

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თორნიკე აფრიაშვილი

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ნეიტრალის ჩამიწების
საკითხები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

თბილისი

2019

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

ხელმძღვანელი: პროფესორი მ. რუხვაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2019 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი VIII, აუდიტორია
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. სადისერტაციო თემა ეხება საშუალო ძაბვის ქსელების ნეიტრალების 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, მასზე 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.

სამუშაოს მიზანი. სადირსეტაციო ნაშრომის მიზანია გაანალიზოს საქართველოს საშუალო ძაბვის გამანაწილებელი ქსელების ნეიტრალის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმები. ასევე, გამოიკვილოს 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 წინაღობაში 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-განშტოებული და შეკრული საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზები, საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზები და კომბინირებული ქსელები. ასევე, კვლევის ობიექტად გამოყენებულია საშუალო ძაბვის ავტონომიური სისტემები, რომლის ნეიტრალი დამიწებულია აქტიური წინაღობით, სადაც ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს აქტიურ წინაღობაში 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 წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალის მქონე შეკრულ საშუალო ძაბვის ქსელში რელეური დაცვის განხორციელების ორი ვარიანტი, კერძოდ პირველი ვარიანტის შემთხვევაში შეკრული ქსელი ჯერ გაიხსნება (გაიყოფა ორ ნაწილად) 3U₀ და 3I₀ 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 ელექტრომოწობილობებს 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.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე. ასევე, დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია და მონაწილეობა აქვს მიღებული სტუდენტთა 87-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში.

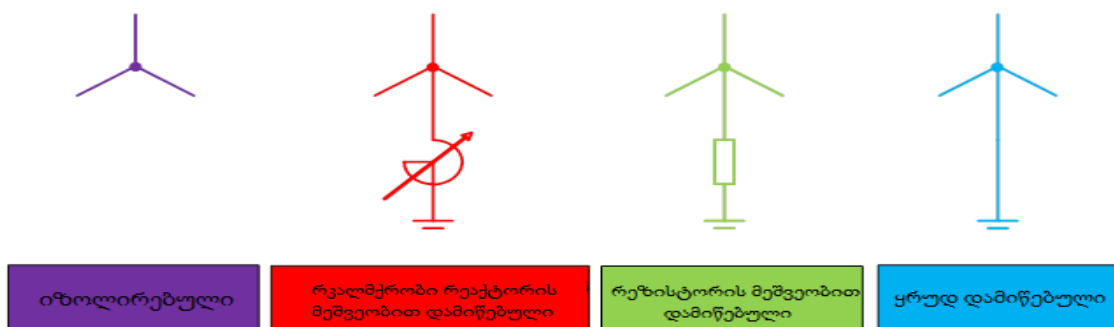
ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ. სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 123 გვერდს, მათ შორის, 10 ცხრილს და 85 ნახაზს. იგი შეიცავს ლიტერატურის მიმოხილვას, შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნასა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

თავი 1. საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმები

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 შემზღვევლების შერჩევას ელექტროენერჯის მომხმარებლების უწყვეტ ელექტრომომარაგებას ქვესადგურის დამიწების კონტურის დასაშვებ წინაღობას ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს მომუშავე პერსონალის უსაფრთხოებას.

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 (იხ. ნახ.1) კერძოდ: იზოლირებული (დაუმიწებელი), დამიწებული რკალმქრობი რეაქტორის მეშვეობით დამიწებული აქტიური წინაღობის (რეზისტორის) მეშვეობით და ყრუდ დამიწებული.



ნახაზი 1. საშუალო ძაბვის ქსელში ნეიტრალის დამიწების რეჟიმები

თუ დავაკვირდებით საშუალო ძაბვის ქსელების ექსპლუატაციის მსოფლიო გამოცდილებას კარგად ჩანს, რომ საქართველოსგან განსხვავებით, სადაც გამოიყენება ძირითადად იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი, სხვა ქვეყნებში ხშირად გამოიყენება ნეიტრალის დამიწება რეზისტორით ან რკალმქრობი რეაქტორით.

იზოლირებული ნეიტრალის მქონე 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, (რამდენიმე გამავალი ხაზის (ფიდერის) ერთდროული იზოლაციის დაზიანება), ძაბვის ტრანსფორმატორების დაზიანება, დაზიანების ადგილის აღმოჩენის სირთულე, სარელეო დაცვების არასწორი (არასელექტიური) მუშაობა ან მისი განხორციელების სირთულე, ერთფაზა მიწასთან ჩამიწების ხანგრძლივი (რამდენიმე 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.

რკალმქრობი რეაქტორით ჩამიწებული ნეიტრალის მქონე ქსელებში 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.

პროექტირების და ექსპლუატაციის არსებული პრაქტიკის გათვალისწინებით რკალმქრობი რეაქტორის სიმძლავრე ირჩევა ქსელის

პერსპექტიული განვითარების და მისი ტევადური დენის გათვალისწინებით.

საშუალო ძაბვის ქსელის ნეიტრალის რეზისტორით ჩამიწება შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად, რომლებიც ქმნიან აქტიურ დენს, კერძოდ:

ნეიტრალის მაღალმომიანი რეზისტორული დამიწება, რომლის ჯამური დენი დამიწების ადგილას არ აჭარბებს 10 ა-ს. როგორც წესი ერთფაზა ჩამიწება მიწასთან ასეთ რეჟიმის დროს არ ითიშება და სარელეო დაცვა მუშაობს სიგნალზე.

ნეიტრალის დაბალმომიანი რეზისტორული დამიწება, რომლის ჯამური დენი დამიწების ადგილას მეტია 10 ა-ზე და აღწევს ათეულობით და ასეულობით ამპერს, ასეთ შემთხვევაში საჭირო ხდება მინაერთის გამორთვა სელექტიური პირობების გათვალისწინებით, რაც შეიძლება მცირე დროის დაყოვნებით.

ნეიტრალის მაღალმომიანი წინაღობით 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: $I_C \leq 5 - 7 \text{ ა}, I_C \leq I_R$

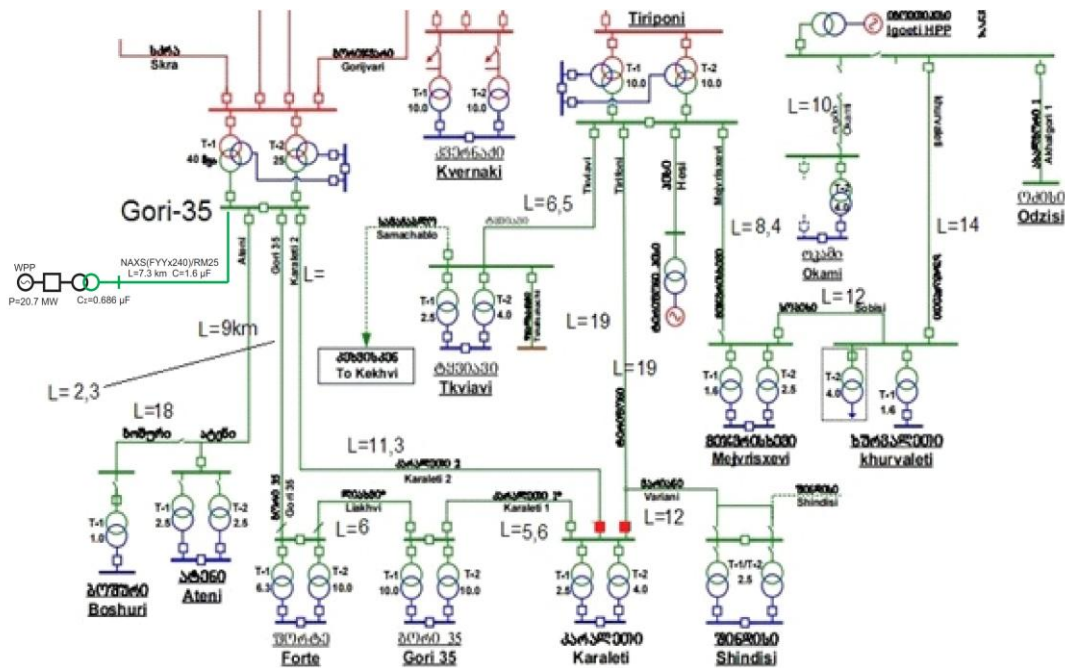
ჯამური დენი ერთი ფაზის დამიწების ადგილას იკრიბება ქსელის ტევადურ დენს დამატებული აქტიური დენი, რომელიც იქმნება ნეიტრალის დამიწების რეზისტორით. აღნიშნული აქტიური და ტევადური დენი ჯამდება ვექტორულად და დამრულები არიან ერთმანეთის მიმართ 90° -ით.

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.

რეზისტორის მეშვეობით ნეიტრალის დამიწების უპირატესობებია: მაღალმომიანი რეზისტორით დამიწებისას ჩამიწების ამორთვის დროის

სიდიდე, ქსელში რკალური გადამეტაბვების არარსებობა მარტივი სარელეო დაცვის განხორციელება, მზომი ძაბვის ტრანსფორმატორების, ფერორეზონანსული პროცესებისგან გამოწვეული დაზიანების არარსებობა, დაბალმიანი დამიწების შემთხვევაში მომსახურე პერსონალისა და სხვა ადამიანების დაზიანების ალბათობის შემცირება, ხოლო რეზისტორის მეშვეობით ნეიტრალის დამიწების ნაკლოვანებებია: დაბალმიანი რეზისტორით დამიწების დროს დაზიანების ადგილას გაზრდილი მოკლე შერთვის დენის სიდიდე. გაზრდილი მოკლე შერთვის დენის სწრაფი ამორთვა, რაც იწვევს ხშირ ელექტროენერჯის მომხმარებლების გამორთვას.

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული პროცესების შესასწავლად წარმოდგენილია ერთერთი მაგალითი, კერძოდ 35/10 კვ ძაბვის ქვესადგური „გორი 35“-ის სალტეზე გადამეტაბვა, 35 კვ ძაბვის ქსელის ერთერთ ელექტროგადამცემ ხაზზე ერთი ფაზის ჩამიწების დროს, სადაც მომხმარებლების გარდა მიერთებულია ქარის ელექტროსადგურის საკაბელო ქსელიც (იხ.ნახ. 2)

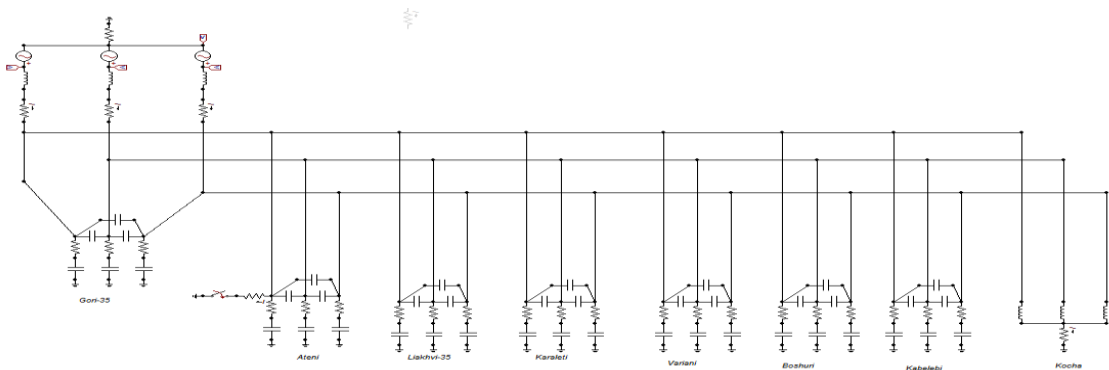


ნახაზი 2. „გორი 35“-ის 35 კვ ძაბვის ქსელი

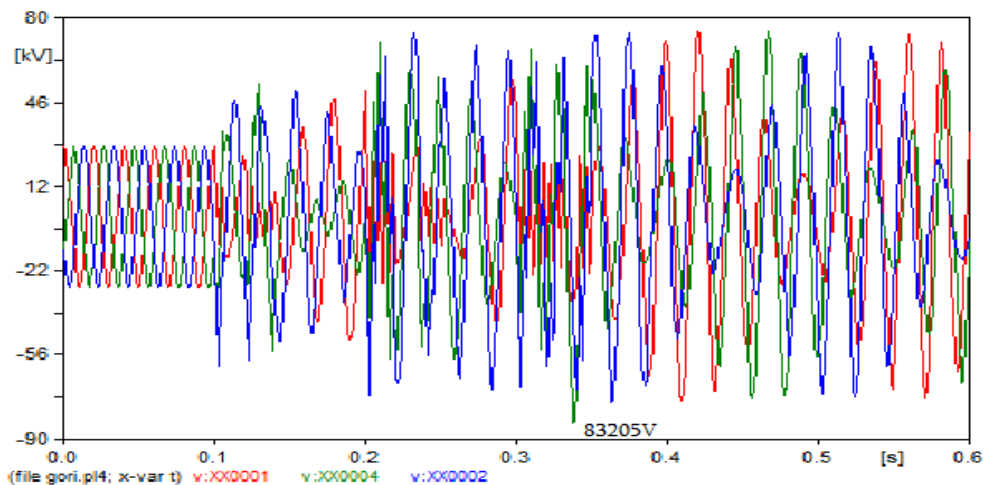
ქვ/ს „გორი 35“-ის ქსელის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების ჯამური ტევადობაა 0,469μF, ხოლო ქარის ელექტროსადგურის, რომელიც მიერთებულია საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზით, ჯამური ტევადობაა 2,286μF. ამრიგად 35 კვ ძაბვის ქსელის დამიწების დენი უდრის:

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

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.



ნახაზი 3. „გორი 35“-ის 35 კვ ძაბვის ქსელის მოდელი ATPDraw პროგრამაში



ნახაზი 4. 35 კვ ძაბვის ქსელში ერთფაზა ჩამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვა

35 კვ ძაბვის 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 4-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.

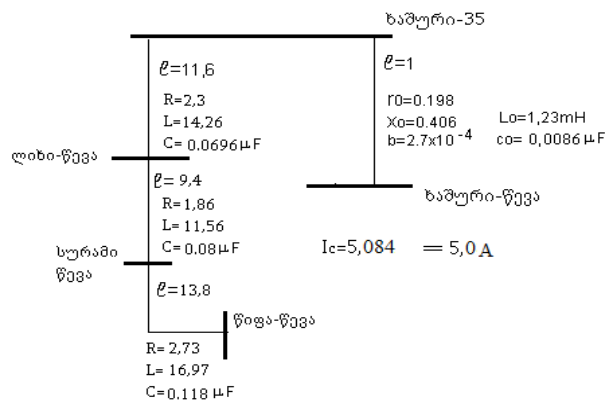
ერთფაზა დამიწების დროს ჯანმრთელი ფაზებში გაზრდილი ძაბვა იწვევს ძაბვის ტრანსფორმატორების გულარების მაგნიტურ გაჟღენთვას, რომელსაც თან სდევს ტრანსფორმატორის ინდუქტიური წინაღობის შემცირება და გრაგნილის დენი მკვეთრად იზრდება. როგორც წესი ძაბვის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი დახვეულია 0,25 მმ დიამეტრის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

თავი 2. საშუალო ძაბვის იზოლირებულ ნეიტრალიანი ქსელის მოდელირება

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 საჭაერო 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 საილუსტრაციოთაც 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 5. ქს „ხაშური“-ს 35 კვ ძაბვის ქსელი.

ნახაზი 5-ზე მოცემულ სქემაზე დატანილია საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზები, თავიანთი ელექტრული პარამეტრებით, რომელი პარამეტრების მეშვეობითაც შესაძლებელია ცნობილი ემპირიული ფორმულით დავადგინოთ ერთფაზა დამიწების დენი $I_e = 3 * U_F * 314 * C$

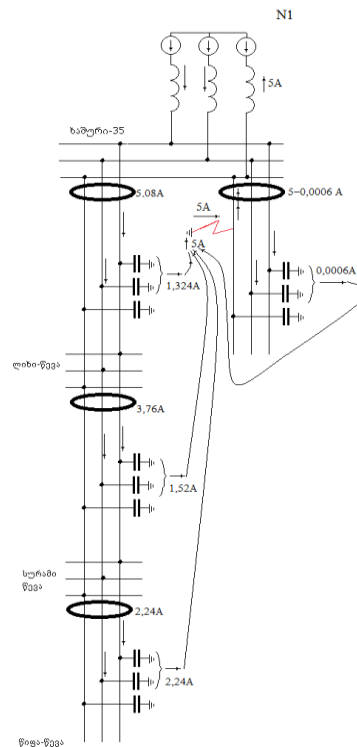
სადაც, $U_F = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20207$ ვ ფაზური ძაბვა; $C = 0,27$ მიკროფარადი,

ქსელის ჯამური ტევადობაა. $I_e = 3 * 20207 * 314 * 0,27 = 5$ 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 „ხაშური 35“-ის ქსელში განვიხილოთ ერთფაზა დამიწების ვარიანტები სხვადასხვა ელექტროგადამცემ ხაზებზე.



ნახაზი 6. ერთფაზა დამიწების მოდელირება 35 კვ ძაბვის მოკლე ეგზ-ზე.

I. ერთფაზა დამიწება მოხდა მოკლე ხაზზე, (იხ. ნახ. 6),

მოცემულ დროს ნულოვანი დენის ტრანსფორმატორებში გამავალი დენები იქნება:

- ელექტროგადამცემი ხაზი „ხაშური 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 გამოართოს, მაგრამ დენი იმდენად მცირეა, რომ ამის პრაქტიკული განხორციელება თითქმის შეუძლებელია.

II. ერთფაზა დამიწება მოხდა ელექტროგადამცემ ხაზზე “ხაშური“-‘ლიხი-წევა“:

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

III. ერთფაზა დამიწება მოხდა ელექტროგადამცემ ხაზზე „ლიხი-წევა“- „სურამი-წევა“ .

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.

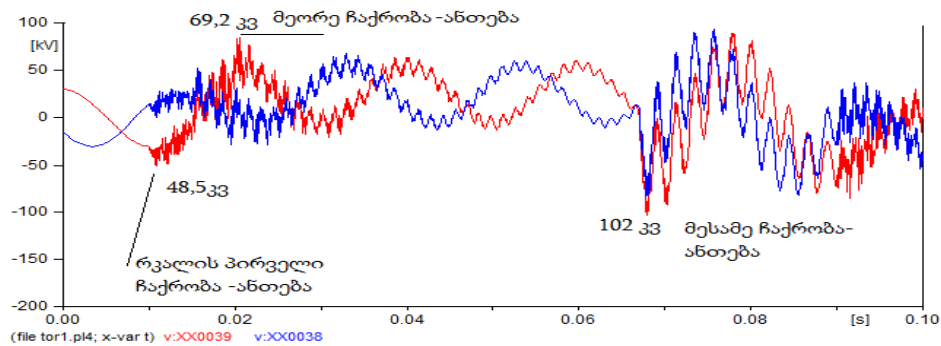
IV. ერთფაზა დამიწება მოხდა ელექტროგადამცემ ხაზზე „სურამი-წევა“- წიფა-წევა“.

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.

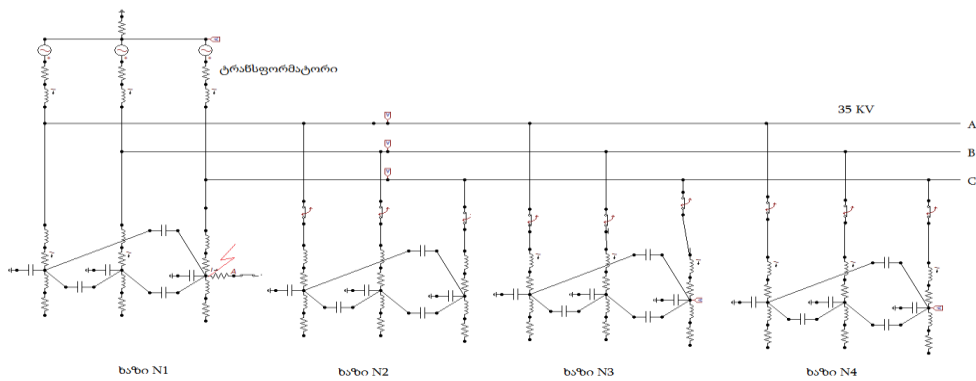
როგორც აღვნიშნეთ მცირე დენის დროს რკალი არამდგრადია და ხშირად „წყდება“, რომელიც ქსელში გადამეტაბვას იწვევს, რომელი მოვლენის შესასწავლადაც წარმოდგენილი სქემის მიხედვით განხორციელდა მოდელირება პროგრამა ATPDraw მეშვეობით.

ნახაზი 7-ზე მოყვანილია მოდელირების შედეგი, კერძოდ ერთფაზა დამიწებისას წარმოქმნილი რკალის სამჯერადი ანთება-ჩაქრობის დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა). ნორმალურ რეჟიმში ფაზის ძაბვის ამოლიტუდური მნიშვნელობა ტოლია $U_m = \frac{35000}{\sqrt{3}} * \sqrt{2} = 28577$ v. 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 მესამე 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.



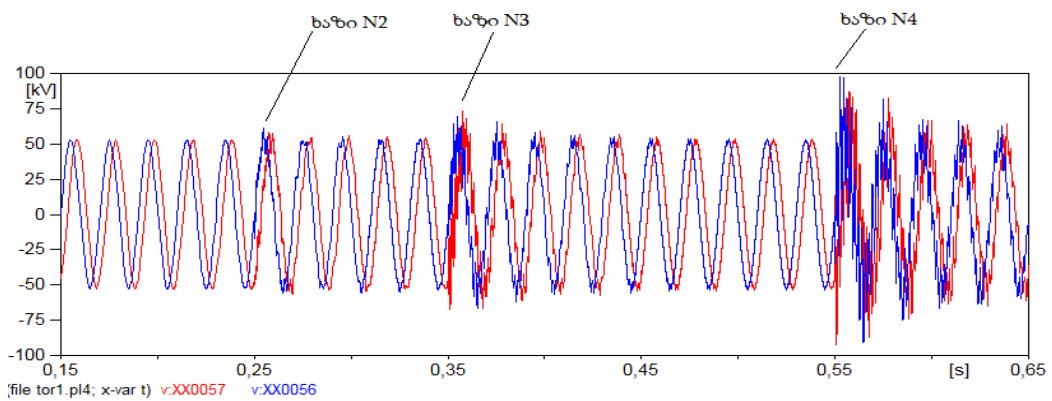
ნახაზი 7. ერთფაზა დამიწებისას წარმოქმნილი რკალის სამჯერადი ანთება-ჩაქრობის დროს ჯანმრთელი ფაზების ძაბვა (ამპლიტუდა).



ნახაზი 8. ATPDraw-ში მოდელირებული ქვესადგური ოთხი გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზით

ნაშრომში ასევე განხილულია ქვესადგურიდან რამდენიმე გამავალი ელექტროგადამცემი ხაზის შემთხვევაში ერთფაზა დამიწების აღმოჩენის

ყველაზე გავრცელებული მეთოდი კერძოდ, არსებული ელექტროგადამცემი ხაზების რიგრიგობით გამორთვა, აღნიშნული პროცესის დროს კერძოდ ელექტროგადამცემი ხაზების ჩართვა-გამორთვა დამიწებული ფაზის პირობებში იწვევს გადამეტაბვას, რომლის საჩვენებლადაც ATPDraw მეშვეობით მოდელირებულია ელექტროგადამცემი ხაზების რიგრიგობით გამორთვა-ჩართვა. მოდელი ნაჩვენებია ნახაზი 8-ზე. მოდელირებისას გათვალისწინებულია, რომ N1 ელექტროგადამცემ ხაზზე დამიწებულია ერთი ფაზა, ხოლო ხაზი N2, N3 და N4 რიგრიგობით გამოირთვება და ჩაირთვება. რეზულტატები ნაჩვენებია ნახაზი 9-ზე, სადაც გამოიკვეთა, რომ ჯანსაღი ელექტროგადამცემი ხაზების (N2, N3 და N4) ყოველი შემდგომი გამორთვა ჩართვის მერე ქვესადგურის სალტეზე იზრდება გადამეტაბვა.



ნახაზი 9. ATPDraw-ში მოდელირების შედეგი

მოდელირების შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ რამოდენიმე გამავალი ხაზის მქონე ქვესადგურებში ერთფაზა დამიწების მქონე ელექტროგადამცემი ხაზის აღმოსაჩენად ტრადიციული მეთოდები შეიძლება ძალიან საზიანო იყოს, რადგან მოცემულმა გადამეტაბვებმა შეიძლება საფრთხე შეუქმნას ქვესადგურში არსებულ ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებსა და საკაბელო მეურნეობას, ამიტომ პირველ რიგში გასათვალისწინებელია ასეთი ტიპის გადამეტაბვის შეზღუდვა ისეთი სარელეო დაცვის განხორციელებით, რომელიც მაქსიმალურად სწრაფად ამორთავს დაზიანებულ გამავალი ხაზის უჯრედს.

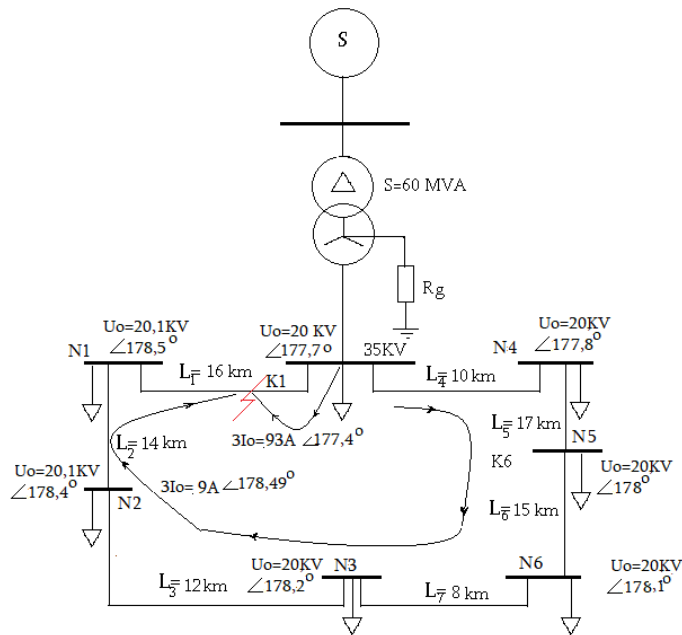
თავი 3. რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები

იზოლირებულ ნეიტრალიან 6(10)-35კვ ქსელებში ძველი, კიდევ საბჭოთა კავშირის დროს შემოღებული წესების თანახმად ერთფაზა მოკლე შერთვა არ წარმოადგენს ავარიას და სწრაფად ამორთვის მოთხოვნაც შესაბამისად არ წაეყენებოდა. რაც შეეხება საქართველოს 6-35 კვ ქსელს, როგორც წესი, იგი მუშაობს იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმში, რომლის ერთფაზა დამიწების დენი არ აღემატება 20-30 ამპერს, აღნიშნული დენის სიმცირის მიუხედავად იგი დიდ საფრთხეს უქმნის ელექტრომოწყობილობებს და ერთფაზა დამიწების ადგილას ახლოს მყოფი ადამიანებისა და ცხოველების სიცოცხლეს. მიუხედავად ამისა, გამანაწილებელი ქსელის ოპერატორების მიერ, ხშირ შემთხვევაში ხორციელდება აღნიშნული დაზიანების ამორთვა ხანგრძლივი დროის შემდეგ (დაზიანებული მინაერთის აღმოჩენაში დახარჯული დრო - შესაძლო აღმოჩენის დრო 2 სთ).

ასეთ ქსელებში ერთფაზა დამიწებისაგან ან მოკლე შერთვისაგან რელეური დაცვა უნდა იყოს სელექტიური, სწრაფმოქმედი, მგრძნობიარე და იმედიანი. რელეური დაცვის მგრძნობიარობის, სელექტიურობის და სწრაფმოქმედების უზრუნველყოფის საკითხი ნეიტრალის რეჟისტორით დამიწებისას განსხვავებულად დგას, რადგან ერთფაზა დამიწების დენი დიდ აქტიურ მდგენელს შეიცავს, რაც 6-35 კვ გამანაწილებელ ქსელებში მარტივი რელეური დაცვის მოწყობილობების გამოყენების საშუალებას იძლევა.

რეჟისტორით დამიწებულიანი ნეიტრალის მქონე შეკრულ ქსელებში ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობა, რადიალურ ქსელებთან შედარებით, უფრო რთულია და მოითხოვს განსხვავებულ მიდგომებს, კერძოდ, ნახაზ 10-ზე ნაჩვენებია შეკრული ქსელი, რომელიც იკვებება 110/35 კვ ძაბვის ქვესადგურიდან. ტრანსფორმატორის 35 კვ ძაბვის

გრაგნილის ნეიტრალი დამიწებულია 200 ომის ტოლი აქტიური წინაღობით.



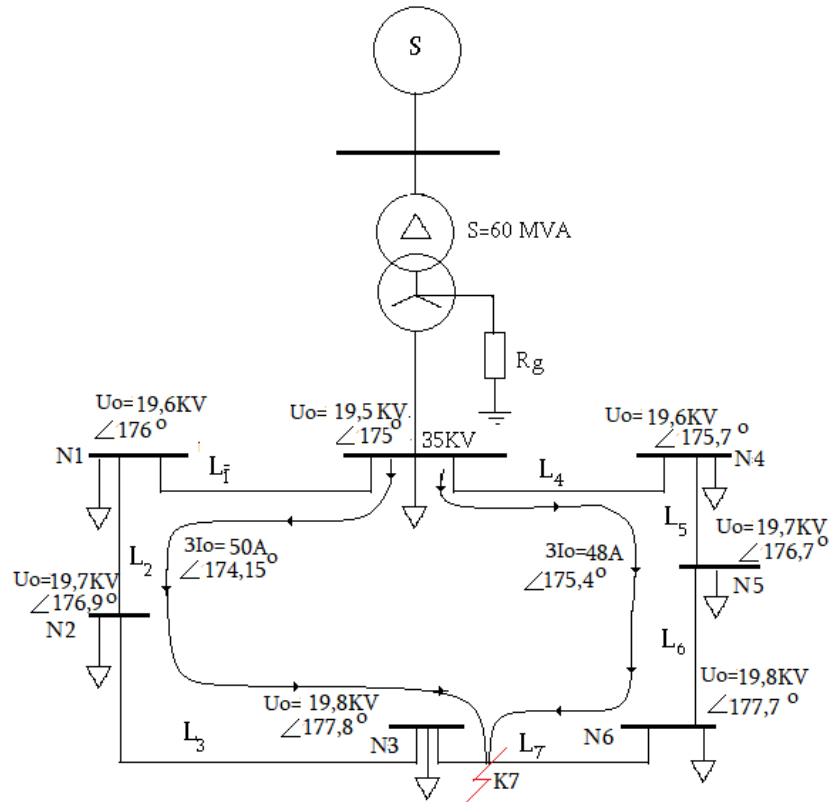
ნახაზი 10. შუკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის ანგარიში

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 არ იქნება სელექტიური, თუ მისი ამოქმედების დენი მოცემულ პირობებში იქნება 9 ამპერზე მეტი. გარდა ამისა, როდესაც ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება L7 ელექტროგადამცემ ხაზზე (იხ. ნახ. 11)

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. მაშასადამე მთლიან ქსელს შეუწყდება ელექტრომომარაგება. აქედან გამომდინარე შუკრულ ქსელებში ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის სელექტიური მუშაობის

პირობის გამოსავლენად ნახაზ 14-ზე მოყვანილი ქსელის შემთხვევისთვის განვიხილოთ ორი ვარიანტი:

ვარიანტი I:

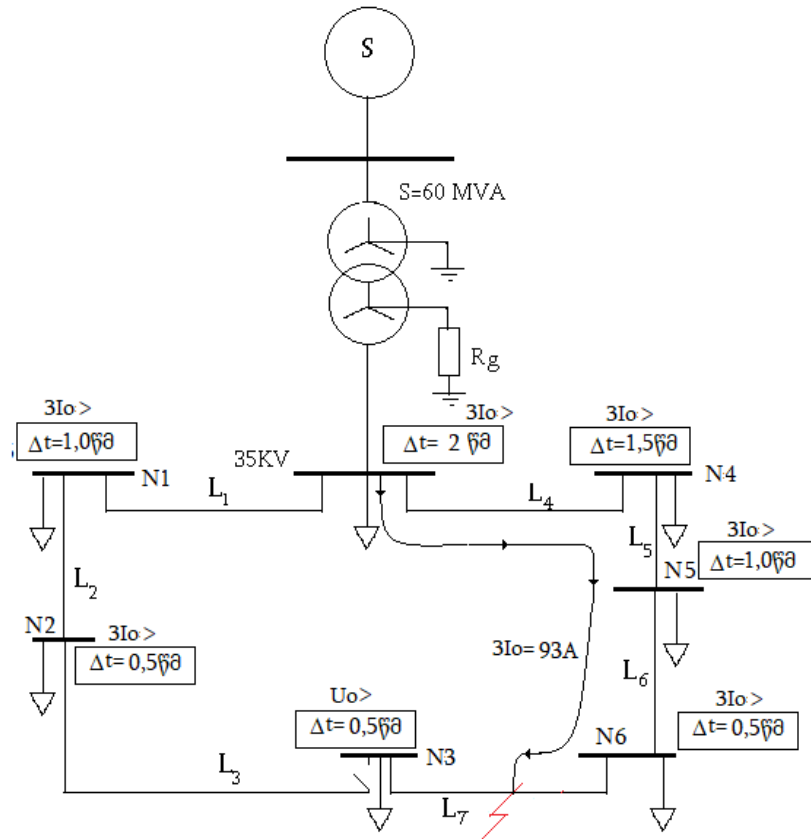


ნახაზი 11. შებენი ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის დენის ანგარიში L7 ეგზ-ზე

ერთფაზა მოკლე შერთვის გაჩენისთანავე, პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს, რომ ქსელში ყველა ქვესადგურის 35 კვ ძაბვის სალტეების 3 I_0 ძაბვა 19,5-19,8 კვ-ს ფარგლებში იქნება, თუ ამ ძაბვის მნიშვნელობას გამოვიყენებთ რომელიმე ელექტროგადამცემი ხაზის უჯრედის გამორთვისათვის, მივიღებთ, რომ პირობითად 0,5 წამის დაყოვნებით გამოვრთავთ L3 ელექტროგადამცემი ხაზის უჯრედს, რის შემდგომაც მოცემული შებენი ქსელის სქემა გაიყოფა ორ ნაწილად (იხ. ნახ.12) შებენი ქსელის ორად გაყოფის შემდგომ მივიღებთ რადიალურ ქსელს, სადაც L7 ელექტროგადამცემ ხაზზე მომხდარი ერთფაზა მოკლე შერთვის ამორთვა მოხდება სელექტიურად. თუმცა, იმ შემთხვევაში, თუ ერთფაზა მოკლე შერთვა მოხდება L4 ელექტროგადამცემ ხაზზე, მაშინ მისი

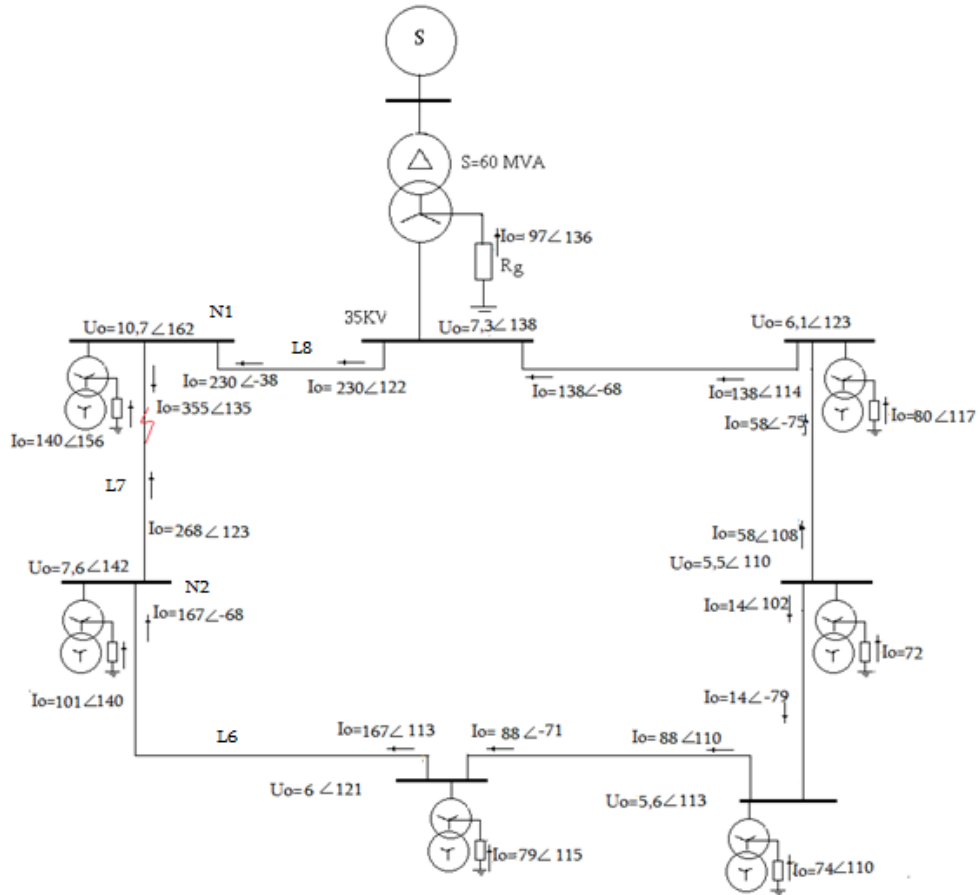
ამორთვით გამოირთვება L5, L6 და L7 ელექტროგადამცემი ხაზიც, რაც შეიძლება ამ ლოგიკით მომუშვე რელეური დაცვის ნაკლად ჩაითვალოს.

ვარიანტი II:



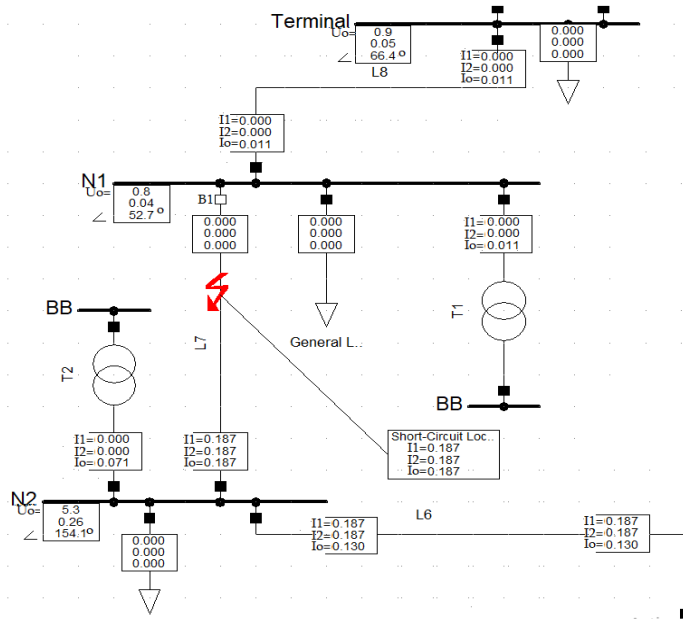
ნახაზი 12. შეკრულ ქსელის ორად გაყოფის სქემა

შეკრული ქსელებისათვის ერთფაზა დამიწების დაცვის განხორციელების მეორე ვარიანტად მოცემულია ის შემთხვევა, როდესაც ქსელის ყველა ქვესადგურის 35/10 კვ ტრანსფორმატორების ნეიტრალები 25 ომიანი აქტიური წინაღობითაა დამიწებული. ერთფაზა მოკლე შერთვა ხდება L7 ელექტროგადამცემ ხაზზე, რომლის ნულოვანი მიმდევრობის დენების განაწილებაც მოყვანილია ნახ. 13-ზე. ასეთ დროს მიჩნეულია, რომ N1 და N2 ქვესადგურების გამავალი ხაზის უჯრედებში განხორციელებულია ნულოვანი მიმდევრობის, მიმართული დენური დაცვები, რა დროსაც შესაძლებელი ხდება მხოლოდ აღნიშნული დაზიანებული ელექტროგადამცემი ხაზის სელექტიური გამორთვა.

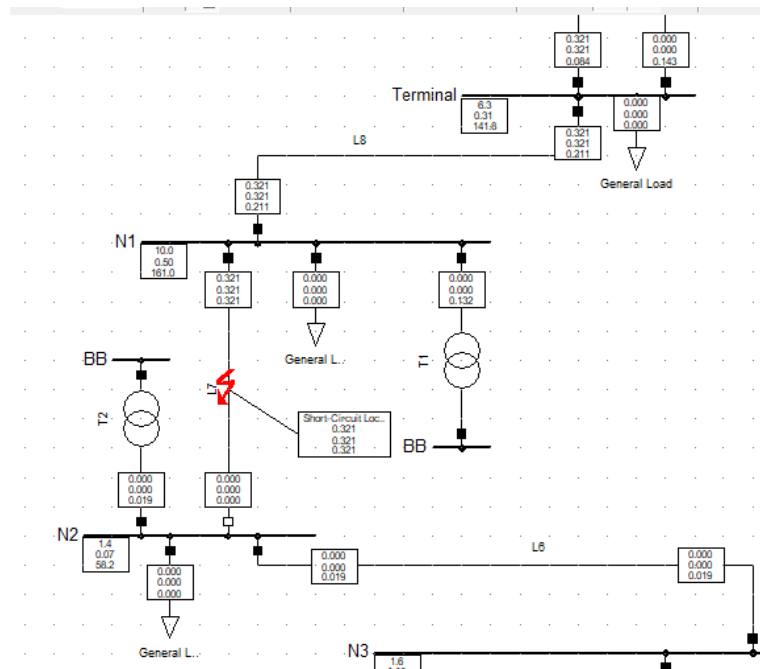


ნახაზი 13. შეკრულ ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვის ანგარიშის სქემა

ნახაზ 13-ზე მოყვანილი ქსელისთვის პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ის გამოყენებით ჩატარდა გაანგარიშებები, რომლის ნაწილი ნაჩვენებია ნახაზ 14-ზე. იმ შემთხვევაში, როცა N1 ქვესადგურიდან გამოირთვება L7 ელექტროგადამცემი ხაზი, ამომრთველი B1-ის მეშვეობით, ამ დროს ერთფაზა მოკლე შერთვის დენი მცირდება და ხდება N2 ქვესადგურის რელეური დაცვის ამოქმედების დენზე (245 ა) ნაკლები, კერძოდ N2 ქვესადგურში L7 გამავალი ხაზის უჯრედში გაივლის 187 ამპერის ტოლი დენი, შესაბამისად დაცვა არ იმუშავებს. ანალოგიური სურათი გვექნება, თუ L7 ელექტროგადამცემი ხაზი გამოირთვება N2 ქვესადგურის მხრიდან, ნახ. 6. ასეთი შემთხვევების დროს შეიძლება შეთავაზებული იყოს სხვა პრინციპზე მომუშავე დაცვა.



ნახაზი 14. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში გაანგარიშებული შეკრული ქსელი

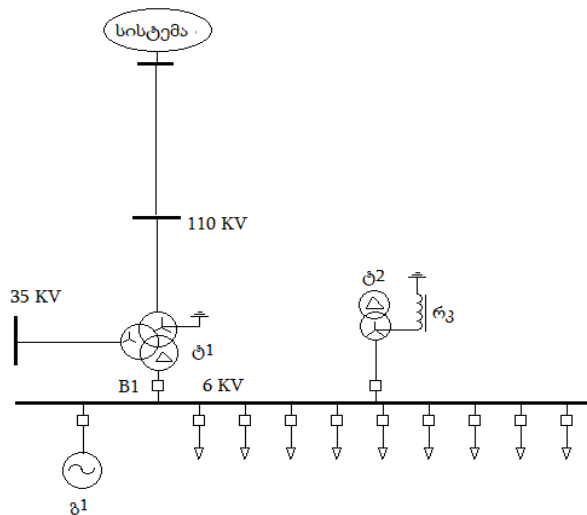


ნახაზი 15. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში გაანგარიშებული შეკრული ქსელი

დაზიანებული ხაზის ერთი ბოლოდან გამორთვის შემდეგ, მხოლოდ მასში ნულოვანი და უკუ მიმდევრობის გაუტოლდებიან ერთმანეთს. აქედან გამომდინარე შესაძლებელია რელეური დაცვა ამუშავდეს ამ ფაქტის გამოყენებით.

თავი 4. საშუალო ძაბვის ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი

საშუალო ძაბვის აქტიური წინაღობით დამიწებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთგვარა 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.



ნახაზი 16. „ორთაჭალაჰესის“ 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციის ცალხაზოვანი სქემა

„ორთაჭალაჰესის“ ქვესადგურის 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციაზე მიერთებულია ერთი გენერატორი, 110/35/6 კვ ძაბვის სამგრადნილა 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.

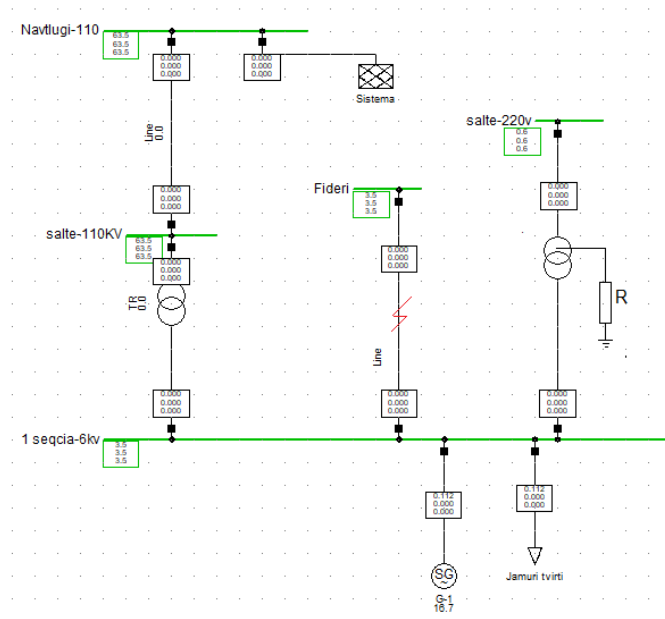
აღნიშნული 6 კვ ძაბვის საკაბელო ქსელის სიდიდან გამომდინარე ერთფაზა დამიწების დენი მოცემულ ქსელში 46 ა-ს აღწევს, რისი კომპენსირებისთვისაც „ორთაჭალჭესის“ 6 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის პირველ სექციაზე დამონტაჟებულია ნეიტრალის დამამიწებელი რკალმქრობი რეაქტორი, იმ შემთხვევაში, თუ რკალმქრობი რეაქტორის მაგივრად, ნეიტრალი დამიწდება 20 ომი აქტიური წინაღობით, მაშინ რომელიმე გამავალი საკაბელო ელექტროგადამცემი ხაზის ერთი ფაზის დამიწებისას, აღნიშნულ წინააღობაში და დაზიანებულ ფაზაში გაივლის $3I_0=165$ ა დენი, რომელიც დამამიწებელ წინააღობაში 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.

„ორთაჭალჭესზე“ განხორციელებულია ე.წ. „გამყოფი ავტომატიკა“, რაც გულისხმობს 6 კვ ძაბვის ქსელის ავტონომიურ რეჟიმში გადაყვანას, კერძოდ, თუ ელექტროსისტემაში მოხდა მნიშვნელოვანი შეშფოთება, ან რაიმე სხვა მიზეზით სადგური გამოეყო სისტემას (შეწყდა კავშირი სისტემასთან), ზემოაღნიშნული ავტომატიკა გამორთავს B1 (იხ. ნახ 20) 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 „ორთაჭალჭესიდან“ 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 17-ზე.



ნახაზი 17. პროგრამა DIgSILENT Powerfactor-ში მოდელირებული „ორთაჭალჭესის“ 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: $S=63\text{ MVA}$, $110/35/6$, $U_h-m=10.5\%$, $U_h-l=18\%$, $U_m-l=7\%$, $\Delta P_{xx}=63\text{ KW}$, $\Delta P_{cu}=290.\text{ KW}$.
3. ძალოვანი ტრანსფორმატორი (რკალმქრობი კოჭის): $S=0.63\text{ MVA}$, $6/0.22$, $U_h-l=10\%$,

ერთი ფაზის დამიწების (ავარიის) დრო აღებულია 1,5 წამი, ვინაიდან დაცული იქნეს სარელეო დაცვის სელექტიურობის მოთხოვნა.

„ორთაქალაქისიდან“ მკვებავი ქსელის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობისას ერთფაზა მოკლე შერთვის (ერთი ფაზის დამიწება) პროცესების შესწავლას DiGSilentPowerfactory-ის პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით „ორთაქალაქის“ გენერატორი აღჭურვილია ძაბვის და სიჩქარის ავტომატური რეგულირების მოწყობილობებით, ძაბვის ავტომატური რეგულატორის მოდელირება მოხდა AVR-SEXS სტანდარტული მოდელით, ხოლო სიჩქარის ავტომატური რეგულატორის მოდელირება მოხდა „IEEE3“ სტანდარტული მოდელით.

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

მოდელირების შედეგები:

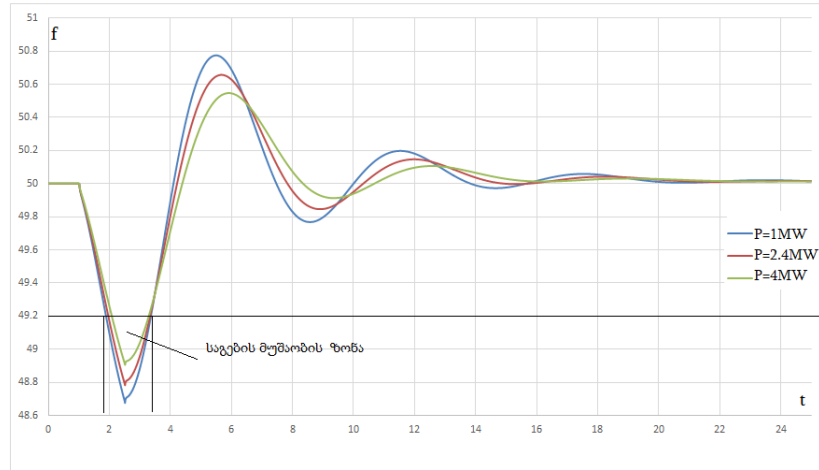
I - შემთხვევა

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

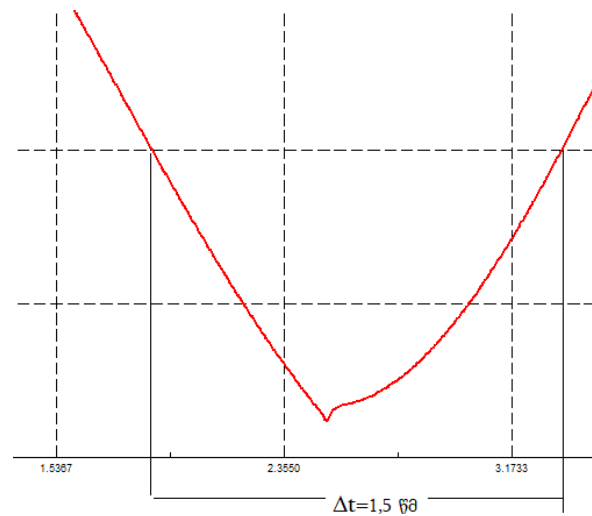
ნახაზი 18-დან ჩანს, რომ ერთფაზა დამიწების დროს, გენერატორის სამივე დატვირთვის შემთხვევაში, სიხშირის რყევა დიდ ფარგლებში იცვლება 48,7 ჰერციდან 50,8 ჰერცამდე. შემდეგ საკმაოდ სწრაფად მყარდება 50 ჰერცის დონეზე. სიხშირის შემცირებისას, გამოიკვეთა დროის ის მონაკვეთი, სადაც შესაძლებელია „სიხშირის ავტომატურმა განტვირთვამ“ (საგ) დაიწყოს მუშაობა.

ნახაზი 19-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 იმუშვებენ,

რაც გამოიწვევს დამატებით მომხმარებლების ელექტრომომარაგების შეზღუდვას.



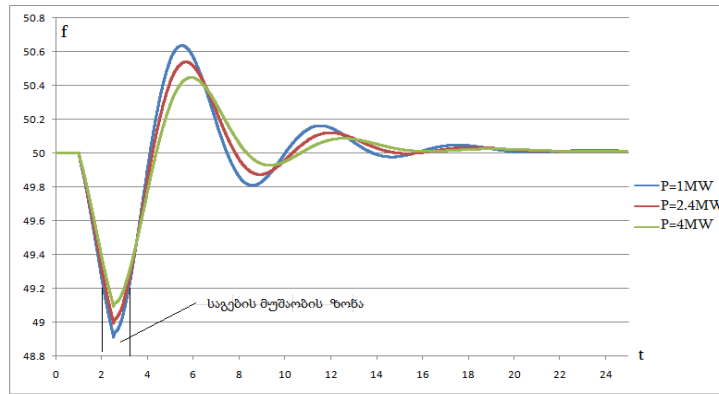
ნახაზი 18. მოდელირების შედეგი I ვარიანტისთვის



ნახაზი 19. სიხშირის გრაფიკის „საგ“-ების ამუშავების (49,2 ჰც-ზე დაბალი) მონაკვეთი.

II - შემთხვევა

მეორე შემთხვევისთვის ნეიტრალის დამამიწებლის ატიური წინაღობა განისაზღვრა $R=25$ ომით.



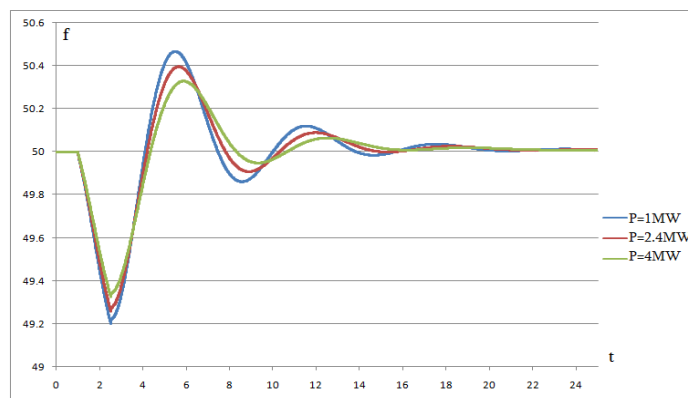
ნახაზი 20. მოდელირების შედეგი II ვარიანტისთვის

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 ატიური წინაღობა განისაზღვრა $R=35$ ომით.

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



ნახაზი 21. მოდელირების შედეგი III ვარიანტისთვის

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 ქსლებში ნეიტრალის დამიწების საკითხი ყველა კერძო შემთხვევაში არის ცალკე შესასწავლი, ვინაიდან აქტიური წინაღობით დამიწებამ შეიძლება გამოიწვიოს სიხშირის შემცირება ერთფაზა მოკლე შერთვის დროს.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. აფრიაშვილი თ. 69 კვ-მდე ძაბვის ქსელის ნეიტრალის მუშაობის ვარიანტების ანალიზი. „ენერჯია“, 2017, №4(84), 42-48 გვ.
2. აფრიაშვილი თ. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწებით გამოწვეული გადამეტაბვების ანალიზი 35 კვ ძაბვის ქსელის მაგალითზე. „ენერჯია“, 2018, №4(88), 33-39 გვ.
3. აფრიაშვილი თ. 6-35 კვ ძაბვის ქსელებში მიწასთან ერთფაზა მოკლე შერთვის რელეური დაცვის მოწყობის პრინციპები. „ინტელექტუალი“, 2019, №37, გვ. 163-167.
4. აფრიაშვილი თ. იზოლირებულ ნეიტრალიან ავტონომურ სისტემებში ნეიტრალის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი, სტუ სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, 2019 წ.

Resume

Dissertation topic is about real problems that exist today in High voltage transmission networks, such as deterioration of network voltage shape and regulation of voltage level.

It is necessary to underline the fact that both above-mentioned problem is quite extensive and may have many causal reasons, so its complex study within scope of one study is practically impossible. Therefore, within this topic only those private cases will be examined, when these problems are caused by the operation of the converter substations in the network.

For today, there are two main types of converter substations:

1. Traditional, current source converter;
2. Relatively modern, voltage source converter;

According to the manufacturer, each of them has a different commercial name, for example:

In specific cases current source converter might be referred to as a HVDC classic technology when the voltage source converter is often called HVDC light technology.

Nickname of voltage source converter follows from the fact that such technology is relatively "lighter" and flexible compared to its predecessor.

Scientific news of research topic can be considered the fact that in case of several converter substations operation, network voltage leaps and complex analysis of its shape distortion by modeling practically has not implemented. Because this requires a tremendous time and resource, above-mentioned research will be conducted by considering several specific scenarios.

The topic is quite relevant, Because both above described problems are becoming more and more large not only for those systems, where communication with neighboring systems is carried out through converter substations, but also where the renewable energy integration is going on intensively (Sun and wind energy). Renewable energy is one of the most important in the modern world for almost all electrical systems.

It is true that the renewable energy integration is very attractive in terms of ecology and technical performance simplicity, but it has a number of disadvantages, because their parallel operation with the network is not with a standard synchronization. Most of them are connected to the electrical system via converters. Such connection is already well known as cause of network voltage distortion and voltage bumps in case of variable voltage filters.

This research has great practical importance, because with the received results in modeling will be possible discussion about specifically which level Harmonic Competitors overlap is expected during parallel operation of various converter substations. Also, what reactivity power should be generated by a specific variable voltage filter at 50 Hz frequency, that the network voltage leaps caused by its switch be in limits in a different modes.

Chapter 1 refers to modeling and reviewing the characteristic scenarios, where was modeled 1000 MW converter classic type substation, which power change is made by changing the importance of constant power. The converter is connected to an equivalent network and network power at connection point is determined according to short circuit power and current value. Accordingly, Simulation of network enhancing or weakening scenario is possible by changing value of short circuit power and current.

Chapter 2 refers to spectral analysis of nodes voltages, where the 6-node electrical system was modeled, on which the high voltage direct current was connected, where was observed to change the power from 100 MW to 1000 MW and to show what the harmonic spectrum is for each node. It was revealed, that correlation between power and harmonic distortion is non-linear, which is expressed that with the increase capacity, there is a nonlinear change of distortion non-linear change distortion has a place.

Chapter 3 refers to frequency scanning of network nodes, where was discussed about network specific node. Namely, in this node modeling a wide range of frequency scanners were provided (Up to 50-2000 Hz) and revealed that specific "dangerous" frequencies harmonic sequences during which the resonance is expected in the mentioned node.

In chapter 4 we are joining the different size reactive elements in the simulated substations and disconnect variety discrete elements in sequence. Each disconnection is observed on the node voltage leaps. These leaks are compared by size defined by the network rules for the appropriate level of voltage in percentages. As a result we will show the magnitude of the reactive element, which at one time computation do not violate network rules.