონტურისათვის კონტურული ძაბვების განტოლება იქნება:

$$E_b + i_b R + L \frac{di_b}{dt} + i_{23} R_{12} + U_{c23} - L \frac{di_c}{dt} - i_c R - E_c = 0$$

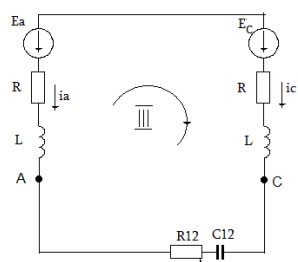
პირველი კონტურისათვის მოყვანილი გარდაქმნების გამოყენების

შედეგად მივიღებთ:

$$LC_{12} \frac{dJ_b}{dt} + \frac{di_{23}}{dt} R_{12} C_{12} - LC_{12} \frac{dJ_c}{dt} = \omega C_{12} E [\cos(\omega t + 240) - \cos(\omega t + 120)] - RC_{12} J_b - i_{23} + RC_{12} J_c \quad (3)$$

$$\frac{di_b}{dt} = J_b \quad (4)$$

მესამე კონტურისათვის (იხ. ნახ 23) გვექნება:



ნახაზი 23. მესამე კონტური

კონტურული ძაბვების განტოლება:

$$E \cos(\omega t) + i_a R + L \frac{di_a}{dt} + i_{13} R_{12} + U_{c13} - L \frac{di_c}{dt} - i_c R - E \cos(\omega t + 240) = 0$$

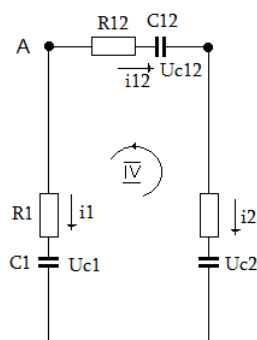
პირველი კონტურისათვის მოყვანილი გარდაქმნების გამოყენების

შედეგად მივიღებთ:

$$LC_{12} \frac{dJ_c}{dt} + \frac{di_{23}}{dt} R_{12} C_{12} - LC_{12} \frac{dJ_c}{dt} = \omega C_{12} E [\cos(\omega t + 240) - \cos(\omega t)] - RC_{12} J_a - i_{13} + RC_{12} J_c \quad (5)$$

$$\frac{di_c}{dt} = i_c \quad (6)$$

მეოთხე კონტურისათვის (იხ. ნახ 24) გვექნება:



ნახაზი 24. მეოთხე კონტური

კონტურული ძაბვების განტოლება:

$$i_1 R_1 + U_{c1} - i_2 R_1 - U_{c2} - U_{c12} - i_{12} R_{12} = 0$$

რომელიც გავამრავლოთ C_1 -ზე.

$$i_1 R_1 C_1 + U_{c1} C_1 - i_2 R_1 C_1 - U_{c2} C_1 - U_{c12} C_1 - i_{12} R_{12} C_1 = 0$$

შემდეგ

$$i_1 R_1 C_1 + U_{c1} C_1 - i_2 R_1 C_1 - U_{c2} C_1 - U_{c12} C_{12} \frac{C_1}{C_{12}} - i_{12} R_{12} C_1 = 0$$

გავაწარმოვოთ ეს ტოლობა

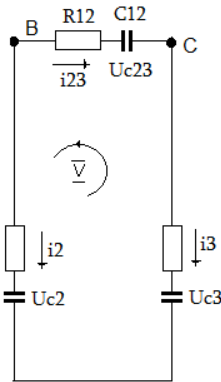
$$\frac{di_1}{dt} R_1 C_1 + \frac{dU_{c1}}{dt} C_1 - \frac{di_2}{dt} R_1 C_1 - \frac{dU_{c2}}{dt} C_1 - \frac{dU_{c12}}{dt} C_{12} \frac{C_1}{C_{12}} - \frac{di_{12}}{dt} R_{12} C_1 = 0$$

ვინაიდან $\frac{dU_{c1}}{dt} C_1 = i_1$, $\frac{dU_{c2}}{dt} C_1 = i_2$, $\frac{dU_{c12}}{dt} C_{12} = i_{12}$

ამიტომ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\frac{di_1}{dt} R_1 C_1 - \frac{di_2}{dt} R_1 C_1 - \frac{di_{12}}{dt} R_{12} C_1 = i_2 - i_1 + i_{12} \quad (7)$$

მეხუთე კონტურისათვის (იხ. ნახ 25) გვექნება:



ნახაზი 25. მეხუთე კონტური

კონტურული ძაბვების განტოლება:

$$i_2 R_1 + U_{c2} - i_3 R_1 - U_{c3} - U_{c23} - i_{23} R_{12} = 0$$

რომელიც გავამრავლოთ C_1 -ზე.

$$i_2 R_1 C_1 + C_1 U_{c2} - i_3 C_1 R_1 - C_1 U_{c3} - \frac{C_1}{C_{12}} C_{12} U_{c23} - i_{23} C_1 R_{12} = 0$$

შემდეგ გავაწარმოვოთ

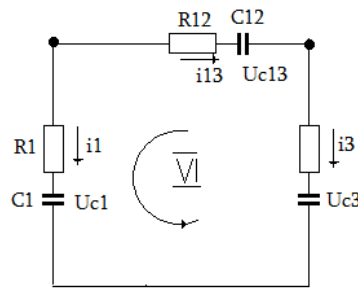
$$\frac{di_2}{dt} R_1 C_1 + C_1 \frac{dU_{c2}}{dt} - \frac{di_3}{dt} C_1 R_1 - C_1 \frac{dU_{c3}}{dt} - \frac{C_1}{C_{12}} C_{12} \frac{dU_{c23}}{dt} - \frac{d i_{23}}{dt} C_1 R_{12} = 0$$

ვინაიდან $C_1 \frac{dU_{c2}}{dt} = i_2$, $C_1 \frac{dU_{c3}}{dt} = i_3$, $C_{12} \frac{dU_{c23}}{dt} = i_{23}$

ამიტომ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\frac{di_2}{dt} R_1 C_1 - \frac{di_3}{dt} C_1 R_1 - \frac{d i_{23}}{dt} C_1 R_{12} = i_3 - i_2 + \frac{C_1}{C_{12}} i_{23} \quad (8)$$

მეექვსე კონტურისათვის (იხ. ნახ 26) გვექნება:



ნახაზი 26. მეექვსე კონტური

კონტურული ძაბვების განტოლება:

$$i_1 R_1 + U_{c1} - i_3 R_1 - U_{c3} - U_{c13} - i_{13} R_{12} = 0$$

რომელსაც ვამრავლებთ C_1

$$i_1 R_1 C_1 + C_1 U_{c1} - i_3 C_1 R_1 - C_1 U_{c3} - \frac{C_1}{C_{12}} C_{12} U_{c13} - i_{13} C_1 R_{12} = 0$$

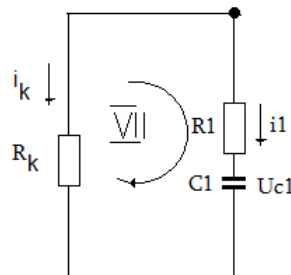
შემდეგ გავაწარმოვით

$$\frac{di_1}{dt} R_1 C_1 + i_1 - \frac{di_3}{dt} C_1 R_1 - i_3 - \frac{C_1}{C_{12}} i_{13} - \frac{d i_{23}}{dt} C_1 R_{12} = 0$$

საბოლოოდ მივიღებთ

$$\frac{di_1}{dt} R_1 C_1 - \frac{di_3}{dt} C_1 R_1 - \frac{d i_{23}}{dt} C_1 R_{12} = i_3 - i_1 + \frac{C_1}{C_{12}} i_{13} \quad (9)$$

მეშვიდე კონტურისათვის (იხ. ნახ 27) გვექნება:



ნახაზი 27. მეშვიდე კონტური

კონტურული ძაბვების განტოლება:

$$i_1 R_1 + U_{c1} - i_k R_k = 0$$

ზემოაღნიშნული გარდაქმნების შედეგად ვღებულობთ მათე განტოლებას.

$$\frac{di_1}{dt} R_1 C_1 + i_1 - \frac{di_k}{dt} R_k = 0 \quad (10)$$

საბოლოო ჯამში მივიღეთ 10 დიფერენციალური განტოლება 13 უცნობით, მათ შორის:

$$i_a, i_b, i_{1c}, i_1, i_2, i_3, i_{12}, i_{23}, i_{13}, J_a, J_b, J_c \text{ და } i_k.$$

კირხჰოფის 1 კანონის თანახმად მივიღებთ:

$$\text{კვანძი A} \quad i_a - i_{12} - i_{13} - i_1 - i_k = 0$$

$$\text{კვანძი B} \quad i_b + i_{12} - i_{23} - i_2 = 0$$

$$\text{კვანძი C} \quad i_c + i_{23} + i_{13} - i_3 = 0$$

ზემოთ მოცემული ტოლობების გავაწარმოებთ მივიღებთ:

$$\frac{di_a}{dt} - \frac{di_{12}}{dt} - \frac{di_{13}}{dt} - \frac{di_1}{dt} - \frac{di_k}{dt} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{di_b}{dt} + \frac{di_{12}}{dt} - \frac{di_{23}}{dt} - \frac{di_2}{dt} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{di_c}{dt} + \frac{di_{13}}{dt} + \frac{di_{23}}{dt} - \frac{di_3}{dt} = 0 \quad (13)$$

მიღებული განტოლებები (1 - 13) წარმოადგენენ იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის, რომელიც ჩანაცვლებულია ერთი ექვივალენტური ხაზით, მათემატიკურ მოდელს.

მიღებული დიფერენციალური განტოლებების $i_a, i_b, i_{1c}, i_1, i_2, i_3, i_{12}, i_{23}, i_{13}, J_a, J_b, J_c$ და i_k ამონახსნები შეიძლება მივიღოთ დიფერენციალური განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირებით, კერძოდ რუნგე-კუტტის მეთოდით. ამისათვის საჭიროა განტოლებები ნორმალურ სახეზე დავიყვანოთ, ანუ ამოვხსნათ ისინი წარმოებულების მიმართ. ეს ადვილად ხორციელდება, თუ განტოლებებს ჩავწერთ მატრიცული სახით.

$$GY' = D$$

სადაც G წარმოებულების კოეფიციენტებია, Y' - წარმოებულების სვეტი და D მარჯვენა მხარეების სვეტი. აღნიშნული მარტივული ტოლობა მოყვანილია ქვემოთ

G										Y'	D	
LC_{12}				$-LC_{12}$					$R_{12}C_{12}$		$\frac{dJ_a}{dt}$	D_1
	LC_{12}			$-LC_{12}$					$R_{12}C_{12}$		$\frac{dJ_b}{dt}$	D_2
		LC_{12}		$-LC_{12}$					$R_{12}C_{12}$		$\frac{dJ_c}{dt}$	D_3
			1								$\frac{di_a}{dt}$	D_4
				1							$\frac{di_b}{dt}$	D_5
				1							$\frac{di_c}{dt}$	D_6
					R_1C_1	$-R_1C_1$	$R_{12}C_1$				$\frac{di_1}{dt}$	D_7
					R_1C_1	$-R_1C_1$	$R_{12}C_1$				$\frac{di_2}{dt}$	D_8
					R_1C_1	R_1C_1	$R_{12}C_1$				$\frac{di_3}{dt}$	D_9
		1			-1		-1	-1	-1		$\frac{di_{12}}{dt}$	D_{10}
			1			-1	1	-1			$\frac{di_{23}}{dt}$	D_{11}
				1		-1	1	1			$\frac{di_{13}}{dt}$	D_{12}
					R_1C_1				R_kC_1		$\frac{di_k}{dt}$	D_{13}

\times

$=$	\times
-----	----------

$D_1 = \omega C_{12} E [\cos(\omega t + 120) - \cos \omega t] - J_a RC_{12} - i_{12} + J_b RC_{12};$
 $D_2 = \omega C_{12} E [\cos(\omega t + 240) - \cos(\omega t + 120)] - J_b RC_{12} - i_{23} + J_c RC_{12};$
 $D_3 = \omega C_{12} E [\cos(\omega t + 240) - \cos \omega t] - J_a RC_{12} - i_{13} + J_c RC_{12};$
 $D_4 = i_2 - i_1 + i_{12} \frac{C_1}{C_{12}}; \quad D_5 = i_3 - i_2 + i_{23} \frac{C_1}{C_{12}};$
 $D_6 = i_3 - i_1 + i_{13} \frac{C_1}{C_{12}}; \quad D_7 = J_a; \quad D_8 = J_b;$
 $D_9 = J_c; \quad D_{10} = 0; \quad D_{11} = 0;$
 $D_{12} = 0; \quad D_{13} = i_1$

ამის შემდეგ ვპოულობთ G შებრუნებულ მატრიცას G^{-1} . მოცემული მატრიცის ნამრავლი D -ზე გვაძლევს წარმოებულების სვეტს.

$$Y' = G^{-1}D(14)$$

შებრუნებულ მატრიცას აქვს შემდეგი სახე

G-1

$g_{1,1}$	$g_{1,2}$	$g_{1,3}$	$g_{1,4}$	$g_{1,5}$	$g_{1,6}$	$g_{1,7}$	$g_{1,8}$	$g_{1,9}$	$g_{1,10}$	$g_{1,11}$	$g_{1,12}$	$g_{1,13}$
$g_{2,1}$	$g_{2,2}$	$g_{2,3}$	$g_{2,4}$	$g_{2,5}$	$g_{2,6}$	$g_{2,7}$	$g_{2,8}$	$g_{2,9}$	$g_{2,10}$	$g_{2,11}$	$g_{2,12}$	$g_{2,13}$
$g_{3,1}$	$g_{3,2}$	$g_{3,3}$	$g_{3,4}$	$g_{3,5}$	$g_{3,6}$	$g_{3,7}$	$g_{3,8}$	$g_{3,9}$	$g_{3,10}$	$g_{3,11}$	$g_{3,12}$	$g_{3,13}$
$g_{4,1}$	$g_{4,2}$	$g_{4,3}$	$g_{4,4}$	$g_{4,5}$	$g_{4,6}$	$g_{4,7}$	$g_{4,8}$	$g_{4,9}$	$g_{4,10}$	$g_{4,11}$	$g_{4,12}$	$g_{4,13}$
$g_{5,1}$	$g_{5,2}$	$g_{5,3}$	$g_{5,4}$	$g_{5,5}$	$g_{5,6}$	$g_{5,7}$	$g_{5,8}$	$g_{5,9}$	$g_{5,10}$	$g_{5,11}$	$g_{5,12}$	$g_{5,13}$
$g_{6,1}$	$g_{6,2}$	$g_{6,3}$	$g_{6,4}$	$g_{6,5}$	$g_{6,6}$	$g_{6,7}$	$g_{6,8}$	$g_{6,9}$	$g_{6,10}$	$g_{6,11}$	$g_{6,12}$	$g_{6,13}$
$g_{7,1}$	$g_{7,2}$	$g_{7,3}$	$g_{7,4}$	$g_{7,5}$	$g_{7,6}$	$g_{7,7}$	$g_{7,8}$	$g_{7,9}$	$g_{7,10}$	$g_{7,11}$	$g_{7,12}$	$g_{7,13}$
$g_{8,1}$	$g_{8,2}$	$g_{8,3}$	$g_{8,4}$	$g_{8,5}$	$g_{8,6}$	$g_{8,7}$	$g_{8,8}$	$g_{8,9}$	$g_{8,10}$	$g_{8,11}$	$g_{8,12}$	$g_{8,13}$
$g_{9,1}$	$g_{9,2}$	$g_{9,3}$	$g_{9,4}$	$g_{9,5}$	$g_{9,6}$	$g_{9,7}$	$g_{9,8}$	$g_{9,9}$	$g_{9,10}$	$g_{9,11}$	$g_{9,12}$	$g_{9,13}$
$g_{10,1}$	$g_{10,2}$	$g_{10,3}$	$g_{10,4}$	$g_{10,5}$	$g_{10,6}$	$g_{10,7}$	$g_{10,8}$	$g_{10,9}$	$g_{10,10}$	$g_{10,11}$	$g_{10,12}$	$g_{10,13}$
$g_{11,1}$	$g_{11,2}$	$g_{11,3}$	$g_{11,4}$	$g_{11,5}$	$g_{11,6}$	$g_{11,7}$	$g_{11,8}$	$g_{11,9}$	$g_{11,10}$	$g_{11,11}$	$g_{11,12}$	$g_{11,13}$
$g_{12,1}$	$g_{12,2}$	$g_{12,3}$	$g_{12,4}$	$g_{12,5}$	$g_{12,6}$	$g_{12,7}$	$g_{12,8}$	$g_{12,9}$	$g_{12,10}$	$g_{12,11}$	$g_{12,12}$	$g_{12,13}$
$g_{13,1}$	$g_{13,2}$	$g_{13,3}$	$g_{13,4}$	$g_{13,5}$	$g_{13,6}$	$g_{13,7}$	$g_{13,8}$	$g_{13,9}$	$g_{13,10}$	$g_{13,11}$	$g_{13,12}$	$g_{13,13}$

მოცემული ფორმით ჩაწერილი დიფერენციალური განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირება რუნგე-კუტის მეთოდით არ წარმოადგენს სიმძნელს, ვინაიდან მთელი პროცესი იყოფა დროის მცირე ინტერვალებად, $\Delta t = 0,0000001$ წამი და ყოველ ინტერვალში ხდება რუნგე-კუტის კოეფიციენტების გამოთვლა, მაგალითად J_a ცვლადისათვის ჯერ ვპოულობთ მისი წარმოებულის მნიშვნელობას ინტერვალის დასაწყისში. ამისათვის G^{-1} მატრიცის პირველ სტრიქონს ვამრავლებთ D სვეტზე.

$$\begin{aligned}
\frac{dj_a}{dt} = & g_{1,1}(\omega C_{12}E[\cos(\omega t + 120) - \cos\omega t] - J_a RC_{12} - i_{12} + J_b RC_{12}) \\
& + g_{1,2}(\omega C_{12}E[\cos(\omega t + 240) - \cos(\omega t + 120)] - J_b RC_{12} - i_{23} \\
& + J_c RC_{12}) \\
& + g_{1,3}(\omega C_{12}E[\cos(\omega t + 240) - \cos\omega t] - J_a RC_{12} - i_{13} + J_c RC_{12}) \\
& + g_{1,4}\left(i_2 - i_1 + i_{12} \frac{C_1}{C_{12}}\right) + g_{1,5}\left(i_3 - i_2 + i_{23} \frac{C_1}{C_{12}}\right) \\
& + g_{1,6}\left(i_3 - i_1 + i_{13} \frac{C_1}{C_{12}}\right) + g_{1,7}J_a + g_{1,8}J_b + g_{1,9}J_c \\
& + g_{1,13}i_1 \qquad \qquad \qquad (15)
\end{aligned}$$

მოცემული ცვლადის რუნგე-კუტტის პირველი კოეფიციენტი იქნება

$$Kj_a 1 = \Delta t * \frac{dj_a}{dt}$$

აღნიშნულ გამოსახულებაში დრო და ყველა ცვლადი აიღება ინტერვალის დასაწყისისათვის. ანალოგიურად გამოითვლება სხვა ცვლადების პირველი კოეფიციენტები.

$$Kj_b 1, Kj_c 1, Ki_a 1, Ki_b 1, Ki_c 1, Ki_1 1, Ki_2 1, Ki_3 1, Ki_{12} 1, Ki_{13} 1, Ki_{23} 1 \text{ და } Ki_k 1.$$

მსგავსად გამოითვლება რუნგე-კუტტის მეორე კოეფიციენტები, მაგრამ ცვლადების ნაცვლად უნდა ავიღოთ:

$$J_a + \frac{2}{3}Kj_a 1, J_b + \frac{2}{3}Kj_b 1, J_c + \frac{2}{3}Kj_c 1, i_a + \frac{2}{3}Ki_a 1, J_a + \frac{2}{3}Ki_k 1.$$

მეორე კოეფიციენტებია:

$$Kj_b 2, Kj_c 2, Ki_a 2, Ki_b 2, Ki_c 2, Ki_1 2, Ki_2 2, Ki_3 2, Ki_{12} 2, Ki_{13} 2, Ki_{23} 2 \text{ და } Ki_k 2.$$

ამის შემდეგ ვანგარიშობთ ცვლადების მნიშვნელობებს ინტერვალის ბოლოში.

$$J_a = J_{a0} + \frac{Kj_a 1 + 3Kj_a 2}{4}; J_b = J_{b0} + \frac{Kj_b 1 + 3Kj_b 2}{4} \text{ და ა.შ.}$$

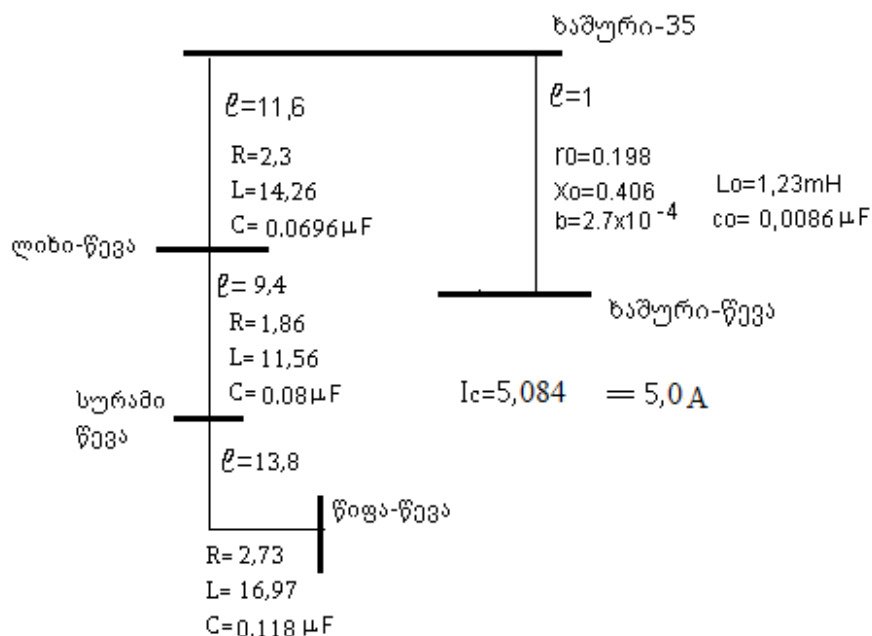
სადაც J_{a0}, J_{b0}, i_{k0} - ცვლადების მნიშვნელობებია ინტერვალის თავში.

2.2. გადამეტაბვების ანალიზი ხაშურის 35 კვ ქსელის მაგალითზე

ძველი, კიდევ საბჭოთა კავშირის დროს შემოღებული წესების თანახმად, საქართველოში იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა

დამიწება არ წარმოადგენს ავარიას. ზემოაღნიშნული წესების თანახმად ლიმიტირებულია მხოლოდ დამიწების არსებობის დრო-2 საათი და დამიწების მაქსიმალური დასაშვები დენი.

წესების თანახმად 3-6 კვ ძაბვის საკაბელო ქსელებში მიღებულია 30 ამპერი, 3-6 კვ ძაბვის საკაბელო ქსელებში - 20 ამპერი, ხოლო 6-35 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ქსელებისათვის -10 ამპერი. თუ ერთფაზა დამიწების დენი მოცემულ სიდიდეებზე მეტია, რეკომენდებულია რკალმქრობი კოჭების გამოყენება, მაგრამ იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელების მრავალწლიანმა პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ეს წესები არ უზრუნველყოფენ ქსელის იმედიან მუშაობას და უმეტეს შემთხვევაში ერთფაზა დამიწება იწვევს ავარიის განვითარებას, რის საილუსტრაციოც წარმოდგენილია მაგალითი, კერძოდ აღნიშნული პროცესების შესასწავლად წარმოდგენილია 35/10 კვ ძაბვის ქვესადგური „ხაშური 35“-ის სალტედან გამავალ ერთერთ ელექტროგადამცემ ხაზზე ერთი ფაზის ჩამიწების მაგალითი.



ნახაზი 28. ქს „ხაშური“-ს 35 კვ ძაბვის ქსელი.

ნახაზი 28-ზე მოცემულ სქემაზე დატანილია საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზები, თავიანთი ელექტრული პარამეტრებით, რომელი პარამეტრების მეშვეობითაც შესაძლებელია ცნობილი ემპირიული ფორმულით დავადგინოთ ერთფაზა დამიწების დენი I_g

$$I_g = 3 * U_F * 314 * C$$

სადაც,

$$U_F = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20207 \text{ ვ ფაზური ძაბვაა;}$$

$C = 0,27$ მიკროფარადი, ქსელის ჯამური ტევადობაა.

$$I_g = 3 * 20207 * 314 * 0,27 = 5 \text{ ა}$$

ზემოაღნიშნული არსებული წესების მიხედვით ეს დასაშვები დენია, მაგრამ ასეთი მცირე დენის დროს რკალი არამდგრადია და ხშირად „წყდება“, რომელიც ქსელში გადამეტაბვას იწვევს.

გარდა ამისა ძალიან რთულია დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზის დადგენა და ამ მიზნით გამავალი ხაზის უჯრედებში გამოიყენება ნულოვანი მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორები.

მოცემულ ქვ/ს „ხაზური 35“-ის ქსელში განვიხილოთ ერთფაზა დამიწების ვარიანტები სხვადასხვა ელექტროგადამცემ ხაზებზე.

I. ერთფაზა დამიწება მოხდა მოკლე ხაზზე, (იხ. ნახ. 29),

მოცემულ დროს ნულოვანი დენის ტრანსფორმატორებში გამავალი დენები იქნება:

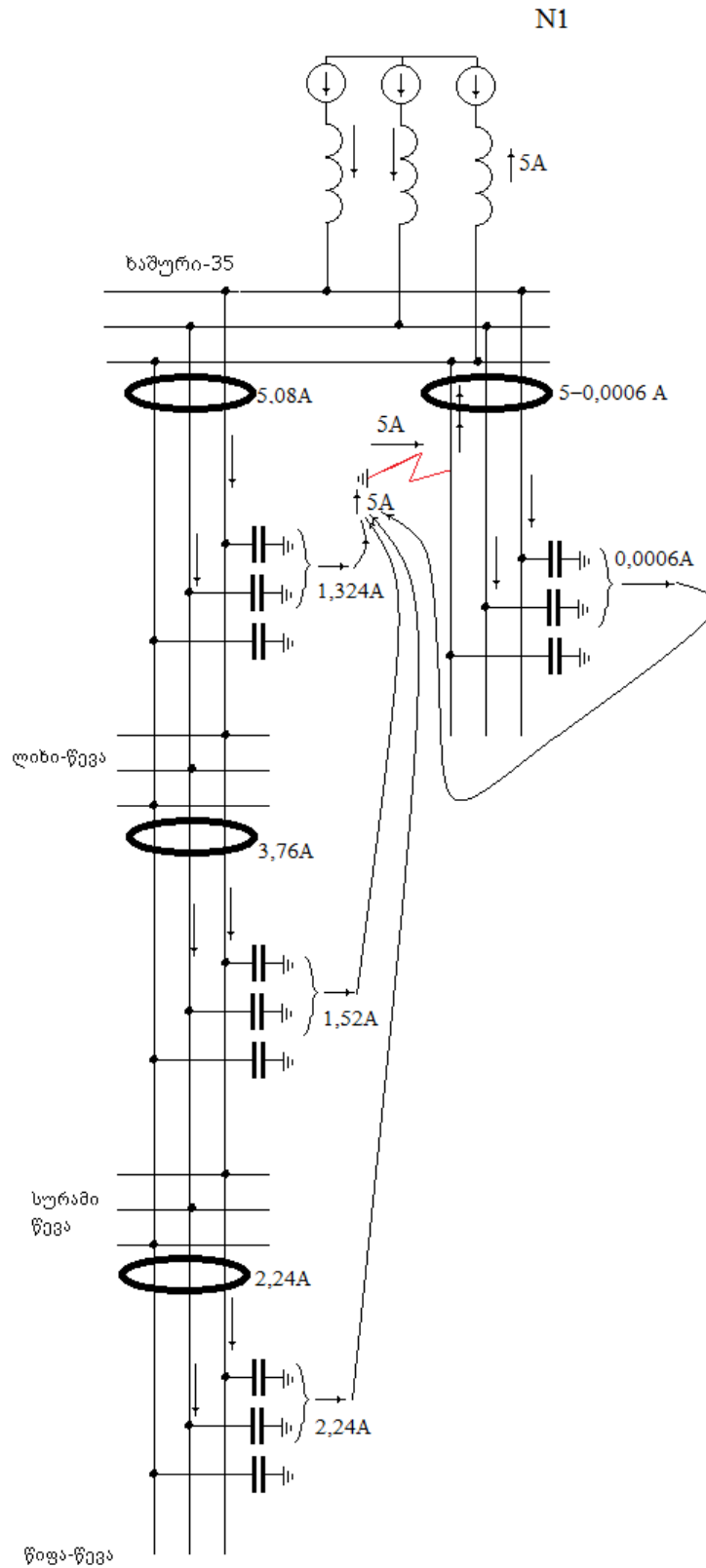
ელექტროგადამცემი ხაზი „ხაზური 35“-„ლიხი-წევა“ - 5,08 ა;

ელექტროგადამცემი ხაზი „ლიხი-წევა“-„სურამი-წევა“ - 3,76 ა;

ელექტროგადამცემი ხაზი „სურამი-წევა“ –„წიფა-წევა“ - 2,24 ა;

დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზი - თითქმის 5 ა.

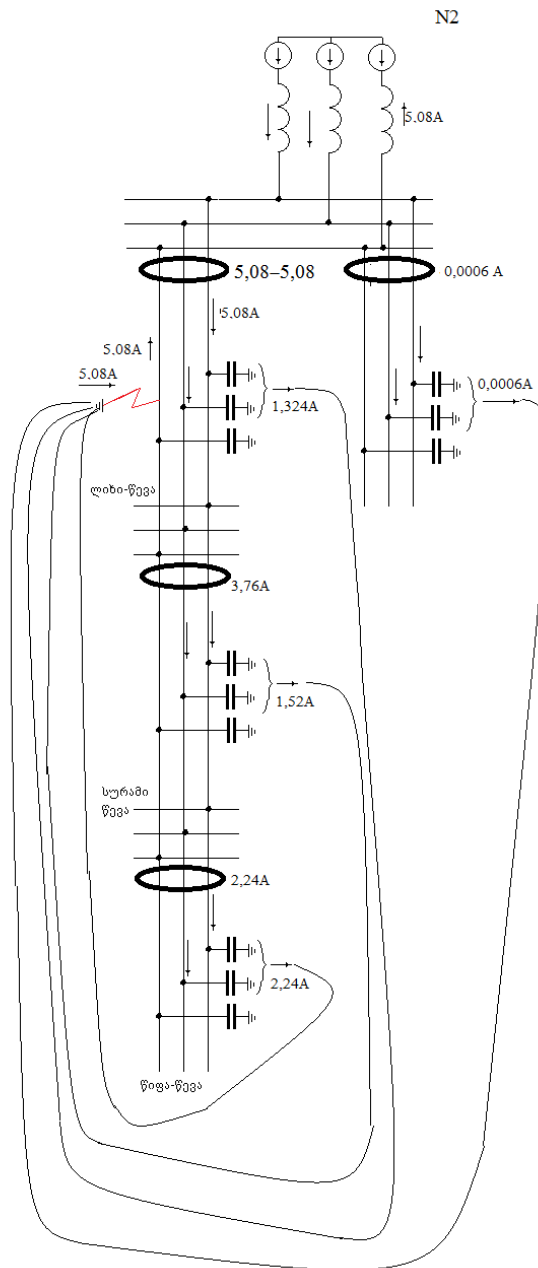
დაზიანებულ ელექტროგადამცემ ხაზზე, როგორც მოდელირებამ გვაჩვენა, ნულოვან მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორში გამავალი დენი თითქმის 5ა-ს ტოლია, მოცემული უჯრედი თეორიულად დაცვამ უნდა გამორთოს, მაგრამ დენი იმდენად მცირეა, რომ ამის პრაქტიკული განხორციელება თითქმის შეუძლებელია.



ნახაზი 29. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ძაბვის მოკლე ეგზ-ზე.

II. ერთფაზა დამიწება მოხდა ელექტროგადამცემ ხაზზე “ხაშური“-“ლიხი-წევა“, (იხ. ნახ. 30),

მოცემულ დროს გამავალი ხაზის უჯრედში, ნულოვანი მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორებში გამავალი დენები იქნება ძალიან მცირე და გამავალი ხაზის უჯრედის რელური დაცვა არ ირეაგირებს.

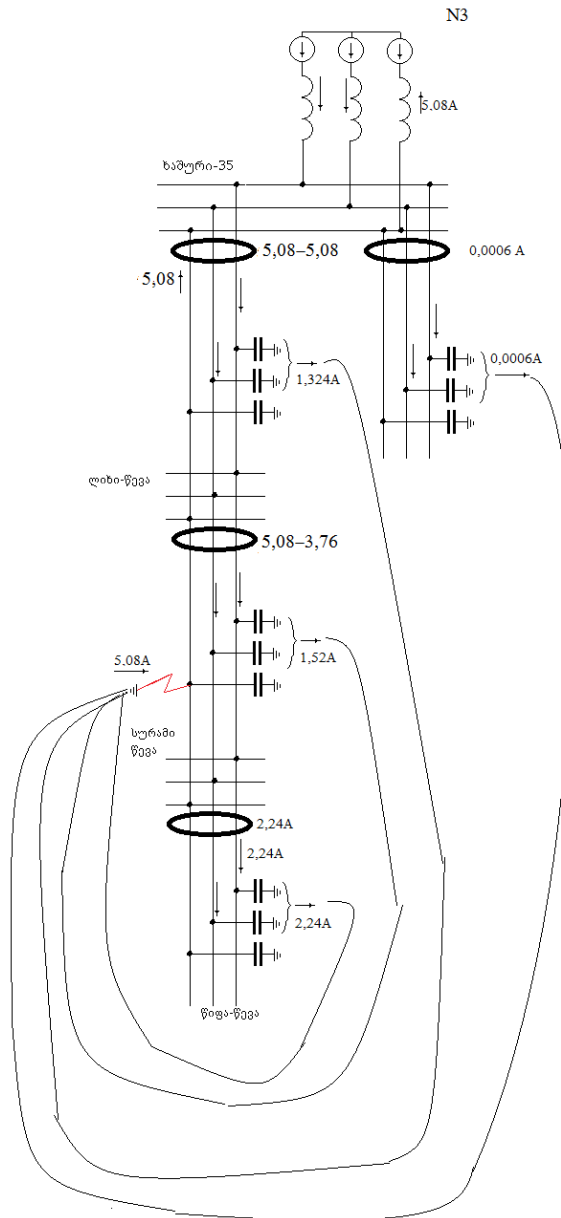


ნახაზი 30. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ეგხ “ხაშური“-„ლიხი-წევაზე“

III. ერთფაზა დამიწება მოხდა ელექტროგადამცემ ხაზზე „ლიხი-წევა“-„სურამი-წევა“
(იხ. ნახ. 31),

მოცემულ დროს დაზიანებული ხაზის ნულოვანი დენის ტრანსფორმატორში გამავალი დენი იქნება $5,08-3,76 = 1,32$ ა, ესეგი მეტი ვიდრე წინა შემთხვევაში.

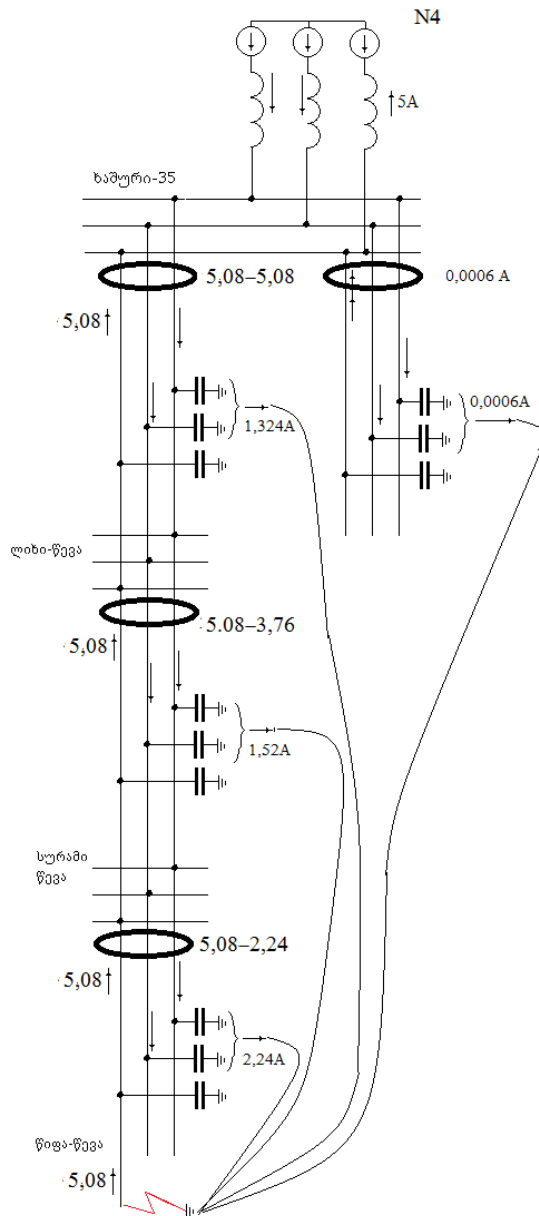
ამ პირობებში სელექტიური დაცვის განხორციელება შეუძლებელია.



ნახაზი 31. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ეგხ „ლიხი-წევა“-„სურამი-წევა“-ზე

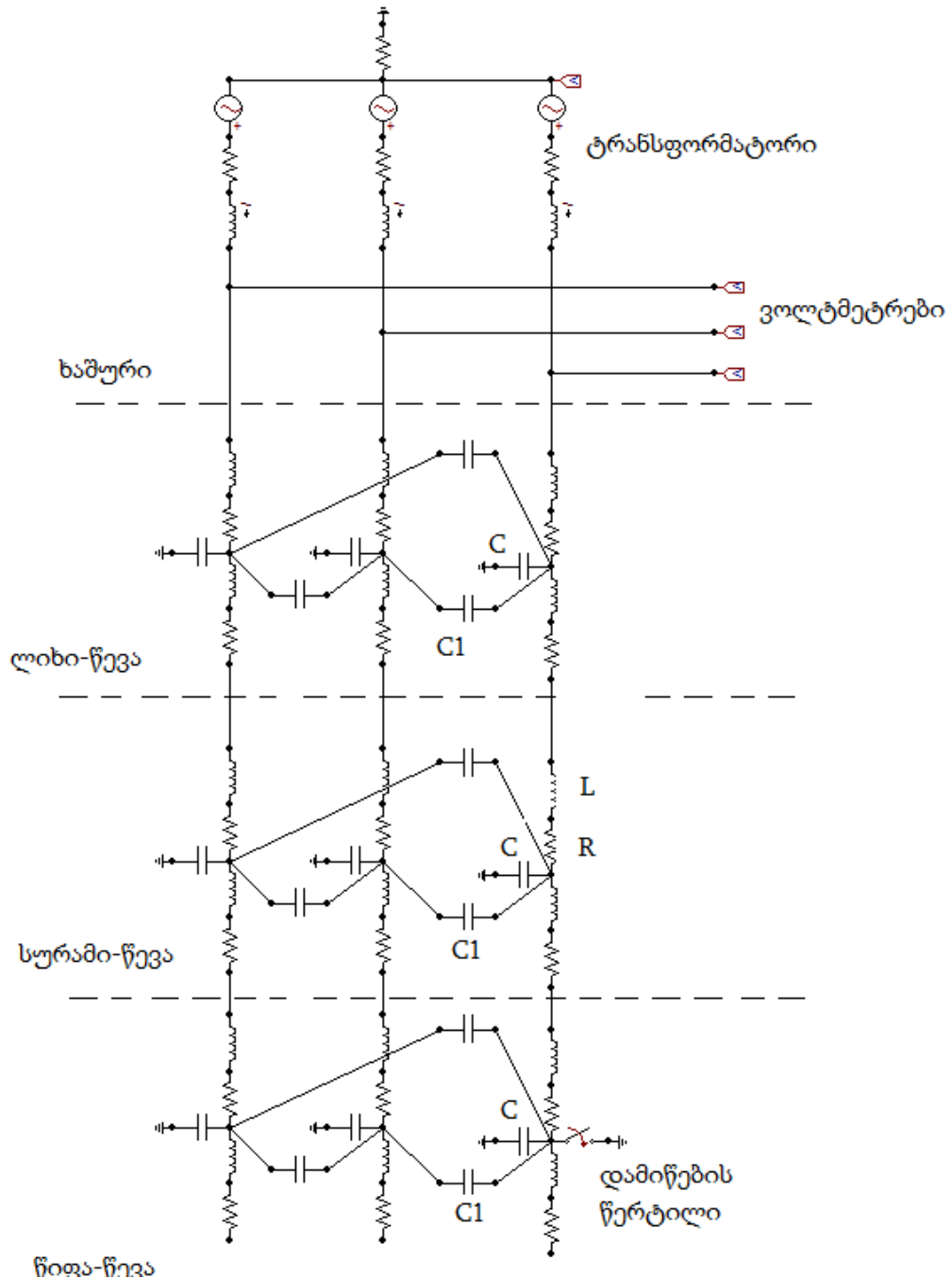
IV. ერთფაზა დამიწება მოხდა ელექტროგადამცემ ხაზზე „სურამი-წევა“-წიფა-წევა“ (იხ. ნახ. 32),

მოცემულ დროს დაზიანებული ხაზის ნულოვანი მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორში გამავალი დენი იქნება $5,08 - 3,76 = 2,84$ ა, ანუ პრაქტიკულად იგივე, როგორც წინა შემთხვევაში, შესაბამისად ამ შემთხვევაშიც სელექტიური დაცვის განხორციელება შეუძლებელია.

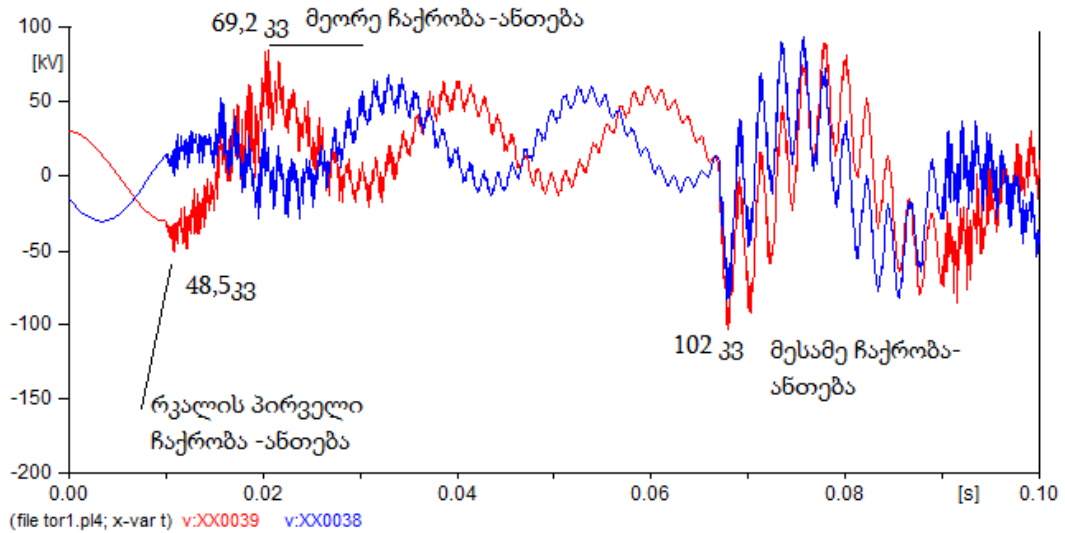


ნახაზი 32. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ეგზ „სურამი-წევა“-წიფა-წევა“-ზე

როგორც ზემოთ ავლინხეთ მცირე დენის დროს რკალი არამდგრადია და ხშირად „წყდება“, რომელიც ქსელში გადამეტაბვას იწვევს, რომელი მოვლენის შესასწავლადაც წარმოდგენილი სქემის მიხედვით განხორციელდა მოდელირება პროგრამა ATPDraw მეშვეობით.



ნახაზი 33. ერთფაზა დამიწების მოდელირება ATPDraw მეშვეობით. 35 კვ ეგზ „სურამი-წევა“-წიფა-წევა“-ზე



ნახაზი 34. ერთფაზა დამიწებისას წარმოქმნილი რკალის სამჯერადი ანთება-ჩაქრობის დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა).

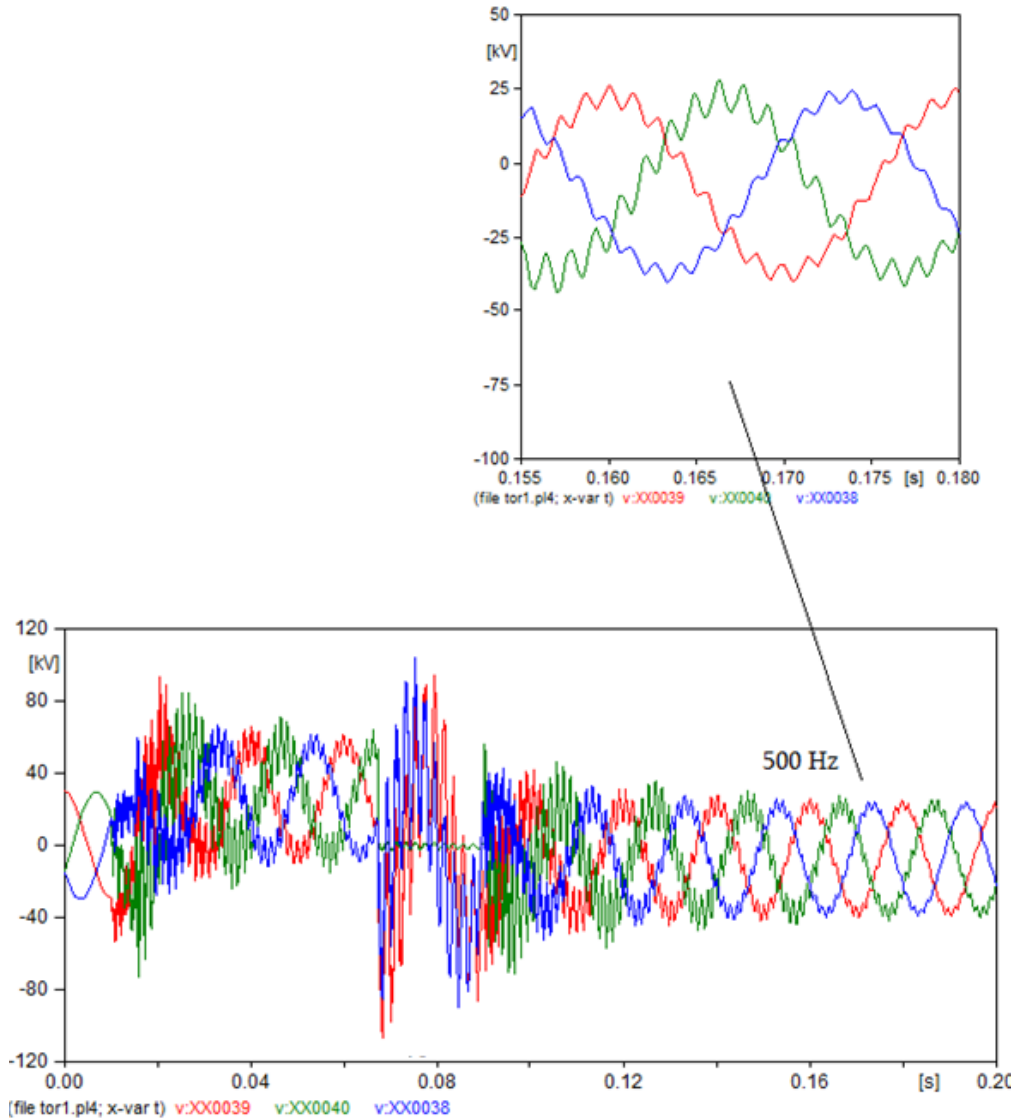
ნახაზი 34-ზე მოყვანილია მოდელირების შედეგი, კერძოდ ერთფაზა დამიწებისას წარმოქმნილი რკალის სამჯერადი ანთება-ჩაქრობის დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა).

ნორმალურ რეჟიმში ფაზის ძაბვის ამოლიტუდური მნიშვნელობა ტოლია $U_m = \frac{35000}{\sqrt{3}} * \sqrt{2} = 28577$ ვ. ანუ 28,5 კვ.

რკალის პირველი ჩაქრობა-ანთების დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა) იქნება 48,5 კვ, ხოლო გადამეტაბვის ჟერადობა $48,5/28,5=1,7$;

რკალის მეორე ჩაქრობა-ანთების დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა) იქნება 69,2 კვ, ხოლო გადამეტაბვის ჟერადობა $69,2/28,5=2,42$;

რკალის პირველი ჩაქრობა-ანთების დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა) იქნება 102 კვ, ხოლო გადამეტაბვის ჟერადობა $102/28,5=3,58$ ასეთი გადამეტაბვა საშიშია ქსელისთვის და მოდელირების შედეგად დადგინდა ასევე, რომ გადამეტაბვის დროს 50 ჰერცი სიხშირის ძაბვას ედება მაღალსიხშიროვანი რხევები, რომელიც მოცემულია ნახაზი 35-ზე.

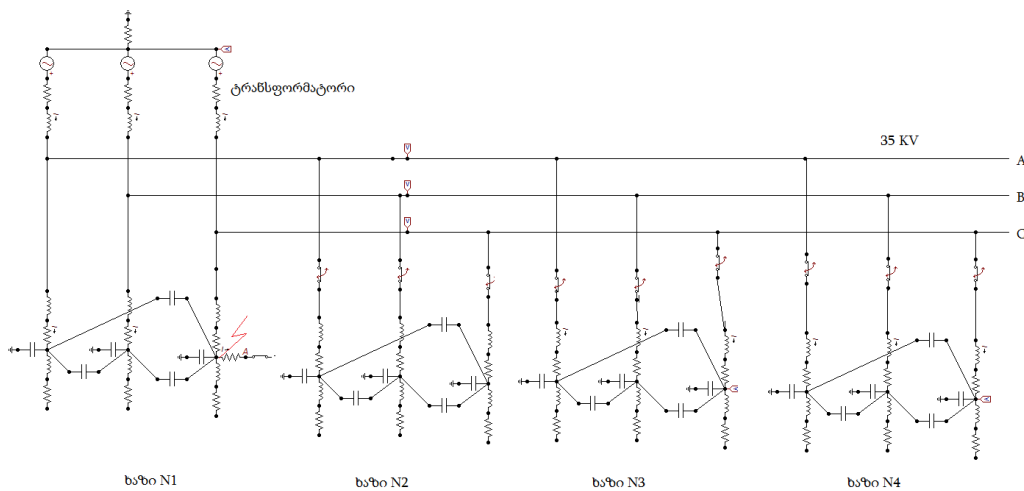


ნახაზი 35. გადამეტაბვის დროს წარმოქმნილი მაღალსიხშიროვანი რხევების დიაგრამა

ქვესადგურიდან რამოდენიმე გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზის შემთხვევაში ერთფაზა დამიწების აღმოჩენის ყველაზე გავრცელებული მეთოდია, არსებული ელექტროგადამცემი ხაზების რიგრიგობით გამორთვა, უფრო კონკრეტულად თუ ქვესადგურიდან გადის რამოდენიმე ელექტროგადამცემი ხაზი, მაშინ ერთფაზა დამიწების დროს, ე.წ. „მიწის“ წარმოქმნისას მორიგე პერსონალი იწყებს რიგრიგობით ელექტროგადამცემი ხაზების გამორთვას მანამდე, სანამ არ მიაგნებს დაზიანებულ ელექტროგადამცემ ხაზს

ზემოაღნიშნული პროცესის დროს კერძოდ ელექტროგადამცემი ხაზების ჩართვა-გამორთვა დამიწებული ფაზის პირობებში იწვევს გადამეტაბვას, რომლის საჩვენებლადაც განხილულია მაგალითი, სადაც ქვესადგური კვებას ოთხ 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემ ხაზს. დაშვებულია, რომ ერთი ფაზის დამიწებისას წარმოქმნილი რკალი არ ქრება. ესეიგი გადამეტაბვის წარმოქმნის თვალსაზრისით შექმნილია ყველაზე შეღავათიანი პირობები.

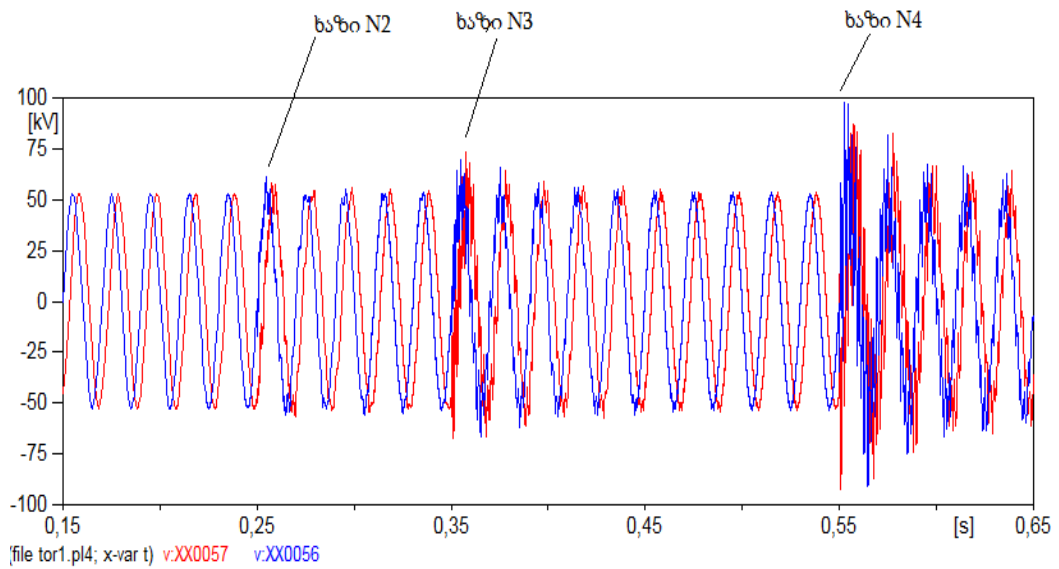
ATPDraw მეშვეობით მოდელირებულია ელექტროგადამცემი ხაზების რიგრიგობით გამორთვა-ჩართვა. მოდელი ნაჩვენებია ნახაზი 36-ზე.



ნახაზი 36. ATPDraw-ში მოდელირებული ქვესადგური ოთხი გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზით

მოდელირებისას გათვალისწინებულია, რომ N1 ელექტროგადამცემ ხაზზე დამიწებულია ერთი ფაზა, ხოლო ხაზი N2, N3 და N4 რიგრიგობით გამოირთვება და ჩაირთვება.

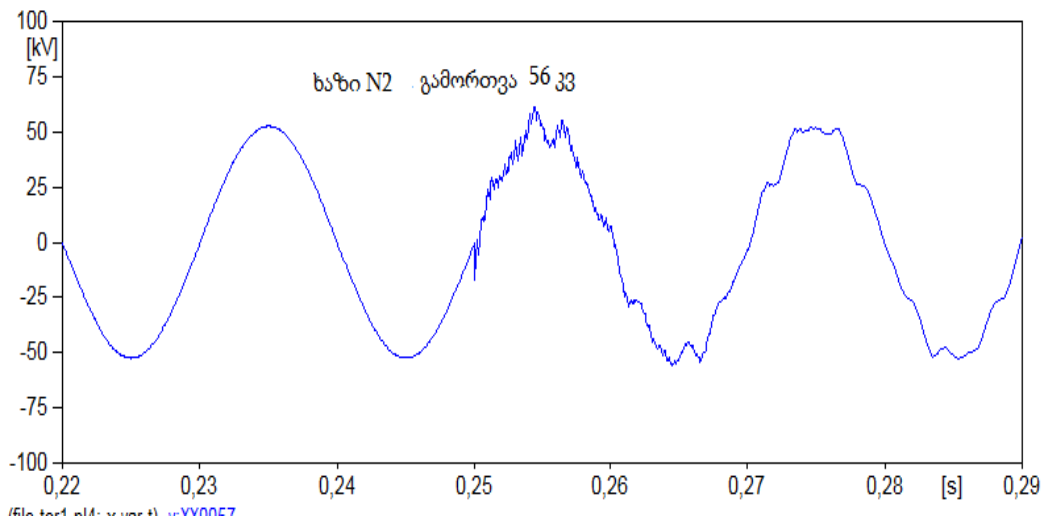
მოდელირების რეზულტატები ნაჩვენებია ნახაზი 37-ზე, სადაც გამოიკვეთა, რომ ჯანსაღი ელექტროგადამცემი ხაზების (N2, N3 და N4) ყოველი შემდგომი გამორთვა ჩართვის მერე ქვესადგურის სალტეზე იზრდება გადამეტაბვა.



ნახაზი 37. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი

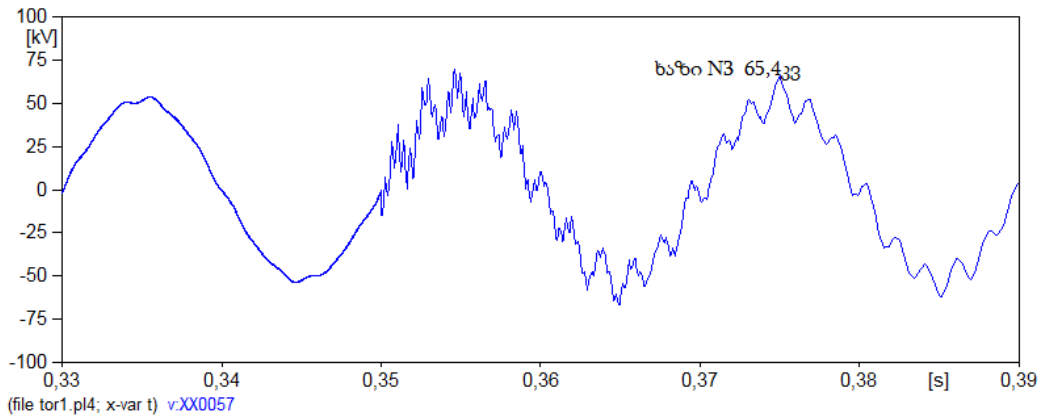
ქვემოთ მოცემულია მიღებული გადამეტაბვების შედეგები ცალცალკე

- I. N2 ხაზის გამორთვის და ჩართვის შემთხვევაში ძაბვის ამპლიტუდა იქნება 56 კვ (იხ. ნახ. 38)



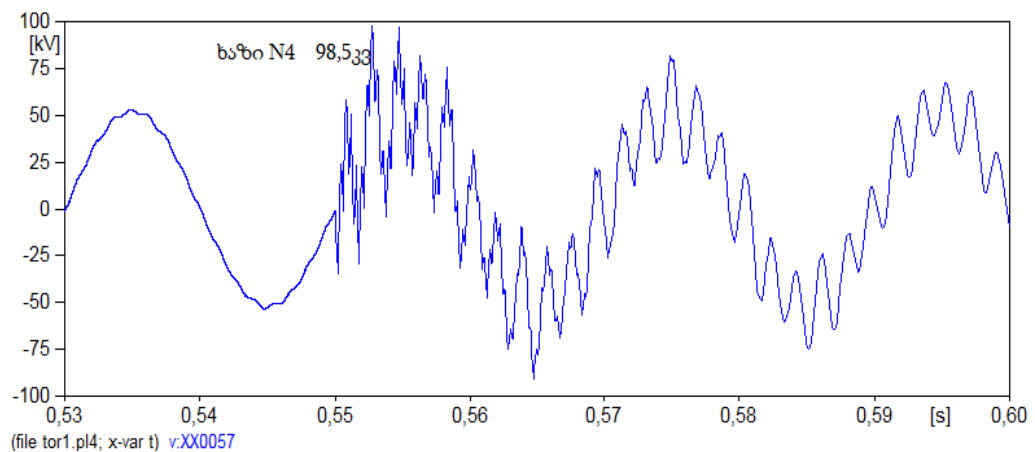
ნახაზი 38. ATPDraw-ში მოდელირების გაშლილი შედეგი, N2 ხაზის გამორთვა-ჩართვა

II. N3 ხაზის გამორთვის და ჩართვის შემთხვევაში ძაბვის ამპლიტუდა იქნება 65,4 კვ (იხ. ნახ. 39)



ნახაზი 39. ATPDraw-ში მოდელირების გაშლილი შედეგი, N3 ხაზის გამორთვა-ჩართვა

III. N4 ხაზის გამორთვის და ჩართვის შემთხვევაში ძაბვის ამპლიტუდა იქნება 98,5 კვ (იხ. ნახ. 40)



ნახაზი 40. ATPDraw-ში მოდელირების გაშლილი შედეგი, N4 ხაზის გამორთვა-ჩართვა

მოდელირების შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ რამოდენიმე გამავალი ხაზის მქონე ქვესადგურებში ერთფაზა დამიწების მქონე ელექტროგადამცემი ხაზის აღმოსაჩენად ტრადიციული მეთოდები

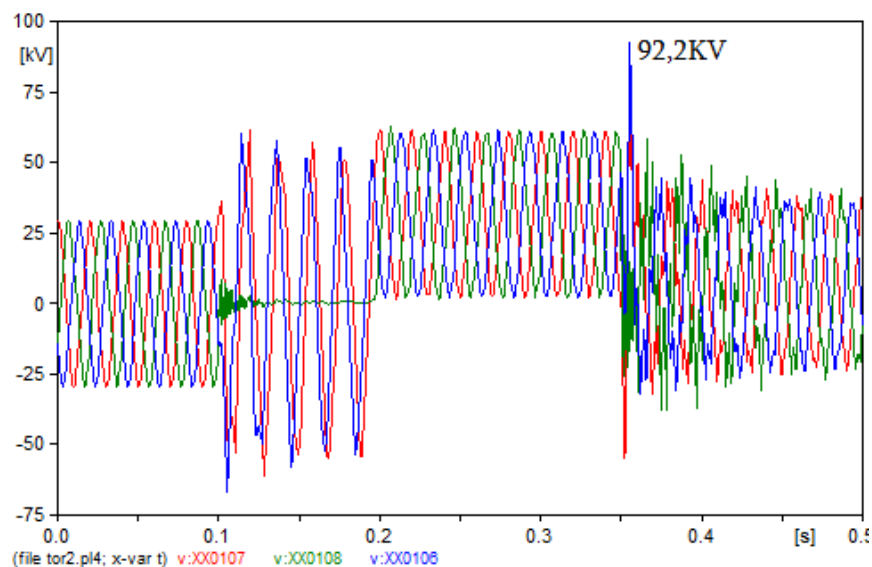
შეიძლება ძალიან საზიანო იყოს, რადგან მოცემულმა გადამეტაბებმა შეიძლება საფრთხე შეუქმნას ქვესადგურში არსებულ ელექტროტექნიკური მოწყობილობებსა და საკაბელო მეურნეობას, ამიტომ პირველ რიგში გასათვალისწინებელია ასეთი ტიპის გადამეტაბვის შეზღუდვა ისეთი სარელეო დაცვის განხორციელებით, რომელიც მაქსიმალურად სწრაფად ამორთავს დაზიანებულ გამავალი ხაზის უჯრედს.

2.3. ერთფაზა დამიწების მოდელირება ATPDraw-ში რკალმქრობი კოჭით და რეზისტორით ნეიტრალის დამიწების შემთხვევაში

განხილულია 35 კვ ძაბვის ქსელი სადაც ერთფაზა დამიწების დენი 38 ამპერის ტოლია. მოცემული ტევადური დენის სრული (100%) კომპენსაციისათვის საჭიროა რკალმქრობი კოჭა ინდუქტიურობით 1693 მილიჰენრი.

ერთი ფაზის დამიწების პროცესის მოდელირება ჩატარდა შემდეგი შემთხვევებისათვის:

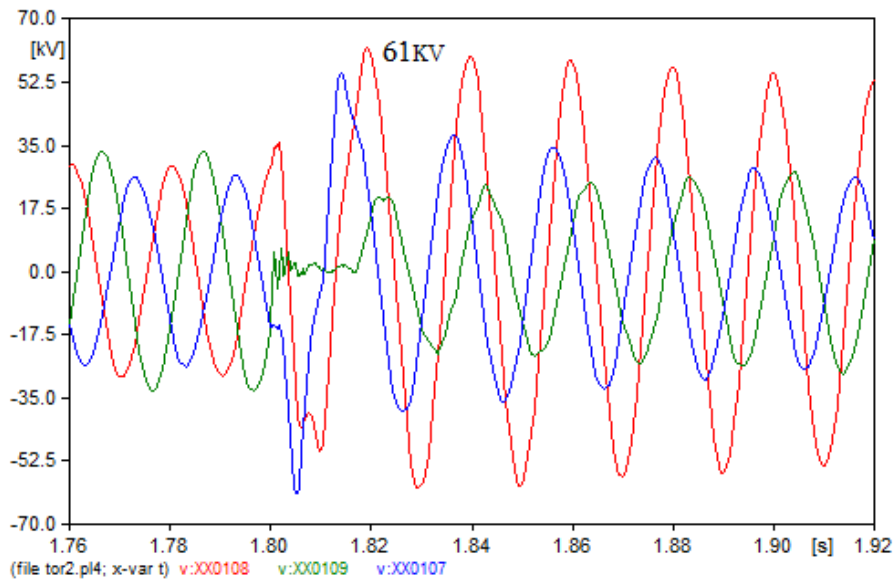
1. ნეიტრალის დამამიწებელი რკალმქრობი კოჭა გამორთულია



ნახაზი 41. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა გამორთულია

აღნიშნულის მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ ერთი ფაზის დამიწების შემთხვევაში რკალის ანთება ჩაქრობა იწვევს გადამემძაზვას **-92კვ** ძაბვის სიდიდით.

2. ნეიტრალის დამამიწებელი რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 100%-ით



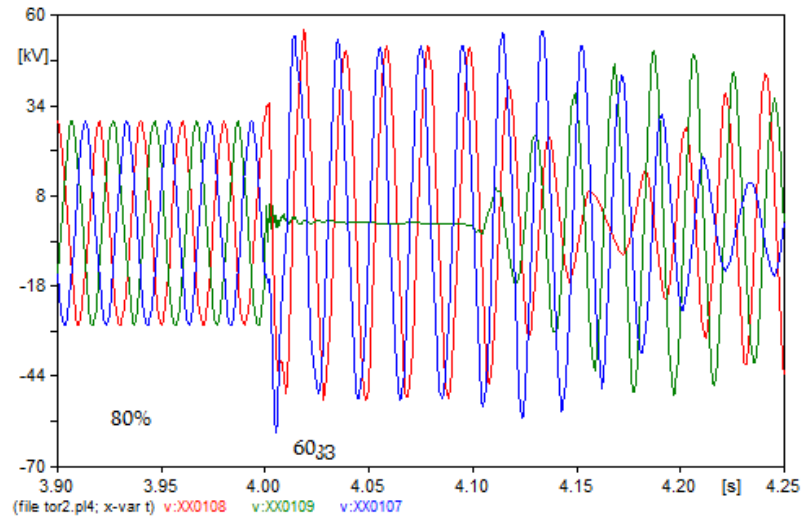
ნახაზი 42. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 100%-ით

აღნიშნულის მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ ერთი ფაზის დამიწების შემთხვევაში რკალის ანთება ჩაქრობა იწვევს გადამემძაზვას **-61 კვ** ძაბვის სიდიდით.

პრაქტიკულად ტევადური დენის 100% -თ კომპენსაცია ტექნიკურად ძალიან რთულია, ვინაიდან რკალმქრობი კოჭის გამომყვანები ფიქსირებულია, თუმცა თანამედროვე რკალმქრობი კოჭები გვაძლევს შესაძლებლობას ტევადური დენის კომპენსაცია 100% -თან მიახლოვდეს, შესაბამისი სიზუსტის კლასის მეშვეობით.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე განხილულ იქნა ტევადური დენის 80% და 120% კომპენსაციის შემთხვევები.

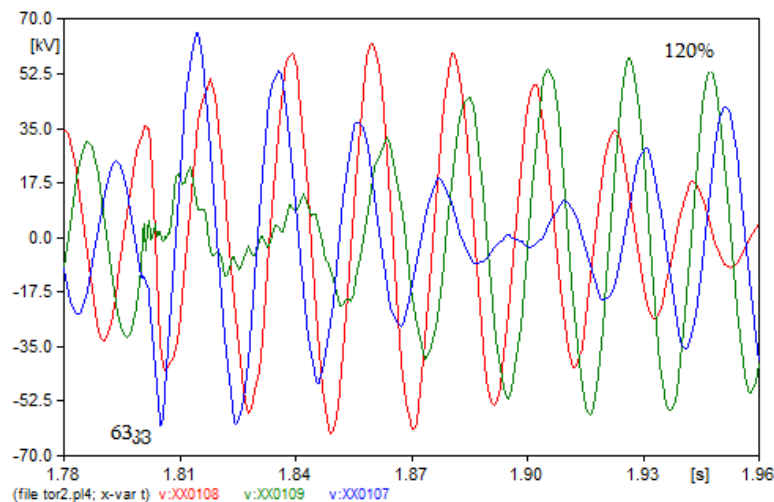
3. ნეიტრალის დამამიწებელი რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 80%-ით



ნახაზი 43. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 80%-ით

აღნიშნულის მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ ვლემულობთ წინა შემთხვევის მსგავს შედეგს, რომ ერთი ფაზის დამიწების შემთხვევაში რკალის ანთება ჩაქრობა იწვევს გადამეძაბვას -60 კვ ძაბვის სიდიდით.

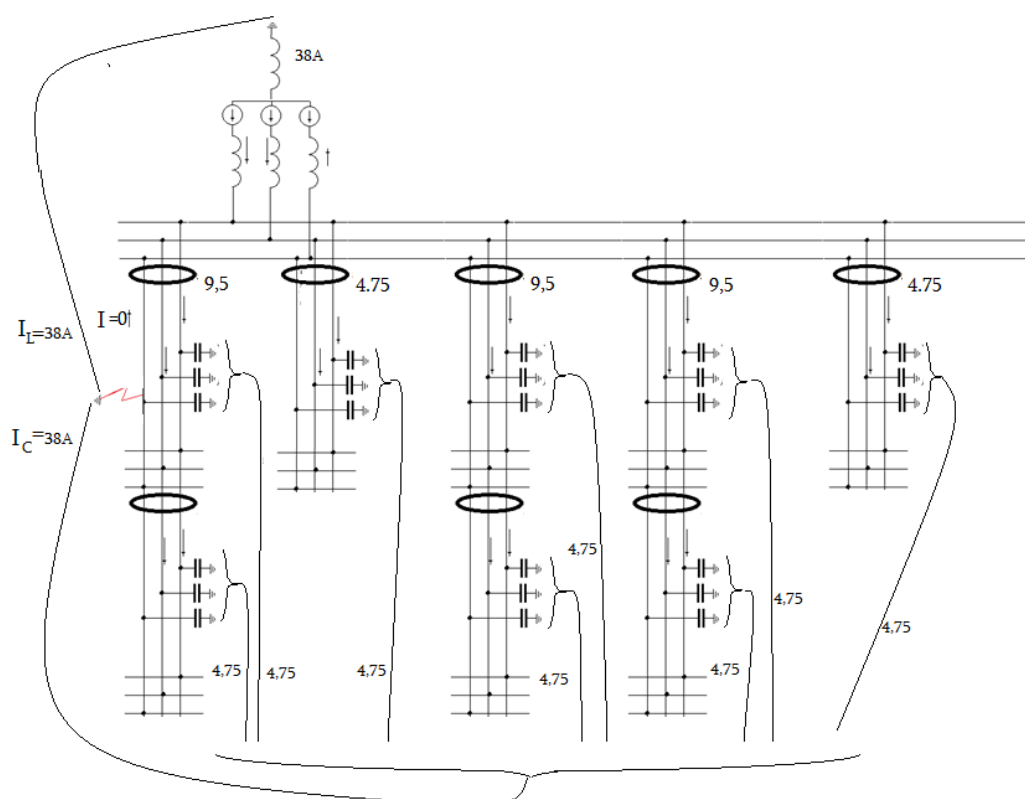
4. ნეიტრალის დამამიწებელი რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 120%-ით



ნახაზი 44. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, რკალმქრობი კოჭა ჩართულია და ტევადური დენი გაკომპენსირებულია 120%-ით

აღნიშნულის მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ ვლემულობთ წინა შემთხვევის მსგავს შედეგს, რომ ერთი ფაზის დამიწების შემთხვევებში რკალის ანთება ჩაქრობა იწვევს გადამეტაბვას -63 კვ ძაბვის სიდიდით.

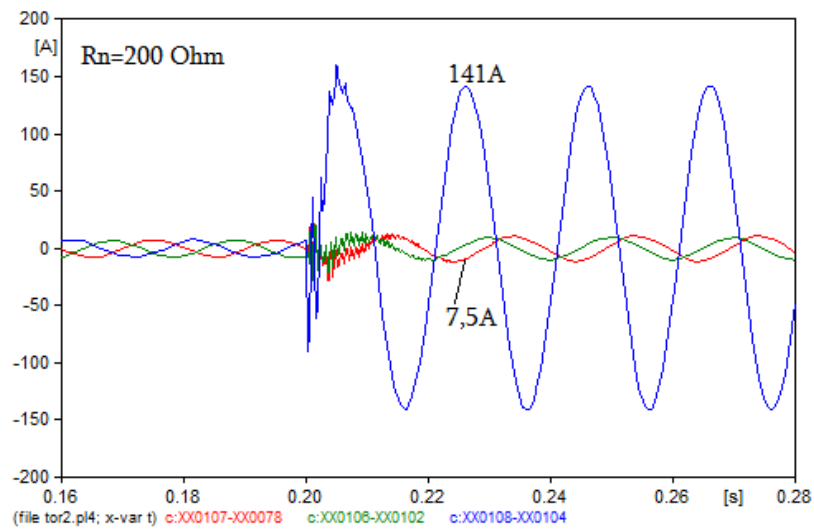
გარდა ზემოაღნიშნული გადამეტაბვის პრობლემისა რკალმქრობი კოჭის გამოყენების შემთხვევაში თავს იჩენს სარელეო დაცვის განხორციელების პრობლემაც მაგალითად, ნახაზი 45-ზე ნაჩვენებ ცალხაზოვან სქემაში, ქსელის ნებისმიერ წერტილში ერთი ფაზის დამიწებისას, პირველი ხაზის (ისევე, როგორც სხვა ხაზების) ნულოვანი დენის ტრანსფორმატორში გაივლის მხოლოდ ამ ხაზის ტევადური დენი. ასეთ პირობებში დაცვის დანაყენის შერჩევა შეუძლებელია და დაცვა ვერ განხორციელდება.



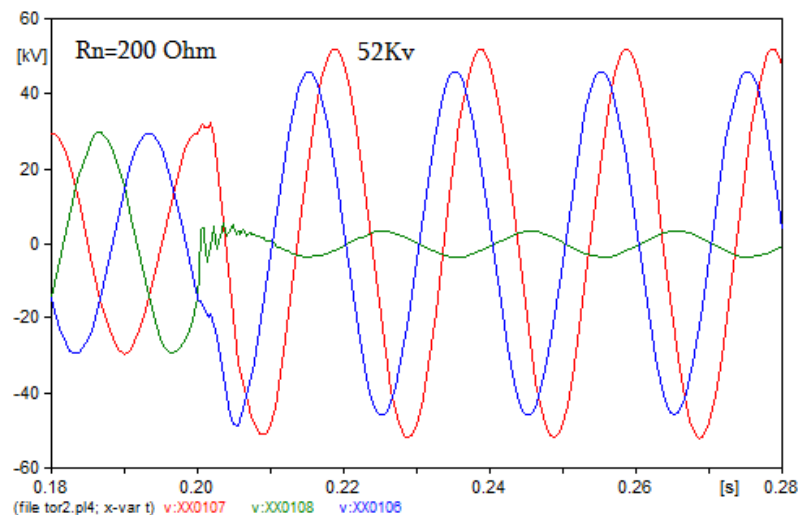
ნახაზი 45. ATPDraw-ში მოდელირებული ცალხაზოვანი სქემა

მოცემული პრობლემების აღმოსაფხვრელად ნეიტრალი დავამიწეთ რეზისტორით, რომლის წინაღობაც 200 ომის ტოლია

ATPDraw-ში აღნიშნულის მოდელირებამ გვაჩვენა, რომ დაზიანებულ ფაზაში გადის 141 ამპერის ტოლი დენი (იხ. ნახ. 46), რომლის დაფიქსირებაც არც ერთ სარელეო დაცვის მოწყობილობას არ გაუჭირდება, და მარტივად მოხდება დაზიანებული მინაერთის გამორთვა, გარდა ამისა გამოვლინდა, რომ გადამეტაბვა სალტეზე აღწევს 52 კვ-ს, რომლის ეფექტური მნიშვნელობა არის დაახლოებით 36 კვ.



ნახაზი 46. ნახ.28. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, დაზიანებულ ფაზაში გამავალი დენი



ნახაზი 47. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, გადამეტაბვა ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში

თავი 3. რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები

3.1. იზოლირებულნიეტრალიან ქსელებში რელეური დაცვის განხორციელება

მიწასთან ერთფაზა მოკლე შერთვა წარმოადგენს ერთერთ გავრცელებულ დაზიანებას ყველა ძაბვის საფეხურის ელექტროგადამცემ და გამანაწილებელ ქსელებში. ყრუდ დამიწებულნიეტრალიან (0,22-0,4 კვ და 110 კვ და ზევით) ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენი სიდიდე იმხელა არის, რომ ხანდახან სამფაზა მოკლე შერთვის დენსაც კი აღემატება. აქედან გამომდინარე საჭიროა აღნიშნული მოკლე შერთვის დენის ავტომატური ამორთვა შესაძლო მოკლე დროში.

რაც შეეხება საქართველოს 6-35 კვ ძაბვის ქსელს, როგორც წესი, მუშაობს იზოლირებული ნიეტრალის რეჟიმში, რომლის ერთფაზა დამიწების დენი არ აღემატება 20-30 ამპერს, აღნიშნული დენის სიმცირის მიუხედავად იგი წარმოადგენს დიდ საფრთხეს ელექტრომოწყობილობებისთვის და ერთფაზა ჩამიწების ადგილას ახლოს მყოფი ადამიანებისა და ცხოველებისათვის, თუმცა გამანაწილებელი ქსელის ოპერატორების მიერ, ერთ შემთხვევაში ხდება სწრაფად ამორთვა, ხოლო მეორე შემთხვევაში გარკვეული დროის შემდეგ (დაზიანებული მინაერთის აღმოჩენაში დახარჯული დრო) ამორთვა.

მიწასთან ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვა ისევე, როგორც სხვა დაცვები უნდა აკმაყოფილებდეს ოთხ ძირითად მოთხოვნას:

1. სელექტიურობა;
2. სწრაფმოქმედება (განსაკუთრებით ერთფაზა მოკლე შერთვის ამორთვის უზრუნველყოფისათვის);
3. მგრძნობიარობა;
4. იმედიანობა.

სელექტიური და ამავედროულად მგრძნობიარე მიწასთან ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის განხორციელება, რომელიც

განკუთვნილი იქნება მცირე ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მქონე გამანაწილებელი ქსელებისათვის, დღეის მდგომარეობითაც, როდესაც რელეური დაცვა თითქმის სრულად გადასულია მიკროპროცესორულ მოწყობილობებზე წარმოადგენს სირთულეს. თითქმის შეუძლებელია შეიქმნას ისეთი უნივერსალური მიწასთან ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობილობა, რომელიც იმუშავებს ერთდროულად სხვადასხვა ტიპის ელექტროდანადგარებისთვის, როგორც საჰაერო, ისე საკაბელო ქსელებისთვის, გენერატორებისთვის, ძრავებისთვის და ეს ყველაფერი სხვადასხვა ნეიტრალის რეჟიმის მქონე ქსელების დროს.

6-35 კვ ძაბვის ქსელებში ძირითად სირთულეს წარმოადგენს ნეიტრალის დამიწების ტიპის არჩევა, ვინაიდან მასზე არის დამოკიდებული მომხმარებლების საიმედო ელექტრომომარაგება, ელექტრომოწყობილობებისა და კაბელების ექსპლუატაციის ვადა, ადამიანებისა და ცხოველების უსაფრთხოება, ასევე რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები და მათ მიერ შესასრულებელი დავალებები (გამორთვაა, სიგნალი და ა.შ.).

საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწების ორი რეჟიმი გამოიყენება, მათ შორის, დაბალ ომიანი და მაღალ ომიანი რეზისტორის გამოყენების მეშვეობით.

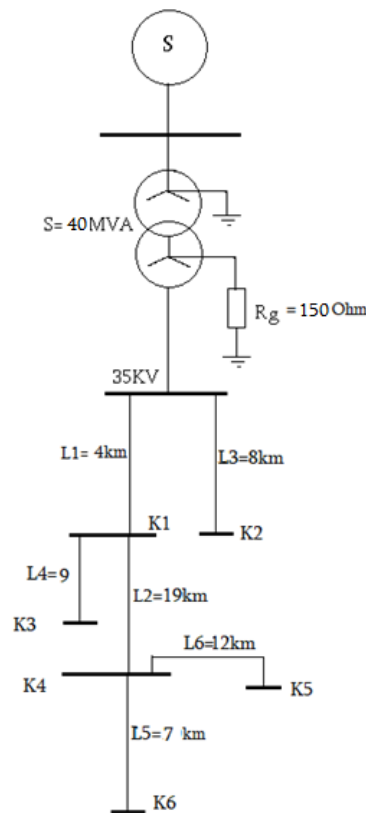
დაბალ ომიანი რეზისტორი გამოიყენება მაშინ, როდესაც რელეური დაცვის მიმართ წაყენებულია მოთხოვნა, რომ ერთფაზა მოკლე შერთვის შემთხვევაში სელექტიურად და სწრაფად ამოირთოს დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზი, აღნიშნული რეჟიმის გამოყენება საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად შევამციროთ გადამეტება ქსელში და მოვაწყოთ უმარტივესი დენური დაცვები

მაღალ ომიანი რეზისტორი გვამლევს საშუალებას ხანგრძლივი დროით ვამუშაოთ ქსელი ერთფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმში, იქამდე, სანამ არ იქნება აღმოჩენილი დაზიანების ადგილი, ამავდროულად მოკლე შერთვის დენის სიდიდე არ უნდა იყოს ისეთი, რომელიც გამოიწვევს საშიშ

და ნეგატიურ მოვლენებს (ელექტროუსაფრთხოება და გადამეტაბვები ქსელში). აღნიშნულ რეჟიმში ნეიტრალის მუშაობისას, ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს რელეური დაცვა ძირითადად მუშაობს სიგნალზე.

3.2. ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა განშტოვებულ ქსელში

ნახაზი 50-ზე ნაჩვენებია განშტოვებული ქსელი, რომელიც მაგალითისათვის იკვებება 110/35 კვ ძაბვის ქვესადგურიდან, რომლის ძალოვანი ტრანსფორმატორის სიმძლავრე 40 მგვა-ია და 35 კვ ძაბვის გრაგნილის ნეიტრალი დამიწებულია 150 ომის ტოლი აქტიური წინაღობით. აღნიშნული შემთხვევისათვისაც დასკვნა იგივე იქნება, როგორც წინა შემთხვევაში



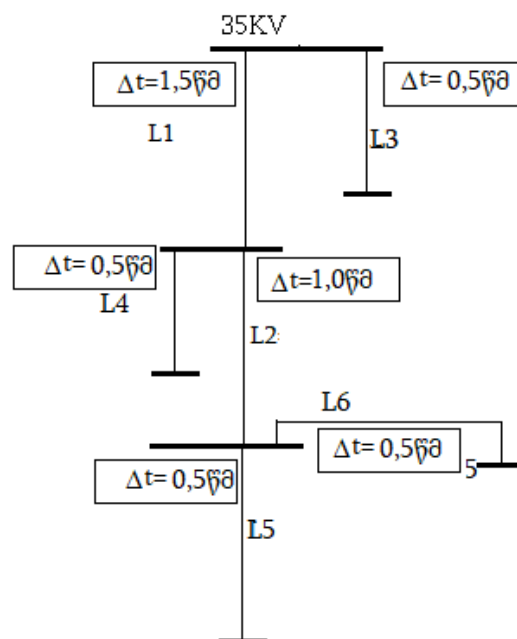
ნახაზი 48. განშტოვებული ქსელი

ნახაზი 3-ზე მოყვანი სქემისათვის ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ცხრილი 3-ში.

ცხრილი 3. განშტოვებულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობები

მშ წერტილი	მშ დენი (ა)
35 კვ სალტე	111
K1	108
K2	108
K3	105
K4	102
K5	99
K6	99

მოცემულ შემთხვევაში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენებს შორის განსხვავება ძალიან მცირეა, რისთვისაც სელექტიური რელეური დაცვის განსახორციელებლად საჭიროა L1-L6 გამავალი ხაზების უჯრედებში მოწყობილი რელეური დაცვებისათვის შერჩეული იქნეს სხვადასხვა დრო. (იხ. ნახ. 51)

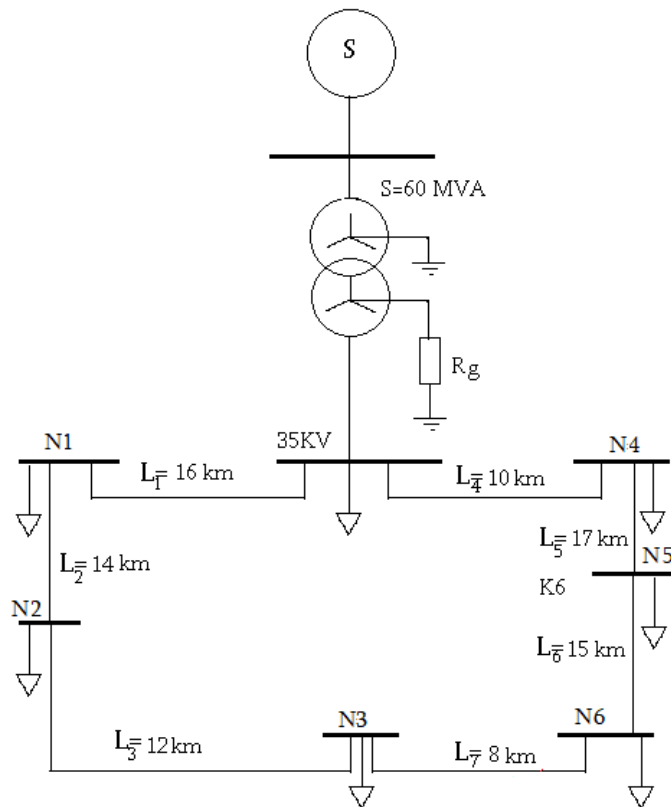


ნახაზი 49. შერჩეული დროის დანაყენების სქემატური ასახვა

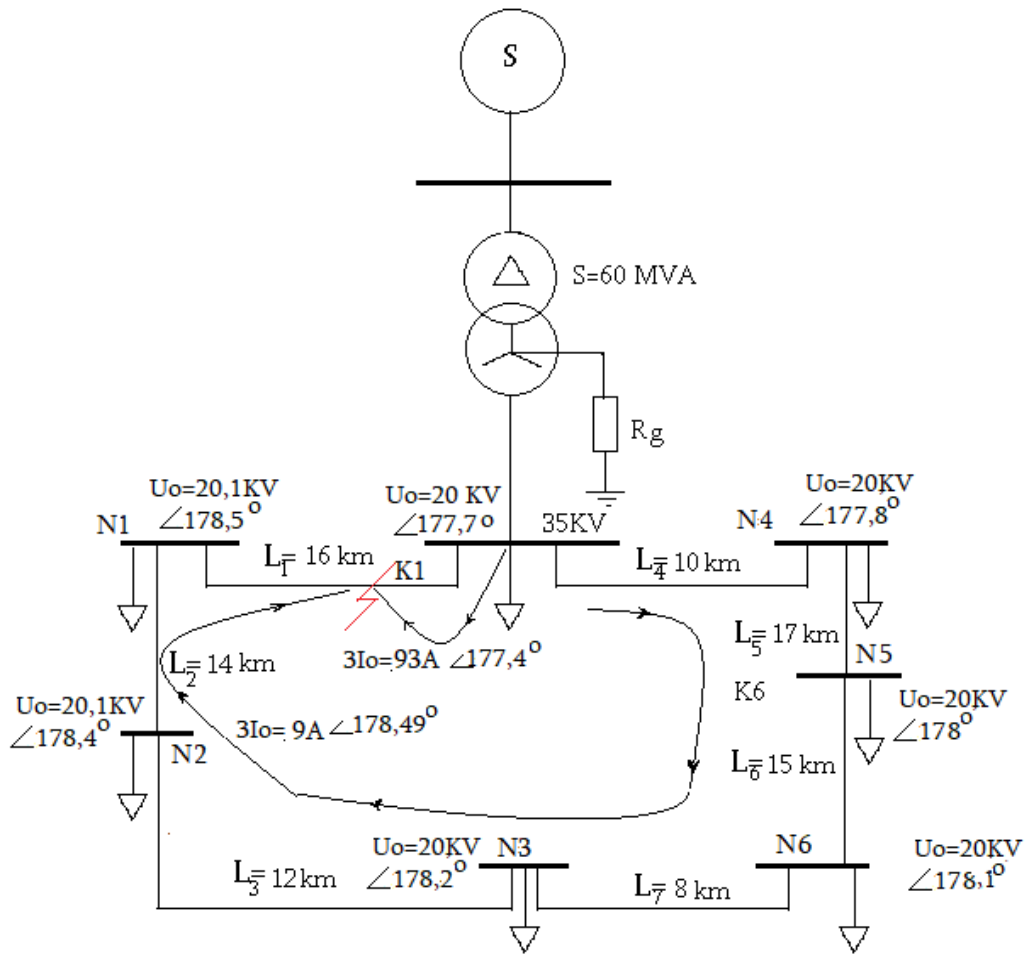
გამავალი ხაზების უჯრედებზე შესაძლებელია ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის დენური დანაყენი (ამოქმედების დენი) იყოს ერთნაირი, მაგალითად 50 ა, ამ შემთხვევაში მგრძნობიარობის კოეფიციენტი 2-ის ფარგლებში იქნება

3.3. ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა შეკრულ ქსელში

ნახაზი 52-ზე ნაჩვენებია შეკრული ქსელი, რომელიც იკვებება 110/35 კვ ძაბვის ქვესადგურიდან, რომლის ძალოვანი ტრანსფორმატორის 35 კვ ძაბვის გრაგნილის ნეიტრალი დამიწებულია 200 ომის ტოლი აქტიური წინაღობით. აღნიშნულ შემთხვევაში ერთფაზა დამიწების რელეური დაცვის მოწყობა გაციელებით რთულია ვიდრე წინა შემთხვევებში. მოცემული ქსელზე ჩატარებული ანგარიშები და შედეგები მოცემულია ნახაზი 53-ზე

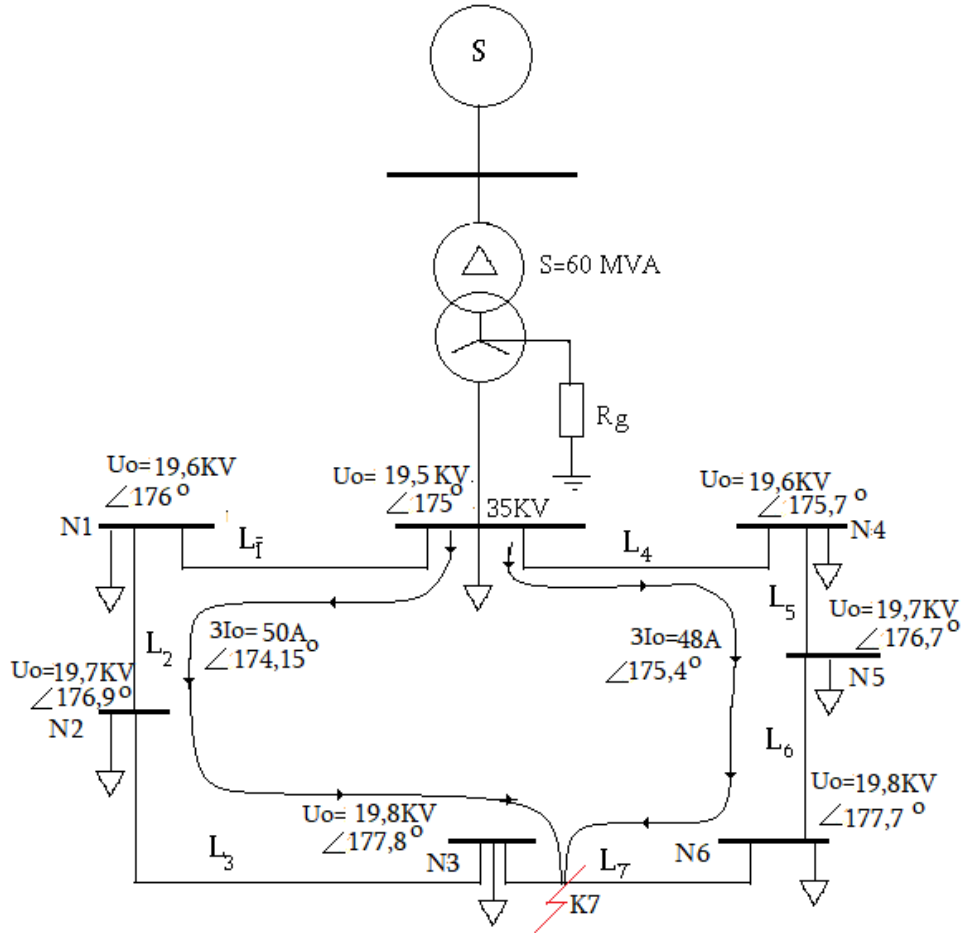


ნახაზი 50. შეკრული ქსელი



ნახაზი 51. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის ანგარიში

მოცემული მაგალითის განხილვისას, პირველ რიგში იკვეთება ის, რომ თითქოს საკმარისია L1 გამავალი ხაზის უჯრედში მოვაწყოთ ერთფაზა მოკლე შერთვის, მიმართული, ნულოვანი მიმდევრობის დენური დაცვა. უდავოა, რომ L4 გამავალი ხაზის უჯრედშიც უნდა იყოს იგივე ტიპის რელეური დაცვა განხორციელებული, მაგრამ მისი მუშაობა არიქნება სელექტიური, თუ მისი ამოქმედების დენი იქნება 9 ამპერზე მეტი. გარდა ამისა, როდესაც ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება L7 ელექტროგადამცემ ხაზზე (იხ. ნახ. 7) გამოირთვება როგორც L1 ელექტროგადამცემი ხაზი, ასევე L4 ელექტროგადამცემი ხაზი, რადგან ორივე გამავალი ხაზის უჯრედში გაივლის ერთი და იგივე სიდიდის დენი და მიმართულებაც ორივე შემთხვევაში სალტიდან ხაზისაკენ იქნება. მაწასადამე მთლიანი ქსელს შეუწყდება ელექტრომომარაგება.

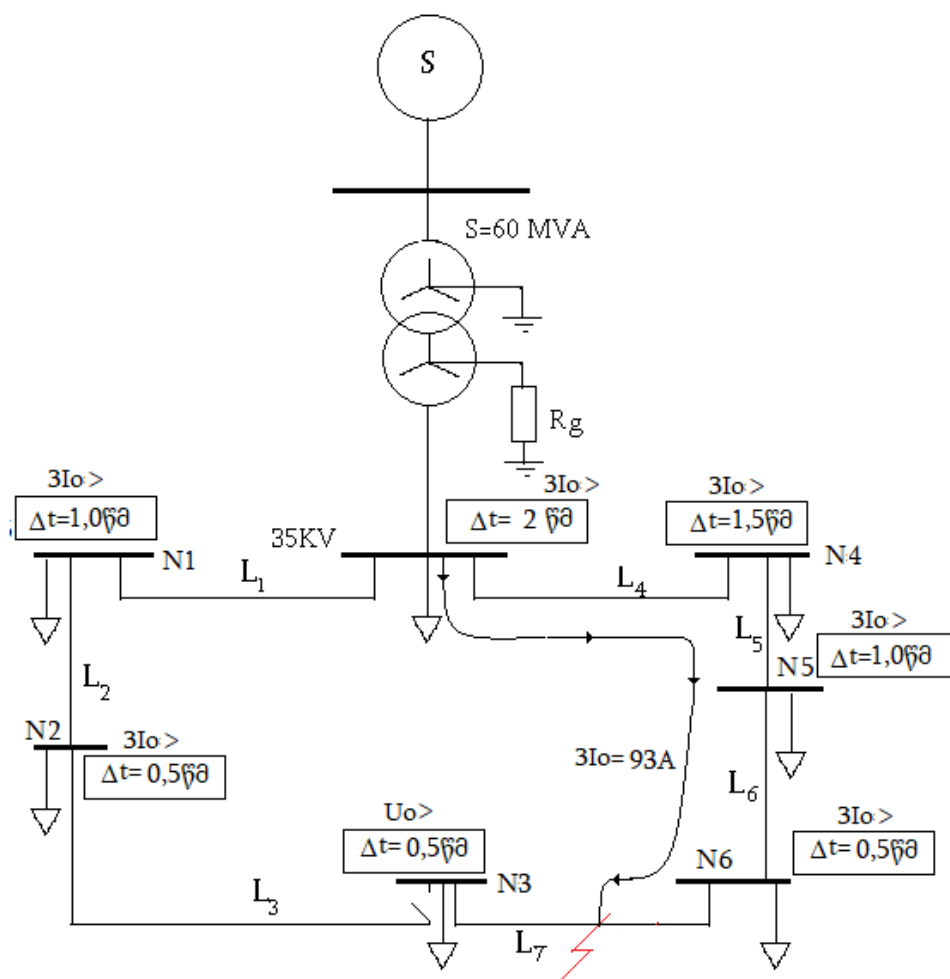


ნახაზი 52. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის ანგარიში L7 ეგზე

შეკრული ქსელებში ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის სელექტიური მუშაობის ვარიანტების განსახილველად მოცემულია ორი ვარიანტი:

ვარიანტი I

ერთფაზა მოკლე შერთვისას ქსელში ყველა ქვესადგურის 35 კვ ძაბვის სალტეების ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა 19,5-19,8 კილოვოლტის ფარგლებშია. თუ, აღნიშნულ ძაბვის მნიშვნელობას გამოვიყენებთ რომელიმე ელექტროგადამცემი ხაზის უჯრედის ამორთვისათვის, პირობითად 0,5 წამის დაყოვნებით, მაგალითად L3 ელექტროგადამცემი ხაზის უჯრედს, მოცემული შეკრული ქსელის სქემა გაიყოფა ორ ნაწილად (იხ. ნახ. 55)

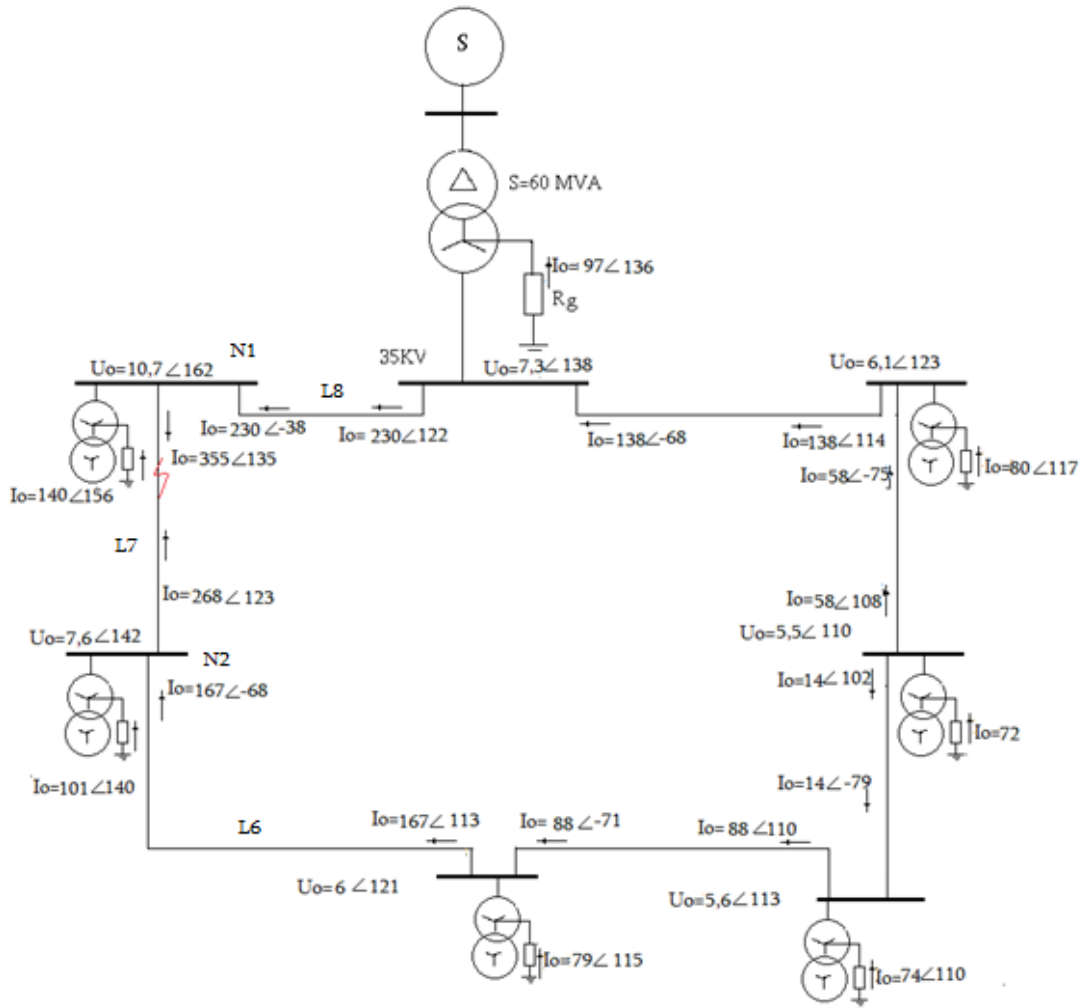


ნახაზი 53. შეკრულ ქსელის ორად გაყოფის სქემა

შეკრული ქსელის ორად გაყოფის შემდგომ L7 ელექტროგადამცემ ხაზზე მომხდარი ერთფაზა მოკლე შერთვის ამორთვა თამამად შეიძლება ითქვას, რომ მოხდება სელექტიურად. თუმცა, იმ შემთხვევაში, თუ ერთფაზა მოკლე შერთვა მოხდება L4 ელექტროგადამცემ ხაზზე, მაშინ მისი ამორთვით გამოირთვება L5, L6 და L7 ელექტროგადამცემი ხაზიც, რაც შეიძლება ამ ლოგიკით მომუშვე რელეური დაცვის ნაკლოვანებად ჩაითვალოს.

ვარიანტი II

შეკრული ქსელებისათვის ერთფაზა დამიწების დაცვის განხორციელების მეორე ვარიანტად მოცემულია ის შემთხვევა, როდესაც ქსელის ყველა ქვესადგურის 35/10 კვ ძალოვანი ტრანსფორმატორების ნეიტრალები 25 ომიანი აქტიური წინაღობითაა დამიწებული, (იხ. ნახ. 56).



ნახაზი 54. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის ანგარიშის სქემა

მოცემულ შემთხვევაში ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება L7 ელექტროგადამცემ ხაზზე, რისი ნულოვანი მიმდევრობის დენების განაწილებაც მოყვანილია ნახაზი 9-ზე. ასეთ დროს მიჩნეულია, რომ N1 და N2 ქვესადგურების გამავალი ხაზის უჯრედებში განხორციელებულია ნულოვანი მიმდევრობის, მიმართული დენური დაცვა, რა დროსაც შესაძლებელი ხდება მხოლოდ აღნიშნული დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზის სელექტიური გამორთვა.

ცხრილი 2-ში მოცემულია ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობების დამოკიდებულება მოკლე შერთვის ადგილთან, რომლის მდებარეობა აითვლება N1 ქვესადგურიდან ელექტროგადამცემი ხაზის მთლიანი სიგრძის პროცენტული

მნიშვნელობებით. ამავე ცხრილში მოყვანილია მეზობელ ელექტროგადამცემ ხაზებში გამავალი I_0 დენები.

ცხრილი 4. ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობების დამოკიდებულება მოკლე შერთვის ადგილთან

მშ წერტილის დაშორება N1 ქვ/ს-დან ეგზ-ს სიგრძის %-ში	I_0 დენი L8-დან N1 ქვ/ს-საკენ (A)	I_0 დენი N1 ქვ/ს-დან მოკლე შერთვის წერტილისაკენ (A)	I_0 დენი N2 ქვ/ს-დან მოკლე შერთვის წერტილისაკენ (A)	I_0 დენი L6-დან N2 ქვ/ს-საკენ (A)
0	238	368	258	164
10	222	343	262	169
20	206	321	267	174
30	192	301	273	179
40	179	282	279	184
50	167	265	286	190
60	156	250	293	197
70	146	236	301	203
80	136	223	310	210
90	127	210	320	216
100	114	200	330	225

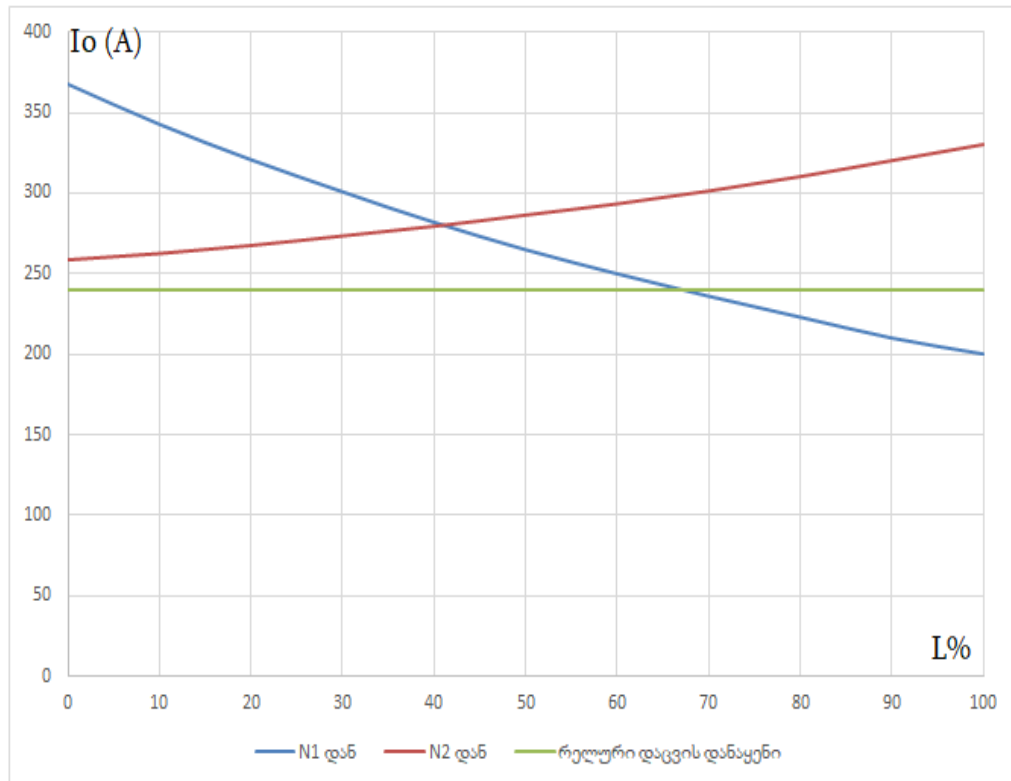
მოცემულ ცხრილი 4-ში მოყვანილი ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობების ცვლილების მრუდეები წარმოდგენილია ნახაზი 57-ზე, ასევე აღნიშნულ მრუდეებზე წარმოდგენილია N1 და N2 ქვესადგურების გამავალი ხაზის უჯრედებში ოპტიმალური დაცვის ამოქმედების დენი - 245 ა, რა დროსაც იმუშავენს ორივე დაცვა სელექტიურად.

ერთფაზა დამიწების რელეური დაცვის მგრძობიარობის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდგენი ფორმულით:

$$K_R = \frac{I_{0max}}{I_{0rel}}$$

სადაც I_{0max} ნულოვანი მიმდევრობის მოკლე შერთვის დენია, ხოლო I_{0rel} რელეური დაცვის დანაყენია (ამოქმედების დენია), რაც ჩვენს შემთხვევაში 245 ა -ის ტოლია. ელექტროდანადგარდა მოწყობის წესების

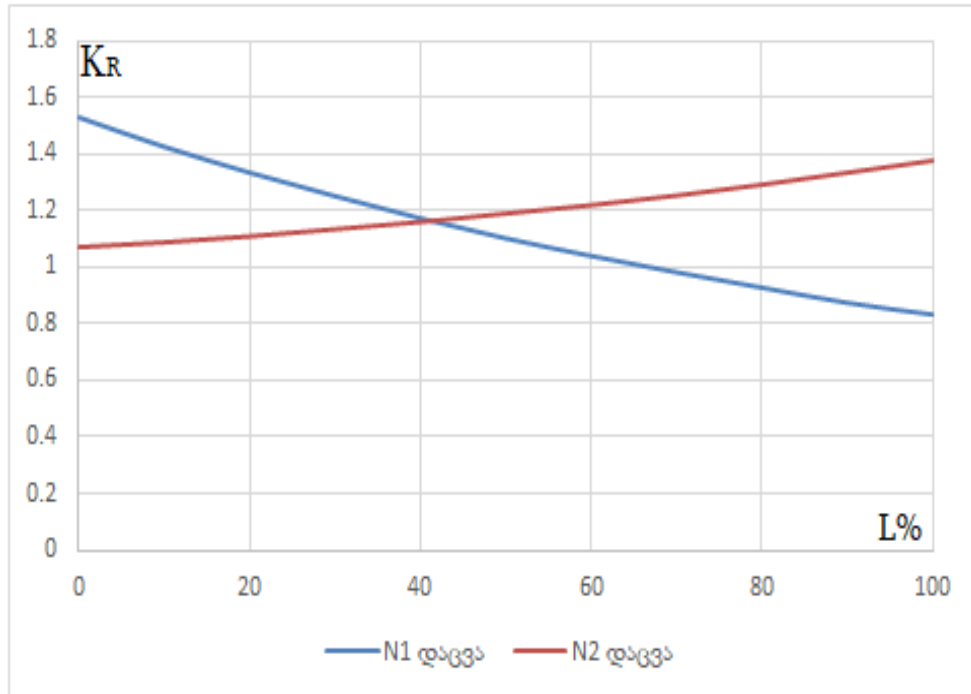
თანახმად მოცემული კოეფიციენტის მნიშვნელობა მეტი ან ტოლი უნდა იყოს 1,2 ზე.



ნახაზი 55. ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენების მნიშვნელობების ცვლილების მრუდები

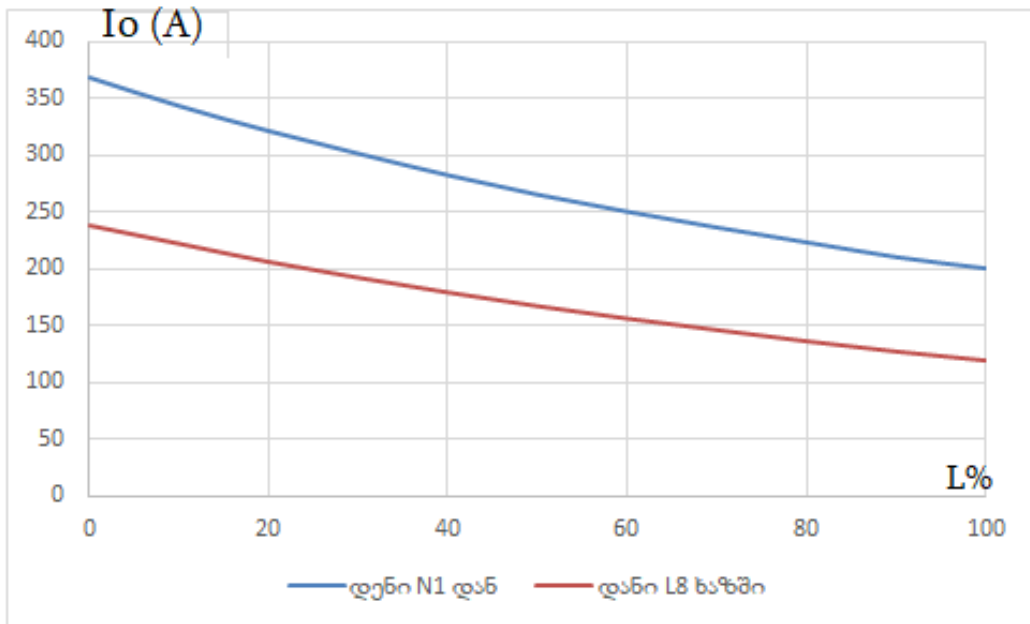
ნახაზი 58-ზე მოცემულია მგრძნობიარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ერთ ფაზა მოკლე შერთვის ადგილზე. იმ შემთხვევაში, თუ ერთფაზა მოკლე შერთვა მოხდება N1 ქვესადგურიდან ელექტროგადამცემი ხაზის მთელი სიგრძის 38% მდე მონაკვეთში, მაშინ რელური დაცვის მგრძნობიარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მეტია 1.2-ზე, ხოლო N2 ქვესადგურში განხორციელებული რელური დაცვის მგრძნობიარობის კოეფიციენტი ნაკლებია 1.2-ზე. N1 ქვესადგურიდან უფრო მეტი სიგრძით დაშორების შემთხვევაში მგრძნობიარობის კოეფიციენტი სიგრძის ზრდასთან ერთად მცირდება, ხოლო N2 ქვესადგურში კი პირიქით, იზრდება. აქედან გამომდინარე მოსალოდნელია, რომ ერთფაზა მოკლე

შერთვის დროს ელექტროგადამცემი ხაზი გამოირთვება ერთი რომელიმე ბოლოდან.

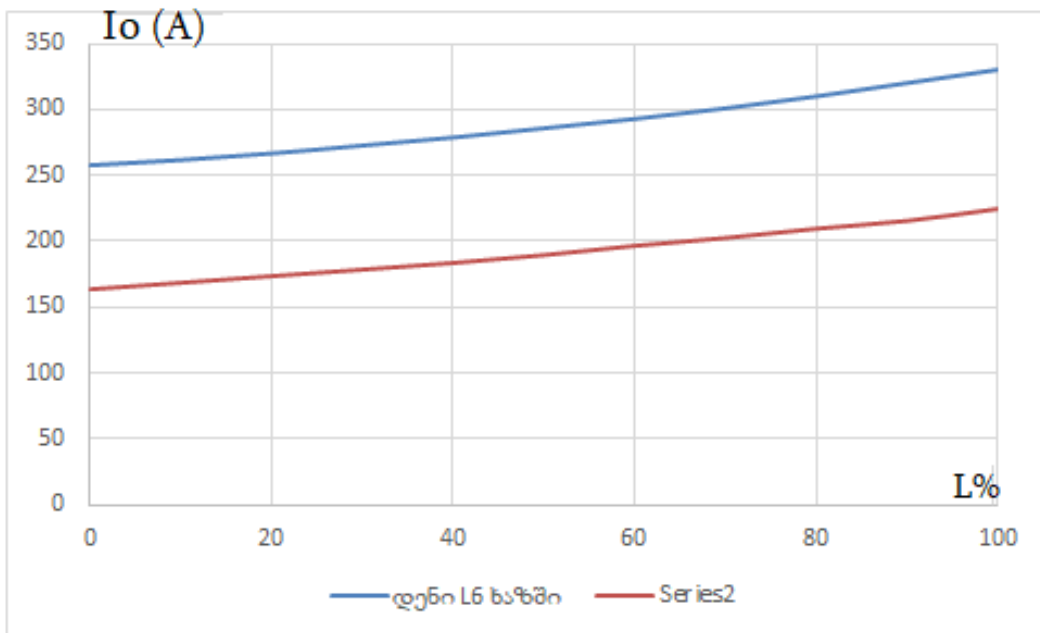


ნახაზი 56. მგრძობიარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ერთ ფაზა მოკლე შერთვის ადგილზე

ნახაზი 59-სა და ნახაზი 60-ზე მოცემულია L7 ელექტროგადამცემი ხაზზე მომხდარი ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობების მრუდეები, მიმართული N1 ქვესადგურიდან L6 ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ და N2 ქვესადგურიდან L8 ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ. აღნიშნულ მრუდეებზე ნათლად ჩანს, რომ მეზობელ L6 და L8 ელექტროგადამცემ ხაზებში გამავალი ნულოვანი მიმდევრობის დენები ნაკლებია L7 ელექტროგადამცემი ხაზის რელეური დაცვის დანაყენის დენზე, რის საფუძველზეც შეიძლება ითქვას, რომ მოცემული ელექტროგადამცემი ხაზების არასელექტრიური გამორთვის საშიშროება არ არსებობს.



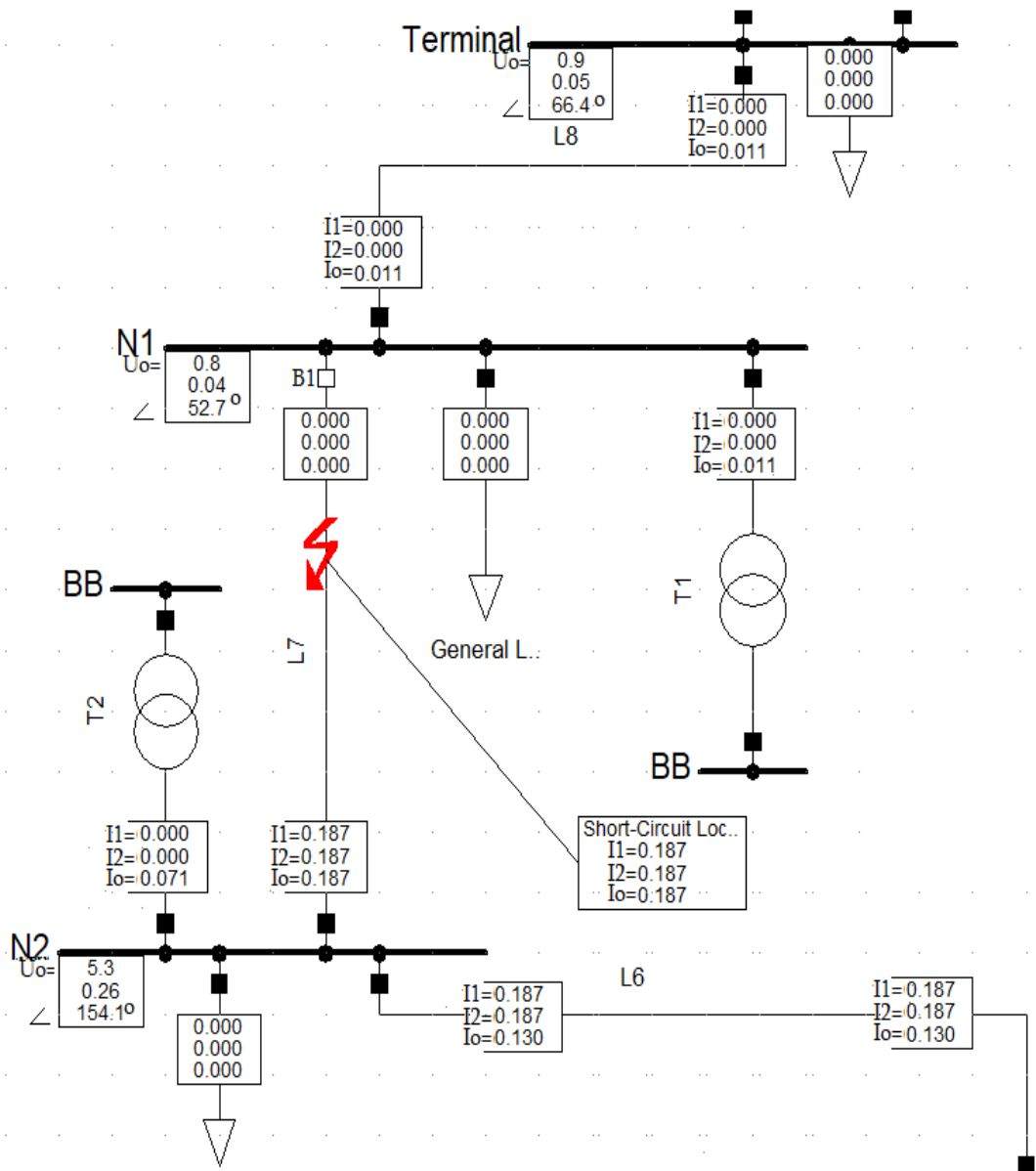
ნახაზი 57. ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობების მრუდეები, მიმართული N1 ქვესადგურიდან L6 ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ



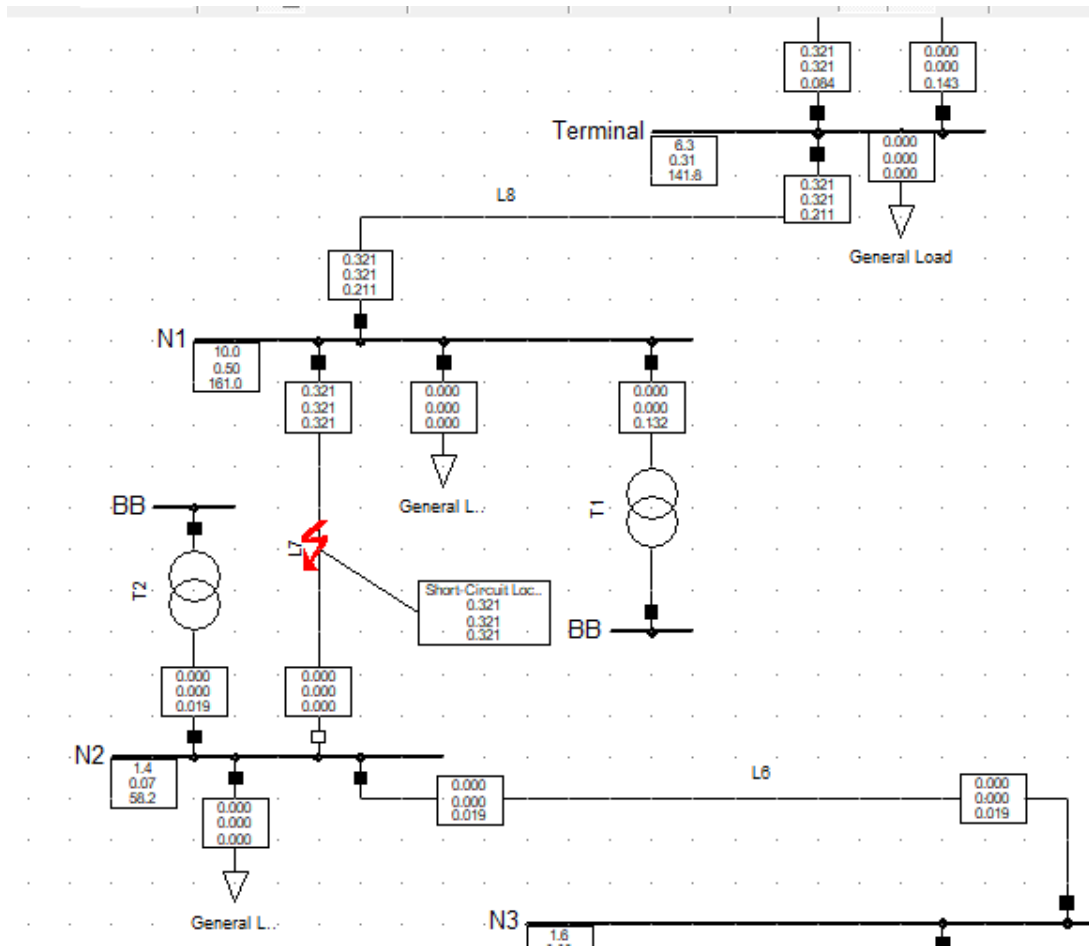
ნახაზი 58. ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის მნიშვნელობების მრუდეები, მიმართული N2 ქვესადგურიდან L8 ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ

პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში ჩატარდა გაანგარიშები (იხ. ნახ. 61), როდესაც N1 ქვესადგურიდან ირთვება L7 ელექტროგადამცემი ხაზი, ამომრთველი B1-ის მეშვეობით, ამ დროს მივიღეთ, რომ ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენი მცირდება და ხდება რელეური

დაცვის ამოქმედების დენზე (245 ა) ნაკლები, კერძოდ N2 ქვესადგურში L7 გამავალი ხაზის უჯრედში გაივლის 187 ამპერის ტოლი ნულოვანი მიმდევრობის დენი, შესაბამისად დაცვა არ იმუშავებს. ანალოგიური სურათი გვექნება, თუ L7 ელექტროგადამცემი ხაზი გამოირთვება N2 ქვესადგურის მხრიდან (იხ. ნახ. 62)



ნახაზი 59. პროგრამა DIGSILENT Powerfactor-ში გაანგარიშებული შეკრული ქსელი



ნახაზი 60. პროგრამა DIGSILENT Powerfactor-ში გაანგარიშებული შეკრული ქსელი

ასეთ შემთხვევების დროს შეიძლება შეთავაზებული იყოს სხვა პრინციპზე მომუშავე დაცვა, აღსანიშნავია, რომ განხილულ ქსელში, სადაც ძალოვანი ტრანსფორმატორების ნეიტრალები დამიწებულია აქტიური წინააღობით, ყველა ხაზში, დაზიანებულის გარდა, ნულოვანი მიმდევრობის დენები არ არის ტოლი პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენის, მხოლოდ ცალი მხრიდან გამორთულ დაზიანებულ ხაზში არსებობს ტოლობა $I_0=I_2=I_1$, თანაც მოცემული დენები ტოლია სიდიდითაც და ფაზითაც აქედან გამომდინარე შესაძლებელია შეთავაზებული იქნეს რელეური დაცვა, რომელიც რეაგირებს I_2-I_0 სხვაობის აბსოლუტური სიდიდეზე. დაცვა იმოქმედებს როდესაც ეს სხვაობა ნულთან მიახლოებული იქნება.

გარდა ამისა, ჩატარებულია გაანგარიშება, მეზობელ L8 და L6 ელექტროგადამცემ ხაზებისთვის, რითაც შემოწმდა მათზე განხორციელებული სარელეო დაცვის ყალბად მუშაობის შესაძლებლობა.

ცხრილი 5. ნულოვანი და უკუ მიმდევრობის დენების სიდიდე მშ მდებარეობასთან დამოკიდებულებაში.

დენები L8 ხაზში, როდესაც L7 ეგბ გამორთულია N1 ქვ/ს-დან				დენები L6 ხაზში L7 ეგბ გამორთულია N2 ქვ/ს-დან			
მანძილი %	I ₂ (A)	I ₀ (A)	I ₂ -I ₀ (A)	მანძილი %	I ₂ (A)	I ₀ (A)	I ₂ -I ₀ (A)
0	420	272	148	0	170	118	52
10	396	261	135	10	174	121	53
20	374	247	127	20	179	125	54
30	355	234	121	30	185	128	57
40	337	222	115	40	190	132	58
50	321	211	110	50	196	136	60
60	306	202	104	60	202	140	62
70	292	193	99	70	208	145	63
80	280	184	96	80	215	150	65
90	268	177	91	90	223	155	68
100	258	170	88	100	230	160	70

როგორც ცხრილი 5-დან ირკვევა, სხვაობა I₂-I₀ დენებს შორის საკმაოდ დიდია, რაც მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მეზობელ ქვესადგურებში განხორციელებული სარელეო დაცვის ყალბად მუშაობა გამორიცხულია.

დამატებით განხორციელდა მეზობელი L8 და L6 ელექტროგადამცემი ხაზების რელეური დაცვების ყალბად მუშაობის შესაძლებლობის შესწავლა, იმ შემთხვევაში, როდესაც ერთფაზა მოკლე შერთვა L7 ელექტროგადამცემ ხაზზეა და აღნიშნული ხაზი ჩართულია ორივე მხრიდან (N1 და N2 ქვესადგურიდან).

ცხრილი 6-დან ირკვევა, რომ სხვაობა I₂-I₀ დენებს შორის 50 ამპერზე მეტია, რაც ნიშნავს, რომ მეზობელ ქვესადგურებში განხორციელებული სარელეო დაცვის ყალბად მუშაობა გამორიცხულია, იმშეთხვევაში თუ რელეური დაცვის I₂-I₀ დენის დანაყენები იქნება 50 ამერ დენზე ნაკლები.

ცხრილი 6. ნულოვანი და უკუ მიმდევრობის დენების სიდიდე მშ მდებარეობასთან დამოკიდებულებაში.

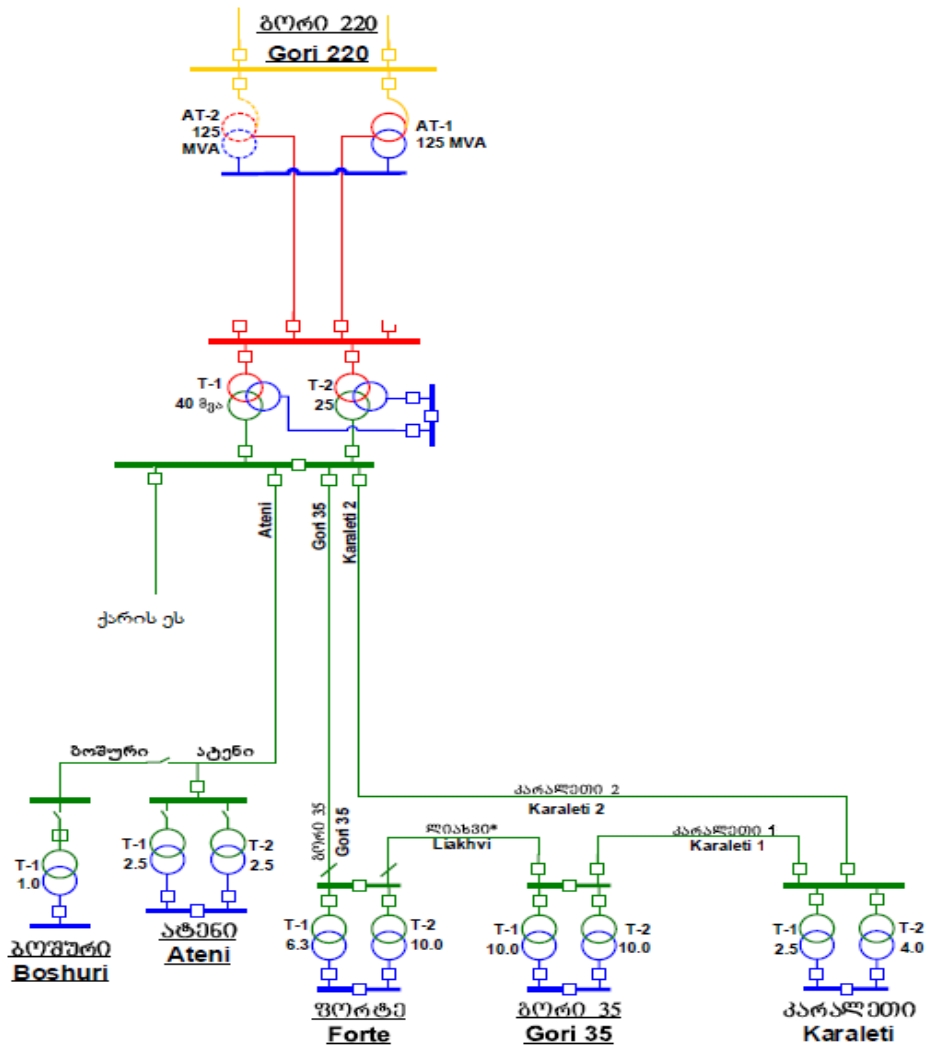
მანძილი %	ეგზ L8			ეგზ L6		
	I2 (A)	I0 (A)	I2-I0 (A)	I2 (A)	I0 (A)	I2-I0 (A)
0	514	235	279	108	164	-56
10	489	222	267	114	169	-55
20	467	206	261	119	174	-55
30	447	192	255	125	179	-54
40	429	179	250	132	184	-52
50	413	167	246	138	190	-52
60	399	156	243	144	197	-53
70	386	146	240	151	203	-52
80	374	136	238	157	210	-53
90	364	127	237	164	218	-54
100	354	119	235	172	226	-54

რაც შეეხება ნულოვანი მიმდევრობის მიმართულებიან რელეურ დაცვას, ამ შემთხვევაში სირთულეებს ადგილი არ ექნება, რადგან ნულოვანი მიმდევრობის დენი შეიცავს დიდ აქტიურ მდგენელს დამამიწებელი წინაღობის დიდი სიდიდის გამო და იგი პრაქტიკულად ემთხვევა სალტეების U_0 ძაბვას. მაგალითად, ნახაზი 9-დან ჩანს რომ, N1 ქვესადგურში $U_0 = 10,7e^{j162}$ კვ ძაბვას. ხოლო $I_0 = 355e^{j135}$ ა დენს. კუთხე დენსა და ძაბვას შორის $162-135=27^\circ$. ანუ სიმძლავრის კოსინუსური რელე იმედიანად იმუშავებს.

3.4. ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა გორის 35 კვ ძაბვის შეკრულ ქსელში

გორის, შეკრული 35 კვ ძაბვის ქსელის მაგალითზე განხილულია ერთფაზა მოკლე შერთვისაგან რელეური დაცვის მოქმედება. პრაქტიკულად დროის უმეტეს მონაკვეთში აღნიშნული ქსელი მუშაობს რადიალურ რეჟიმში ამ შემთხვევაში რელეური დაცვის დანაყენების გაანგარიშება არ

წარმოადგენს სირთულეს, რომელი საკითხი განხილული იყო მე-2 და მე-3 პარაგრაფებში. მოცემულ შემთხვევაში კვლევის საგანი არის ის შემთხვევა, როდესაც გორის 35 კვ ძაბვის ქსელი შეკრულია. მოცემული ქსელის ცალხაზოვანი სქემა ნაჩვენებია ნახაზი 63-ზე.



ნახაზი 61. გორის 35 კვ ძაბვის ქსელის ცალხაზოვანი სქემა

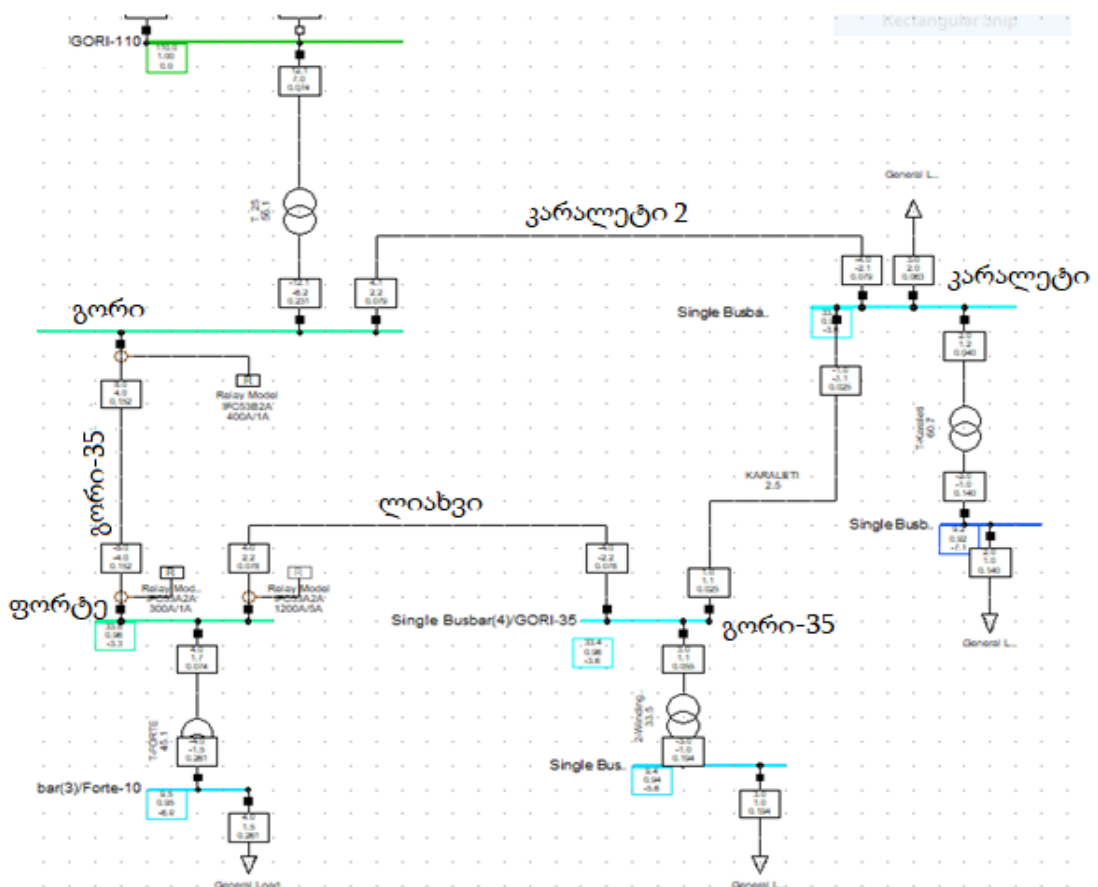
გორის 35 კვ ძაბვის ქსელის შეკრული უბანი შედგება ხაზებისაგან: „გორი-35“, „ლიახვი“, „კარალეთი-1“ და „კარალეთი-2“. მაგალითისათვის განხილულია, რომ ქვ/ს „გორი-220“-ში, ძალოვანი ტრანსფორმატორის 35 კვ ძაბვის გრაგნილის ნეიტრალი დამიწებულია 40 ომიანი აქტიური წინაღობით, ხოლო დანარჩენ ქვესადგურებში ძალოვანი

ტრანსფორმატორების 35 კვ ძაბვის გრაგნილის ნეიტრალები დამიწებულია 100 ომიანი წინაღობებით.

ცხრილი 7. გორის 35 კვ ძაბვის ქსელის ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები

დასახელება	L km	r ohm/km	x ohm/km	r ₀ ohm/km	x ₀ ohm/km
გორი-35	2,3	0.25	0.412	0.4	1.25
ლიახვი	6	1.24	0.41	0.4	1.25
კარალეთი-1	5.6	0.245	0.42	0.4	1.25
კარალეთი-2	11.3	0.238	0.413	0.4	1.25

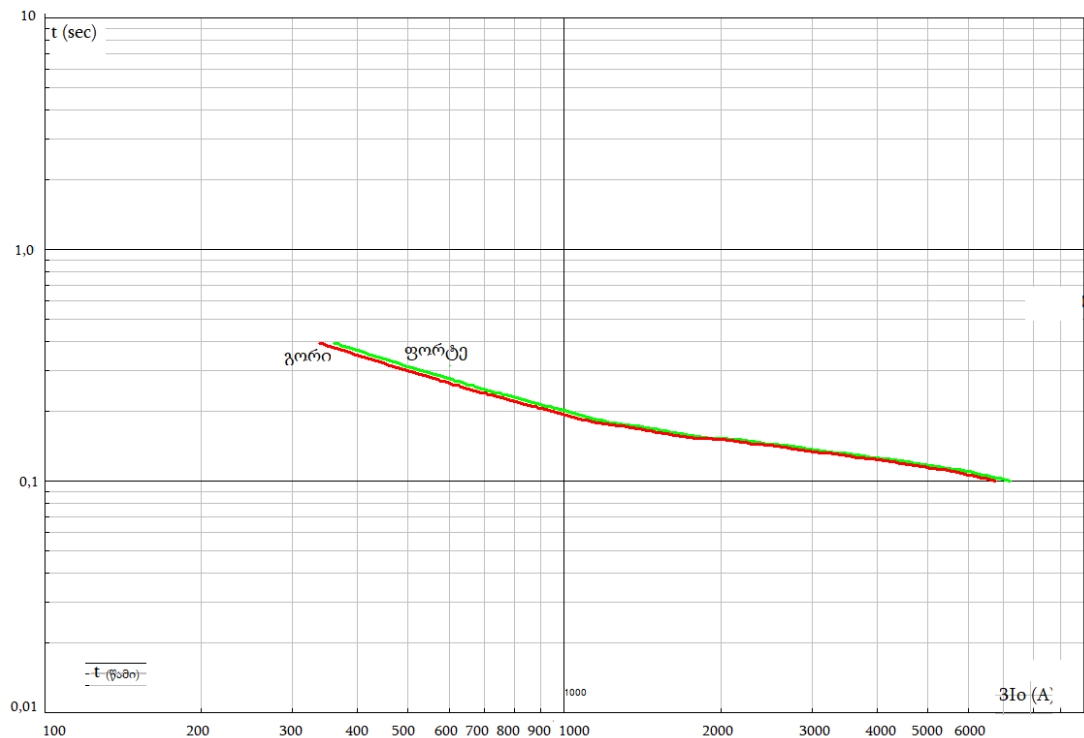
პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში ჩატარდა აღნიშნული გორის 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის მოდელირება (იხ. ნახ. 64).



ნახაზი 62. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში მოდელირებული გორის 35კვ ძაბვის ქსელი

მოდელირებისას განხილულია ელექტროგადამცემი ხაზი „გორი-35“-ის ერთფაზა მოკლე შერთვისაგან რელური დაცვის ორგანიზაცია, კერძოდ აღნიშნული ელექტროგადამცემი ხაზის თავში და ბოლოში ეწყობა ნულოვანი მიმდევრობის მიმართულებიანი დროზე დამოკიდებული მახასიათებლის მქონე რელური დაცვა. რელური დაცვის მოქმედება ხორციელდება მაშინ, როდესაც დენი მიმართულია სალტიდან ხაზისაკენ.

მოდელირებისთვის შერჩეულია IFC51A5A ტიპის, ნულოვანი მიმდევრობის დენური რელე რომლის დრო-დენური მახასიათებლები ნაჩვენებია ნახაზი 65-ზე.



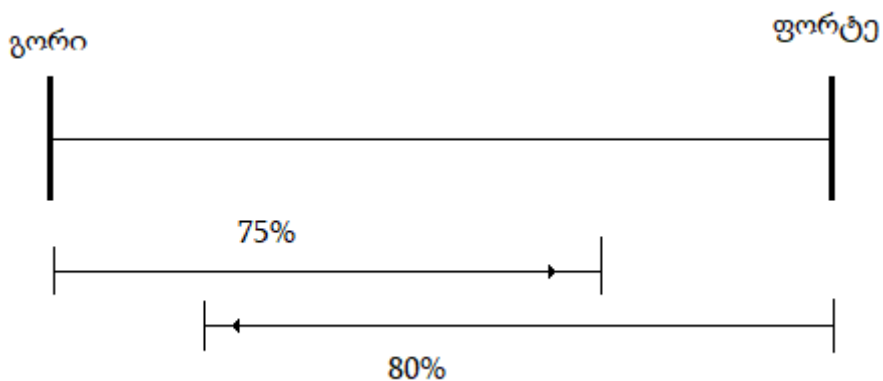
ნახაზი 63. IFC51A5A ტიპის, ნულოვანი მიმდევრობის დენური რელეს დრო-დენური მახასიათებლები

ქ/ს „გორი-220“ ში მოწყობილი რელური დაცვა იცავს ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძის 75% (ათვლაქვესადგური გორიდან), ხოლო ქ/ს „ფორტე“-ს დაცვა კი, ხაზის სიგრძის 80%-ს (ათვლა ქვესადგური ფორტედან).

ნახაზი 66-ზე მოცემულია ელექტროგადამცემი ხაზის დაცვის ზონები, სადაც ელექტროგადამცემი ხაზის გამორთვა ხდება ან ქვესადგური „გორის“ მხრიდან, ან ქვესადგური „ფორტეს“ მხრიდან, ან კასკადურად, აღნიშნული დამოკიდებულია ერთფაზა მოკლე შერთვის წერტილის ადგილმდებარეობაზე.

ზემოაღნიშნული გამორთვების თვალსაჩინოებისთვის განხილულია სამი შემთხვევა, მათ შორის:

1. ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება ქვესადგური „გორიდან“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძის 25% ში;
2. ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება ქვესადგური „ფორტედან“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძის 25% ში;
3. ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება ელექტროგადამცემი ხაზის შუაში (50%).

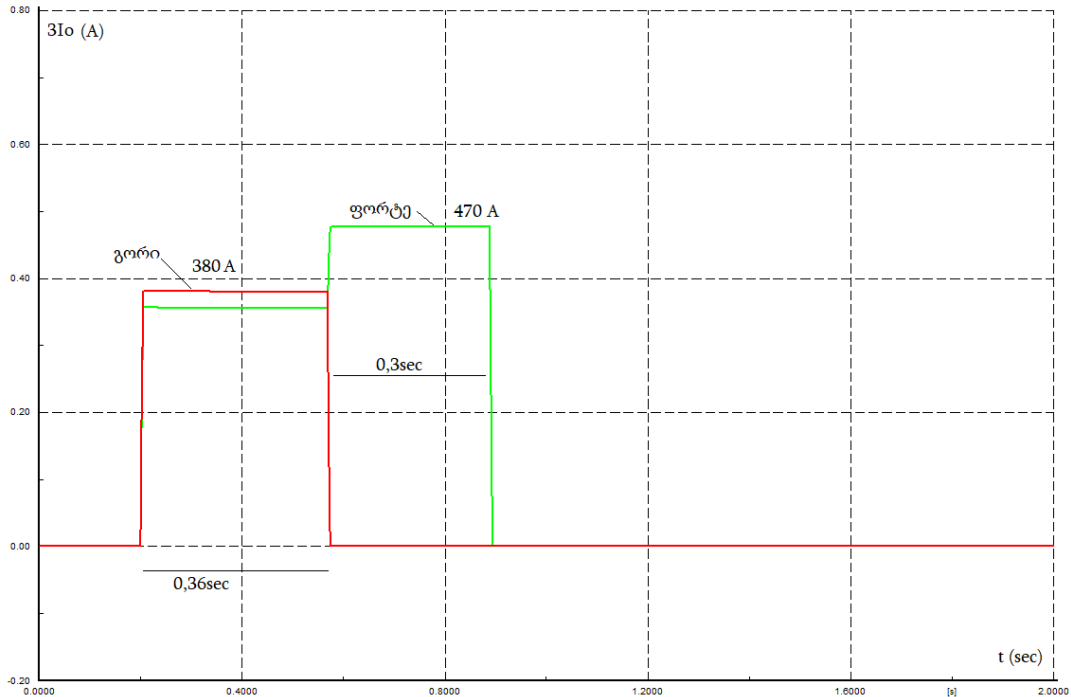


ნახაზი 64. 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზის დაცვის ზონები

შემთხვევა №1

პირველი შემთხვევისთვის გათვალისწინებულია, რომ ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება ქვესადგური „გორიდან“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძის 25%-ით დაშორებით. 310 დენი ქვესადგური „გორის“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ხაზის უჯრედში 380 ამპერის ტოლია, ხოლო მისი გამორთვის შემდეგ ქვესადგური „ფორტეს“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ხაზის უჯრედში 470 ა-ს მიაღწევს. აღნიშნულ ქვესადგურებში მოწყობილი რელეური დაცვის

მოწყობილობის (IFC51A5A) მახასიათებლის შესაბამისად, პირველ რიგში 0,36 წამის დაყოვნებით გამოირთვება ქვესადგურ „გორში“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზის ამომრთველი, ხოლო შემდგომ 0,3 წამის დაყოვნებით გამოირთვება ქვესადგურ „ფორტეში“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზის ამომრთველი (იხ. ნახ. 67).

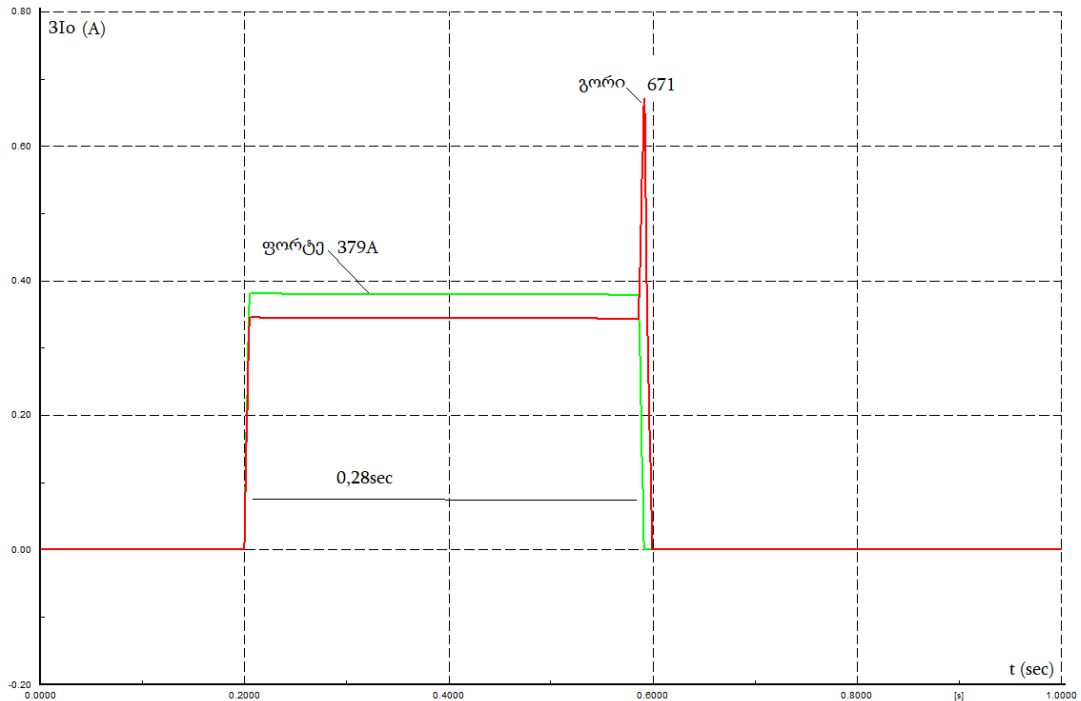


ნახაზი 65. რელეური დაცვის ამუშავების დრო-დენური მახასიათებლები (შემთხვევა №1)

შემთხვევა №2

მეორე შემთხვევისთვის გათვალისწინებულია, რომ ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება ქვესადგური „ფორტედან“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძის 25% ში, სადაც $3I_o$ დენი ქვესადგურ „ფორტეს“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ხაზის უჯრედში 379 ამპერის ტოლია, ხოლო მისი გამორთვის შემდგომ ქვესადგურ „გორის“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ხაზის უჯრედში 671 ა-ს მიაღწევს. აღნიშნულ ქვესადგურებში მოწყობილი რელეური დაცვის მოწყობილობის (IFC51A5A) მახასიათებლის შესაბამისად, პირველ რიგში 0,28 წამის დაყოვნებით გამოირთვება ქვესადგურ „ფორტეში“ 35 კვ ძაბვის გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზის ამომრთველი, ხოლო ქვესადგურ

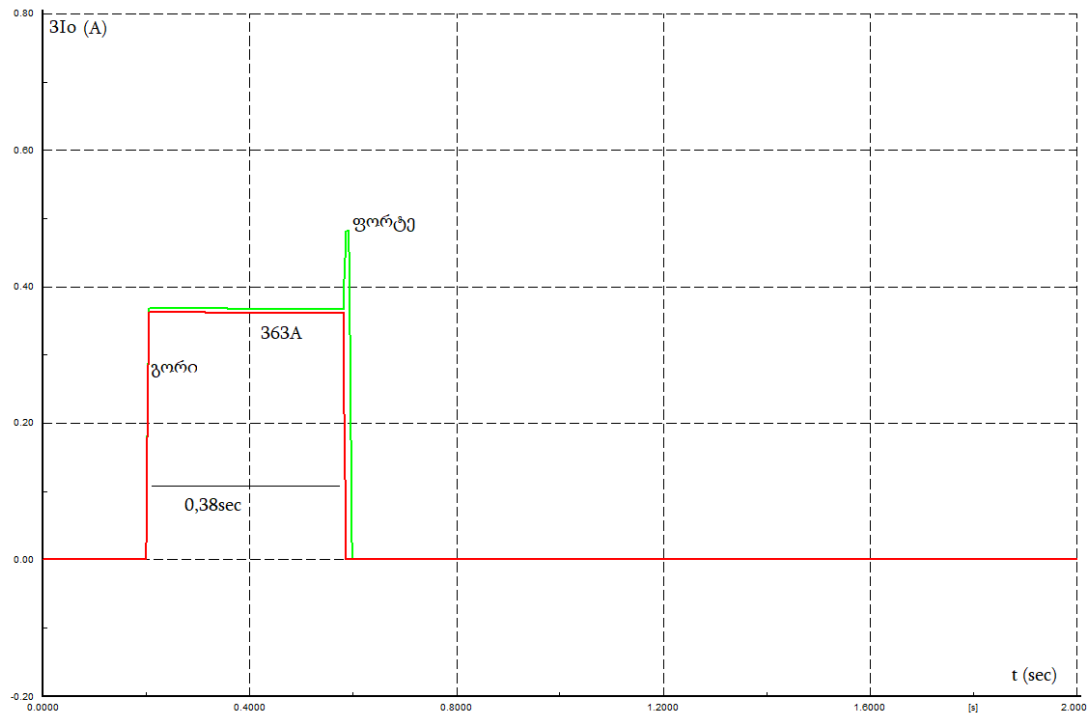
„გორში“, ვინაიდან ნულოვანი მიმდევრობის დენი მკვეთრად გაიზარდა, 35 კვ ძაბვის გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზის ამომრთველი ძალიან მცირე დროის დაყოვნებით გამოირთვება. (იხ. ნახ. 68).



ნახაზი 66. რელეური დაცვის ამუშავების დრო-დენური მახასიათებლები (შემთხვევა №2)

შემთხვევა №3

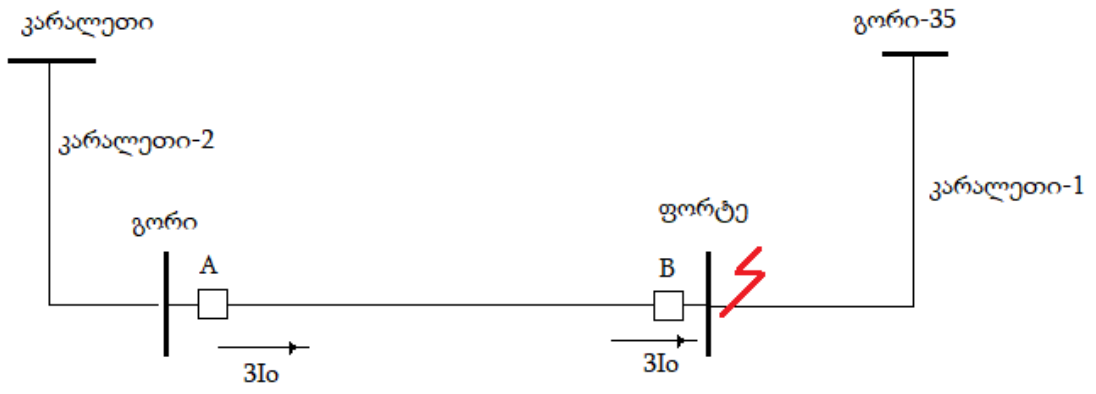
მესამე შემთხვევისთვის გათვალისწინებულია, რომ ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება ქვესადგური „გორიდან“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძის 50% ში, სადაც $3I_o$ დენები ორივე ქვესადგურის (ქვ/ს „გორი“ და ქვ/ს „ფორტე“) 35 კვ ძაბვის გამავალი ხაზის უჯრედებში პრაქტიკულად ტოლებია, რაც ნიშნავს იმას, რომ ზემოაღნიშნული ქვესადგურების გამორთვა მოხდება ერთდროულად, ან იმ შემთხვევაში, თუ რომელიმე ქვესადგურმა დაასწრო გამორთვა მეორეს, უკანასკნელი ამოირთვება მყისიერად (იხ. ნახ. 69).



ნახაზი 67. რელეური დაცვის ამუშავების დრო-დენური მახასიათებლები (შემთხვევა №3)

მოცემული სქემისათვის ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის სელექტიურობა უზრუნველყოფილია შემდეგი ლოგიკის მიხედვით, მაგალითისთვის, იმ შემთხვევაში, თუ ერთფაზა მოკლე შერთვა მოხდება 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზი „კარალეთი-1-ს დასაწყისში (იხ. ნახ 70), ქვესადგურ „ფორტესთან“ ახლოს, მაშინ, 35 კვ ძაბვის ამომრთველი „B“ არ ამოირთვება, ვინაიდან ნულოვანი მიმდევრობის დენი მიმართული იქნება სალტისკენ, ხოლო რელეური დაცვა, როგორც ზევით აღვნიშნეთ რეაგირებს მხოლოდ იმ დენზე, რომელიც მიმართულია სალრეებიდან ხაზისკენ.

ასევე არ ამოირთვება, ქვესადგურ „გორში“ არსებული 35 კვ ძაბვის ამომრთველი „A“, რადგან 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზი „კარალეთი-1“ არ შედის მის დაცვის ზონაში, მიუხედავად იმისა რომ ნულოვანი მიმდევრობის დენი მიმართულია სალტეებიდან ელექტროგადამცემი ხაზისაკენ. შესაბამისად ანალოგიური პრინციპებით არის მოწყობილი სხვა დანარჩენი ელექტროგადამცემი ხაზების დაცვებიც.



ნახაზი 68. ერთფაზა მოკლე შერთვა ელექტროგადამცემ ხაზ „კარალეთი 1“-ზე

თავი 4. საშუალო ძაბვის ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი

4.1. აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალიან ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი

საშუალო ძაბვის იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში, ძალოვანი ტრანსფორმატორის ნეიტრალში აქტიური წინაღობის ჩართვა ზურუნველყოფს ერთფაზა დამიწების დროს გადამეტაბვების მკვეთრ შემცირებას და შესაძლებელს ხდის რელური დაცვის საიმედო, სელექტიურ და იმედიან მუშაობას

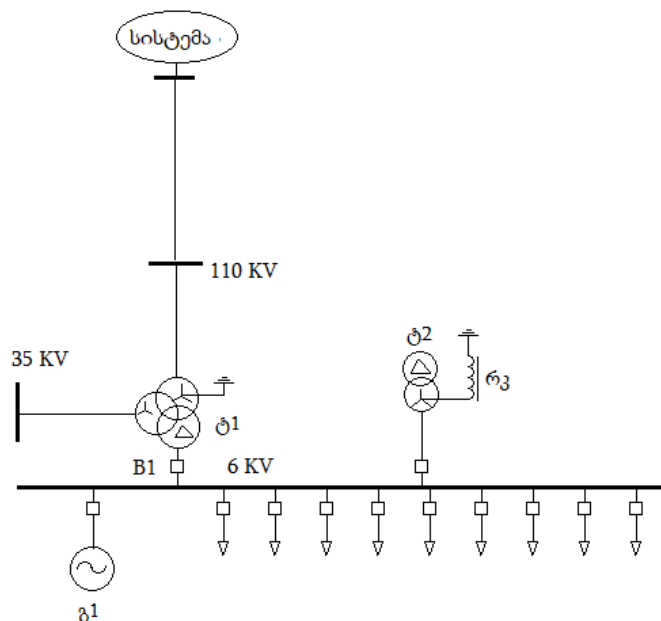
ზემოაღნიშნული აქტიური წინაღობის სიდიდე, ქსელის ნომინალური ძაბვის სიდიდიდან გამომდინარე შეირჩევა ისე, რომ ერთფაზა დამიწების დენი 100-200 ამპერის ფარგლებში მერყეობდეს. აღნიშნული განპირობებულია იმით, რომ რელურმა დაცვამ დააკმაყოფილოს მის მიმართ წაყენებული ოთხივე მოთხოვნა (იმედიანობა, სწრაფმოქმედება, სელექტიურობა და მგრძობიარობა), შეუფერხებლად.

საშუალო ძაბვის აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს ცნობილია, რომ აქტიურ წინაღობაში გადის დენი და ასევე შესაბამისი სიმძლავრე, რომელიც ტოლია $P = (3I_0)^2 R$. აღნიშნული სიმძლავრე ნაწილდება მთლიანი სისტემის გენერატორებს შორის, მათი საკუთარი და ურთიერთ წინაღობების შესაბამისად. მეტი თვალსაჩინოებისთვის მაგალითის სახით წარმოდგენილია

„ორთაჭალაჰესის“ ქვესადგურის 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველი სექციის სქემა (იხ. ნახ 71). აღნიშნულ სექციაზე მიერთებულია ერთი გენერატორი, 110/35/6 კვ ძაბვის სამგრაგნილა ძალოვანი ტრანსფორმატორი, რომელიც „ორთაჭალაჰესს“ აკავშირებს, 110 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზით ქვ/ს „ნავთლულთან“, ხოლო 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზებით ქვ/ს „სოლოლაკთან“. 6 კვ ძაბვის

გამანაწილებელი მოწყობილობიდან გადის 28 ელექტროგადამცემი ხაზი, საიდანაც იკვებება ისეთი ობიექტები, როგორებიცა: თბილისის მეტრო, სამების საკათედრო ტაძარი, სატელეფონო სადგური, საავადმყოფოები და ა.შ.

აღნიშნული 6 კვ ძაბვის საკაბელო ქსელის სიდიდან გამომდინარე ერთფაზა დამიწების დენი მოცემულ ქსელში 46 ა-ს აღწევს, რისი კომპენსირებისთვისაც „ორთაჭალჭესის“ 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციაზე დამონტაჟებულია/მიერთებულია 6/0.22 კვ ძაბვის და 630 კვა სიმძლავრის ძალოვანი ტრანსფორმატორი, რომლის 6 კვ ძაბვის გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად, ხოლო 0,22 კვ ძაბვის მხარე სამკუთხედად. 6 კვ ძაბვის მხარეს ნეიტრალში ჩართულია შესაბამისი რკალმქრობი კოჭა.



ნახაზი 69. „ორთაჭალჭესის“ 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციის ცალხაზოვანი სქემა

იმ შემთხვევაში, თუ რკალმქრობი კოჭის მაგივრად, ზემოაღნიშნული ქსელის ნეიტრალი დამიწდება 20 ომი აქტიური წინაღობით, მაშინ რომელიმე გამავალი საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზის ერთი ფაზის დამიწებისას, აღნიშნულ წინააღობაში და დაზიანებულ ფაზაში გაივლის

3Io=165ა დენი, რომელიც დამამიწებელ წინაღობაში შექმის 580 კილოვატ სიმძლავრეს.

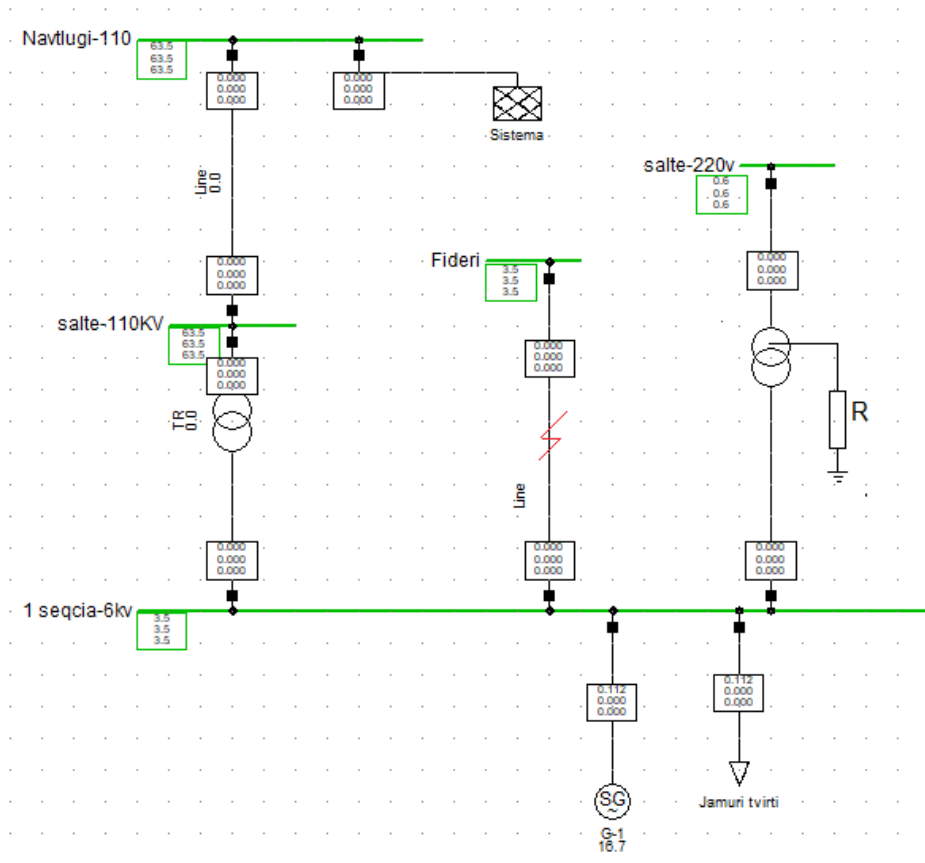
მიღებული სიმძლავრე დატვირთვის სახით გადანაწილებული იქნება ელექტროსისტემასა და გენერატორს შორის, კერძოდ გენერატორი დამატებით დაიტვირთება 26 კილოვატით, ხოლო სისტემა - 554 კილოვატით.

აღნიშნული გადანაწილებული დატვირთვები ცხადია, რომ, როგორც 6 მგვტ სიმძლავრის გენერატორის ბრუნთა რიცხვზე ვერ იქონიებს გავლენას, ისევე ვერ იქონებს ვერანაირ გავლენას ელექტროსისტემაზე.

„ორთაჭალქესზე“ განხორციელებულია ე.წ. „გამყოფი ავტომატიკა“, რაც გულისხმობს 6 კვ ძაბვის ქსელის ავტონომიურ რეჟიმში გადაყვანას, კერძოდ, თუ ელექტროსისტემაში მოხდა მნიშვნელოვანი შემფოთება, ან რაიმე სხვა მიზეზით სადგური გამოეყო სისტემას (შეწყდა კავშირი სისტემასთან), ზემოაღნიშნული ავტომატიკა გამორთავს B1 (იხ. ნახ 71) ამომრთველს და 6 კვ ძაბვის გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზების ნაწილს, იმ ლოგიკით, რომ დარჩენილი მომხმარებლების მიერ მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე, გენერატორის ტვირთთან მაქსიმალურად იყოს მიახლოებული, რის შემდეგაც დარჩენილი ქსელი გადადის ავტონომიურ რეჟიმში.

როდესაც „ორთაჭალქესიდან“ მკვებავი ქსელი ავტონომიურ რეჟიმშია და ამ დროს, რომელიმე გამავალ ელექტროგადამცემ ხაზზე მოხდება ერთფაზა მოკლე შერთვა მიწასთან (ერთი ფაზის დამიწება), ნეიტრალის დამამიწებელ აქტიურ წინაღობაში გაივლის 580 კილოვატი სიმძლავრე, რომელიც გენერატორის ბრუნთა რიცხვზე ნამდვილად იქონიებს გავლენას.

ზემოაღნიშნული მოვლენის შესასწავლად ჩატარდა კომპიუტერული მოდელირება DIgSilentPowerfactory-ის პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, რომლის საანგარიშო მოდელი (სქემა/ნახაზი) ნაჩვენებია ნახაზი 2-ზე.



ნახაზი 70. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში მოდელირებული „ორთაჭალჰესის“ 6 კვ ძაბვის ქსელში ერთი ფაზის დამიწება

ქვემოთ მოყვანილია მოდელირებისთვის გამოყენებული პარამეტრები.

1. გენერატორი:

$S=7\text{MVA}$; $P=6\text{ MW}$, $n=125\text{ 1/min}$; $U=6\text{KV}$, $\cos\phi=0.85$;

$X_d=1.3$; $X_q=0.9$; $X_d'=0.45$, $X_d''=0.3$, $T_d'=3\text{sec}$, $H=2.3\text{sec}$.

2. ძალოვანი ტრანსფორმატორი:

$S=63\text{ MVA}$ 110/35/6, $U_{h-m}=10.5\%$, $U_{h-l}=18\%$, $U_{m-l}=7\%$, $\Delta P_{xx}=63$

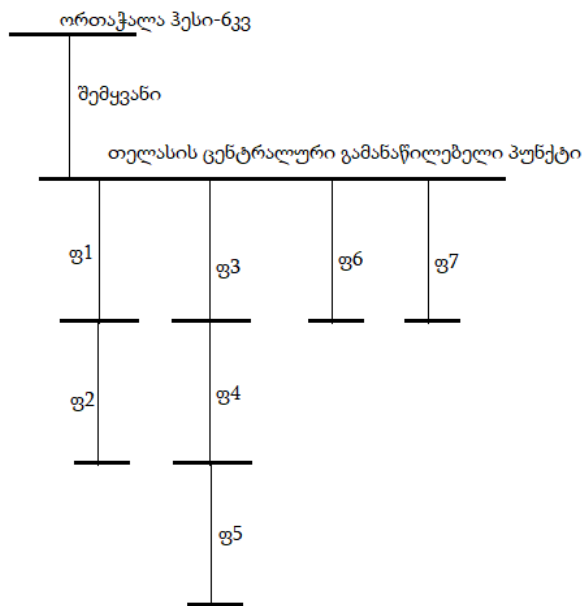
KW, $\Delta P_{cu}=290\text{ KW}$.

3. ძალოვანი ტრანსფორმატორი (რკალმერობი კოჭის):

$S=0.63\text{ MVA}$ 6/0,22, $U_{h-l}=10\%$,

წარმოდგენილ მოდელირებაში, ერთი ფაზის დამიწება გათვალისწინებულია 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობიდან გამავალ 6 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემ ხაზზე, რომლის პროგრამული დასახელებაცაა “Line”.

ერთი ფაზის დამიწების (ავარიის) დრო აღებულია 1,5 წამი, ვინაიდან დაცული იქნეს სარელეო დაცვის სელექტიურობის მოთხოვნა. უკანასკნელი გამოწვეულია იმით, რომ „ორთაჭალჭესის“ 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციიდან იკვებება სს „თელასის“ ცენტრალური გამანაწილებელი პუნქტი, საიდანაც გადის რამოდენიმე 6 კვ ძაბვის კაბელი (იხ. ნახ 73), რომლის წინაღობა ბევრად ნაკლებია ნეიტრალის დამამიწებელ აქტიური წინაღობაზე, აქედან გამომდინარე, როგორც წინა თავში აღვნიშნეთ, ერთი ფაზის დამიწების ადგილს არ აქვს გავლენა დამიწების დენის სიდიდეზე, შესაბამისად, რადიალურ-განშტოვებულ ქსელში, რელეური დაცვის სელექტიურობა მიიღწევა მხოლოდ დროის დანაყენებით (საფეხურეობრივად).



ნახაზი 71. სს „თელასის“ ცენტრალური გამანაწილებელი მოწყობილობის ცალხაზოვანი სქემა

ზემოაღნიშნულის დასამტკიცებლად, კერძოდ ნახაზი 3-ზე მოყვანილი რადიალურ-განშტოვებულ ქსელში ერთი ფაზის დამიწების ადგილმდებარეობის, დამიწების დენის სიდიდეზე გავლენის შესასწავლად, წარმოდგენილია მაგალითი:

წარმოდგენილი 6 კვ ძაბვის ქსელის დამიწების წინააღმდეგაა 20 ომი ხოლო ფაზური ძაბვა - $6000/1.73=3464$ ვ, ხოლო ქვემოთ მოცემულია 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის მეორე უჯრედიდან მკვებავი ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები:

1. „ფ3“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძეა 4 კმ, ხოლო მისი კაბელის პარამეტრებია $Rk3=1$, $Xk3=0.32$ ომი;
2. „ფ4“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძეა 3 კმ, ხოლო მისი კაბელის პარამეტრებია $Rk4=0.75$, $Xk4=0.24$ ომი;
3. „ფ5“ ელექტროგადამცემი ხაზის სიგრძეა 6 კმ, ხოლო მისი კაბელის პარამეტრებია $Rk=1.5$, $Xk5=0.484$ ომი.

ზემოთ მოყვანილი ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრების შესაბამისად განხილულია ერთფაზა დამიწების 3 წერტილი, მათ შორის, „ფ3“, „ფ4“ და „ფ6“, ელექტროგადამცემ ხაზებზე

- I. გაანგარიშებულია, როდესაც ერთფაზა დამიწება ხდება „ფ3“ ელექტროგადამცემი ხაზის ბოლოში, დამიწების დენი იქნება:

$$I_{K-ფ3} = \frac{3464}{(20+1+j0.32)} = |165| \text{ ა}$$

- II. გაანგარიშებულია, როდესაც ერთფაზა დამიწება ხდება „ფ4“ ელექტროგადამცემი ხაზის ბოლოში, დამიწების დენი იქნება:

$$I_{K-ფ4} = \frac{3464}{(20+1+0.75+j0.32+j0.24)} = |159| \text{ ა}$$

- III. გაანგარიშებულია, როდესაც ერთფაზა დამიწება ხდება „ფ5“ ელექტროგადამცემი ხაზის ბოლოში, დამიწების დენი იქნება:

$$I_{K-ფ5} = \frac{3464}{(23+j1.4)} = |150| \text{ ა}$$

როგორც ვხედავთ ერთფაზა დამიწების დენები თითქმის ერთნაირია, დავუბრუნდეთ ზემოაღნიშნული „ორთაქალკესიდან“ მკვებავი ქსელის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობისას ერთფაზა მოკლე შერთვის (ერთი ფაზის დამიწება) პროცესების შესწავლას DIgSilentPowerfactory-ის პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით (იხ. ნახ 72) „ორთაქალკესის“ გენერატორი აღჭურვილია ძაბვის და სიჩქარის

ავტომატური რეგულირების მოწყობილობებით, დაბვის ავტომატური რეგულატორის მოდელირება მოხდა AVR-SEXS სტანდარტული მოდელით, რომლის პარამეტრები მოცემულია ცხრილი 8-ში, ხოლო სიჩქარის ავტომატური რეგულატორის მოდელირება მოხდა “IEEEG3” სტანდარტული მოდელით რომლის პარამეტრები მოცემულია ცხრილი 9-ში.

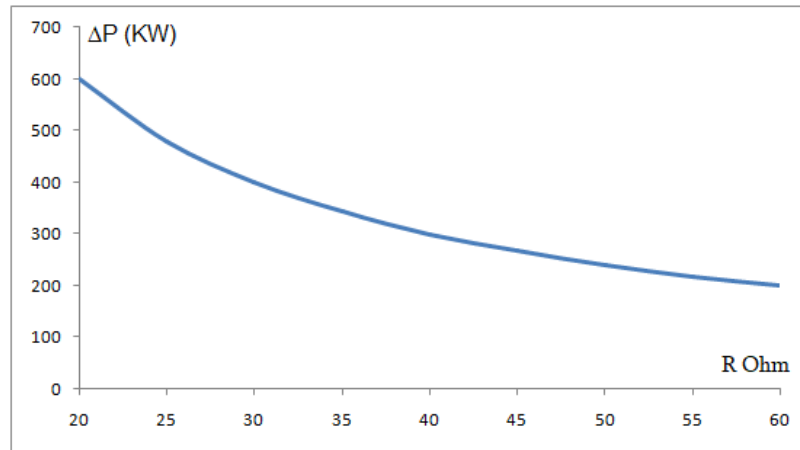
ცხრილი 8. AVR-SEXS გენერატორის დაბვის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობის პარამეტრები

	Parameter	
Tb	Filter Delay Time [s]	14.
Ta	Filter Derivative Time Constant [s]	3.
K	Controller Gain [p.u.]	85.
Te	Exciter Time Constant [s]	0.5
Emin	Controller Minimum Output [p.u.]	-3.
Emax	Controller Maximum Output [p.u.]	3.5

ცხრილი 9. გენერატორის სიჩქარის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობის IEEEG3 პარამეტრები

	Parameter	
Tg	Gate Servomotor Time Constant [s]	0.05
Tp	Pilot Valve Time Constant [s]	0.04
	Sigma Permanent Droop [p.u.]	0.04
	Delta Temporary Droop [p.u.]	0.2
Tr	Governor Time Constant [s]	10.
a11	Waterhammer 1th Factor [p.u.]	0.6
a13	Waterhammer 2th Factor [p.u.]	1.
a21	Waterhammer 3th Factor [p.u.]	1.5
a23	Waterhammer 4th Factor [p.u.]	1.
Tw	Water Starting Time [s]	0.75
PN	Turbine Rated Power(=0->PN=Pgnn) [Mw]	6.3
Uc	Valve Closing Time [p.u./s]	-0.1
Pmin	Minimum Gate Limit [p.u.]	0.
Uo	Valve Opening Time [p.u./s]	0.1
Pmax	Maximum Gate Limit [p.u.]	1.

ასევე, გაანგარიშდა აქტიურ წინაღობაში გამოყოფილი სიმძლავრის დამოკიდებულება ნეიტრალის დამამიწებლის წინაობის სიდიდეზე, რომელიც მოცემულია მრუდის სახით (იხ. ნახ 72).



ნახაზი 72. წინაღობაში გამოყოფილი სიმძლავრის დამოკიდებულება დამამიწებლის წინაობაზე

მოდელირება განხორციელდა სხვადასხვა შემთხვევებისთვის კერძოდ განხილულ იყო გენერატორის დატვირთვის სამი მნიშვნელობა 1 მგვტ, 2.4 მგვტ და 4 მგვტ, ნეიტრალის დამამიწებელი აქტიური წინაობის, სამი სიდიდის დროს, კერძოდ: I- 20 ომი, II- 25 ომი და III- 35 ომი.

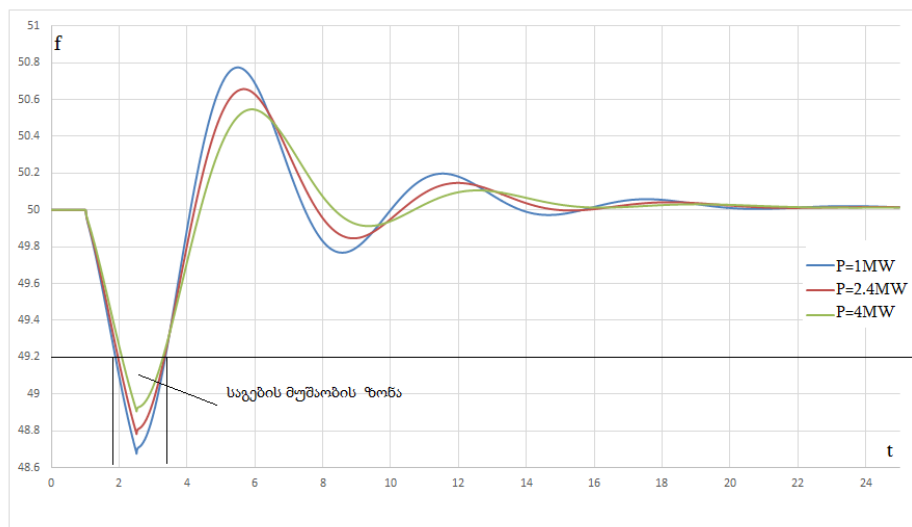
მოდელირების შედეგები:

I - შემთხვევა

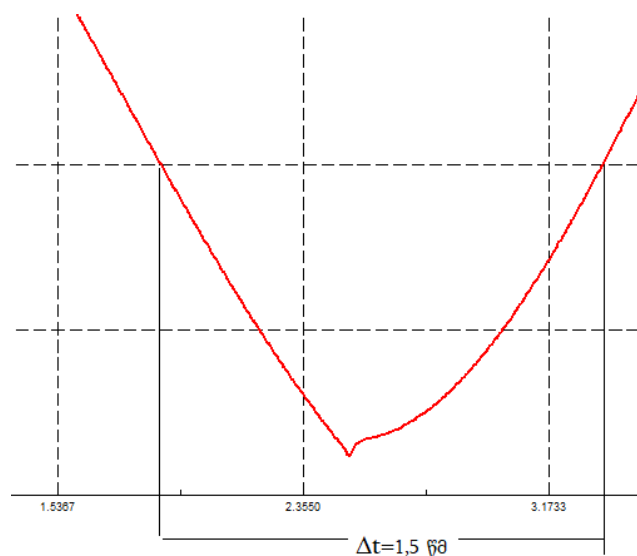
პირველი შემთხვევისთვის ნეიტრალის დამამიწებლის აქტიური წინაობა განისაზღვრა $R=20$ ომით, შესაბამისად ერთფაზა დამამიწების დენი $3I_0=160$ ამპერი.

ნახაზი 73-დან ჩანს, რომ ერთფაზა დამამიწების დროს, გენერატორის სამივე დატვირთვის შემთხვევაში, სიხშირის რყევა დიდ ფარგლებში იცვლება 48,7 ჰერციდან 50,8 ჰერცამდე. შემდეგ საკმაოდ სწრაფად მყარდება 50 ჰერცის დონეზე. სიხშირის შემცირებისას, გამოიკვეთა დროის ის მონაკვეთი, სადაც შესაძლებელია „სიხშირის ავტომატურმა განტვირთვამ“ (საგ) დაიწყოს მუშაობა.

ნახაზი 74-ზე ნაჩვენებია გრაფიკის ის მონაკვეთი, რომელიც მდებარეობს 49,2 ჰერცის ქვემოთ, ეს ის მონაკვეთია, რა დროსაც „საგ“-ები იწყებენ მუშაობას, ზოგადად „საგ“-ების დროის დანაყენია 0,3 წამი, ხოლო, როგორც გრაფიკიდან ირკვევა (იხ. ნახ 5), მოცემული პროცესი 1,5 წამს გრძელდება. მაშასადამე „საგ“-ები სიხშირის გამოსწორებამდე იმუშებენ, რაც გამოიწვევს დამატებით მომხმარებლების ელექტრომომარაგების შეზღუდვას.



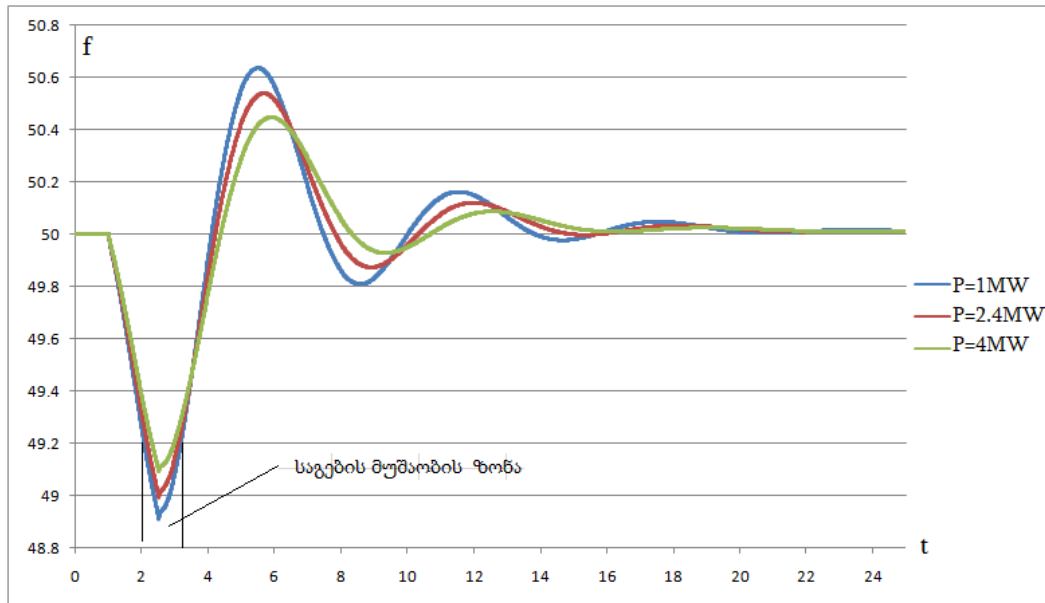
ნახაზი 73. მოდელირების შედეგი I ვარიანტისთვის



ნახაზი 74. სიხშირის გრაფიკის „საგ“-ების ამუშავების (49,2 ჰც-ზე დაბალი) მონაკვეთი.

II - შემთხვევა

მეორე შემთხვევისთვის ნეიტრალის დამამიწებლის აქტიური წინაღობა განისაზღვრა $R=25$ ომით



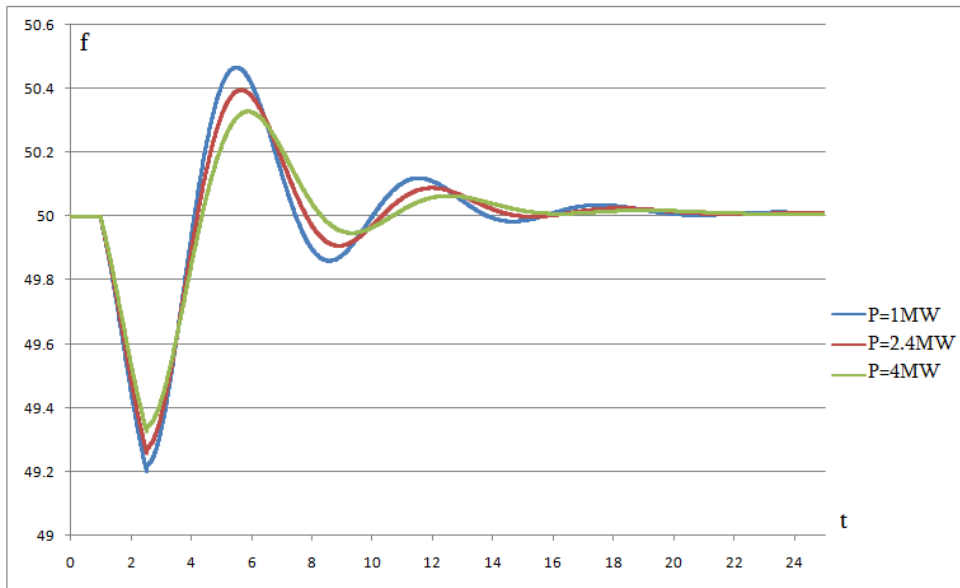
ნახაზი 75. მოდელირების შედეგი II ვარიანტისთვის

წარმოდგენილი შედეგების თანახმად, ერთფაზა დამიწების დროს, გენერატორის სამივე დატვირთვის შემთხვევაში, სიხშირე 1,5 წმ-ის განმავლობაში ისევე ექცევა „საგ“-ების მუშაობის ზონაში როგორც წინა შემთხვევაში, თუმცა იმაზე ნაკლებად ვიდრე ნეიტრალის $R=20$ ომი სიდიდის აქტიური წინაღობით დამიწების შემთხვევაში იყო.

III - შემთხვევა

მეორე შემთხვევისთვის ნეიტრალის დამამიწებლის აქტიური წინაღობა განისაზღვრა $R=35$ ომით.

მიღებული შედეგების თანახმად, ერთფაზა დამიწების დროს, გენერატორის სამივე დატვირთვის შემთხვევაში, სიხშირე არ ექცევა „საგ“-ების მუშაობის ზონაში (49,2 ჰც-ზე დაბლა) წინა შემთხვევებისაგან განსხვავებით.



ნახაზი 76. მოდელირების შედეგი III ვარიანტისთვის

4.2. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელის რეჟიმების ანალიზი

ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელი შეიცავს საჰაერო გადაცემის ხაზებს და ორ ჰიდროელექტროსადგურს, მათ შორის, „ბჟუჟა ჰესს“ და „ბახვი-3 ჰესს“. ელექტროსისტემატან აღნიშნულ ქსელს აკავშირებს 110/35 ძაბვის ძალოვანი ტრანსფორმატორი. ქსელის ცალხაზოვანი სქემა ნაჩვენებია ნახაზი 79-ზე, ხოლო არსებული ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები მოცემულია ცხრილი 10-ში.

ქვემოთ მოყვანილი ცხრილში მოცემული პარამეტრებიდან გამომდინარე 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების ჯამური ტევადობა 0,77 მიკროფარადის ტოლია, ხოლო ერთფაზა დამიწების დენი - 14,7 ამპერი

35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრების გარდა ასევე მოცემულია ჰიდროელექტროსადგურების ელექტრული პარამეტრები, მათ შორის:

I. ბჟუჟა ჰესი:

გენერატორის პარამეტრებია: $S=5,1$ მგვა; $\cos\phi_i=0,8$; $U=6,3$; $T'd=4,13$; $T''d=0,07$; $T'''d=0,08$; $H=3,15$; $X_d=1,05$; $X_q=0,62$; $X'd=0,39$; $X''d=0,27$.

T1 და T2 ძალოვანი ტრანსფორმატორების პარამეტრებია: $S=15$ მგვა; $U=6,3/35$ კვ; $U_{cc}=10\%$.

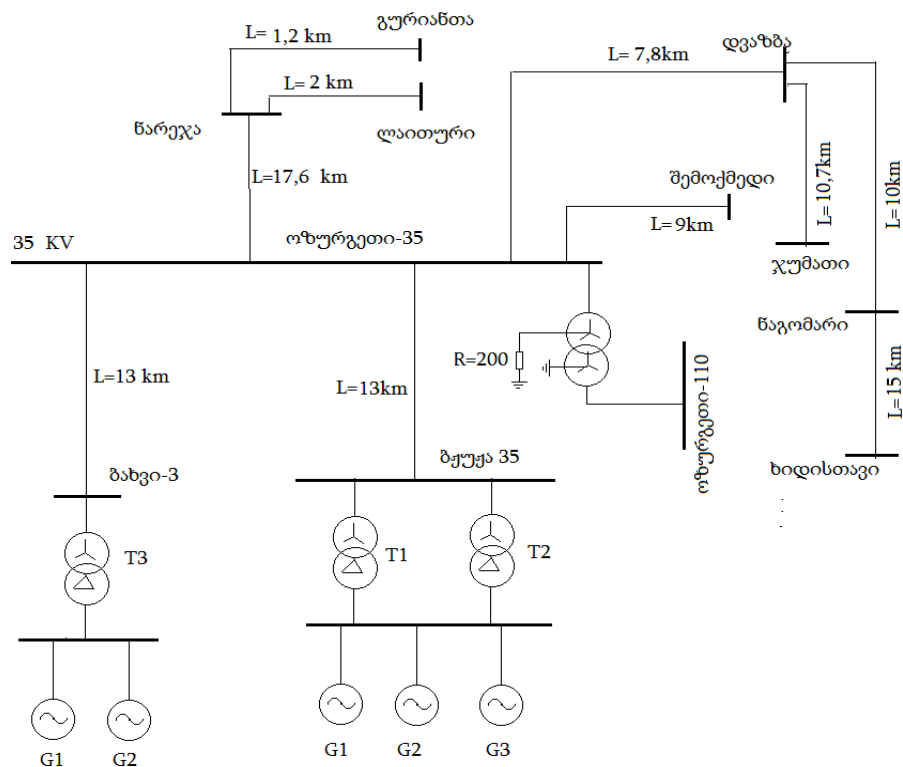
II. ბახვი-3 ჰესი:

გენერატორის პარამეტრებია: $S=4,38$ მგვა; $\cos \phi=0,8$; $U=10KV$; $T'd=4,21$; $T''d=0,05$; $T'''q=0,07$; $H=1,73$; $X_d=1,4$; $X_q=0,73$; $X'd=0,305$, $X''d=0,238$.

T3 ძალოვანი ტრანსფორმატორების პარამეტრებია: $S=10$ მგვა; $U=10/35$ კვ; $U_{cc}=10\%$.

ზემოაღნიშნულ ჰიდროელექტროსადგურებზე გენერატორების სიჩქარის და ძაბვის რეგულატორების მოდელები ისეთივეა, რაც „ორთაჭალაჰესის„ მოდელირებისას იქნა გამოყენებული (იხ. ცხრ. 8 და ცხრ. 9).

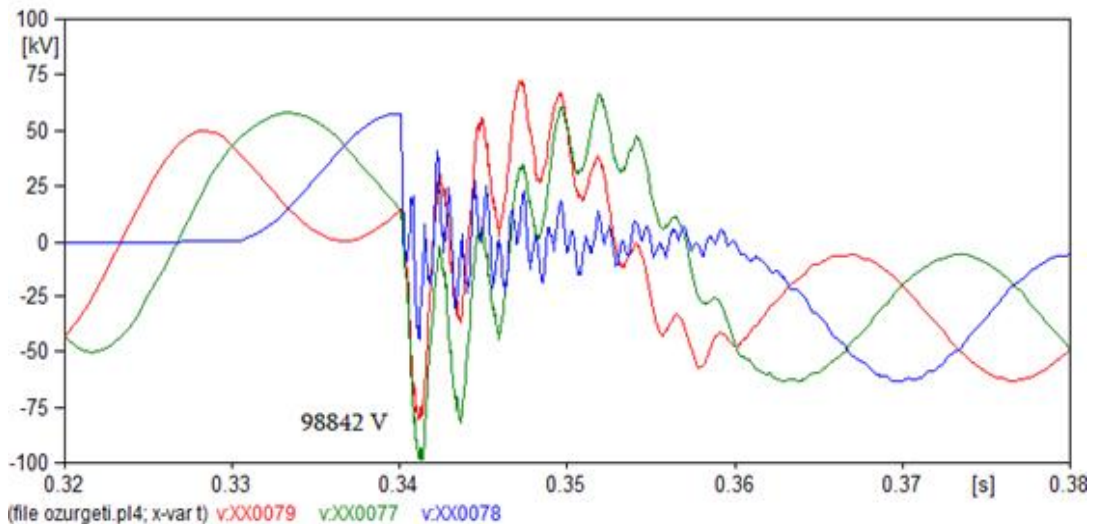
ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა დამიწების მოდელირება ჩატარდა ATPDraw პროგრამის მეშვეობით. დაზიანების ადგილას, ვინაიდან რკალი სუსტია და არამდგრადი, მისი ყოველი ანთება-ჩაქრობა იწვევს მნიშვნელოვან გადამეტაბვას (იხ. ნახ.78).



ნახაზი 77. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელის ცალხაზოვანი სქემა

ცხრილი 10. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების პარამეტრები

ხაზი	L კმ	ro ომი/კმ	xo ომი/კმ	bo (100km) 10-6 სიმ/კმ	R ომი	X ომი	B სიმ	C μ F
ბჟუჯა-ოზურგეთი	13	0.165	0.4	2.66	2.145	5.2	34.58	0.11
ოზურგეთი-შემოქმედი	9	0.42	0.4	2.66	3.78	3.6	23.94	0.08
ოზურგეთი-დვაბზუ	7.8	0.42	0.4	2.66	3.276	3.12	20.748	0.07
ოზურგეთი-ნარეჯა	17.6	0.3	0.42	2.66	5.28	7.392	46.816	0.15
ნარეჯა-ლაითური	2	0.3	0.42	2.66	0.6	0.84	5.32	0.02
ნარეჯა-გურიანთა	1.2	0.3	0.42	2.66	0.36	0.504	3.192	0.01
დვაბზა-ჯუმათი	10.7	0.3	0.42	2.66	3.21	4.494	28.462	0.09
დვაბზა-ნაგომარი	15	0.3	0.42	2.66	4.5	6.3	39.9	0.13
ნაგომარი-ხიდისთავი	15	0.3	0.42	2.66	4.5	6.3	39.9	0.13
ბაზვი 3 ოზურგეთი	13	0.3	0.42	2.66	3.9	5.46	34.58	0.11



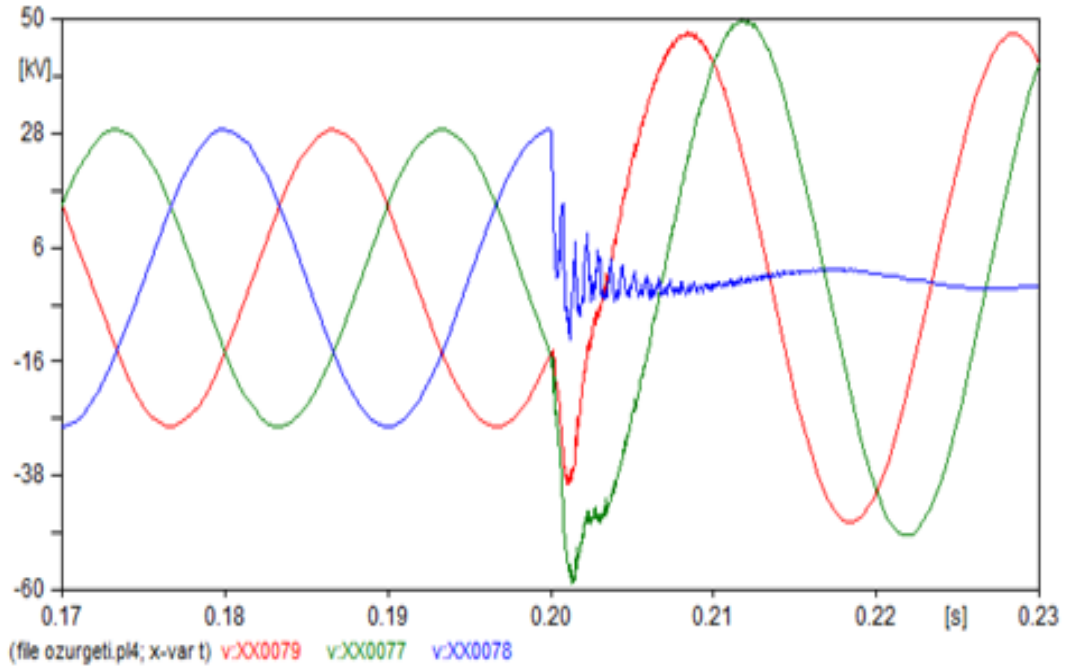
ნახაზი 78. ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელში გადამეტაბვის მოდელირება ATPDraw-ს მეშვეობით

მოდელირების შედეგად დადგინდა, რომ ერთფაზა დამიწებისას, ჯანსაღ ფაზებში ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა 98 კვ-ს აღწევს, რომლის ჯერადობაც იქნება - $K = \frac{98842}{28614} = 3,45$. მიღებული მნიშვნელობა ძალიან დიდია და იგი საშიშია დანარჩენი ფაზების და ქსელში დამონტაჟებული მოწყობილობების იზოლაციებისათვის.

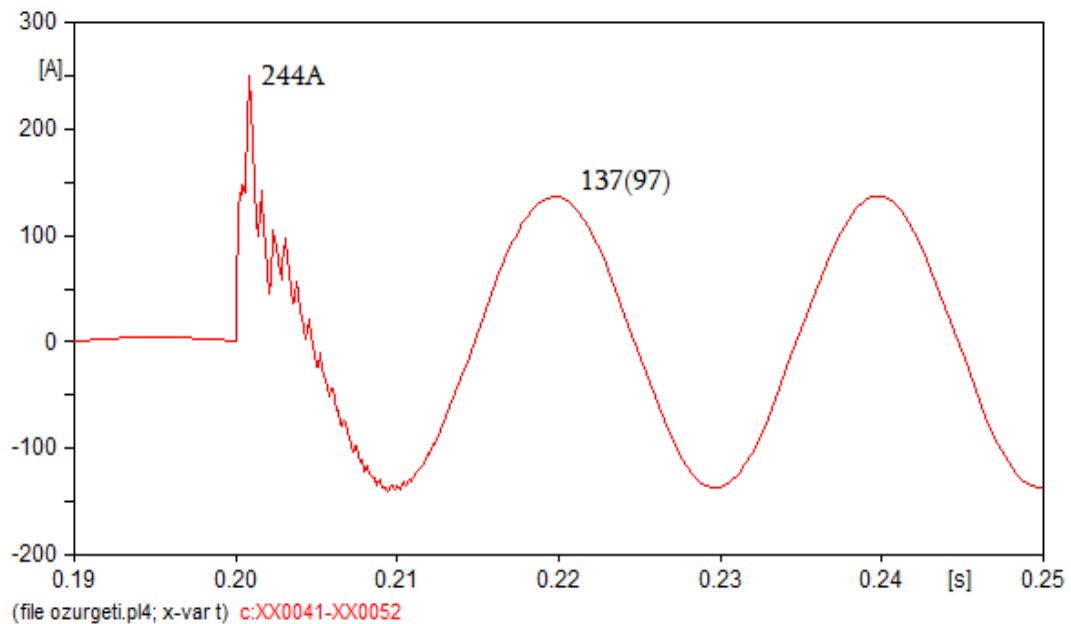
ზემოაღნიშნულ ქსელში გადამეტძაბვის შესამცირებლად და რელეური დაცვის საიმედოობის გაზრდის მიზნით, თუ ქვესადგურ „ოზურგეთში“ 110/35 კვ ძაბვის ძალოვანი ტრანსფორმატორის, 35 კვ ძაბვის მხარეს, ნეიტრალს დავამიწებთ 200 ომი აქტიური წინაღობით, მაშინ ერთერთი ფაზის ძაბვის ამპლიტუდა არ იქნება 60კვ ძაბვაზე მეტი, რომლის ეფექტური მნიშვნელობა იქნება - $U_{\text{ნომ}} = \frac{60}{1,42} = 42,4$ კვ (იხ. ნახ. 79), ხოლო გადამეტძაბვის კოეფიციენტი ამ შემთხვევაში $K = \frac{59760}{28614} = 2,08$. მიღებული სიდიდე ინდიკატორია იმისა, რომ აღნიშნული რეჟიმით მომუშავე ქსელში ერთფაზა დამიწებით მომხდარი გადამეტძაბვები ნაკლებად უქმნის საფრთხეს ელექტროგადამცემი ხაზებისა და ქსელში დამონტაჟებული მოწყობილობების იზოლაციებს.

ყველაფერი ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელის ნეიტრალის აქტიური წინაღობით დამიწება მნიშვნელოვნად ამცირებს გადამეტძაბვის სიდიდეს და იძლევა შესაძლებლობას მოვაწყოთ ნულოვანი მიმდევრობის, სრულფასოვანი, მაღალი საიმედოობის მქონე რელეური დაცვა, რაც აგრეთვე მოგვცემს შესაძლებლობას დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზი გამოვრთოთ მაქსიმალურად მოკლე დროში.

ნახაზი 80-ზე ნაჩვენებია, ოზურგეთის რაიონის 35 კვ ძაბვის ქსელის ნეიტრალის აქტიური წინაღობით დამიწების რეჟიმში მუშაობისას, ერთფაზა დამიწების ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი, კერძოდ დენი დაზიანებულ ფაზაში, რომლის ეფექტური მნიშვნელობა შეადგენს 97 ამპერს.



ნახაზი 79. აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელში გადამეტაბვის მოდელირება ATPDraw-ს მეშვეობით

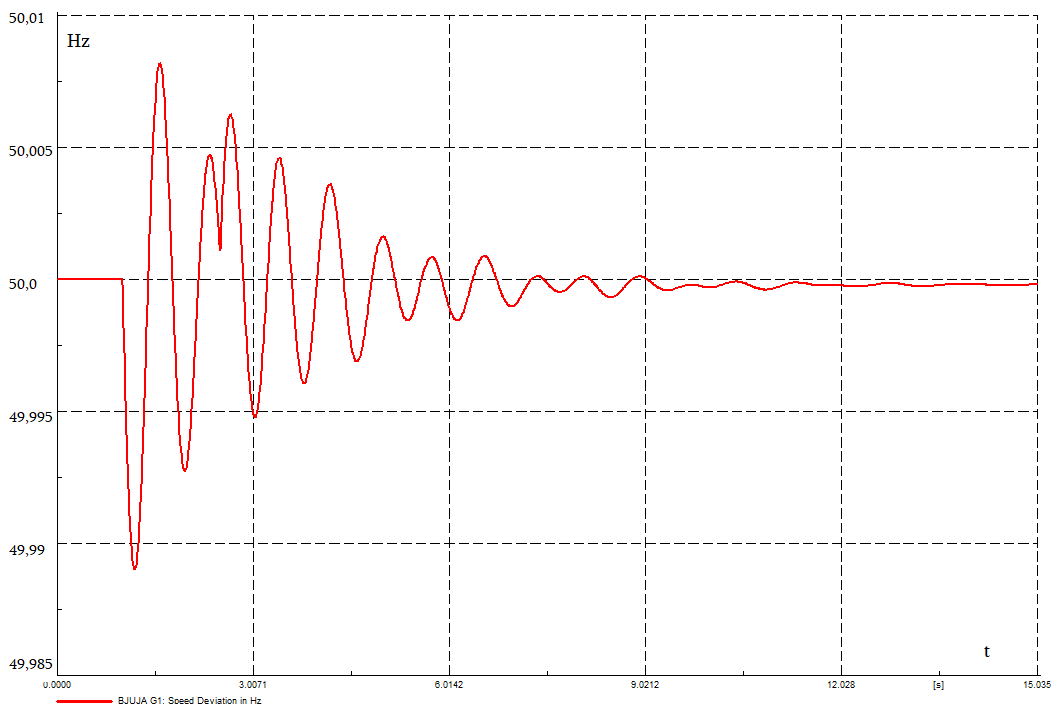


ნახაზი 80. დაზიანებულ ფაზაში გამავალი დენი ნეიტრალის აქტიური წინაღობით დამიწების დროს

როგორც მოცემული თავის დასაწყისში აღვნიშნეთ ერთი ფაზის დამიწების დროს, აქტიურ წინაღობაში დენის გასვლასთან ერთად

გამოიყოფა სიმძლავრე, რომელიც უდრის $P = I^2 * R = 97^2 * 200 = 1881800w$, ანუ 1,88 მგვტ. მიღებული სიმძლავრე ნაწილდება ელექტროსისტემის ყველა გენერატორს შორის და ცალკე აღებულ გენერატორზე მოდის ამ სიმძლავრის შემდეგი ნაწილები: „ბჟუჟაჰესი“ გ1-ის დატვირთვა გაიზარდა 0,076 მგვტ-თ, ამავე სიდიდით გაიზარდა გ2 და გ3 გენერატორების დატვირთვები, ასევე „ბახვი-3 ჰესის“ გ1 გენერატორის დატვირთვა გაიზარდა 0,078 მგვტ-ით და გ2 გენერატორის დატვირთვა 0,085 მგვტ-ით. დანარჩენი სიმძლავრე განაწილდა ელექტროსისტემაში შემავალ გენერატორებს შორის. აღსანიშნავია, რომ გენერატორის დატვირთვის ასეთი უმნიშვნელო ზრდა ვერ გამოიწვევს ბრუნთა რიცხვის შესამჩნევ ცვლილებას.

ზემოაღნიშნული პროცესების, კერძოდ ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული გარდამავალი პროცესის მოდელირება ჩატარდა პროგრამა DIgSilentPowerfactory-ს მეშვეობით, რომლის შედეგებიც მოცემულია ნახაზი 13-ზე („ბჟუჟაჰესის“ გ1 გენერატორის სიხშირის ცვლილება).

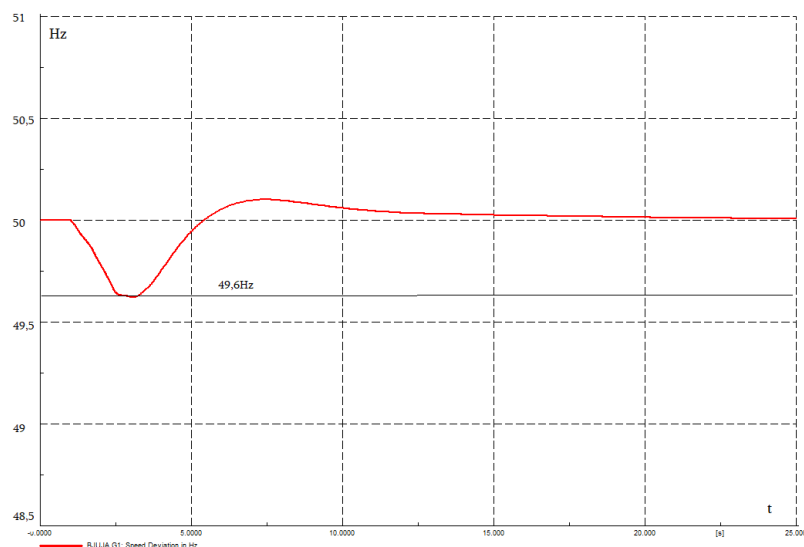


ნახაზი 81. „ბჟუჟაჰესის“ გ1 გენერატორის სიხშირის ცვლილება.

მიღებული შედეგებიდან ნათლად ჩანს, რომ, როდესაც აღნიშნული ქსელი მთლიან სისტემასთან მუშაობს პარალელურ რეჟიმში, სინქრონულად, ერთფაზა დამიწება ვერ ახდენს გავლენას გენერატორის ბრუნთარიცხვის ცვლილებაზე, კერძოდ სიხშირე პრაქტიკულად უცვლელია.

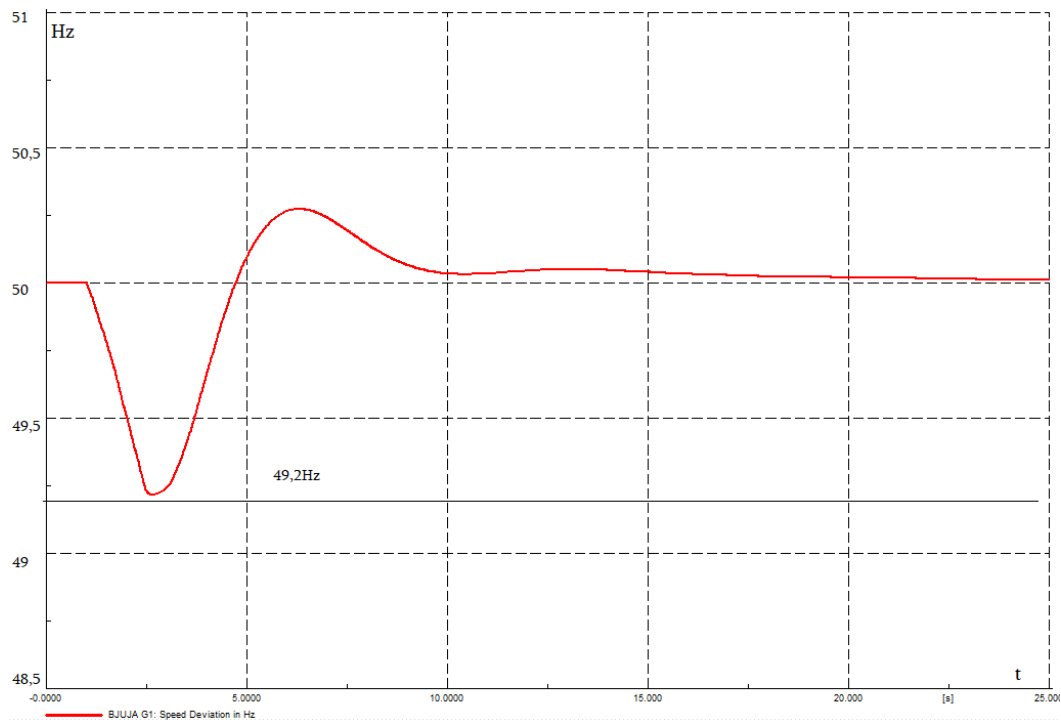
DIgSilentPowerfactory-ის მეშვეობით, ასევე ჩატარდა მეორე სცენარის მოდელირებაც, კერძოდ ოზურგეთის 110 კვ ძაბვის ქსელში ავარიის შედეგად 45 კვ ძაბვის ქსელი გამოეყო მთლიან სისტემას და იგი დარჩა ავტონომიურ რეჟიმში, რისი სრული ან ნაწილობრივი ელექტრომომარაგება ხორციელდება „ბჟუჟა ჰესიდან“ და „ბახვი-3 ჰესიდან“. მოცემულ შემთხვევაში, როდესაც 35 კვ ძაბვის ქსელში ხდება ერთი ფაზის დამიწება, აქტიურ წინაღობაში გამოყოფილი სიმძლავრე ნაწილდება მხოლოდ ზემოაღნიშნულ ელექტროსადგურების გენერატორებს შორის, რა დროსაც სიხშირის ცვლილება (გენერატორების ბრუნთა რიცხვის ცვლილება) უკვე შესამჩნევი ხდება (იხ. ნახ 84).

როგორც „ორთაჭალჰესის“ მაგალითზე განვმარტეთ, მოცემული გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა (რელეური დაცვის დროის დაყოვნება) განსაზღვრულია 1.5 წამით.



ნახაზი 82. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში.

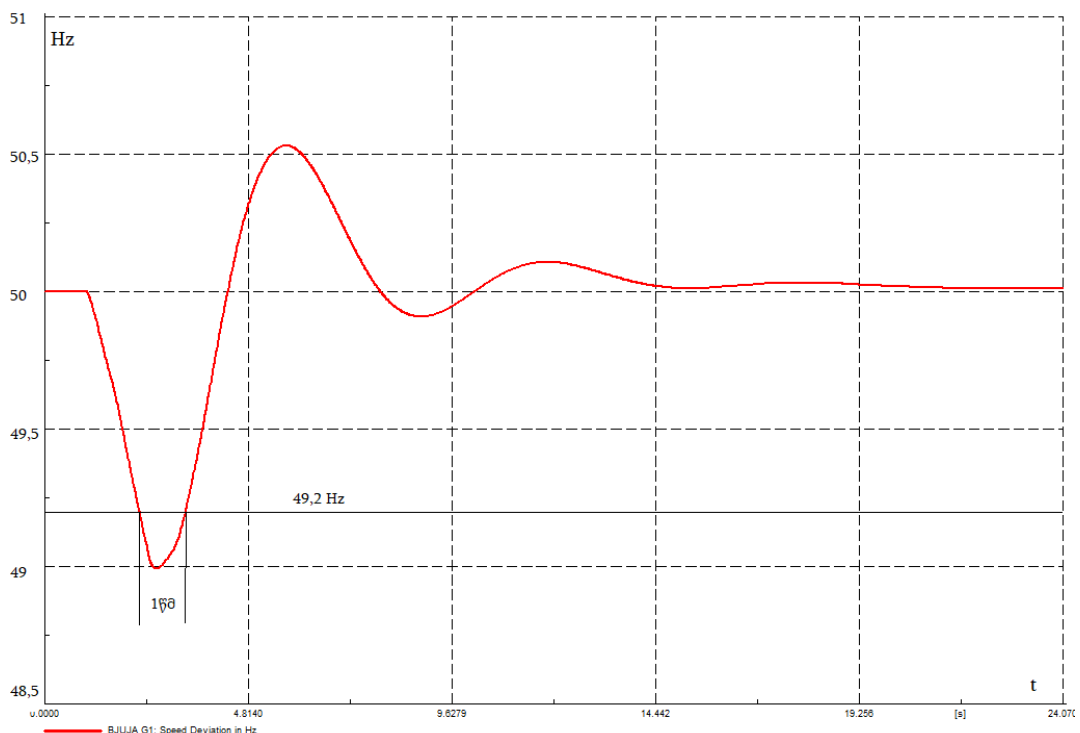
მოდელირების მესამე სცენარი ითვალისწინებდა მინიმალური დატვირთვების რეჟიმს, კერძოდ იმ რეჟიმს, როდესაც ჯამური ტვირთი 7,4 მგვტ შეადგენდა და შესაბამისად გენერატორებზე მოცემული დატვირთვა გადანაწილებული იყო შემდეგნაირად: „ბჟუჟა ჰესი“ გ1-ის დატვირთვა - 3,8 მგვტ, გ2 -ის დატვირთვა - 2,6 მგვტ და „ბახვი-3 ჰესის“ გ1-ის დატვირთვა - 1 მგვტ. მოცემული სცენარის მოდელირების შედეგების მიხედვით სიხშირის ცვლილების სურათი სულ სხვა გამოვიდა (იხ. ნახ. 85) აქვე აღსაღნიშნავია, რომ ერთფაზა დამიწების დროს დამამიწებელ წინაღობაში გამავალი დენი არ არის დამოკიდებული ქსელის მუშაობის რეჟიმზე და გენერატორების რაოდენობაზე.



ნახაზი 83. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში მინიმალური დატვირთვის დროს.

შემდეგი მოდელირების სცენარის მიხედვით, იგივე ქსელის მუშაობის რეჟიმი დარჩა უცვლელი, მხოლოდ შეიცვალა გენერატორების შემადგენლობა, კერძოდ გენერატორებზე 7,4 მგვტ დატვირთვა გადანაწილდა შემდეგნაირად: „ბჟუჟა ჰესი“ გ1-ის დატვირთვა - 3,8 მგვტ და „ბახვი-3 ჰესის“ გ1-ის დატვირთვა - 2 მგვტ, გ2 -ის დატვირთვა - 1,6 მგვტ,

ანუ წინა შემთხვევაში „ბჟუჟა ჰესზე“ მუშაობდა ორი გენერატორი, ხოლო „ბახვი-3 ჰესზე“ ერთი, ახლა კი პირიქით „ბჟუჟა ჰესზე“ ერთი გენერატორი მუშაობს, ხოლო „ბახვი-3 ჰესზე“ ორი. მოცემული სცენარის მოდელირებამ კიდევ უფრო განსხვავებული შედეგები მოგვცა (იხ. ნახ 86). აქვე აღსანიშნავია, რომ ერთფაზა დამიწების ხანგრძლივობა, ისევე როგორც წინა ყველა შემთხვევაში გათვალისწინებულია 1,5 წამი.

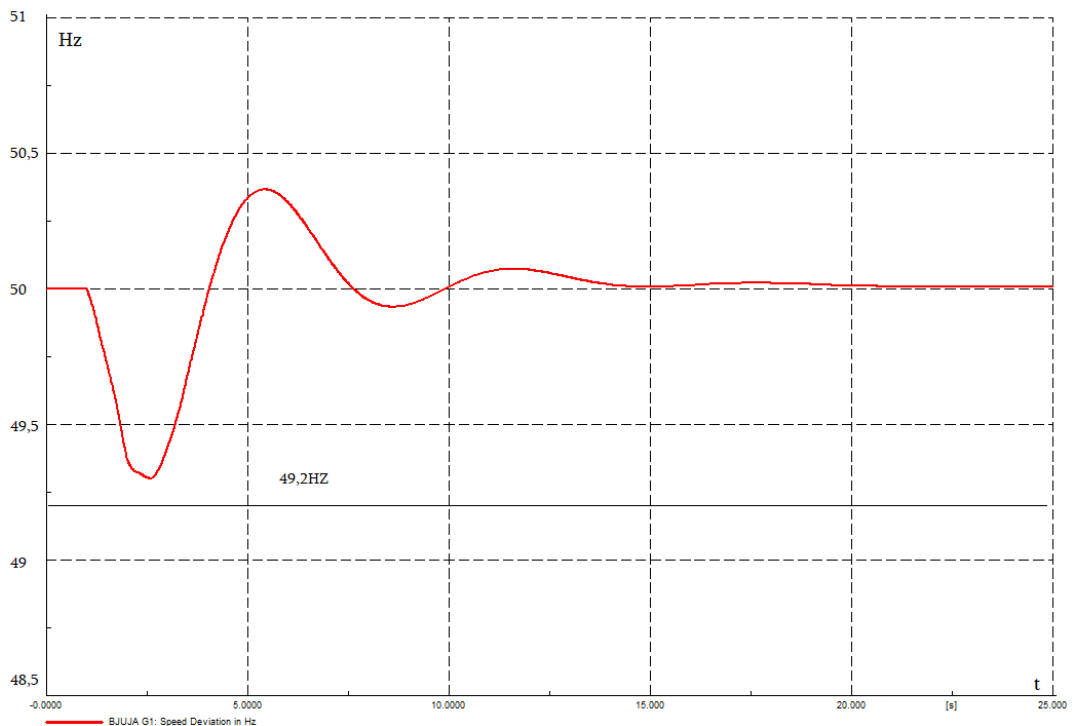


ნახაზი 84. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში მინიმალური დატვირთვის დროს (გენერატორებზე დატვირთვები გადანაწილებულია სხვანაირად).

მოცემული მოდელირების შედეგების მიხედვით, 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში, ერთფაზა დამიწების დროს, სიხშირე მცირდება 49 ჰერცამდე, რომელიც 1 წამის განმავლობაში რჩება 49,2 ჰერცზე დაბალი, ამასთან, როგორც ზევით აღვნიშნეთ სიხშირით ავტომატური განტვირთვის რეაქციები იწყებენ მუშაობას 49,2 ჰერცზე, 0,3 წამიანი დროის დაყოვნებით, აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ რეალური დაცვა (საგ) დაასწრებს, ერთფაზა დამიწების რეალურ დაცვას

მუშაობას, რაც ნიშნავს იმას, რომ მომხმარებლების ნაწილის შეუწყდება ელექტრომომარაგება.

ზემოაღნიშნული „საგ“-ების არასელექტიურად მუშაობის თავიდან ასარიდებლად საჭიროა ერთფაზა დამიწების რელეურმა დაცვამ იმუშაოს უფრო სწრაფად, ვიდრე „საგ“-ების დროის დანაყენია, ჩვენს შემთხვევაში, ეს რომ არ მოხდეს, საჭიროა დაზიანება გამოირთოს უფრო სწრაფად, მაგალითად 1 წამში, რომლის მოდელირების შედეგაც წარმოდგელია ნახაზი 87-ზე, სადაც ნათლად ჩანს, რომ სიხშირე არ ეცემა „საგ“-ების ამუშავების დონემდე.



ნახაზი 85. სიხშირის ცვლილება ოზურგეთის 35 კვ ძაბვის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ქსელში როდესაც ერთფაზა დამიწების რელეური დაცვის დროის დანაყენებია 1 წამი

დასკვნა

1. დაუმიწებელ ნეიტრალიან (იზოლირებულ) ქსელში ერთი ფაზის დამიწებისას გართულებულია დაზიანების ადგილის ალოკაცია და მისი დროული აღმოფხვრა.
2. ელექტრული ქსელების პროექტირებისას მნიშვნელოვანი საკითხია ნეიტრალის დამიწების რეჟიმის სწორი შერჩევა, ვინაიდან ეს იძლევა საშუალებას თავიდან ავირიდოთ გადამეტაბვების და სწროად დავაგეგმაროდ რელეური დაცვა.
3. იზოლირებულნეიტრალიან ქსელებში, რქალმქრობი რეაქტორი ამცირებს დაზიანების წერტილში დენს, მაგრამ მცირე გავლენას ახდენს გადამეტაბვის ჯერადობაზე;
4. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში, ერთფაზა დამიწებისას დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზის დასადგენად, ქვესადგურის გამანაწილებელი მოწყობილობიდან გამავალი ხაზების რიგრიგობითი გამორთვა იწვევს მაღალი ჯერადობის გადამეტაბვებს;
5. საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის აქტიური წინაღობით დამიწების შემთხვევაში, მცირდება გადამეტაბვების ჯერადობა და ადვილდება რალეური დაცვის განხორციელება;
6. ნეიტრალის აქტიური წინაღობით დამიწებისას, შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვისაგან რელეური დაცვა შეიძლება განხორციელდეს ორი ვარიანტის შესაბამისად: ქსელის გაყოფით $3U_0$ და $3I_0$ ფაქტით ან $I_0=I_2$ ტოლობის პრინციპზე მომუშავე დაცვით;
7. ავტონომიურ იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ნეიტრალის დამიწების საკითხი ყველა კერძო შემთხვევაში არის ცალკე შესასწავლი, ვინაიდან აქტიური წინაღობით დამიწებამ შეიძლება გამოიწვიოს სიხშირის შემცირება ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Халилов Ф. Х., Евдокунин Г. А., Поляков В. С., и др. Под ред. Халилова Ф.Х., Евдокунина Г.А., Тажибаева А.И. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений. – СПбБ Петербургский энергетический институт повышения квалификации Министерства энергетики Российской Федерации, 2001, 216 с.
2. Bill Brown, P.E., Square D Engineering Services, System Grounding. - http://static.schneider-electric.us/assets/consultingengineer/appguidedocs/section6_0307.pdf
3. Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6-35 кВ Белорусской энергосистемы через резистор СТАНДАРТ ГПО «БЕЛЭНЕРГО» СТП 09110.20.187-09 РАЗРАБОТАН НИиПИ РУП «Белэнергосетьпроект» УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ указанием Государственного производственного объединения «Белэнерго» от 29.12.2009 г. № 63. Дата введения - 2010-03-01. ВВЕДЕН ВЗАМЕН Временных методических указаний по переводу сетей 6-35 кВ Белорусской энергосистемы с режима изолированной нейтрали на режим заземления нейтрали через резистор. – Минэнерго РБ, 2005.
4. Ширковец А., Сарин Л., Ильиных М., Шалин А. Резистивное заземление нейтрали в сетях 6-35 кВ с СПЭ-кабелями. Журнал "Новости Электротехники", 2008, №2(50).
5. РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87), ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОГО ТОКА ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-35 кВ. МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР. ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
6. Шабад М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ, Издание Петербургского энергетического института повышения квалификации руководящих работников и специалистов. "Минженерго РФ", 2001 г.
7. Рыжкова Е. Н., Фомин М. А., Жармагамбетова М. С. О критериях выбора режима резистивного заземления нейтрали в сетях 6 - 35 кВ. Журнал «Промышленная Энергетика», 2013, № 11, стр. 23-30

8. Бруй С. Р., Ильиных М.В., Сарин Л. И., Хлопова А. Ю. Резисторы для заземления нейтралей в сетях 6-35 кВ. г. Новосибирск: «ООО ПНП Болид».
9. აფრიაშვილი თ. 69 კვ-მდე ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის ვარიანტების ანალიზი. „ენერჯია“, 2017, №4(84), 42-48 გვ.
10. აფრიაშვილი თ. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული გადამეტებების ანალიზი 35 კვ ძაბვის ქსელის მაგალითზე. „ენერჯია“, 2018, №4(88), 33-39 გვ.
11. აფრიაშვილი თ. 6-35 კვ ძაბვის ქსელებში მიწასთან ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები. „ინტელექტუალი“, 2019, №37, გვ. 163-167.
12. აფრიაშვილი თ. იზოლირებულ ნეიტრალიან ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი, სტუ სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, 2019 წ.