

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მალხაზ ქვრივიშვილი

გადაძაბვის შემცირებისა და დაცვების სელექტივობის  
ამაღლების ლონისძიებების დამუშავება 6-10კვ ქსელში  
ერთფაზა დამიწების დროს

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, მალხაზ ქვრივიშვილი

თბილისი

2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მალხაზ ქვრივიშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „გადაძაბვის შემცირებისა და დაცვების სელექტივობის ამალღების ღონისძიებების დამუშავება 6-10კვ ქსელში ერთფაზა დამიწების დროს“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

\_\_\_\_\_ , 2019 წელი

ხელმძღვანელი: \_\_\_\_\_ პროფესორი კ. წერეთელი

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

**ავტორი:** მალხაზ ქვრივიშვილი

**თემის დასახელება:** „გადამაზვის შემცირებისა და დაცვების სელექტივობის ამალგების ღონისძიებების დამუშავება 6-10კვ ქსელში ერთფაზა დამიწების დროს“

**ფაკულტეტი:** ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

**ხარისხი:** აკადემიური დოქტორი

**სხდომა ჩატარდა:** \_\_\_\_\_, 2019 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი 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

ნებისმიერი განმანაწილებელი ქსელის შემადგენლობაში 6-10კვ საშუალო ძაბვის სტრუქტურას წამყვანი ადგილი უჭირავს. 6-10კვ ქსელის იმედიან ექსპლუატაციაზე ბევრად არის დამოკიდებული მომხმარებლის შეუფერხებელი მუშაობა.

დღეისათვის სს „თელასის“ 6-10კვ-ის განმანაწილებელი ქსელის საერთო სიგრძე შეადგენს 1600კმ-ს ხოლო ქვესადგურების რაოდენობა 1880-ის ტოლია. აღნიშნული ქსელის ექსპლუატაცია ხორციელდება ძირითადად იზოლირებული ნეიტრალიანი სქემით.

ასეთი რეჟიმით ქსელის ექსპლუატაციის ძირითად უარყოფით მხარეებს მიეკუთვნება:

შიდაქსელური გადაძაბვების მაღალი ჯერადობა, ორმაგი მოკლემშრთვების განვითარებისა და მოწყობილობის დაზიანების მაღალი ალბათობა.

ტევადური დენების კომპენსაციის დაბალი დონე მიწასთან ერთფაზა მოკლემშრთვების დროს.

ქსელის უსაფრთხო ექსპლუატაციის დაბალი დონე რომელიც არ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს-ერთფაზა მოკლემშრთვის პირობებში შეხების ძაბვის საშიში მნიშვნელობები, იზოლაციის გადაფარვის საშიშროება ოპერატიული გადართვების დროს, საკაბელო და საჰაერო ხაზების დაზიანება.

სარელო დაცვის და ავტომატიკის(სდა)მოწყობილობების არადაძაბვაყოფილებელი სელექტივობა, მგრძობიარობა, სწრაფმოქმედება და ხელშეშლადაცულობა.

უმეტეს ქსელებში მინაერთის დაზიანების მოძებნა ხორციელდება რიგრიგობითი გამორთვების მეშვეობით, უკეთეს შემთხვევაში სიგნალიზაციის სისტემების დახმარებით. მაგრამ უკანასკნელი არ გამოდგება სწრაფად განვლადი და გარდამავალ რკალიანი ერთფაზა მოკლემშრთვების შემთხვევაში, ხოლო კომპენსირებულ ნეიტრალიან ქსელიში ასეთი და მსგავსი სიგნალიზაციები ყოველთვის არ მუშაობს და შესაბამისად გამოუყენებელია ქსელის საექსპლუატაციო იმედიანობის ასამარღვებლად.

არსებული ნეიტრალის რეჟიმი ვერ უზრუნველყოფს სარელო დაცვის საჭირო სელექტივობას, მგრძობიარობას, იმედიანობას. დაცვების მუშაობის შედეგები დამოკიდებულია ქსელის რეჟიმებზე, მის კონფიგურაციაზე, მინაერთების მიმდინარე სქემებზე, რაც არის მუდმივად ცვლადი და არასტაბილური.

შრომის მიზანი მდგომარეობს ჩატარდეს გამოკვლევები და დამუშავდეს და დამუშავდეს ისეთი ნეიტრალის რეჟიმი რომელიც უზრუნველყოფს საერთოდ ქსელის გამართულ მუშაობას, იმედიანობას მდგრადობას, სარელო დაცვის მოწყობილობების სელექტივობას და მგრძობიარობას. აგრეთვე გადაძაბვების შემცირებას ქსელის ერთფაზა დამიწების და სხვა გარდამავალ რეჟიმებში.

შრომის ძირითადი მიმართულება, რომელიც დაკავშირებულია უმთავრესად ქსელის შესწავლასა და გამოკვლევებთან, მდგომარეობს ქსელის ნეიტრალის რეჟიმების მოდერნიზაციაში და სარელო დაცვის ადაპტაციაში ნეიტრალის ახალშექმნილ რეჟიმთან.

ამასთან ერთად როგორც აგრეთვე მნიშვნელოვანი მიზანი არის სარელო დაცვის თანამედროვე მიმართულებების გამოკვლევა, მათი თეორიული და პრაქტიკული ასპექტების შესწავლა და ფუნქციონალური სქემის დამუშავება კომპიუტერული მათემატიკის მეთოდების გამოყენებით.

ერთგაზა მოკლემერთვები მიწასთან იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში შეიძლება გახდეს სერიოზული ავარიის მიზეზი, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში (3,4) შეიძლება გადაიზარდოს ორმაგ მოკლემერთვებში რომლებიც ვერ ლიკვიდირდება დამიწების დაცვებით. ერთგაზა მოკლემერთვების (ემშ) წილი საერთო დაზიანებების ფონზე შეადგენს 80%-ს.

წინამდებარე ნაშრომი როგორც მისი სახელწოდებიდან სჩანს მიზნად ისახავს:

**გადამეტაბვების შემცირების და დაცვების სელექტივობის ამაღლების ღონისძიებების დამუშავებას.**

6-10კვ ქსელის ნეიტრალის რეჟიმები, დაცვების სელექტივობა, გარდამავალი პროცესები არის მრავალმნიშვნელოვანი გამოკვლევებისა და სამეცნიერო შრომების ძირითადი თემა. ბოლო დროს ჩატარებული შრომებიდან მნიშვნელოვანია ა.ნ.შალინის და ა.შუინის, ლი ვილიამსის, ი.გ.პასტანკარას, პოლ გილის, ჯ.ლევის, ბლეკბერი და სხვა გამოქვეყნებული შრომები.

მიუხედავად ჩატარებული მრავალრიცხოვანი გამოკვლევებისა ამ მიმართულებით დღემდე გადაუჭრელი რჩება რიგი ამოცანებისა კონკრეტული საქსელო პრობლემების მიმართულებით.

წინამდებარე ნაშრომში გადამაბვების შესწავლისა და მისი შემცირების მიმართულებით ჩატარებულია კვლევა რეალური ქსელის ექსპერიმენტული და კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამული საშუალებების მეშვეობით. მიღებულია გარკვეული შედეგები და დამუშავებულია ღონისძიებები, რომლის მიხედვითაც ჩატარებულია სამუშაოები ქსელის ნეიტრალის რეჟიმის მოდერნიზაციის მიმართულებით.

კვლევისას გამოყენებულია მუშა ქსელში ერთგაზა დამიწების მოწყობით ექსპერიმენტების ჩატარება, მონაცემების დამუშავებით, მისი ინტერპრეტაციით და განზოგადებით. კვლევის შედეგების მიხედვით დაიგეგმა და ჩატარდა ნეიტრალის მოდერნიზაციის სამუშაოები.

დაცვების სელექტივობის ამაღლების კუთხით ჩატარებულია არსებული რეალური დაცვის საშუალებების კლასიფიკაცია, მუშაობის და ეფექტურობის ანალიზი.

თანამედროვე სპექტრალური მეთოდების გამოყენებით ჩატარდა გამოკვლევები სარელო დაცვის სიგნალების (დენი, ძაბვა) დამუშავებისა და ანალიზის მიმართულებით. შესრულებულია სამუშაო სხვადასხვა ტიპის

დაზიანებების სპექტრალური სურათების შესასწავლად როგორც კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამირებით ისე რეალური ქსელში დაფიქსირებული სპექტრალური გარდაქმნების მეშვეობით. მიღებული შედეგების მიხედვით დამუშავებულია სარელეო დაცვის მოწყობილობის პრინციპები, ალგორითმი, ბლოკ-სქემა.

ზემოთაღნიშნული თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევების საფუძველზე დამუშავებულია ტექნიკური ღონისძიებები ელ.ქსელის უზნების მუშაობის მდგრადობის და იმედიანობის ასამაღლებლად გადაძაბვების შემცირებისა და დაცვების სელექტივობის ამაღლების მიმართულებით.

დამუშავებული პინციპებისა და ღონისძიებების საფუძველზე შერჩეულია მოწყობილობები მათ პარამეტრებთან ერთად ნეიტრალის რეჟიმების მოდერნიზაციისათვის.

მოდერნიზებული ნეიტრალის რეჟიმის შესაბამისად ჩამოყალიბებულია და გათვლილია დაცვების შესაბამისი კონფიგურაცია პრინციპები და დანაყენები.

შერჩეული მოწყობილობების ბაზაზე ჩატარებულია სამონტაჟო და გაწყობა -გაშვების სამუშაოები მოდერნიზირებული ნეიტრალის რეჟიმის დანერგვით და ექსპლუატაციაში შეყვანით.

## Abstract

As part of any distribution network, the structure of 6-10kV occupies a leading position. From the reliable operation of the network 6-10kV largely depends the uninterrupted supply of the consumer.

To date, the total length of the network distribution 6-10kV is 1600 km

Distribution and transformer points reaches 1880.

Operation of this network is carried out according to the scheme with isolated neutral.

The existing neutral mode does not provide sensitivity, selectivity and reliability of the relay protection, the operation of which becomes dependent on the network mode, its configuration, which often changes.

The purpose of work which consists in research and development of actions for the purpose of increase of reliability and stability of its work by reduction of overvoltage and increase of selectivity of work of means of relay protection and automation of Pro OZZ and in other transitional modes is defined.

The main tasks of the work, which is generally associated with the survey of the network, with the modernization of the neutral mode, the adaptation of protections in the new mode.

Also, in addition, the goal is to explore modern technologies for the construction of relay protection with the development of basic principles and structure of their construction in relation to the main goals set in the work.

To the negative sides of the operation of a network with isolated neutral belong:

A high level of internal overvoltages.

High probability of development of double earth faults and damage to power equipment at SFF(Single faze fault).

The high level of capacitive currents in SGF.

Low level of safe operation of the network, which does not meet modern requirements.

At SFF high and unsafe level of voltage of touch.

Danger of high-voltage overshoots during operational switching.

High degree of damage to the main equipment and in the air and cable overhead lines.

Unsatisfactory operation of relay protection and automation-low selectivity,sensitivity,speed, noise immunity and reliability.

In most of the electric network, the search for direction from the SFF occurs by alternately disconnecting consumers and using non-selective signaling,which causes unplanned disconnections of consumers.The last method is generally not applicable for fast SFF when SFF arc.

SFF(single faze fault) in a network with isolated neutral can cause serious accidents when developing double and bench damage is not localized existing protections.The share of SFF in the total number of damages is about 80%.

Considered in the thes work, as its name suggests, aims to develop measures to reduce the levels of overvoltages in the SFF and increase the selectivity of protection in the SFF network 6-10kV.

Neutral modes, transients, overvoltages, selectivity of protections against SFF are the main subject of numerous researches of scientists and engineers in power industry of scientific papers A. N. Shalin,A. Shuyin,LI.Williams,M. G. Patankar,Paul Giles,and JOHN.Levi, Blinker and others.

Despite numerous studies carried out, remain unresolved many specifically network issues.

The present work is dedicated for the study SFF and the development of to reduce the overvoltage and increase the selectivity of protection.

The paper uses experimental methods of high-voltage tests and measurements, methods of modern spectral analysis, methods of computer mathematics and mathematical and physical modeling.

The principle of damage identification by spectral analysis and fuzzy logic methods is investigated and developed.

Based on the results of the study, specific measures were developed to modernize the network neutral regime and change the arrangement and functioning of the protection of their principles, configuration and implementation.

Work on the project of modernization with its implementation and installation and adjustment works and introduction is executed.



## შინაარსი

გვ.

შესავალი.....	19
ლიტერატურის მიმოხილვა.....	22
თავი 1. 6-10 კვ-ის ქსელის გამოკვლევა და შესწავლა.....	56
1.1. საშუალო ძაბვის ქსელების ზოგადი დახასიათება.....	56
1.2. სს „თელასის“ 6-10კვ ქსელის აღწერა.....	58
1.3. ქსელის ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების ანალიზი.....	59
1.4. 6-10კვ ქსელის რელეური დაცვა და მისი მუშაობის ანალიზი.....	60
1.5. ერთფაზა მოკლემერთვების სიგნალების რეგისტრაცია გარდაქმნები და ანალიზი.....	62
1.5.1. საკითხის მნიშვნელობა.....	62
1.5.2. ქსელის ინსტრუმენტალური კვლევის მეთოდების და საშუალებების ზოგადი მიმოხილვა.....	62
1.5.3. საკაბელო ქსელის ტევადური დენების ანგარიში და გაზომვა.....	64
1.5.4. ერთფაზა დამიწების დენების გაზომვა 6-10კვ სექციებზე ირიბი მეთოდით.....	66
1.5.5. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწების სიდიდეების გაზომვა ოსცილოგრაფირებით.....	68
1.6. ავარიული პროცესების რეგისტრაცია.....	75
1.6.1. ავარიული პროცესების ფიქსაციის აუცილებლობა 6-10კვ ქსელში.....	75
1.6.2. შესრულებული სამუშაოები რეგისტრატორების დანერგვაზე.....	76
1.6.3. შერჩეული რეგისტრატორების პარამეტრები და შესაძლებლობები.....	77

1.6.4. ოსცილოგრამების ბაზის ფორმირება ,დამუშავება და ანალიზი.....	78
<b>თავი 2. ერთფაზა მოკლეშერთვების კომპიუტერული მოდელირება, საანგარიშო გამოკვლევები და გადამაბევის შესწავლა 6-10კვ ელ.ქსელში..</b>	<b>83</b>
2.1. საკითხის მნოშენლობა.....	83
2.2. გარდამავალი პროცესები.....	84
2.2.1. გარდამავალი პროცესების კვლევის მეთოდთა ერთფაზა მოკლე შერთვების დროს 6-10კვ ქსელში.....	85
2.2.2. გარდამავალი პროცესების მოდელირება EMTP კომპიუტერული მათემატიკური პროგრამის მეშვეობით.....	85
2.2.3. გარდამავალი პროცესების საანგარიშო რეჟიმების განსაზღვრა.....	86
2.3. მაქსიმალური შესაძლო გადამაბევის გამოკვლევა რკალმქრობი კოჭის გამოყენების შემთხვევაში.....	88
2.3.1. წინასწარი მოსაზრებები.....	88
2.3.2. საანგარიშო ოსცილოგრამები.....	89
2.3.3. შედეგების ანალიზი.....	90
2.4. მაქსიმალური შესაძლო გადამაბევის გამოკვლევა ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში.....	92
2.4.1 წინასწარი შეფასებები.....	92
2.4.2. კვლევის შედეგები.....	92
2.4.3. კომპიუტერული ოსცილოგრამები ნეიტრალის რეზისტორით დამიწებისას.....	95
<b>თავი 3. რეზისტორული დამიწების და სარელეო დაცვის მოწყობილობების პარამეტრების შერჩევის მეთოდის დამუშავე.....</b>	<b>100</b>
3.1. საერთო დებულებები.....	100

3.2. დაბალომიანი რეზისტორის შერჩევის პრინციპები და მეთოდიკა.....	101
3.3. ნეიტრალშემქმნელი მოწყობილობების შერჩევა რეზისტორების მისაერთებლად.....	103
3.4. სარელო დაცვების ადაპტაცია ნეიტრალის რეზისტორული დამიწების რეჟიმთან.....	106
3.4.1. ერთფაზა მოკლემერთვებისაგან დაცვების აგების პრინციპები.....	106
3.4.2. დამიწების დაცვების დანაენების განსაძღვრა ნეიტრალის დაბალომიანი წინალობით დამიწების შემთხვევაში.....	108
3.4.3. დაცვების არმუშაობა საღ მიმართულებებზე.....	108
3.4.4. დაცვების ამუშაების დენების შემოწმება.....	111
3.4.5. ნეიტრალის დაბალომიანი რეზისტორით დამიწებულ რეჟიმთან გადასვლისას დაცვების სელექტიურობის კუთხით ძალი ძაბვის ქვესადგურებში ჩასატარებელი ღონისძიებები.....	113
3.4.5. ნეიტრალის დაბალომიანი რეზისტორით დამიწებულ რეჟიმთან გადასვლისას დაცვების სელექტიურობის კუთხით ცენტრალურ განმანაწილებელ პუნქტებში ჩასატარებელი ღონისძიებები.....	113
3.5. ქვესადგურ ბაგებსა და დიდუბეში ჩატარებული ნეიტრალის რეჟიმის მოდერნიზაციის შედეგები.....	115
<b>თავი 4. სარელო დაცვის თანამედროვე მეთოდების და საშუალებების კვლევა ანალიზი და მოდელირება.....</b>	<b>119</b>
4.1. ვეივლეტ ანალიზი და მისი გამოყენების შესაძლებლობები სარელო დაცვაში.....	119
4.1.1. შესავალი.....	119
4.1.2. ფურიეს ინტეგრალური გარდაქმნები.....	119
4.1.3. ვეივლეტ გარდაქმნა.....	120
4.1.3. ვეივლეტ გარდაქმნების გამოყენება სარელო დაცვაში.....	124

4.2. ქსელში განვითარებული დაზიანებების იდენტიფიკაცია და კლასიფიკაცია ავარიული ოსცილოგრამების საფუძველზე Wavelet-Toolbox-ის გამოყენებით.....	125
4.2.1. შესავალი.....	125
4.2.2. მეთოდოლოგია და სამუშაო მასალა.....	127
4.2.3. ავარიული დენების დეკომპოზიცია და ანალიზი Wavelet-Toolbox-ში.....	128
დასკვნები.....	138
ლიტერატურა.....	140

## ცხრილების ნუსხა

გვ.

- ცხრილი 1.** ტევადური დენების საანგარიშო სიდიდეები ქს ნავთლული-2 -ის 6 და 10კვ სალტეების მინაერთებისათვის.....65
- ცხრილი 2.** გაზომვებისას გამოყენებული დამოწმებული ხელსაწყოები.....66
- ცხრილი 3.** მოსალოდნელი დენი სექციების მიხედვით.....67
- ცხრილი 4.** გაზომვის რეზულტატები მიერთებული კონდენსატორებით და მათ გარეშე და დამიწების დენის ანგარიში სექციების.....68
- ცხრილი 5.** ოსცილოგრამების კლასიფიკაცია და ანალიზი.....82
- ცხრილი 6.** ტევადური დენები და გადაძაბვის ჯერადობები.....88
- ცხრილი 7.** გადაძაბვების ჯერადობები ე.მ.შ.-ის დროს მოყვანილია ნეიტრალის კომბინირებული რეჟიმებისათვის.....93
- ცხრილი 8.** რეზისტორის ნომინალები რომლებიც რეკომენდირებულია განხილულ ქსელების ნეიტრალში დასაყენებლად.....94
- ცხრილი 9.** რეზისტორების საანგარიშო წინაღობები.....102
- ცხრილი 10.** რეზისტორების ნომინალების შერჩევა.....102
- ცხრილი 11.** მოწყობილობების დაყენების ადგილები რეზისტორული დამიწებების მოსაწყობად.....103
- ცხრილი 12.** ნეიტრალშემქ.ტრ-ის შერჩევა რეზისტორის მისაერთებლად..104
- ცხრილი 13.** რეზისტორის დენი ნეიტრალშემქმნელი ტრანსფორმატორის წინაღობის გათვალისწინებით.....105
- ცხრილი 14.** რეკომენდებული მოწყობილობის ჩამონათვალი.....106

<b>ცხრილი 15.</b> დაცვების ამუშავების დენის ანგარიში ქს-ების და განმანაწილებელი პუნქტების ყველა მინაერთისათვის.....	110
<b>ცხრილი 16.</b> დაცვების დანაყენების შემოწმების რეზულტატები საკუთარი ტევადური დენისაგან განრიდების პირობით ქს დიდუბისა და ბაგების ნკვ ქსელისათვის.....	112
<b>ცხრილი 17.</b> ნკვ მინაერთების ავარიული გამორთვების რაოდენობა წლების მიხედვით.....	117
<b>ცხრილი 18.</b> ნორმალური რეჟიმის მონაცემები.....	131
<b>ცხრილი 19.</b> ცალფაზა დამიწების მონაცემები.....	132
<b>ცხრილი 20.</b> მიწასთან ორფაზა მოკლემერთვის მონაცემები.....	134
<b>ცხრილი 21.</b> სამფაზა მოკლემერთვის მონაცემები.....	135

## ნახაზების ნუსხა

83

ნახ. 1. დენის გადამწოდი.....	69
ნახ. 2. ძაბვის გადამწოდი-გამყოფი.....	70
ნახ. 3. ციფრული ოსცილოგრაფი.....	70
ნახ. 4. ექსპერიმენტის ჩატარების პრინციპიალური სქემა.....	71
ნახ. 5. დამიწების დენისა და ფაზური ძაბვების ოსცილოგრამა.....	73
ნახ. 6. ჰარმონიკების ჰისტოგრამა.....	74
ნახ. 7. ქსელის ავარიულობის მაჩვენებლები 2013-2017 წლებში.....	75
ნახ. 8. პროგრამული კომპლექსის ინტერფეისი ტიპიურ დასამუშავებელ ოსცილოგრამასთან ერთად.....	79
ნახ. 9. სამფაზა მშ ოსცილოგრამა.....	81
ნახ. 10. ერთფაზა გარდამავალი მ.შ.....	81
ნახ.11. გავრცელებული ემშ-ის ფარდობითი დიაგრამები.....	82
ნახ. 12. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ემშ-ის დროს ქს “დიდუბე“, 1+3ს, იზოლირებული ნეიტრალი, $K_{\pi}=3,26$ .....	89
ნახ. 13. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ემშ-ის დროს ქს “დიდუბე“, 2+4, ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით (კომპენსაციისაშლა20%), $K_{\pi}=3,13$ .....	89
ნახ. 14. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ემშ-ის დროს ქს “ზაგები“, 1+3, ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით (კომპენსაციის აშლა20%), $K_{\pi}=3,09$ .....	90
ნახ. 15. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ემშ-ის დროს ქს “დიდუბე“, 2+4, ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით (კომპენსაციის აშლა 20%), $K_{\pi}=3,17$ .....	90
ნახ. 16. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 2000 ომი, $K_{\pi}=3,16$ .....	95

<b>ნახ. 17.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 1000 ომი, $K_{გად}=3,07$ .....	95
<b>ნახ. 18.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 800 ომი, $K_{გად}=3,01$ .....	96
<b>ნახ. 19.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 500 ომი, $K_{გად}=2,91$ .....	96
<b>ნახ. 20.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 400 ომი, $K_{გად}=2,72$ .....	97
<b>ნახ. 21.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 200 ომი, $K_{გად}=2,58$ .....	97
<b>ნახ. 22.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს ბგების ნკვ-ის ქსელში 2+4სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით(აშლა 20%) რეზისტორით 500 ომი, $K_{გად}=2,76$ .....	98
<b>ნახ. 23.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 200 ომი, $K_{გად}=2,58$ .....	98
<b>ნახ. 24.</b> გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრაფები ემშ-ის დროს ქს ბგების ნკვ-ის ქსელში 2+4სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით(აშლა 20%) რეზისტორით 500 ომი, $K_{გად}=2,76$ .....	99
<b>ნახ. 25.</b> ვეივლეტი მეკს.ცილინდრი.....	121
<b>ნახ. 26.</b> განუსაზ.პრინციპი.....	121
<b>ნახ. 27.</b> ვიზუალიზაცია.....	123
<b>ნახ. 28.</b> .ვეივლეტები.....	123
<b>ნახ. 29</b> ნულოვანი მინდევრობის დენის ოსცილოგრაფა.....	125



<b>ნახ.29-1.</b> ვეივლეტ გარდაქმნის ბლოკ-სქემა.....	127
<b>ნახ. 30.</b> საანალიზი სიგნალი.....	129
<b>ნახ. 31.</b> 1-D Wavelet საანალიზი პროგრამა.....	129
<b>ნახ. 32.</b> Wavelet 1-D პუნქტი ერთ განზომილებიანი დისკრეტული ანალიზის მონაცემების ფანჯარა.....	129
<b>ნახ. 33.</b> სიგნალი ჩატვირთვა File menu-დან, load>Signal- კომანდით.....	130
<b>ნახ. 34.</b> 1 დონიანი დეკომპოზიციის და საანალიზი ვეივლეტი-db-1-ის შერჩევა.....	130
<b>ნახ. 35.</b> ფანჯარა დეკომპოზიციის შედეგებით.....	130
<b>ნახ. 36.</b> მრავალდონიანი დეკომპოზიცია db-1 ვეივლეტის ჩატარება .....	131
<b>ნახ. 37.</b> დეკომპოზიციის შედეგების ფანჯარა.....	131
<b>ნახ. 38.</b> საწარმო ოსცილოგრამა, ნორმალური რეჟიმი.....	131
<b>ნახ. 39.</b> საწარმო ოსცილოგრამა, ცალფაზა დამიწება.....	132
<b>ნახ. 40.</b> საწარმო ოსცილოგრამა, ორფაზა მ.შ.მიწით.....	134
<b>ნახ. 41.</b> საწარმო ოსცილოგრამა, სამფაზა მ.შ.....	135

## მადლიერება

დიდ მადლობას ვუხდით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის „ელექტრომობილარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის ყველა აკადემიურ და დამხმარე პერსონალს სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობისას გაწეული დახმარებისათვის. განსაკუთრებით დეპარტამენტის უფროსს პროფესორ ბადურ ჭუნაშვილს და პროფესორ კონსტანტინე წერეთელს მთელი რიგი მეთოდური, ტექნიკური და ორგანიზაციული მითითებების და რჩევებისათვის.

მინდა გამოვხატო მადლიერება ჩემი მეუღლის ქალბატონ ნატაშა ჟუკოვსკაიას მიმართ, მისი მხარდაჭერის, უსასრულო მოთმინებისა და საქმიანი შენიშვნებისათვის.

## შესავალი

ნებისმიერი განმანაწილებელი ქსელის შემადგენლობაში 6-10კვ საშუალო ძაბვის სტრუქტურას წამყვანი ადგილი უჭირავს. 6-10კვ ქსელის იმედიან ექსპლუატაციაზე ბევრად არის დამოკიდებული მომხმარებლის შეუფერხებელი მუშაობა.

დღეისათვის სს „თელასის“ 6-10კვ-ის განმანაწილებელი ქსელის საერთო სიგრძე შეადგენს 1600კმ-ს ხოლო ქვესადგურების რაოდენობა 1880-ის ტოლია. აღნიშნული ქსელის ექსპლუატაცია ხორციელდება ძირითადად იზოლირებული ნეიტრალიანი სქემით.

ასეთი რეჟიმით ქსელის ექსპლუატაციის ძირითად უარყოფით მხარეებს მიეკუთვნება:

შიდაქსელური გადაძაბვების მაღალი ჯერადობა, ორმაგი მოკლემერთვების განვითარებისა და მოწყობილობის დაზიანების მაღალი ალბათობა.

ტევადური დენების კომპენსაციის დაბალი დონე მიწასთან ერთფაზა მოკლემერთვების დროს.

ქსელის უსაფრთხო ექსპლუატაციის დაბალი დონე რომელიც არ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს-ერთფაზა მოკლემერთვის პირობებში შეხების ძაბვის საშიში მნიშვნელობები, იზოლაციის გადაფარვის საშიშროება ოპერატიული გადართვების დროს, საკაბელო და საჰაერო ხაზების დაზიანება.

სარელეო დაცვის და ავტომატიკის(სდა) მოწყობილობების არადაამაკმაყოფილებელი სელექტივობა, მგრძნობიარობა, სწრაფმოქმედება და ხელშეშლადაცულობა. ქსელის უმეტეს ნაწილში მინაერთის დაზიანების მოძებნა ე.მ.შ. დროს ხორციელდება რიგრიგობითი გამორთვების მეშვეობით, უკეთეს შემთხვევაში სიგნალიზაციის სისტემების დახმარებით. მაგრამ უკანასკნელი არ გამოდგება სწრაფად განვლადი და გარდამავალ რკალიანი ერთფაზა მოკლემერთვების შემთხვევაში. ხოლო

კომპენსირებულ ნეიტრალიან ქსელში ასეთი და მსგავსი სიგნალიზაციები ყოველთვის არ მუშაობს და შესაბამისად გამოუყენებელია ქსელის საექსპლუატაციო იმედიანობის ასამაღლებლად.

ერთფაზა მოკლემერთვები მიწასთან იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში შეიძლება გახდეს სერიოზული ავარიის მიზეზი, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში შეიძლება გადაიზარდოს ორმაგ მოკლემერთვებში რომლებიც ვერ ლიკვიდირდება დამიწების დაცვებით.

ერთფაზა მოკლემერთვების (ემშ) წილი საერთო დაზიანებების ფონზე შეადგენს 80%-ს.

ამრიგად, საშუალო ძაბვის ქსელები იზოლირებული ნეიტრალით გამოირჩევა უაღრესად დაბალი საექსპლუატაციო საიმედობით.

სამუშაოს მიზანია ქსელის მუშაობის იმედიანობის ამაღლება გადაძაბვების შემცირებისა და დაცვების სელექტივობის ამაღლების ღონისძიებების დამუშავებით 6-10კვ ქსელში.

ამ მიზნის მისაღწევად საჭიროა გადაწყდეს შემდეგი ამოცანები:

შესწავლილი იქნეს ქსელის მუშაობის გასული წლების მონაცემები და განისაზღვროს მისი სტაბილური მუშაობის ხელშემშლელი პირობები.

შესწავლილი იქნას ინსტრუმენტალურად ქსელის ერთფაზა დამიწების რეჟიმი მონაცემების ფიქსირებით და მასალებით.

ჩატარდეს ქსელის მოსალოდნელი ნეიტრალის რეჟიმების საანგარიშო გამოკვლევები კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით.

ჩატარდეს ანალიზი და შეირჩეს ქსელის ნეიტრალის ოპტიმალური რეჟიმი

შერჩეული ოპტიმალური რეჟიმის მიხედვით შეირჩეს ნეიტრალის დამიწებისათვის საჭირო მოწყობილობა.

ქსელის შერჩეული ნეიტრალის რეჟიმის მიხედვით ჩამოყალიბდეს სარეგო დაცვის პრინციპები და კოორდინაცია მათი სელექტივობის ამაღლების კუთხით.

სპექტრალური მეთოდების გამოყენებით ჩატარდეს გამოკვლევები დაზიანების იდენტიფიკაციის პრინციპების და რეალიზაციის საშუალებების შესარჩევად.

შესრულდეს სამუშაოები კვლევების შედეგების რეალიზაციისათვის.

## ლიტერატურის მიმოხილვა

თეორიული საფუძვლები.

საშუალო 6-10კვ განმანაწილებელ ქსელში ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების, ნეიტრალის რეჟიმების და ერთფაზა მოკლემერთვებისაგან დაცვების კვლევა ელექტროენერგეტიკის ერთ-ერთი რთული და საინტერესო მიმართულებაა.

ეს მიმართულება თავისი დიდი მნიშვნელობის გამო,რომელიც დაკავშირებულია 6-10კვ ქსელის იმედიანობის კვლევასა და ამაღლებასთან,როგორც დამოუკიდებელი დისციპლინა გამოიკვეთა გასული საუკუნის დასაწყისში პეტერსენის(Petersen W.) მიერ როგორც დამოუკიდებელი მიმართულება განსაკუთრებით სრულად წარმოსდგა რ.ვილგელმის და მ.უოტერსის ნაშრომში[1]

ნაშრომში განიხილება ნეიტრალის რეჟიმის შერჩევასთან დაკავშირებული საკითხების ფართო წრე. მათ შორის მნიშვნელოვანია: იზოლაციის იმედიანობის საკითხები, გადაძაბვები, ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები მიწასთან ერთფაზა მოკლემერთვების დროს.აგრეთვე მოცემულია მასალა ნეიტრალის დამიწების პრაქტიკასთან დაკავშირებით.

ნაშრომი თავისი შინაარსით და მასშტაბებით ერთ-ერთი პირველია და ფუნდამენტალური. მისი პირველი ავტორი რ.ვილგელმი ნეიტრალის რეჟიმების და ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების კვლევის სერიოზული სპეციალისტია.

რეგულარულად არის განხილული საკითხების ფართო წრე, კერძოდ დამუხტვის დენები, ნეიტრალის დამიწების თეორია,გარდამავალი პროცესები მიწასთან ერთფაზა მოკლემერთვების დროს, სიმეტრიული მდგენელების თეორიის გამოყენება პროცესების კვლევისას, რკალმქრობი მოწყობილობები.

განხილული საკითხების თეორიულ საფუძველს წარმოადგენს დენგამტარი სადენების წარმოდგენა მათი ტევადობებით, ელემენტების ტევადობების ანგარიშის მეთოდის და შემდგომ ქსელის პროცესების კვლევა.

ნაჩვენებია ფაზური გამტარის ფორმირების და გამოთვლის მეთოდის, სამფაზა სისტემის ბმული მუხტის ანგარიში.

ტევადური სიმძლავრის ნაკადის შეფასება ერთფაზა მიწასთან მოკლემშერთვის დროს.

მოცემულია ტევადობების ანგარიში გადამცემი ხაზების ძირითადი კონფიგურაციის დროს.

ფორმულირებულია საინტერესო და მეტად სასარგებლო დებულება, რომლის მიხედვითაც ერთფაზა დამიწება მაღალი ძაბვის ელ.გადამცემ ხაზზე იწვევს **დანარჩენი გამტარების ტევადობების გაზრდას მიწის მიმართ.**

წიგნში თეორიული მასალის გადმოცემასთან ერთად მოცემულია პრაქტიკული მაგალითები ამოხსნებით.

განხილულია სამფაზა სისტემის სადენების ძარღვების ტევადობების ანგარიში მიწის მიმართ და სახასიათო სიდიდეები.

განხილულია მიწასთან მოკლემშერთვის სახეობები მათი სრული ანალიზით და დახასიეთებით.

განხილულია მაღალი ძაბვის ქსელის მუშაობის რეჟიმები, როგორც ნორმალური ისე ავარიული ერთფაზა მოკლემშერთვისას.

მოცემულია ნეიტრალის წანაცვლების განსაზღვრა, როგორც ძაბვის წყაროს მეთოდით ასევე დენების წყაროს მეთოდით. როგორც შედეგი, ფიქსირებულია გამტარზე ფაზური ძაბვის გაზრდა  $\sqrt{3}$ -ჯერ მიწასთან ერთფაზა მოკლემშერთვის დროს.

ზოგადად წიგნის აქტუალობა დღესაც მაღალია და იგი თვლება კლასიკურად მისი ფუნდამენტულობით და შესწავლილი საკითხების მრავალფეროვნებით.

შემდეგი შრომა აგრეთვე მნიშვნელოვანია და ფუნდამენტალური[2]

ნაშრომი ეყრდნობა ფუნდამენტალურ გამოკვლევებს ელექტრულ ქსელებში გადაძაბვებისა და დამცავი ღონისძიებების კუთხით, რომლებსაც შეიცავს მოსკოვის,სანკტ-პეტერბურგის,კიევის,ეკატერინებურგის,ტომსკის და ნოვოსიბირსკის სამეცნიერო სკოლების შრომებს.ამას გარდა ნაშრომში განხილულია დამატებით მრავალი სპეციალური საკითხი.

წარმოდგენილია შემეგი ძირითადი საკითხები:

ღია და დახურული ელ გადამცემი ხაშების პირველადი პარამეტრები, გადამცემი ხაშების სატელეგრაფო განტოლებები, ელ.მაგნიტური რხევები და ტალღური პროცესები, ნეიტრალის დამიწება სხვადასხვა კლასის ელ.ქსელებში,კ ვაზი- სტაციონარული გადაძაბვები, საკომუტაციო გადაძაბვები და მათგან დაცვა, ელ.ჭეჭური გადაძაბვები, გადაძაბვები საშუალო ძაბვის ქსელებში,

დახურული ელ.გადაცემები (კაბელები) და მათი მეხმედეგობა.

მაქსველის ელ.მაგნიტური ველის განტოლებების საფუძველზე მიღებულია ე.წ.სატელეგრაფო განტოლებები,რომლებიც წარმოადგენენ მათში ტალღური პროცესების ანალიზის საფუძველს.

$$-\frac{dU(p, x)}{dx} = Z \cdot I(p, x) \quad (1) \quad -\frac{dI(p, x)}{dx} = Y \cdot U(p, x) \quad (2)$$

წარმოდგენილია გადამცემი ხაშების პირველადი გრძივი და განივი პარამეტრების ანგარიშის ფორმულები და მეთოდისა.წარმოდგენილია წინაღობის მატრიცების შედგენის გარდაქმნის და ანგარიშის მაგალითები პარამეტრების კონკრეტული მნიშვნელობებისათვის.აგრეთვე ნაჩვენებია ამ პარამეტრების დამოკიდებულება სიხშირეზე  $50-10^6$ ჰც სიხშირის დიაპაზონში. წარმოდგენილია განივი პარამეტრების ანგარიშის მეთოდისა და მატრიცების შედგენა კონკრეტული მაგალითისათვის. აგრეთვე წარმოდგენილია განივი პარამეტრების ანგარიშები სრული და გამარტივებული ფორმულების საშუალებით.



განხილულია ელექტრომაგნიტური რხევებისა და ტალღური პროცესების ანალიზი ელექტრულ ქსელში საკომპუტაციო გადართვებისა და სხვა შემოფოთებების დროს. განხილულია გადამცემი ხაზის ჩართვა უქმ სვლაზე და მისი გარდამავალი პროცესის ანგარიში. აქვე მოცემულია ანალიზი გადამაბევის კუთხით კონტურის სხვადასხვა საკუთარი სიხშირეების დროს. წარმოდგენილია გადამცემი ხაზის განტოლება და მისი ამოხსნის გზები.

მრავალგამტარიანი გ/ხ-ში ტალღური პროცესების ანალიზისათვის წარმოდგენილია ხაზების განტოლებების ჩაწერა მატრიცული ხერხით

$$\frac{dU}{dx} = Z \cdot I \quad (3) \quad -\frac{dI}{dx} = Y \cdot U \quad (4)$$

სადაც  $Z$  და  $Y$  – არის გრძივი წინაღობების კვადრატული სიმეტრიული მატრიცები, შესაბამისად ამ მატრიცების განზომილება ედრება გ/ხაზების გამტარების რაოდენობას.

ნაჩვენებია, რომ ძაბვის და დენის მოდალური მდგენელები ვრცელდებიან ხაზის გასწვრივ დამოუკიდებლად ელ. მაგნიტური ტალღების გავრცელებისა სხვადასხვა არხების მიხედვით.

მოყვანილია ტალღური არხების პარამეტრების განსაზღვრის მაგალითი მაღალი ძაბვის გ/ხ-ში გამტარების ჰორიზონტალური განლაგებით.

განხილულია ნეიტრალის დამიწების საკითხები და კვაზისტაციონარული გადამაბევის ანგარიში.

წარმოდგენილია აგრეთვე ნეიტრალის წანაცვლების ძაბვის დამოკიდებულება ქსელის სხვადასხვა რეჟიმში. აგრეთვე მოცემულია ნეიტრალის წანაცვლების გაზომვის სქემა.

განხილულია ამომრთველის საკომპუტაციო შუალედზე ძაბვის აღდგენის პროცესები მოკლეშერთვის გამორთვის შემდეგ.

განხილულია საშუალო ძაბვის ქსელის მუშაობასთან დაკავშირებული მნიშვნელოვანი საკითხები ფერორეზონანსული პროცესების კუთხით. ფერორეზონანსის პირობები რომელიც გამოწვეულია

ზოგადად ტრანსფორმატორის მაგნიტური გულარის გაჟღენთვით, შეიძლება წარმოიშვას წრადებში რომლებიც ხასიათდებიან მაღალი ტევადობებით. განხილულია ფერორეზონანსი ძაბვის ტრანსფორმატორებში და მისი განვითარების კრიტერიუმები. კერძოდ ეს კრიტერიუმები შემდეგია:

1. ძაბვა ტრანსფორმატორზე უნდა იყოს მნიშვნელოვნად მეტი ძაბვა ნომინალურთან შედარებით..
2. საანგარიშო სქემის შესავალი წინაღობა ტრანსფორმატორის დამაგნიტების შუნტის მიმართ უნდა იყოს ტევადური ხასიათის იმ სიხშირეზე რომელზეც სრულდება ავტოპარამეტრული რეზონანსის პირობები.

*ამ კუთხით საინტერესო პერსპექტივა იქმნება მაგნიტოოპტიკური ძაბვის ტრანსფორმატორის პრინციპიდან გამომდინარე, როდესაც მაგნიტური სისტემის არარსებობის გამო გამორიცხულია ფერორეზონანსი.*

ნაშრომი ფუნდამენტალურია და ატარებს ენციკლოპედიურ ხასიათს

ერთ-ერთი სრული და ამომწურავი ნაშრომი ნეიტრალის რეჟიმებთან დაკავშირებით არის [3]

წიგნში სისტემატურად არის განხილული საკითხები რომლებიც დაკავშირებულია ნეიტრალის დამიწების რეჟიმებთან და მისი მიმდებარე საკითხები. ნაშრომი გვამლევს სრულ წარმოდგენას ნეიტრალის დამიწების როგორც წმინდა თეორიულ ასპექტებზე - მათემატიკური მოდელირება ფიზიკური პროცესები, ისე პრაქტიკული საკითხებზე - დიაგრამები, ოსცილოგრამები, საცნობარო მასალა და სხვა.

წარმოდგენილია ელ/ქსელების კლასიფიკაცია იმ ელ. პარამეტრების მიხედვით რომლებიც მნიშვნელოვანია ერთფაზა მოკლეშერთვებთან დაკავშირებით. ეფექტურად დამიწებული ნეიტრალის ცნებასთან ერთად მოცემულია მისი შეფასება ნარჩენი ძაბვის კრიტერიუმის მიხედვით -  $U_{ნარ} \leq U_{ნომ}$ . დანარჩენი ვარიანტები ხვდება იზოლირებულ ნეიტრალზე.

ზოგადად ერთფაზა დამიწების დროს ელ.მონაცემების თანაფარდობა განსაზღვრულია პირდაპირი, უკუ და ნულოვანი თანმიმდევრობის პარამეტრების თანაფარდობით. მიღებულია ნეიტრალის ძაბვის გამოსახულება ერთფაზა დამიწების რეჟიმში, დაუზიანებელ ფაზებზე ძაბვის და დამიწების დენის ერთფაზა დამიწების წერტილში.

შესაბამისად წარმოდგენილია ამ სიდიდეების საილუსტრაციო მრუდები. როდესაც  $X=\infty$ -ვიღებთ იზოლირებულ ნეიტრალიან რეჟიმს,

$X=0$ -ვიღებთ ყრუდ დამიწებულ ნეიტრალს

$X=R$ -ვიღებთ კონკრეტულ რეჟიმებს, ნეიტრალის კონკრეტული სიდიდის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში.

რკალური დამიწების რეჟიმისათვის განხილულია საზოგადოდ რკალის მოქმედების მექანიზმი ცვლადი დენის წრედში, რომელიც დაფუძნებულია რკალის ფიზიკურ მოდელზე.

მოცემულია მდგრადი რკალის არსებობის მთავარი კრიტერიუმი-იონიზაციის და დეიონიზაციის სიჩქარეების ტოლობა.

წარმოდგენილია რკალის დინამიური ვოლტამპერული მახასიეთებელი. მოცემულია მახასიათებლის ანალიზი მასში ფიზიკური პროცესის განხილვით.

ხაზგასმულია რომ რკალური განმუხტვის დენის სიხშირე შეიძლება განსხვავდებოდეს ათეულჯერ.

განხილულია პროცესი, როდესაც ფაზის იზოლაცია გაირღვა მიწასთან მისი შემდგომი გაწყვეტით. დახასიათებულია მყარი რკალი და გარდამავალი რკალი როდესაც პერიოდულად ქრება და ინთება, რაც შეიძლება გახდეს მიზეზი მრავალჯერადი გადამაბვებისა, რადგან რკალის ყოველი შემდეგი ანთების საწყისი პირობები მიიღება წინა რკალის პარამეტრებიდან. ჩატარებულია ასეთი გარდამავალი პროცესის მათემატიკური ანალიზი. ნაჩვენებია რომ ასეთ პროცესებს შეიძლება ქონდეს მაღალსიხშირული ხასიათი.

როგორც ცნობილია როდესაც რხევის სიხშირე ემთხვევა კონტურის საკუთარი რხევების სიხშირეს, მაშინ აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას და შესაბამისად გადაძაბვაც იქნება მაქსიმალური. აქ პროცესი უკავშირდება ნეიტრალის რეზისტორით დამიწებას. რეზისტორმა შეიძლება შეასრულოს მადემპფერირებელი ფუნქცია, ჩახშოს რეზონანსული რხევები და შესაბამისად გადაძაბვები.

მოცემულია თანაფარდობები მაქსიმალური გადაძაბვების დონეების საანგარიშოდ.

წარმოდგენილია პროცესების ანალიზისათვის მეტად საინტერესო და საჭირო რკალის თეორიები.

### **პეტერსენის თეორია.**

თეორიის საფუძველია დაშვება, რომ რკალის ყოველი ანთების შემდეგ ის ქრება როცა დამიწების ჯამური დენი გადადის ნულზე. შესაძლებელია დავუშვათ, რომ რკალი ანთია  $\Delta t = \frac{\Pi}{w}$  დროის შუალედში. თეორია იძლევა რკალური განმუტვის პროცესში გადაძაბვების ანგარიშის საშუალებას.

### **პეტერს-სლეპიანის თეორია.**

ამ თეორიის მიხედვით მაქსიმალური გადაძაბვები განისაზღვრება იმ პირობებში, როცა რკალი მორიგი ანთების შემდეგ ქრება, როცა იძულებითი მდგენელის მნიშვნელობა გადადის ნულზე. ყველა დანარჩენი დაშვება იგივეა რაც პეტერსენის თეორიაში.

### **ბელიაკოვის თეორია.**

ბელიაკოვის თეორიის მიხედვით, რკალი შეიძლება ჩაქრეს თავისუფალი მდგენელის როგორც პირველი ისე ნებისმიერი ნულზე გადასვლის დროს.

რეზისტორული დამიწების დადებითი გავლენა, რომელიც გამოიხატება ჭარბი მუხტის დაგროვების ხელშეშლაში, რეალიზდება თითქმის მთლიანად, თუ დამატებითი აქტიური მდგენელი დაახლოვებით ტოლია რეაქტიული მდგენელის.

[26] წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაშრომს ნეიტრალის რეჟიმებთან დაკავშირებით.

მასში განხილულია მრავალფეროვანი ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესები, რომლებიც იწვევენ ზედაბევს და ზედენებს 6-35 კვ-ს საქსელო მოწყობილობებში. შესწავლილია გარდამავალი პროცესების ფიზიკური შინაარსი, ნაჩვენებია ქსელის შენაცვლების სქემების შედგენის მაგალითები და გარდამავალი პროცესების ანალიზი კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით.

განხილულია კვაზისტაციონარული გარდამავალი პროცესები: ნაჩვენებია ნეიტრალის წანაცვლების ძაბვის მათემატიკური გამოსახულება და ფიზიკური შინაარსი; განხილულია მიწასთან მყარი მოკლემერთვა იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში. ნაჩვენებია რომ მიწასთან მყარი მოკლემერთვების შემთხვევაში ნეიტრალის ძაბვა  $U_N = -E_A$  და დაუზიანებელი ფაზების ძაბვა  $U_B = U_C = \sqrt{3}U_a$ . დამიწების დენი ატარებს ტევადურ ხასიათს და წინ უსწრებს საკუთარი ფაზის ემმ-ს 90 გრადუსით. განხილულია აგრეთვე ნეიტრალის რეზონანსული წანაცვლება რკალმქრობი კოჭის პირობებში. ნაჩვენებია, რომ რეაქტორის მაღალი ვარგისიანობის პირობებში, როცა  $q = X_R/R_R = 20 \dots 100$ , ქსელის მცირე ასიმეტრიის დროსაც კი, ნეიტრალის ძაბვამ შეიძლება მიაღწიოს იზოლაციისათვის საშიშ სიდიდეს.

განხილულია საკითხი, როდესაც ქსელში ჩართულია დენშემძლული რეაქტორი.

*განსაკუთრებით საშიშია ფერორეზონანსი, რომელიც წარმოიქმნება ნაკლებათ დატვირთული ძალოვანი ტრანსფორმატორის არასრულფაზ რეჟიმში, ან როდესაც ადგილი აქვს გადამცემი ხაზის სადენის გაწყვეტას.*

ქსელის ზგიერთი ტევადობების დროს შესაძლებელია ფერორეზონანსის განვითარება ძაბვის ტრანსფორმატორებში რომელიც წარმოშობს ზედენებს პირველად გრაგნილებში და გადაძაბვებს მთელ მიმდებარე წრედებში.

ფერორეზონანსი ძაბვის ტრანსფორმატორებში იწვევს აგრეთვე მცლელების და ძაბვის ტრანსფორმატორების დაზიანებას.

ნეიტრალის დამიწება რეაქტორით ან მცირე სიდიდის რეზისტორით მთლიანად გამორიცხავს ფერორეზონანსს ძაბვის მზომ ტრანსფორმატორებზე.

განხილულია გარდამავალი რეზონანსის მოვლენა ორსიხშირიან რხევით კონტურებში. ორსიხშირიანი კონტურების დიფ. განტოლების შედგენის „ანალიზის და ამოხსნის შედეგად (ოპერატორულ ფორმაში) მიღებულია თანაფარდობები ძაბვების საანგარიშოდ, საიდანაც ნათელი ხდება რომ ძაბვის მდგენელებმა შეიძლება მიაღწიონ საკმაოდ დიდი მნიშვნელობებს კონტურების რეზონანსული სიხშირეების მცირე განსხვავების პირობებში. კომპიუტერული მოდელირების შედეგად მიღებულია ფეთქადი ძაბვის სიდიდეები ჯერადობით 9!

ზოგადად ორსიხშირიან კონტურებში შესაძლებელია გარდამავალი რეზონანსის წარმოშობა ძაბვების დიდი ჯერადობებით.

*დენის მოკვეთამ ვაკუუმურ ამომრთველში ძრავის გამორთვისას შეიძლება გამოიწვიოს გადაძაბვა კაბელის მცირე სიგრძისას(75მ-მდე) და ზრავის მცირე (630 კვტ-მდე) სიმძლავრეების დროს.*

განხილულია გადაძაბვები ორფაზა და ორმაგი მოკლეშერთვების დროს. ზოგადი შედეგები ზემოაღნიშნული დაზიანებების დროს ჩამოყალიბებულია შემდეგნაირად:

ორმაგი და ორფაზა მოკლეშერთვების გამორთვის შედეგად წარმოიშვება გადაძაბვები 3,5 ფ.ე.-ის სიდიდით.

გადაძაბვები რომლებიც წარმოიშვება ორმაგი და ორფაზა მოკლეშერთვების დროს, მოიცავს ყველა გაღვანურად დაკავშირებული ქსელის ელემენტს, რაც იწვევს მრავალადგილიან დაზიანებებს.

ერთფაზა და ორფაზა მიწასთან მოკლეშერთვების მიზეზი შეიძლება იყოს დენის მოკვეთა ვაკუუმურ ამომრთველში.

ორფაზა მოკლეშერთვის წარმოშობა(მიწით და მიწის გარეშე) ერთ-ერთ მიმართულებაზე წარმოქმნის გადაძაბვებს ამ მიმართულების ბოლოზე. ამ შემთხვევაში გადაძაბვების წარმოშობა შეიძლება აიხსნას გარდამავალი რაზონანსის მოვლენით ორსიხშირიან კონტურში.

განხილულია ნეიტრალის დამიწების ცნობილი მეთოდები მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეების დახასიათებით.

აქ წარმოდგენილია ძირითადი პრინციპები, რომლის მიხედვითაც უნდა შესრულდეს სარელეო დაცვები ნეიტრალის მცირე სიდიდის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში.

ნაშრომი[4] წარმოადგენს საკმაოდ სრულ ინფორმაციას დამიწების დაცვების ყველა ძირითად ასპექტთან დაკავშირებით 6-10კვ ქსელში. ის ითვალისწინებს შემდეგ საკითხებს:

6-10კვ-ის ქსელების ნეიტრალის რეჟიმები.

ელ სიდიდეები რომლებიც გამოიყენება დამიწების დაცვების ასამოქმედებლად.

დამიწების დაცვებისა და სიგნალიზაციის შესრულების პრინციპები,

დამიწების დაცვების ანგარიში.

საწყისი ნაწილი ზოგადად ასახავს 6-10კვ-ის განმანაწილებელ ქსელში დაზიანების სახეებს. შემოაქვს კლასიფიკაცია დაზიანების სახეებისა და მიმდინარე პროცესების მიხედვით.

შესავალში მოცემულია ნეიტრალის რეჟიმების კლასიფიკაცია ორი ჯგუფის მიხედვით: რეჟიმები რომლის დროსაც შესაძლებელია ქსელის მუშაობა ერთფაზა დამიწების რეჟიმში და რეჟიმები რომლის დროსაც ქსელის მუშაობა ასეთ ასეთ რეჟიმში დაუშვებელია.

პირველს განეკუთვნება იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმი , ნეიტრალი დამიწებული რკალმქრობი კოჭით და ნეიტრალი დამიწებული მაღალი სიდიდის რეზისტორით.

მეორე ჯგუფს განეკუთვნება ნეიტრალი ყრუდ დამიწებული და ნეიტრალი დამიწებული მცირე სიდიდის რეზისტორით.

წარმოდგენილია მასალა მოკლედროიანი თვითლიკვიდირებადი ერთფაზა მოკლემერთვების შესახებ და მისი ფიქსაციის პრინციპები დაცვებით რომელთა მუშაობა დამყარებულია გარდამავალი პროცესების ელ.სიდიდეების ანალიზზე. მოცემულია შესაბამისი სტატისტიკური ანალიზი.

წარმოდგენილია ის ელექტრული სიდიდეები რომლებზეც რეაგირებენ დამიწების დაცვები. მოცემულია ნეიტრალის წანაცვლების ძაბვის ანალიზური მნიშვნელობა და მისი როლი ერთფაზა დამიწების პროცესის იდენტიფიკაციაში. მოცემულია შესაბამისი ვექტორული დიაგრამები და ჩანაცვლების სქემები. მოცემულია დენების და ძაბვების სურათი ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში და კომპენსირებული ნეიტრალის პირობებში. ნაჩვენებია გარე და შიგა მოკლემერთვების ვექტორული დიაგრამები და მათი იდენტიფიკაციის პრინციპები.

ცალკე არის დახასიათებული დენების და ძაბვების სურათი ერთფაზა მიწასთან მოკლემერთვის გარდამავალ რეჟიმში. მნიშვნელოვანია გარდამავალი პროცესის განტოლებების წარმოდგენა, მათი ანალიზი და ამოხსნა ოპერატორული მეთოდით, გაშლის თეორიის გამოყენებით.

გარდამავალი პროცესების განტოლებები მოცემულია ნეიტრალის დამიწების სხვადასხვა რეჟიმებისათვის.

ნაჩვენებია ნულოვანი მიმდევრობის კონტურში აქტიური კარგების გავლენა ერთფაზა დამიწების გარდამავალ რეჟიმზე.

განხილულია გარდამავალი პროცესების განტოლების წარმოდგენა ცალკე ხაზის ჩართვის რეჟიმისათვის. პროცესები ილუსტრირებულია შესაბამისი ოსცილოგრამებით.

მოცემულია ერთფაზა მოკლემერთვებისაგან დაცვების შესრულების პრინციპები და ასეთი დაცვების კლასიფიკაცია.



დაცვები რომელთა მუშაობა დამყარებულია სამრეწველო სიხშირის სიდიდეების გამოყენებაზე.

აქვე არის წარმოდგენილი არასელექტიური სიგნალიზაციის პრინციპი და მისი აღწერა ძაბვის ტრანსფორმატორის გამოყენებით.

აღწერილია დაცვის მუშაობის პრინციპი ნულოვანი მიმდევრობის დენისა და ძაბვის გამოყენებით.

წარმოდგენილია პრინციპები(დაცვის ავტონომიური მოწყობილობა მაღალსიხშირული ჰარმონიკების აბსოლუტური გაზომვით) და აღწერილობა YC3-2/2 რელესი, რომელშიც გამოყენებულია მაღალსიხშირული ჰარმონიკები როგორც შესავალი სიდიდე. ასევე წარმოდგენილია YC3-3M ტიპის რელე მაღალსიხშირული ჰარმონიკების ფარდობითი გაზომვის პრინციპით.

მოყვანილია მასალა დაცვების მუშაობაზე, რომლებშიც გამოყენებულია ზედნადები დენების პრინციპი. აქვე ნაჩვენებია ასეთი დაცვების დადებითი და უარყოფითი მხარეები, საიდანაც ჩანს სიხშირული ზედდების სირთულე და ნულოვანი მიმდევრობის დენების გავლენა 25ჰც სიხშირის გატარების სპექტრზე.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს აქ მოყვანილი დაცვები, რომელთა მუშაობის პრინციპი ემყარება გარდამავალი პროცესის ელ.პარამეტრებს.

ასეთი დაცვების დადებით მხარეებთან ითვლება:

ყველა სახის ერთფაზა მოკლემერთვების ფიქსაცია.

დაცვის მუშაობის დამოუკიდებლობა ნეიტრალი მუშაობის რეჟიმისაგან.

მაღალი მგრძობიარობა, როცა მოკლემერთვა ხდება დიდი გარდამავალი წინაღობის გავლით.

გარდამავალი დენების დიდი ამპლიტუდა, რომელიც ამარტივებს ნულოვანი მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორის უბალანსობისაგან განრიდებას.

ასეთ რეგულაციებში გამოიყენება დაზიანებული მიმართულების გამოვლენის ორი მეთოდი:

1. გარდამავალი დენების ამპლიტუდის შედარება სხვადასხვა მინაერთებში.
2. მყისი სიმძლავრის მიმართულების დადგენა გარდამავალი პროცესის საწყის სტადიაზე.

წარმოდგენილია, როგორც მაგალითი, კონკრეტული შესრულების YC3 სერიის რელე.

წარმოდგენილია მიწასთან მოკლეშერთვების დანაყენების ანგარიშის პრინციპები სხვადასხვა რეგულაციების მაგალითზე.

**ზოგადად ნაშრომი შეიცავს დამიწების დაცვების თემატიკის კლასიკურ-ტრადიციულ ასპექტებს.**

**მასში არ ჩანს ახალი მიდგომები თანამედროვე საშუალებების გამოყენებაზე როგორც თეორიული ისე პრაქტიკული თვალსაზრისით.**

ქვევით წარმოდგენილია ლიტერატურული მიმოხილვა კონკრეტულად ჩატარებული კვლევების მიმართულებით.

**გარდამავალი პროცესები.** ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები 6-10კვ ელ.ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვების დროს მიმდინარეობს საშიში გადაძაბვების თანხმლებით რაც არის ძირითადი მიზეზი ორმაგი და მრავალადგილიანი იზოლაციის დაზიანებებისა და ახდენს დიდ გავლენას ემშ-ის მდგრადობასა და სწორ მუშაობაზე.

ყველაზე მეტად საშიშია რკალური მოკლეშერთვები რომლებიც წარმოადგენენ წყვეტად მოკლეშერთვებს რკალის ანთება-ჩაქრობის თანმიმდევრობით.[5]-ში აღწერილია ფიზიკური პროცესები და მათი მათემატიკა იზოლირებულ და კომპენსირებულ ნეიტრალიან ქსელებში ერთფაზა დამიწების პროცესების მიმდინარეობის დროს.

რკალური წყვეტადი ხასიათი სახიფათოა. როდესაც ინტერვალი ანთებასა და ჩაქრობას შორის არის მცირე, რკალს თან სდევს გადაძაბვები დაუზიანებელ ფაზებზე, რომლებიც იწოდება რკალურ გადაძაბვებად.

გარდა საშიში გადაძაბვებისა, რკალური მშ-ები ხასიათდება დენის ეფექტური მნიშვნელობის ზრდით დაზიანების წერტილში. ინტენსიური ელ. მაგნიტური პროცესები, რომელსაც თან სდევს რკალური წყვეტადი ემშ-ები ახდენენ მნიშვნელოვან გავლენას დაცვების მუშაობაზე, რომლებიც დამყარებულია დენისა და ძაბვის სხვადასხვა მიმდევრობის გამოყენებაზე ემშ-ის დამყარებულ რეჟიმში. საკმაოდ ფართო გამოყენება ჰპოვა აგრეთვე დაცვებმა რომლებიც დამყარებულია გარდამავალი პროცესის პარამეტრებზე[6]

გარდამავალი პროცესების ანალიზის და პარამეტრების შეფასების საჭიროება დგება შემდეგი ამოცანების გადაჭრისას:

1. გადაძაბვების გამოკვლევა ემშ-ის რკალური მ.შ-ის რეჟიმში.
2. დენის ეფექტური მნიშვნელობის შედარება დაზიანების წერტილში.
3. გარდამავალი პროცესის გავლენა დაცვების მოქმედების მდგრადობაზე.
4. გარდამავალი დენების და ძაბვების პარამეტრების და თანაფარდობის შეფასება.

**გარდამავალი პროცესების კვლევის მეთოდიკა ემშ-ის დროს 6-10კვ ქსელში.**

ითვალისწინებდა რა გარდამავალი პროცესების სირთულეს ემშ-ის დროს, რიგ ქვეყნებში უპირატესობა ენიჭებოდა მისი გამოკვლევის ექსპერიმენტალურ მეთოდებს მოქმედ ქსელებში და ფიზიკურ მოდელებზე[5]. ეს გამოკვლევები დაედო საფუძვლად თეორიულ მეთოდებს და მათემატიკური მოდელირების სისტემების დამუშავებას.

დღეისათვის, მოქმედ ქსელში ექსპერიმენტების ჩატარების სირთულე და შეზღუდულობის გამო, და აგრეთვე მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების ეფექტური საშუალებების შექმნის პირობებში[70] შრომაში გამოყენებულია ელექტრომაგნიტური პროცესების კვლევის კომპიუტერული პროგრამა EMTP (Electromagnetic Transients Program).

იმიტაციური მოდელირება არის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი, ხელმისაწვდომი და ძლიერი საშუალება გარდამავალი

პროცესების კვლევაში. იმიტაციური მოდელირების ეფექტურობა შეიძლება გაიზარდოს თუ მრავალი ფაქტორიდან რომლებიც მოქმედებენ გარდამავალ პროცესებზე გამოვყოფთ ძირითად ფაქტორებს და განვსაზღვრავთ მის ცვლილების დიაპაზონს.

გარდა იმიტაციური მოდელირებისა წარმოდგენილ შრომაში გამოყენებულია შემდეგი საშუალებები.

1. ავარიული გარდამავალი პროცესების ჩაწერა და ანალიზი ავარიული პროცესების რეგისტრატორის გამოყენებით.
2. რეალური გარდამავალი პროცესის ექსპერიმენტალური ოსცილოგრაფირება რეალურ მუშა ქსელში მცირე (1-2წმ)დროის ინტერვალში.
3. ქსელში არსებული დაზიანებების ბაზის სტატისტიკური დამუშავება.
4. ავარიული პროცესების მდგენელების სპექტრალური ანალიზი დრო და სიხშირულ სივრცეში.(Matlab-Wavelet toolbox, Furier transform.)

ცნობილი ანალიტიკური ამოცანები შეიძლება დალაგდეს შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

1. გარდამავალი პროცესის შესწავლის მიზნის მიხედვით.
  - ა) გადამაბვების შესწავლა რკალური მ.შ-ის დროს.
  - ბ) გარდამავალი დენების პარამეტრების და მახასიათებლების შესწავლა.
  - გ) პროცესების შესწავლა დაცვების მუშაობის პრინციპებიდან და უზრუნველყოფიდან გამომდინარე.
2. ელ ქსელი შენაცვლების სქემის მიხედვით.
3. კოორდინატების (მდგენელების მიხედვით (ფაზური მდგენელები, პირდაპირი უკუ და ნულოვანი მდგენელების მიხედვით და სხვა)

[37]-ის მიხედვით რთული გარდამავალი პროცესები შეიძლება დაიყოს შემდეგ სტადიებად.

1. დაზიანებულ ფაზაზე ძაბვის ნახტომისებური ცვლილება ე.მ.შ-ის ადგილას,დაკავშირებული დაზიანებული ფაზის ტევდობის მიწასთან

განმუხტვასთან და ფაზათაშორისი ტევადობების გადამუხტვა.ეს სტადია გრძელდება 0,1-10 მკვმ-ის განმავლობაში.

2. დაზიანებული წერტილიდან ორივე მიმართულებით ძაბვის დაწვევის მსრბოლი ტალღის მოძრაობა რომელიც ცვლის ჯანსაღი ფაზების პოტენციალს მიწის მიმართ.ეს ტალღები მოძრაობენ ტევადური დენის ტალღებთან ერთად,რომლებიც ხაზის არაერთგვაროვნების საზღვრებზე განიცდიან არაკვლას და გარდატეხას.ეს სტადია გრძელდება 10-1000მკვმ-ის განმავლობაში.

3. ენერჯის გაცვლა დენის წყაროს ინდუქტივობასა და გადამცემი ხაზის ტევადობას შორის რაც იწვევს საშუალო სიხშირის რხევების წარმოქმნას.

ეს სტადია გრძელდება 0,001-1წმ-ის შუალედში.

4. მიწასთან მოკლემერთვის დენის დამყარება,რომელიც გრძელდება რამოდენიმე წამი.

უშუალოდ ტალღურ პროცესს მიეკუთვნება პირველი და მეორე სტადია.

პირველი სტადია პრაქტიკულად არ მოქმედებს გადმაბვების დონეზე ერთფაზა მოკლემერთვების დროს,ისევე როგორც არ მოქმედებს ის დაცვების ფუნქციებზე.

1 და 2 სტადიას ერთად უწოდებენ განმუხტვის სტადიას,სადაც მხედველობაში აქვთ დაზიანებული ფაზის ტევადობის განმუხტვა.

3-ე სტადია გამოდის ტალღური პროცესის კატეგორიიდან და ეს არის ელ მაგნიტური გარდამავალი პროცესი შეყურსულ პარამეტრებიან ელ.ქსელში.

ეს სტადია ხშირად იწოდება როგორც დამუხტვის სტადია(რაც დაკავშირებულია დაუზიანებელი ფაზების ტევადობების დამატებით დამუხტვასთან.

ექსპერიმენტალურმა კვლევებმა მუშა ქსელში და კვლევებმა მათ მოდელებზე გვიჩვენა,რომ მაქსიმალური გადამაბვები გარდამავალ რეჟიმში მოდის დამუხტვის სტადიაზე[1].

საანგარიშო სქემის დასაბუთება,სადაც განმუხტვის სტადია გამარტივებულია და ზოგჯერ უგულვებელყოფილიც, ეყრდნობა მრავალჯერად ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებს სხვადასხვა ქვეყანაში.მაგალითად[2,3] გარდამავალი პროცესის სრული შესწავლა, რომელიც მნიშვნელოვანია მთელი რიგი გამოკვლევების დროს, სადაც საჭიროა პროცესების ელექტრული სიდიდეების შეფასება, რომელიც მოქმედებს დაცვების მუშაობაზე,გარდამავალი დენების ამპლიტუდურ სიხშირული სპექტრი,აუცილებელია განმუხტვის სტადიის გათვალისწინება.

გარდამავალი პროცესების განტოლებების ანალიტიკური ამოხსნა ითვალისწინებს მხოლოდ გამარტივებული შენაცვლების სქემის შემოღებას.ანალიტიკური კვლევის შედეგები კარგად არის წარმოდგენილი[5]-ში. გამოკვლევისას მიღებული იყო რომ მაქსიმალური ზემაბევი მიიღებოდა რკალური მ/შ-ის დროს კვების ცენტრალურ სალტებზე. ეს პრინციპი ასახულია[5]-ში რომლიც ეკუთვნის ამ დარგის წამყვან მეცნიერებს ფ.ა.ლიხაჩოვს და ნ.ნ.ბელიაკოვს. ამ შემთხვევაში გარდამავალი პროცესი აისახებოდა მე-2-რიგის დიფ.განტოლების მიხედვით,რასაც შეესაბამებოდა დენებში და ძაბვებში პირველი თავისუფალი მდგენელის არსებობა. ამიტომ ასეთი სქემები იწოდება ერთსიხშირიანად. ერთსიხშირიანი სქემები არ ითვალისწინებს განმუხტვის სტადიას, რაც ითვლება დასაშვებად ე.მ.შ-ის დროს გადაძაბვების პროცესის შესასწავლად.

შრომა [8] მიძღვნილია გარდამავალი რეჟიმის დენების შესწავლისადმი და მის გავლენაზე დაცვების მუშაობაზე.აქ გათვალისწინებულია გარდამავალი პროცესების ორივე სტადია.

შრომაში[16] ნაჩვენებია რომ,განმუხტვის და დამუხტვის სტადიების განცალკევება არ არის ყოველთვის შესაძლებელი, მაგალითად დაშორებული მოკლეშერთვების დროს.ქსელის ერთსიხშირიანი სქემები გამოიყენება შრომაში[10], სადაც ნაჩვენებია რომ განმუხტვის სტადიის

გაუთვალისწინებლობა იწვევს დამუხტვის სტადიის შეფასებაში შეცდომებს.

შრომა[11]-ში განხილულია გარდამავალი პროცესების ოსცილოგრამები, რაც გვიჩვენებს, რომ დამუხტვის და განმუხტვის სტადიებში უპირატესობა აქვს ერთ სიხშირულ მდგენელს, რომელიც განაპირობებს პროცესის ფორმას და ამპლიტუდას. ყველა მოდელის გათვალისწინებით[11] -ში შემოთავაზებულია რომ 6-10 კვ ქსელში გარდამავალი პროცესების შესასწავლად გამოყენებული იქნას ორსიხშირიანი შენაცვლების სქემა.

6-10კვ ქსელების დაცვებში გამოიყენება ნულოვანი მიმდევრობის მდგენელები, ამიტომ[11]-ში ანალიტიკური ამოხსნების მისაღებად გამოიყენება სიმეტრიული მდგენელების მეთოდი.

შრომა [12] რომლებიც ეკუთვნის ცნობილ მეცნიერს, პეტერსენს (Petersen W.) მიძღვნილია რკალური გარდამავალი პროცესების შესწავლას, რომელიც ეყრდნობა რკალის ფორმის მონაცემებს.

გადაძაბვის ძირითადი მექანიზმი აისახება ძირითად მდგენელზე მაღალსიხშირული მდგენელის ზედდებით, რომელიც აშკარად ჩანს ნებისმიერ ნორმალურ ოსცილოგრამაზე.

ყურადღების ღირსია მეთოდოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს ე.მ.შ-ის დროს გარდამავალი პროცესის გამოკვლევას ე.წ. a, b, o-მდგენელების კოორდინატებში.

ზემოთ ჩვენ განვიხილეთ გარდამავალი პროცესის შესწავლის ორი მიდგომა:

1. გარდამავალი პროცესების განტოლებების ამოხსნა ფაზურ კოორდინატებში

a, b, c.

2. განტოლებების ამოხსნა სიმეტრიული მდგენელების კოორდინატებში - პირდაპირი უკუ და ნულოვანი მიმდევრობის[1]. გარდამავალი პროცესების განხილვა a, b, o კოორდინატებში გულისხმობს ოპერატიული მეთოდის

გამოყენებას და სამი შენაცვლების სქემით a,b,uo-გარდამავალი პროცესის ანგარიშს,სადაც გამოყენებულია ხევისაიდის დაშლის თეორემა.

აღნიშნული მეთოდით შეიძლება განისაძღვროს ძაბვის და დენის a,b მდგენელები,ხოლო a,b,o მდგენელებით შეიძლება განისაზღვროს ფაზური ძაბვები და დენი ერთფაზა მოკლემერთვების დროს.

**გადამაბვები.** 6-10კვ ქსელი მიეკუთვნება განმანაწილებელ ქსელის კატეგორიას და წარმოადგენს ყველაზე უფრო გავრცელებულ, მასობრივ და გრძელ ქსელს სხვადასხვცა კლასის ელ.ქსელებს შორის.

მაღალი ძაბვის ქსელისაგან ეს ქსელი განსხვავდება სქემური გადაწყვეტილებების და მოწყობილობის მრავალფეროვნებით.ეს განპირობებულია საშუალო ძაბვის ქსელის მრავალმხრივი დანიშნულებით როგორს საკუთარი მოხმარების ქსელი ელექტროსადგურში, საწარმოების შიგა და გარე ელ მომარაგების ქსელი,ქალაქის სამომხმარებლო განმანაწილებელი ქსელი, სასოფლო ქსელი და ა.შ.და აგრეთვე ტექნოლოგიური თავისებურებებით. ამ ქსელის იმედიან მუშაობაზე არის დამოკიდებული მომხმარებლების ელ მომარაგების უწყვეტობა. ქსელის მტყუნებას, საწარმოებში წარმოების უწყვეტი ციკლით, შესაძლებელია მოჰყვეს დიდი ზარალის წარმოშობა ენერჯის შეწყვეტის გამო, რაც გამოიხატება პროდუქციის მასობრივ წუნში და ძვირადღირებული მოწყობილობის დაზიანებაში.

6-10 კვ ქსელში დაზიანების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზებს შორის არის შიდა გადამაბვები, რომლებიც წარმოიშვება ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების დროს, როგორც არის რკალური, ფერორეზონანსული და საკომუტაციო გადამაბვები.მაგალითად ელ.სადგურების საკუთარი მოხმარების ქსელში,ყოველწლიურად შიდა გადამაბვების გამო ზიანდება მაღალი ძაბვის ძრავების 50-10%[13].მიწასთან რკალური მოკლემერთვების დროს და ფერორეზონანსის გამო ზიანდება ძაბვის ტრანსფორმატორების 8%-მდე[15]და1%-მდე ძალოვანი ტრანსფორმატორების[16].



შექმნილი სიტუაცია მოითხოვს ზღვრული გადაძაბვების ჯერადობის ანალიზს აღნიშნული ელ მაგნიტური გარდამავალი პროცესების შედეგად და ღონისძიებების გამომუშავებას როგორც იზოლაციის კოორდინაციის ისე ნეიტრალის რეჟიმების კოორდინაციის კუთხით.

რიგ შემთხვევებში წარმოქმნილი შიდა გადაძაბვების შედეგად , დაზიანებები ვერ აისნება არსებული ცოდნის საფუძველზე. მაგალითად,ექსპლუატაციაში ცნობილია მრავალადგილიანი დაზიანებები დენშემზღული რეაქტორების წრედებში ერთფაზა რკალური მოკლემერთვების დროს[17] ისევე როგორც მცლელებისა და ტრანსფორმატორების დაზიანება მოკლემერთვებისას.

ამრიგად გადაძაბვების პრობლემა რკალური,ფერომაგნიტური და საკომუტაციო ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების შემთხვევაში არის აქტუალური და მოთხოვს ყოველმხრივ შესწავლასა და გადაწყვეტას.

ტექნიკურ ლიტერატურაში 6-10კვ ქსელშიგადაძაბვების პრობლემების ზოგიერთ ასპექტს ეთმობა დიდი ყურადღება, მაშინ როდესაც დანარჩენები საერთოდ არ განიხილება.

კვაზისტაციონარული გადაძაბვები განხილულია შრომებში[18], აქვე მოყვანილია ნეიტრალის წანაცვლების ანალიზი ფაზათაშორის მ.შ/გამორთვის დროს,რკალმქრობი რეაქტორის შემთხვევაში ძალიან რთულია და პრაქტიკაში ძალიან ძნელად გამოსაყენებელი. ამას გარდა დასკვნები რომლებიც გაკეთებულია[3]-ში არაერთმნიშვნელოვანია. ყველაზე უფრო სრულად კვაზისტაციონარული გადაძაბვები განხილულია[19]- ში.

რკალური გადაძაბვების პრობლემას იზოლირებულ ნეიტრალთან ქსელში მიძღვნილი აქვს მრავალი შრომა.რკალური გადაძაბვების თეორიის საფუძვლები მოყვანილია პეტერსენ-ის Petersen [20]-ში.

Peters J.F., Slepian J. [21]-ის თეორიის გაბვითარება მოხდა[22]-ში Беляков Н.Н.-ის მიერ.

აქ,იმის მიუხედავად რომ მოცემულია რკალური გადაძაბვების ფიზიკური შინაარსის ახსნა,მასში ანალიზი ჩატარებული გამარტივებული სქემებით,ქსელის რეალური კონფიგურაციის გაუთვალისწინებლად. აქ შეიძლება შეგვხვდეს ისეთი ელემენტები როგორცაა რკალშემზღული რეაქტორები,გრძელი საჰაერო ხაზები და ძაბვის მზომი ტრანსფორმატორები.რკალური გადაძაბვების ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებს მიძღვნილი აქვს შრომა [23]. მასში მოცემულია ზეძაბვების რეგისტრაციის მონაცემები, ხელოვნური მოკლეშერთვების დროს მათი ავტომატური რეგისტრაციით.

ელ.სადგურების სალტებზე ყველაზე ურო დიდი დაფიქსირებული გადაძაბვების ჯერადობა შეადგრნს 3 და მეტს ფარდობით ერთეულებში. [24]-ნაშრომში ნაჩვენებია რკალური გადაძაბვების ჯერადობების გაზრდა სალტიდან გამავალი გადამცემი ხაზის ბოლოში სადაც გადაძაბვების დონე მეტია სადგურის სალტებთან შედარებით. აქ მოცემულია ამ მოვლენის ახსნა სატელეგრაფო განტოლებების გამოყენებით გ/ხ განაწილებული პარამეტრების საფუძველზე.აღსანიშნავია შრომა[25] რომელიც მიძღვნილია საშუალო ძაბვის ქსელში ერთფაზა მოკლეშერთვებისადმი.მასში სისტემატურად არის განხილული საკითხები რელეურ დაცვაში,როცა რკალურ მოკლეშერთვებს არ ეთმობა საკმაო ყურადღება. რკალური გადაძაბვების პრობლემა,გადაძაბვების ანალიზის მეთოდები და მათი ლიკვიდაციის გზები მოცემულია შრომაში[19]. შრომები და გამოკვლევები[17] მიძღვნილია 6-10კვ ქსელში რკალურ მოკლე შერთვებთან რკალმქრობი რეაქტორების არსებობის შემთხვევაში.

[20]-ში კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე ნაჩვენებია რომ ქსელში რკალმქრობი კოჭით შესაძლებელია გადაძაბვებმა მიაღწიოს 4,0-4,5ფარდობით ერთეულს,მაგრამ არ არის მოცემული ამ ფენომენის ახსნა და მიზეზები.ზოგიერთი ექსპერიმენტალური მონაცემი ფერორეზონანსულ გადაძაბვებზე ძალოვანი ტრანსფორმატორის არასრულფაზა ჩართვის დროს მოცემულია [19]-ში, სადაც გაკეთებულია დასკვნა იმაზე,რომ,მსგავსი

გადამაბევი საშიშია ძალოვანი ტრანსფორმატორისათვის.ძალოვანი ტრანსფორმატორის არასრულფაზა ჩართვის შემთხვევაში აღძრული ფერორეზონანსული მოვლენები განხილულია შრომაში[27].

მოყვანილია გამოცდის შედეგები, რომლებიც მიღებულია მოდელებზე. აქ გამოყენებულია ერთფაზა ტრანსფორმატორები ნაცვლად სამფაზასი საერთო მგნიტოგამტარით, რაც არ შეიძლება ჩაითვალოს კორექტულად. არ არის მოყვანილი ფერორეზონანსის მკაფიო კრიტერიუმები მინაერთის სიგრძისა და ტრანსფორმატორის სიმძლავრის მიხედვით,აგრეთვე რკალმქრობი კოჭის რეაქტორის გავლენა ფერორეზონანსის წარმოშობის შესაძლებლობებზე.ფერორეზონანსის დროს ძაბვის ტრანსფორმატორის დაზიანებასა და მისგან დაცვას ეხება[15]. მიუხედავად ძაბვის ტრანსფორმატორის დაზიანებისადმი მიძღვნილი შრომების სიმრავლისა, დაზიანების გავრცელების ფიზიკური შინაარსი არ არია ახსნილი. ამას გარდა, ამ თემას მიძღვნილ სხვადასხვა პუბლიკაციებში გვთავაზობენ ძაბვის ტრანსფორმატორის დაცვის მრავალ ვარიანტს,მათ შორის საკმაოდ რთულს და არაეფექტურს. რიგი პუბლიკაციებისა მიძღვნილია საკომუტაციო გადამაბევიზე რომელიც მიმდინარეობს ქსელის პარამეტრების თანაფარდობის არასასურველი პროპორციის პირობებში.

კონდენსატორული ბატარეის კომუტაციის მოვლენა ითვლება მცირედ დამუშავებულად.პუბლიკაციაში[28] რომლებიც ეძღვნება ამ თემას,მოყვანილია ქსელის მონაცემები როცა შესაძლებელია გავითარდეს გადამაბევი და გაკეთებულია მათი ახსნის მცდელობა.მაგრამ აქ მოცემული ახსნა ტალღური თეორიის საფუძველზე სამართლიანია მხოლოდ ჩართვის პირველი მომენტისათვის. სრული პროცესის გასათვალისწინებად საჭიროა ციკაბო ფრონტიანი იმპულსის ჩაქრობის გათვალისწინება. ამას გარდა ტალღური მეთოდის საფუძველზე შეუძლებელია აიხსნას მნიშვნელოვანი გადამაბევის წარმოქმნა ქსელის გარკვეულ სქემურ ნაწილებში.

მოკლემერთვეები რომლებიც წარმოშევი მოკლემერთვეების წარმოშობისა და გამორთვის შემთხვევაში სუსტად არის განხილული

ლიტერატურაში.ზოგიერთი საკითხი ამ მიმართულებით მოცემულია[23]-ში.

**ნეიტრალის რეჟიმები.** ავარიის მთავარი მიზეზები 6-10კვ ქსელში ერთფაზა მოკლემშერთვების დროს ძირითადად დაკავშირებულია ერთფაზა მოკლემშერთვის გადაზრდასთან ორმაგ და მრავალადგილიანში რაც იწვევს გადაძაბვებს ჯანმრთელ ფაზებზე გარდამავალი და მის შემდგომ დამყარებული პროცესის განმავლობაში.

ქსელის ნეიტრალის დამიწების რეჟიმი ბევრად განაპირობებს ქსელის გარდამავალი პროცესების მიმდინარეობას ერთფაზა მოკლემშერთვის რეჟიმში.

ამდენად ქსელში გადაძაბვებთან ბრძოლის საკითხი პირდაპირ და მნიშვნელოვნად არის დაკავშირებული ნეიტრალის რეჟიმებთან.

საკითხი განხილულია[29]-ში.აგრეთვე მნიშვნელოვანია ამ მხრივ[30,31,32,33,34].

რკალური გადაძაბვების წარმოშობასა და განვითარებასთან დაკავშირებით არსებობს რამოდენიმე მოდელი ანუ თეორია.ეს თეორიებია:პეტერსონის,პეტერსის,სლეპიანიდა ბელიაკოვის.ლიხაჩოვის გამოკვლევების მიხედვით[30]გადაძაბვები ერთფაზა მ.შ.რეჟიმში სხვადასხვა ალბათობის მიხედვით შეიძლება განვითარდეს სამივე თეორიის მიხედვით.

გადაძაბვების მაქსიმალური ჯერადობის საანგარიშოდ და და ნეიტრალისდამიწების რეჟიმის შესაფასებლად ხმარობენ პეტერსონს მოდელს.

როგორც წესი თეორიული შეფასებები ეყრდნობა ქსელის გამარტივებულ მოდელს სადაც არ არის გათვალისწინებული ე.მ.შ-ის განმუხტვის მდგენელი,რაც დაკავშირებულია რკალის ჩაქრობის შესაძლებლობასთან როცა განმუხტვის მაღალსიხსირული მდგენელი გაივლის ნულოვან მნიშვნელობას. აგრეთვე ითვლება რომ გადაძაბვები ქსელის სხვადასხვა წერტილში რომლებიც ერთად არიან შეკრული

გალღვანური კავშირების მეშვეობით-ერთნაირია,რაც არ შეესაბამება სინამდვილეს და მოითხოვს დამატებით შესწავლას.(ქსელის ე.მ.შ-ის ოსცილოგრაფირებისას ხაზების ბოლოებში ძაბვების სინქრონოული რეგისტრირება) როგორც რეალური ქსელის ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, მათში რეალური გადაძაბვების მნიშვნელობები აღემატება იმ შეფასებებს რომლებიც დღეისათვის არის მიღებული.როგორც ყველაზე უსაფრთხო და ხელმისაწვდომი-ავტორებს ქსელში გადაძაბვების კვლევისათვის გამოყენებული აქვთ კომპიუტერული მათემატიკური მოდელირების მეთოდი.ექსპერიმენტები ტარდება Simulink- სა და Power System Blokset- ში ,რომლებიც არიან კომპიუტერული მათემატიკის კომპლექს Matlab-ის კომპონენტები.მიღებული რეზულტატების სამართლიანობა შემოწმებულ იქნა ელ. ქსელის გამარტივებულ ორსიხშირიან მოდელზე.შეფასებები,რომლებიც მიღებულია გამარტივებულ მოდელზე კარგად ემთხვევა სხვა შრომების რეზულტატებს.

მნიშვნელოვანია ის რომ გადაძაბვის ჯერადობები ნანგარიშვია როგორც ხაზის თავში(საანგარიშო კვანძი)ისე ხაზის ბოლოში. გადაძაბვების დონეები ხაზების ბოლოებში დაახლოვებით 20-40%-ით აღემატება ანალოგიურ სიდიდეებს ხაზების თავში.რაც მთავარია,შედარებულია გადაძაბვების დონეები ნეიტრალის ორი რეჟიმის დროს: 1) იზოლირებული ნეიტრალი 2)რეზისტორით დამიწებული ნეიტრალი(მაღალომიანი რეზისტორით).ნეიტრალის მაღალომიანი რეზისტორის დამიწების შემთხვევაში გადაძაბვების სიდიდეები დაახლოვებით ორჯერ ნაკლებია ვიდრე იზოლირებული ნეიტრალის შემთხვევაში.

იზოლირებული ნეიტრალის შემთხვევაში გადაძაბვებმა შეიძლება მიაღწიოს 5,7-მდე ჯერადობას დაზიანებულ ფაზაზე და 5,6 დაუზიანებელ ფაზაზე.ასევე გადამოწმდა გადაძაბვის დონეები გ/ხ-ის ბოლოში, სადაც მიღებულია სიდიდეები 6,2 და 5,9 შესაბამისად.

**სარელეო დაცვა.** შრომებში[ 35] და [ 36]-ში განხილულია და განზოგადებულია რეზისტიულად დამიწებულ ქსელში ე.მ.შ-ისაგან

დაცვების პრინციპები და ექსპლუატაცია. განხილულია ფაქტორები რომლებიც თან სდევნენ ე.მ.შ-ებს. ესენია: გადაძაბვები, ფერორეზონანსი, გამტარის გაწყვეტა და ჩამოვარდნა, იზოლაციის დაზიანება ძრავებში, ხაზის საყრდენის ბეტონის დაზიანება, გრუნტის გამოშრობა და ბიჯური ძაბვის ზრდა და ელ.ტრანსმისიის საფრთხის გაზრდა. რკალური მ.შ-ის დროს ქსელში ინდუქტირდება ხელშეშლები ახლომდებარე კავშირგაბმულობის ხაზებში. *აღსანიშნავია რომ, ერთფაზა მოკლემერთვებისაგან დაცვების კუთხით, ჯერ-ჯერობით ხარისხიანი, სრულყოფილი სელექტიური დაცვები არ არსებობენ.*

ხშირად ერთფაზა დამიწების ადგილის მოძებნა ხდება ძველებური მეთოდით, როცა რიგ-რიგობით ხდება სექციის ფიდერების გამორთვა და დაზიანებული მიმართულების მოძებნა. [36]-ის მიხედვით *დღემდე არ არსებობს მეთოდიკა, ერთფაზა მოკლემერთვების დროს დანაყენების გათვლისა და მგრძნობიარობის შემოწმების.* მაშინ როცა ვიცით რელეს დანაყენი, შეგვიძლიან ვიანგარიშოთ რელეს ამუშავების დენი. ხშირად საჭირო ხდება მონაცემების დაზუსტება ნატურული ექსპერიმენტების დონეზე. [36]-ში ნაჩვენებია, რომ ეს დაცვები დღეისათვის შორს არიან სრულყოფისაგან და საჭიროა ახალი თანამედროვე სრულყოფილი დაცვების დამუშავება.

ამკარაა, რომ ნეიტრალის დამიწების ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით ცვლილება მათი სრულყოფის მიმართულებით შეუძლებელია.

ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობა რომელიც ახასიათებს რეზისტულად დამიწებულ ნეიტრალს დაცვების მუშაობის კუთხით არის ის, რომ დაზიანებულ მიმართულებაში გადის რეზისტორის აქტიური დენი, მაშინ როდესაც დაუზიანებელი მიმართულებით გადის რეაქტიული დენი, რაც აიოლებს დაზიანებული ფიდერის იდენტიფიკაციას.

დღეისათვის ცნობილია დამიწების დაცვების შემდეგი ძირითადი სახეები:

1. დაცვა რომელიც ზომავს ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვას.

2. არამიმართული დაცვები, რომლებიც აფიქსირებენ ნულოვანი მიმდევრობის დენის სამრეწველო სიხშირის მდგენელს.
3. მიმართული დაცვები ძაბვისა და დენის სამრეწველო სიხშირის მდგენელებზე რეაგირებით.
4. დაცვები რომლებიც აფიქსირებენ ზედნადებ დენებს, განსხვავებულს სამრეწველო სიხშირისაგან.
5. დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი დენის მაღალსიხშირულ მდგენელზე.
6. დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვასა და დენზე გარდამავალ რეჟიმში.

დღეისათვის არსებობს არამიმართული დაცვების ფართო ნომენკლატურა: PT3-51; BMP3-K1-11; BMP3-K1-36; BMP3-K1-42; BMP3-K1-51; SEPAM, S20-ფირმა Shneider Electric; დაცვები ABB-SPA COM; SPAS-800; ფირმა არევა-MICOM P121, P122; Compact; P127; ფირმა Siemens-ის-Siprotec-4-7SJ61.

საინტერესოა არამიმართული დაცვა ნულოვანი მიმდევრობის დაცვის ფარდობითი გაზომვით, როდესაც ხდება ნულოვანი მიმდევრობის დენების შედარება და მათგან მაქსიმალური დენის გავლის ფიქსაცია და შესაბამისი ფიდერის გამორთვა. მაგალითად MK 33II-6 „ЭКСТРА“ ფირმის.

მნიშვნელოვანი განვითარება პოვის მიმართულმა დაცვებმა--ეს არის დამიწების დაცვების ფართო კლასი სადაც შედის:

დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი მიმდევრობის დენზე და შესაბამისი სიმძლავრის მიმართულებაზე.

დაცვები, რომელთა მუშა სიდიდეა ნულოვანი მიმდევრობის დენის პროექცია რაღაც სახასიათო კუთხეზე, რომელიც განსაზღვრავს მუშა ზონის შუა ნაწილს. აქ შედის დაცვები და მოწყობილობები, რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი მიმდევრობის დენის ცალკეულ მდგენელებზე ან სრულ გამტარობაზე.

მნიშვნელოვანი და ცალკე მდგომი საკითხი, რომელიც მოითხოვს ცალკე ყურადღებას და განხილვას, ეს არის მგრძნობიარობის შემოწმება.

მნიშვნელოვანია რომ დღეისათვის არ არსებობს ოფიციალური მეთოდიკა დაცვების დანაყენების შერჩევის.

პროექტანტი იძულებულია მომხმარებელს შესთავაზოს შემდეგი პროცედურა: თავიდან არსებულ დაცვებზე ყენდება მინიმალური დანაყენი.თუ ექსპლუატაციის პროცესში დაცვა მოქმედებს არასწორად, დანაყენებს აუხეშებენ მანამ დაცვების არასწორი მუშაობა არ შეწყდება.

ასეთი რეკომენდაციები არათულებენ სარელეო დაცვების ექსპლუატაციას და მათ ეფექტურ მუშაობას. უკვე წინასწარ დაშვებულია რომ რელე მოქმედებს არასწორად.

ხშირად რელეს დამამზადებლები გვთავაზობენ რელეს მაღალ მგრძნობიარობას, მაგალითად 0,2-0,3 ამპერი. ასეთ მონაცემებს მომხმარებელი შეჰყავს შეცდომაში. ასეთი დენების სიდიდე ახლოს არის უბალანსობის დენებთან, რაც განაპირობებს დაცვების ყალბ მუშაობას.

მნიშვნელოვანი სიძნელეები იქმნება საჭაერო გადამცემ ხაზებზე ემშისაგან დაცვენის ექსპლუატაციაში როდესაც ასეთი გადამცემი ხაზი წყდება და სადენი ვარდება მიწაზე, დამიწების ადგილას წარმოიქმნება გარდამავალი წინაღობა რამოდენიმე კილოომის ტოლი. ამ დროს ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა და დენი ძლიერ მცირდება და ხდება თანაჯერადი ქსელის პარამეტრების უბალანსობის სიდიდის. ეს ზღუდავს დაცვის მუშაობის მინიმალური ძაბვისა და დენის მინიმალურ მნიშვნელობებს, რის გამოც ეს სიდიდეები უნდა განერიდოს უბალანსობას, რაც ზღუდავს დაცვის ამუშავების მინიმალურ დენსა და ძაბვას.

ნაწილობრივ გამოსავალი შეიძლება მოიძებნოს დაცვების კომბინირებულ გამოყენებაში. მაგალითად ნულოვანი მიმდევრობის მიმართული დაცვის და უკუმდევრობის დაცვის კომბინაცია. პირველი დაცვა გამორთავს ხაზს როცა რკალის წინაღობა იქნება 1



კილომამდე, ხოლო მეორე როცა ხაზი გაწყდება. მაგრამ ხაზის გაწყვეტისაგან დაცვა მუშაობს ცუდად მცირე დატვირთვის დენების შემთხვევაში. P-142 დაცვაში AREVA გამოყენებულია სელექტივობის მეთოდი როცა სპეციალური ორგანო განსაზღვრავს უკუმდევრობის დენის ფარდობას პირდაპირი მიმდევრობის დენთან  $I_2/I_1$ . ემშ-გან დაცვები გამოიყენება იზოლირებულ ნეიტრალიან და რეზისტიულად დამიწებულ ქსელებში.

რიგ შემთხვევებში კარგ ეფექტს იძლევა დაცვები რომლებიც აფიქსირებენ ზედდებულ დენს 25 ჰც-ის სიხშირეზე [38]-ის მიხედვით ასეთი დაცვების უარყოფითი მხარე მდგომარეობს იმაში რომ დაცვის მუშაობაზე მოქმედებს დენის ტრანსფორმატორის ცდომილებები, რომლებიც იზრდებიან სიშირის გაზრდასთან ერთად. ამ შემთხვევაში ძნელია შესრულდეს განრიდება ბუნებრივი მაღალსიხშირული მდგენელებისაგან ერთფაზა მოკლემერთვის რკალური ხასიათის შემთხვევაში.

ელექტრულ ქსელებში მნიშვნელოვანი გავრცელება ჰპოვა დაცვებმა ეგრეთწოდებული “აბსოლუტური გაზომვით” რომელიც დამყარებულია 3I<sub>0</sub> დენში მაღალსიხშირული ჰარმონიკების დონეზე და ადარებს ამ პარამეტრს სხვადასხვა მინაერთში გამავალი დენებს. ეს დაცვები არაეფექტურია როდესაც მაღალსიხშირული მდგენელის შემცველობა არასტაბილურია-მაგალითად ნკვ ქსელი რომელიც ამარაგებს წარმოებებს. [39]-ში მითითებულია რომ ასეთი დაცვების სტაბილურობა გარანტირებულია მსხვილქვესადგურებში, სადაც არის მინაერთთა დიდი რაოდენობა. ამ მიმართულებით ცნობილია დაცვები: YC3-2/2, Сириус [40], აგრეთვე Micom P120, 121, 122, 123, და P125, P126, P127 [41]-ში.

სპეციალური და მნიშვნელოვანი ყურადღების ღირსია დაცვის მოწყობილობები, რომლებიც რეაგირებენ დენის და ძაბვის ნულოვანი მიმდევრობის მდგენელებზე ემშ-ის გარდამავალ რეჟიმში. ასეთი დაცვები დამუშავებულია პირველ რიგში კომპენსირებული ქსელებისათვის, მაგრამ

თავისი პრინციპის მიხედვით ისინი შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში, ისე რეზისტორით დამიწებულ ქსელში. გამოკვლევები და ასეთი დაცვების გამოყენების გამოცდილება გვიჩვენებს რომ ისინი უფრო უნივერსალური ხდებიან თუ გამოყენებულია დაცვების შესრულების შემდეგი ორი მეთოდი:

-გარდამავალი დენების ამპლიტუდების შედარება დასაცავი ობიექტის მინაერთებს შორის.

-ნულოვანი მიმდევრობის მყისა სიმძლავრის განსაზღვრა გარდამავალი პროცესის საწყის სტადიაში.

პირველი მეთოდის საფუძველზე სრულდება ფარდობითი გაზომვის ცენტრალიზებული დაცვები.

მეორე მეთოდის მიხედვით შეიძლება შესრულდეს მიმართული ცენტრალიზებული და ავტონომიური(ინდივიდუალური)დაცვის მოწყობილობები.

ყველაზე მეტად ცნობილ იმპულსურ დაცვებს მიეკუთვნება[36] ИСЗ და УСЗ-01რომლებიც დამუშავებულია ЭНИИ-ში.იმპულსურ დაცვებს მიძღვნილი აქვთ შრომები [42] [43][44][44-1]

ცენტრალიზებული მიმართული მოწყობილობები განხილულია და შესწავლილია შრომებში [45]

ერთგაზა დამიწების სიგნალიზაციის დაცვები განხილულია[48] -ში.

ზემოთ მოყვანილი ცენტრალიზებული და ავტონომიური დაცვის მოწყობილობები, რომლებიც რეაგირებენ გარდამავალი პროცესის მხოლოდ ელექტრულ სიდიდეებზე,რომლებიც არ შეიცავენ უწყვეტობის თვისებებს ,ვერ მუშაობენ მყარი მიწასთან მოკლეშერთვების დროს.

დაცვები რომლებიც შეიცავენ უწყვეტობის პრინციპებს, მოხერხებულია ემშ-ის ძეზნის პროცესში.

[47]-ის ავტორების შეხედულებით ეფექტური და უნივერსალური გადაწყვეტლება მიიღწევა დაცვებში,რომელთაც ახასიათებს:

1. მიმართული მოქმედება გარდამავალ და დამყარებულ რეჟიმებში.

2. სელექტიურობა და მაღალი მდგრადობა ემშ-ების ყველა სახეობების დროს, რკალური არამდგრადი და რკალურ გარდამავალი მშ-ის დროს.
3. მცირედროიანი თვითლიკვიდირებადი განმუტვების ფიქსაცია.
4. მყარი მოკლემერთვებისას უწყვეტი მოქმედება.

ეს პრინციპები რეალიზებულია ავტონომიურ მიმართულებიან მოწყობილებაში «СПЕКТР» [48]

გარდამავალ პროცესებზე და მათ მდგენელებზე ასევე რეაგირებენ Sepami-ს ტიპის დაცვები S41 რელეზე. (კოდი ANSI67N/67NC) კომპანია Shneider Elektrik.

ზემოთ ჩატარებული მიმოხილვა მიგვანიშნებს რომ, დღეისათვის 6-10კვ ელ ქსელებში ემშ-ისაგან დაცვების საკმაოდ ფართო ნაირსახეობის მიუხედავად, რჩება პრობლემა სრულყოფილი და ეფექტური დამიწების დაცვის შექმნის. ყველა ცალკე აღებულ შემთხვევაში ჩვენ ვხედავთ დაბრკოლებებს და სიძნელებებს, რომლებიც საბოლოო ჯამში მოქმედებენ დაცვების სელექტიურ მუშაობაზე.

ყველა დაცვა რომელიც დღემდე არის შექმნილი ძირითადად მუშაობს ელექტრული სიგნალების გაზომვისა და შედარების პრინციპებზე, მაშინ როდესაც თვით ელექტრული სიგნალები დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე რის გათვალისწინებაც ხდება შესაბამის რელეებში. ამის გამო მარტივი და გამჭვირვალე პრინციპები რთულდება მრავალმიმართულებიანი პირობების გათვალისწინების გამო.

სარელეო დაცვის განვითარების თანამედროვე მიმართულებები. ჩვენი ლიტერატურის მიმოხილვის შემდეგი ნაწილი ეხება თანამედროვე მიმართულებების საკითხებს სარელეო დაცვაში და იმ შედეგებს რომლებიც მიღწეულია ამ დარგში. ამ მხრივ ფრიად მნიშვნელოვანია ფართომასშტაბიანი მიმოხილვა რომელიც შესრულებულია [49]-ში.

მიკროპროცესული ტექნოლოგიების განვითარებამ განაპირობა მართვის, დაცვის და ავტომატიკის ახალი თაობის მიწყობილობების

ინტენსიური დამუშავება. ამ დროს წინა პლანზე იწევს მოწყობილობების ფუნქციონირების ალგორითმული დასაბუთება, რომლის საფუძველს წარმოადგენს დინამიური სისტემის ანალიზის და სინთეზის ახალი მათემატიკური მეთოდები.

ბოლო დროს უფრო და უფრო მეტი ენერგეტიკის დარგში მომუშავე მეცნიერი მიმართავს შედარებით უახლეს მოკლე დროში შექმნილ სიგნალების ანალიზის მეთოდებს, კერძოდ კი ვეივლეტ ანალიზს.

დღეისათვის ვეივლეტ გარდაქმნა (Wavelet transform) იწყებს გამოყენებას ენერგეტიკის სხვადასხვა მიმართულებებში.

ვეივლეტ ანალიზის შემოსვლამდე სიგნალების დამუშავების ერთ-ერთი ძირითად და ძლიერ მეთოდად ითვლებოდა ფურიე ანალიზი და გარდაქმნები. ვეივლეტ გარდაქმნების გამოყენებისა და ანალიზის კუთხით მნიშვნელოვანია შრომები [50-53].

ფურიე ანალიზის უარყოფით მხარეებად ითვლება შემდეგი:

ეს მეთოდი ვერ რეაგირებს სიგნალების ისეთ თავისებურებებზე როგორცაა ნახტომი, წყვეტები, ციცაბო პიკები, ეი ყოველივე ის რაც არ აისახება სიგნალების ცვლილებისას მცირე დროის ინტერვალებში.

ჰარმონიული ბაზისური ფუნქცია, რომელიც გამოიყენება სიგნალის სპექტრული დაშლისათვის, ვერ ასახავს სიგნალებს, რომელთა ციცაბობა არის უსასრულო, რადგან ის მოიცავს მწკრივის უსასრულო სიხშირულ მდგენელებს.

თუ შევზღუდავთ ფურიეს მწკრივის მდგენელების რიცხვს, მასინ სიგნალში მივიღებთ ოსცილაციას.

ფურიე გარდაქმნა წარმოსახავს სიხშირული მდგენელების გლობალურ მახასიათებლებს, რომლებიც განსაზღვრულია დროის უსასრულო ინტერვალზე.

ფურიე გარდაქმნა არ იძლევა მონაცემებს ფუნქციის ლოკალურ ყოფაქცევაზე, განსაკუთრებით სიხშირული მდგენელების სწრაფი

ცვლილებისას და ვერ უზრუნველყოფს სიგნალის ანალიზს დროის ნებისმიერ მონაკვეთზე.

**ვეივლეტ გარდაქმნა(WT)** წარმოადგენს სიგნალების ხაზოვანი გარდაქმნის განსაკუთრებულ ტიპს. ბაზისური, საკუთარი (ფუნდამენტალური) ფუნქციები, რომლის მიხედვითაც ხდება გარდაქმნა, შეიცავს ბევრ სპეციალურ თვისებებს და საშუალებებს. მისი მეშვეობით შესაძლებელი ხდება გამახვილდეს ყურადღება სიგნალის იმ ლოკალურ ფრაგმენტზე, რომლის გამოფვრაც გვინტერესებს, და რომლის შესრულებაც შეუძლებელია სხვა მეთოდების გამოყენებით(ფურიე ლაპლასი და სხვა).

**Wavelet-მოკლე ტალღა-**ითარგმნება როგორც შემფოთება. ტალღა ეს არის გარკვეული სახის ფუნქცია რომელიც ლოკალიზებულია არგუმენტების ღერძზე და რომელიც ინვარიანტულია წანაცვლებისა და მასშტაბირების ოპერაციების მიმართ. ის იქმნება სპეციალური ბაზისური ფუნქციების მეშვეობით, რომლებიც განსაზღვრავენ მის სახეს და თვისებებს.

ვეივლეტ გარდაქმნების თეორია წარმოადგენს საშუალებას მრავალი ამოცანის გადასაწყვეტად. ვეივლეტის გამოყენების ძირითადი სფეროა სიგნალების და ფუნქციების ანალიზი და დამუშავება. ეს ფუნქციები არ არიან სტაბილური არც დროში და არც ერთგვაროვანია სივრცეში. დამუშავების შედეგი შეიცავს ინფორმაციას როგორც სიხშირულ სპექტრზე ისე სიგნალის ლოკალიზაციაზე სივრცეში.

ვეივლეტი ლოკალიზდება როგორც სიხშირულ ისე დროის ღერძზე. რაც უფრო ზუსტად განისაზღვრება სიგნალი დროში, მით უფრო ფართე იქნება მისი სიხშირული სპექტრი.

ფურიე გარდაქმნასთან შედარებით ვეივლეტ გარდაქმნა გაცილებით მაღალი სიზუსტით წარმოადგენს სიგნალის ლოკალურ თვისებებს. ვეივლეტ გარდაქმნა უზრუნველყოფს სიგნალის ორგანზომილებიან განშლას სადაც სიხშირე და კოორდინატა წარმოსდგება

როგორც დამოუკიდებელი ცვლადები, რაც იძლევა საშუალებას მოხდეს სიგნალის ანალიზი ერთდროულად ორ სივრცეში.

პირველი სამუშაოები ვეივლეტთან დაკავშირებით ჩატარდა წინა საუკუნის 90-იან წლებში მეიერის(Y.Mayer), დობეშის(I.Daubechies) და მალატი (S.Mallat) მიერ. ვეივლეტ გარდაქმნების მათემატიკური აპარატი ვითარდება. მისი სპეციალური პეკეტები უკვე შედიან კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამებში.

ვეივლეტ გარდაქმნების იდეა მდგომარეობს ფუნქციის ორი კომპონენტით წარმოდგენაში როგორც მაპროექსიუმებელ და მადეტალიზებელ კომპონენტებად[50].

სიგნალების ანალიზი სხვადასხვა ტიპის ვეივლეტის გამოყენებით გვაძლევს საშუალებას დავინახოთ სიგნალის ლოკალური თავისებურებები.

არსებობს ვეივლეტ გარდაქმნის ორი ძირითადი ტიპი:

უწვეტი ვეივლეტ გარდაქმნა და დისკრეტული ვეივლეტ გარდაქმნა.

უწვეტი ვეივლეტ გარდაქმნა გამოიყენება სიგნალის თავისებურებების გამოსაკვლევად და მისი აღმოჩენის ამოცანების გადასაწყვეტად.

დისკრეტული ვეივლეტ გარდაქმნა გამოიყენება მონაცემთა შეკუმშვისათვის და ფილტრაციისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ვეივლეტ გარდაქმნის უარყოფით მხარედ ითვლება მისი ფარდობითი სირთულე.

პირველი პუბლიკაციები ამ მიმართულებით დაკავშირებულია დ.რობერტსონის[54]Robertson და პ.რიბეიროს [55]Robeiro შრომებთან.

მომდევნო შრომები გამოყენებული იყო ვეივლეტ-გარდაქმნების გამოყენებასთან დენისა და ძაბვის სიგნალების დამუშავებაში, გარდამავალი პროცესების ფიქსაციისათვის, მისი სწრაფი და ზუსტი იდენტიფიკაციისათვის. განსაკუთრებით პოპულარულია ვ.გ.გამოყენება: ელ ენერჯის ხარისხის ანალიზი, ელ მოწყობილობების

დიაგნოსტიკა,გარდამავალი პროცესების ანალიზი,რელეური დაცვა და ავტომატიკა.

ამ მიმართულებებიდან ჩვენი ინტერესები დაკავშირებულია გარდამავალ პროცესებთან და რელეურ დაცვასთან.

ვეივლეტ გარდაქმნების გამოყენების კონკრეტული საკითხები განხილულია ქვევით კომპიუტერული მათემატიკისა და რეალური ვეივლეტ ბლოკ- სქემის დამუშავების განყოფილებებში.

## თავი 1.

### 6-10 კვ-ის ქსელის გამოკვლევა და შესწავლა

#### 1.1. საშუალო ძაბვის ქსელების ზოგადი დახასიათება

ავარიულობის მონაცემების მიხედვით ანალიზი გვიჩვენებს რომ განმანაწილებელ ქსელებში მიწასთან მოკლემერთვებზე მოდის ყველა დაზიანების 90%.

დაზიანების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ მეტელურ(ყრუ) და დანარჩენი(გარდამავალი ან მყარი რკალით).ზოგჯერ გამოყოფენ მოკლემერთებს გარდამავალი წინალობის გავლით.

ერთფაზა მოკლემერთების ძირითადი მიზეზებია:

გადაძაბვების ზემოქმედება ელემენტის იზოლაციაზე

ელ მედეგობის ცვლილება იზოლაციის დაძველების დროს.

მექანიკური ზემოქმედებები და მონტაჟის დეფექტები.

ელ მოწყობილობებზე რკალი და გადაფარვები დენგამტარ ნაწილებს შორის და მიწასთან.

აგრეთვე ხშირად ხდება დაზიანება საიზოლაციო შუალედზე ხანმოკლე გადაძაბვებით.სხვადასხვა გადაძაბვები მოქმედებენ ერთეული მიკროსეკუნდიდან რამოდენიმე საათამდე.მცირე დროის გადაძაბვებით შესაძლებელია იზოლაციის გარღვევა და გადაფარვა,მომხმარებლის გამორთვა,რაც იწვევს ელ.მომხმარებელზე ენერგიის მიწოდების შეწყვეტას და ენერგიის ხარისხის დაქვეითებას.

დღეისათვის 6-10კვ ქსელის ექსპლუატაცია მიმდინარეობს ოზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმში.ეს ახასიათებს ქსელს როგორც გადაძაბვებისაგან დაუცველს,რაც არის იზოლაციის დაჩქარებული დაძველების ძირითადი მიზეზი.

განმანაწილებელი ქსელის ელემენტები,როგორც წესი ზიანდება უფრო ხშირად,ვინემ სხვა დონის ქსელის ელემენტები.



ქსელის განვითარების ახალი პროექტები დაფუძნებულია ახალი საკაბელო ტექნოლოგიების გამოყენებაზე, ეთილენ პროპილენის რეზინით და ჩაკერებული პოლოეთილენით. ძველი კაბელებისაგან განსხვავებით, ამ კაბელებში არ მოქმედებს თვითაღდგენის ეფექტი, ამიტომ ასეთი ხაზების სრულფასოვანი დაცვა განსაკუთრებით აქტუალურია.

საშუალო ძაბვის ქსელის თავისებურებები შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად:

1. გადამცემი ხაზების დიდი ჯამური სიგრძე ყველა გალვანურად დაკავშირებულ ქსელში, ფაზური ტევადობების და ერთფაზა მოკლემერთვის დენების მაღალი მნიშვნელობებით (ასეული ამპერი საკაბელო ქსელში და ერთეული ამპერი საჰაერო ეგხ-ის ქსელში).
2. ქალაქის ქსელების შესრულება უპირატესად კაბელით.
3. ქსელის და საექსპლუატაციო რეჟიმების დამოკიდებულება ელ. მომარაგების კატეგორიისაგან.
4. მიწასთან ე.მ.შ-ის ხანგრძლივი რეჟიმის შესაძებლობა, რის საშუალებასაც გვაძლევს ელ მომარაგების „სამკუთხედის“ შენარჩუნება როცა მომხმარებელი 0,4კვ-ის მხარეს ვერ გრძნობს მიწას. ყოველივე ამან შეიძლება გამოიწვიოს მეორადი დაზიანება და ფაზათაშორისი გარღვევა, ავარიული და ზოგჯერ კასკადური გამორთვებიც.
5. ქსელის ექსპლუატაცია ხასიათდება არაეფექტურად დამიწებული ნეიტრალით (მ.შ-ის კოეფიციენტი ტოლია 1,73-ის), ამიტომ მოწყობილობის იზოლაცია გათვლილია ხაზურ ძაბვაზე.
6. ემშ-ისაგან დაცვის მრავალფეროვნება, როგორც ინდივიდუალური ისე ცენტრალიზებული.

აღსანიშნავია ნორმატიული მოთხოვნების არარსებობა ასეთ დაცვებზე საპროექტო გადაწყვეტილებებსა და ექსპლუატაციაზე. ხშირ შემთხვევებში დამიწების დაცვები არ არის შესრულებული და შეყვანილი ექსპლუატაციაში.

ყოველივე ეს ქმნის დაზიანებული ფაზის სელექტიურ განსაზღვრის შეუძლებლობას და დაზიანებული უბნის ოპერატიულ ლოკალიზაციას ერთფაზა დამიწების დროს.

7. ახალი ტექნოლოგიების აქტიური დანერგვა, ისეთი როგორც არის კაბელი ჩართული პოლიეთილენით, მულტიკამერული მცლელები და ჩამოსაკიდი ძაბვის შემზღუდველები, ძალოვანი ტრანსფორმატორები მცირე დანაკარგებით, ვოლტდამმატი ტრანსფორმატორები, მძლავრი ავარიული კვების წყაროები, ხშირად წინ უსწრებენ არსებულ ნორმატიულ და გამოსაცდელ ბაზებს. ასეთი ბაზების არარსებობის გამო იქმნება პრობლემები ექსპლუატაციაში რომლის გადაწყვეტა უწევთ დამმუშავებლებს, საექსპლუატაციო პერსონალსა და მწარმოებლებს.

## 1. 2. სს „თელასის“ 6-10კვ ქსელის აღწერა

სს “თელასის“ 6-10კვ ქსელი წარმოადგენს იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელს. საქვესადგურე და საკაბელო მეურნეობა ძლიერ ამორტიზირებულია. ქსელი ხასიათდება ტევადური დენების მაღალი დონით (საშუალოდ 20-50ა) აქედან გამომდინარე შედეგებით. ქსელში არ არსებობს ტევადური დენების კომპენსაციის მოწყობილობა.

ქსელის ტექნიკური სტრუქტურა წარმოდგება შემდეგნაირად:

ცენტრალური განმანაწილებელი პუნქტების (ცგპ) საერთო რაოდენობა--177  
სააბონენტო პუნქტების რაოდენობა--1400 ერთეული

სს თელასის კუთვნილი 6-10კვ ქვესადგურების რაოდენობა--1805 ერთეული  
ქსელი შესდგება მაგისტრალური და რადიალური უბნებისაგან. რადიალური უბნები წარმოდგენილია ძირითადად ცგპ-პუნქტებით. ცგპ-ების ნაწილი აღჭურვილია ზეთიანი და ვაკუუმური ამომრათველებით. უმეტესი ნაწილი კომუტირდება არაავტომატური მშრალი და დათვირთვის გამთიშველებით.

ქსელის საკომუტაციო პარკის სტრუქტურა წარმოსდგება შემდეგნაირად:

მშრალი გამთიშველები--2762 კომპლ.

დატვირთვის ამომრთველები--3962 კომპლ.

ზეთიანი ამომრთველები---1543 კომპლ

საკომუტაციო პარკის დაახლოვებით 25% უზრუნველყოფილია ზეთიანი და ვაკუუმური ამომრთველებით, ხოლო დანარჩენი 75% კომპუტირდება არაავტომატური დატვირთვის ამომრთველებით (ხელის ამძრავი) და მშრალი გამთიშველებით.

ქსელის მაგისტრალური ნაწილი წარმოდგენილია მსხვილ ცგპ-ებზე მიერთებული სატრანსფორმატორო პუნქტებით, რომლებიც ძირითადად კომპუტირდება მშრალი გამთიშველებით.

ქსელში წარმოდგენილია გრძივი და განივი დამატებითი საკაბელო კავშირები, რომლებიც ემსახურება ელ კვების რეზერვირებას და კომპუტირდება არაავტომატური მშრალი გამთიშველებით.

ცგპ და ტპ-ში, რომლებიც არ არის აღჭურვილი ავტომატური ამომრთველებით, არ შეიძლება დამონტაჟდეს სარელეო დაცვა, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მის სიცოცხლის უნარიანობას, საიმედოობას, მართვის ოპერატიულობას და საბოლოოდ ამცირებს მომხმარებლის ელმომარაგების საიმედოობას.

### 1.3. ქსელის ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების ანალიზი

როგორც გვიჩვენა მრავალწლიურმა დაკვირვებებმა, ქსელის იმედიანობა და მდგრადობა მრავალწლიად განპირობებულია ელ მაგნიტური გარდამავალი პროცესებით რომლებიც გამოწვეულია:

მ.შ.დენების გამორთვით

ერთფაზა მოკლემერთვებით (მიწასთან მოკლემერთვა, რკალური ან მეტალური)

მცირედ დატვირთული ან რეაქტიული ტვირთიანი კაბელების გამირთვა

ძრავური ტვირთის კომუტაცია

კომუტაცია სწრაფმოქმედი ვაკუუმური ამომრთველებით  
ფერორეზონანსი

ზემოთ ჩამოთვლილ პროცესებს თან ახლავს გადაძაბვები, რომლებიც აისახება უჯრედების და კაბელის იზოლაციის მდგრადობაზე, რომელიც იწვევს მათ დაზიანებებს, როგორც წესი ერთდროულად რამოდენიმე მიმართულებაზე.

დაზიანებების მრავალმიმართულობა გამოწვეულია იმით რომ, ერთი სექციის ყველა კაბელი ფაზების მიხედვით გალვანურად არის გაერთიანებული.

ეს რეზულტატები კიდევ უფრო მძიმდება ვაკუუმური ამომრთველების არსებობით გათიშვის დიდი ციკაბობით, შესაბამისად გადაძაბვის მაღალი ჯერადობით.

გადაძაბვების ეს მდგენელი გათვალისწინებულია უჯრედებში ძაბვის შემზღუდველების დაყენებით.

ფერორეზონანსი-მიმდევრობითი წრედის რეზონანსი რომელიც შესდგება ტრანსფორმატორის გრაგნილისა რკინის გულარით და ქსელის ტევადობისაგან. ეს ავარიული რეჟიმი შეიძლება განვითარდეს ქსელის კონფიგურაციის ცვლილების დროს სხვადასხვა საექსპლუატაციო რეჟიმში, მიწასთან მოკლემერთვისას, დაბალი ტვირთის დროს, (მალოვანი ტრანსფორმატორის დაუტვირთობა 30%-ზე ნაკლებათ, არასრულფაზა გამორთვების დროს, ამომრთველის ფაზებს შორის გამორთვების არაერთდროულობით. ეს ავარიული რეჟიმი გამოირჩევა გადაძაბვების მაღალი ჯერადობით და ხანგრლივობით.

#### 1.4. 6-10კვ ქსელის რელეური დაცვა და მისი მუშაობის ანალიზი

დღეისათვის თელასის 60-10 ქსელში მოქმედებს რელეური დაცვის და ავტომატიკის (რდა) სამი თაობის მოწყობილობები:

ელექტრომექანიკური რელე-1500კომპლექტი

ელექტრონული და ციფრული ტერმინალები-500კომპლექტი  
ელექტრო მექანიკური რელეების პარკში ძირითადი ადგილი უკავია პირდაპირი მოქმედების რელეებს.ა

6-10კვ ქსელში მოქმედებს დაცვის შემდეგი სახეობები:

ფაზათაშორისი მაქსიმალური დენური დაცვები და დენური მოკვეთებით-1500კომპლ

ერთფაზა დამიწებისაგან დაცვები-200კომპლ

რეკონსტრუირებულ ცვპ-ებში მონტაჟდება დამატებით ლოგიკური და რკალური დაცვები და დამიწებისაგან დაცვები.

კომპლექტაციის პროცესში,მონტაჟ გაწყობის დროს ხშირად ხდება დაზიანებული დენის ტრანსფორმატორების შეცვლა ან შეცვლა ნომინალის მიხედვით.

ცვპ-ების რეკონსტრუქცია აუცილებად გულისხმობს ციფრული ტერმინალის მონტაჟს,რკალური და ლოგიკური დაცვის განხორციელებას.იდება საშუალება ინფორმაციის გადაცემისათვის.

დენური მოკვეთების ხშირი მოქმედება მაღალი ძაბვის გამომავალ უჯრედებში,რაც დაკავშირებულია მოკლე ხაზებზე სელექტიური მოკვეთის განხორციელების სიძნელეებით.

საჭიროა აღინიშნოს რომ 6-10კვ ქსელში ტრადიციულად არ გამოიყენებოდა დამიწების დაცვები,ან ისინი მოქმედებდნენ სიგნალზე.დაცვების შეყვანა გამორთვაზე დაიწყო 2000წლიდან.

ხშირადხდება დაცვების მუშაობა სიმძლავრის გაზრდის შემთხვევაში.ამ შემთხვევაში საჭიროა ავიცილოთ თავიდან ზედმეტი გამორთვები რეჟიმის ცვლილების წინასწარი ინფორმირებით.

ქსელის რდა-ზე მუშაობაზე დიდ გავლენას ახდენს დამიწების დენების მაღალი დონეები,რაც იწვევს მრავალმიმართულებიან გამორთვებს დანაყენების განრიდების სიძნელეებით.

სელექტივობის კუთხით მნიშვნელოვანი პრობლემაა სელექტივობის საფეხურების ჯაბური დროის ლიმიტი(0,5-1,0წმ).

## 1.5. ერთფაზა მოკლემერთვების სიგნალების რეგისტრაცია, გარდაქმნები და ანალიზი

### 1.5.1. საკითხის მნიშვნელობა.

საშუალო 6-10კვ განმანაწილებელი ელექტრული ქსელი წარმოადგენს ელ.მომარაგების იმ რგოლს რომელიც ძირითადად განსაზღვრავს ელ.მომხმარებლის იმედიან კვებას.

ბოლო წლებში მკვეთრად გაიზარდა ინტერესი ამ რგოლის მუშაობის ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

კარგად არის ცნობილი ის პრობლემები რომელიც დაკავშირებულია ელ.მომარაგების ამ საფეხურის მუშაობის თავისებურებებთან .როგორც ცნობილია ეს პრობლემები დაკავშირებულია ნეიტრალის რეჟიმებთან.

ამ მიმართულებით შესრულებულია მრავალი საინჟინრო თუ სამეცნიერო გამოკვლევები,მიღებულია მრავალი საინტერესო შედეგი,გადაწყვეტილება რომლებსაც მივყავართ ქსელის მუშაობის ხარისხის გაუმჯობესებასთან და ხშირად სრულიად ახალი შედეგების მიღებასთან, რომელიც კარდინალურად ცვლის საკითხის გადაწყვეტის გზებს.კერძოდ ადგილი აქვს ქსელის ნეიტრალის რეჟიმების ახალ გადაწყვეტილებებს,დაცვების ახალი პრინციპების და შესაძლებლობების მიღწევას.

ამ მნიშვნელოვან საქმეში წამყვანი როლი მიუძღვის ქსელის კვლევის ინსტრუმენტალურ მეთოდებს და მათი დამუშავების თეორიულ და პრაქტიკულ საშუალებებს.

### 1.5.2. ქსელის ინსტრუმენტალური კვლევის მეთოდების და საშუალებების ზოგადი მიმოხილვა.

ამოცანები რომლის გადაწყვეტაც ხდება ქსელის კვლევის ინსტრუმენტალური მეთოდების და საშუალებების გამოყენებით დაწვრილებით არის მოცემული ნაშრომის შემდეგ თავებში.

აქ ჩვენ შევეხებით ამ მეთოდების ზოგად მიმოხილვას მათი შესაძლებლობების და რეალიზაციის კუთხით.

აგრეთვე მიმოვიხილავთ სიგნალების დამუშავების და ანალიზის თანამედროვე საშუალებებს და მათ შესაძლებლობებს.

**1.** იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწების დენის გაზომვა.

ეს მეთოდი ისტორიულად ერთ-ერთი პირველთაგანი იყო. იგი საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოდ მხოლოდ ერთფაზა დამიწების დენის სიდიდეზე.

**2.** ქსელის ელ მაგნიტური გარდამავალი პროცესის შესწავლა მისი ერთფაზა დამიწების რეჟიმში ოსცილოგრაფირებით.

ეს მეთოდი მოხერხებულია ქსელის, მინაერთის გამოკვლევის შემთხვევაში, გვაძლევს საკმარის წარმოდგენას ძაბვის და დენის დინამიკაზე გარდამავალ რეჟიმში, რომელიც წინასწარ მოეწყობა ხელოვნური ცალფაზა მოკლემერთვით. გამომდინარე ციფრული ოსცილოგრაფის საშუალებებიდან შესაძლებელია დენის და ძაბვის სიგნალების ჰარმონიული ანალიზის ჩატარება მადალსიხშირული არმონიკებისა და პროცესის ხასიათის გამოსავლენად.

**3.** ქსელში მიმდინარე ავარიული ელექტრომაგნიტური პროცესების შესწავლა ციფრული რეგისტრატორების მეშვეობით.

მეთოდი სრულყოფილია და გვაძლევს საშუალებას გამოვიკვლიოთ პროცესები სრულად, სრულფაზა რეჟიმებში ყველა ძირითადი მინაერთის და პროცესების მრავალი პარამეტრის გათვალისწინებით. შესაძლებელია ხანგრძლივი დაკვირვებების წარმოება რეალურ დროში, მონაცემების შეგროვება, დოკუმენტირება. მათი გადაცემა ციფრული სახით სტანდარტული არხების მეშვეობით. სიმეტრიული

მდგენელების ანალიზი, ვექტორული დიაგრამების აგება, ავარიული ჟურნალი და ა.შ.

4 განმანაწილებელი ქსელის ინსტრუმენტალური კვლევის საკითხში, ბოლო ათწლეულის განმავლობაში შეინიშნება მნიშვნელოვანი ცვლილებები რომლებიც დაკავშირებულია ელექტრული სიგნალების კვლევაში ინფორმაციის დამუშავების ელემენტების გამოყენებასთან დაკავშირებით.

აქ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სპექტრალური ანალიზის მეთოდების გამოყენება ფურიე გარდაქმნებისა (**Furier transform**) ვეივლეტ ანალიზის (**Wavelet Analise**) სახით.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ვეივლეტ ანალიზი სადაც შესაძლებელია ერთგანზომილებიანი სიგნალის ორგანზომილებიანი განშლა როდესაც სიხშირე და კოორდინატა განიხილება როგორც დამოუკიდებელი ცვლადები, რის გამოც გვეძლევა შესაძლებლობა გავანალიზოთ სიგნალის თვისებები ერთდროულად როგორც ფიზიკურ (დრო, კოორდინატა) ისე სიხშირულ სივრცეში.

*რადგანაც ჩვენთვის კარგად ცნობილი დენი და ძაბვა წარმოადგენენ სიგნალების ნაირსახეობას, შესაძლებელი ხდება ჩატარდეს მათი გარდაქმნები ფურიე და ვეივლეტის მიხედვით და შემდეგ გაანალიზდეს მიღებული სიგნალების სახასიეთო თვისებებურებების გამოსავლენად, რელეური დაცვების მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით.*

ვეივლეტ ანალიზის გამოყენება არ შემოიფარგლება მხოლოდ სიგნალების ანალიზით და სინთეზით. მათ გამოიყენებენ აგრეთვე პირდაპირი ციფრული მოდელირების მიზნებისათვის.

1.5.3. 6-10კვ საკაბელო განმ. ქსელის ტევადური დენის ანგარიში და გაზომვა ერთფაზა დამიწების დენი შეიძლება გამოვითვალოთ ფორმულით:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_{\text{HOM}} \cdot \omega \cdot C \cdot l, \quad (5)$$



სადაც  $U_{\text{HOM}}$  – ქსელის ხაზური ძაბვაა, B,  $\omega$  – წრიული სიხშირე, რად/წმ, C – კუთრი ტევადობაფ/კმ, I – ხაზის ჯამური სიგრძეა, კმ.

ცხრილი 1. ტევადური დენების საანგარიშო სიდიდეები ქს ნავთლული-2 -ის 6 და 10კვ სალტების მინაერთებისათვის

№ სექცია	$U_{\text{ნომ}}$ , კВ	№ ფიდერის	ფიდერის ჯამური ტევადური დენი, ა	სექციის ჯამური ტევადური დენი, ა	ჯამური ტევადური დენი, A
I	6	4	3,21	20,725	61,77
		6	5,1		
		8	3,03		
		9	0,754		
		10	0,649		
		12	3,88		
		16	1,813		
		18	0,754		
		19	1,416		
		21	0,125		
II	6	1	7,135	41,045	61,77
		26	1,45		
		28	0,125		
		29	9,976		
		30	3,13		
		31	2,445		
		33	2,04		
		34	1,416		
		37	10,56		
		38	2,76		
I	10	2	1,392	36,906	70,65
		3	6,547		
		4	4,34		
		5	8,372		
		6	4,816		
		7	7,462		
		8	3,977		
		15	2,3		
II	10	16	6,08	33,74	70,65
		17	8,422		
		18	4,294		
		19	5,464		
		20	5,788		
		21	1,392		

**1.5.4. ერთფაზა დამიწების დენის გაზომვა ქს „ნავთლულ-2“-ში 6 და 10კვ სექციებზე ირიბი მეთოდით**

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობების დასაზუსტებლად საჭიროა ჩატარდეს გაზომვები ექსპერიმენტალური გზით.

ასეთი გაზომვები უფრო საიმედო და უსაფრთხოა ჩატარდეს ირიბი გზით, ხელოვნური არასიმეტრიის შექმნით, როცა ერთ ფაზას მიუერთდება დამატებითი ტევადობა, რომელიც წარმოადგენს ქსელის საანგარიშოს 10-15%-ს.

სიზუსტის გასაზრდელად დენის სიდიდე საჭიროა განისაზვროს ორი ფორმულით:

$$I_C = U_{ფ} \cdot \omega \cdot C_{დამ} \cdot \left( \frac{U_{ფა}}{U_{ფტ}} - 1 \right) \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

1სადაც  $C_{დამ}$  – დამატებითი ტევადობა, მკვ;  $U_{ფა}$  – არასიმეტრიის ძაბვაა როცა ვაერთებთ დამატებით ტევადობას, კვ

სარეკომენდაციო სქემებისაგან განსხვავებით სქემის გასამარტივებლად და სიზუსტის გასაზრდელად საჭიროა გაიზომოს დენი დამატებითი ტევადობის გავლით, რაც გვაძლევს ნამრავლს

$$I_{C_{დამ}} = U_{ფ} \cdot \omega \cdot C_{დამ} \cdot 10^{-6}. \quad (7)$$

გაზომვა ჩატარდა ტექნიკური დირექტორის მიერ დამტკიცებული პროგრამით და დაშვების განწესის მიხედვით.

**ცხრილი 2. გაზომვებისას გამოყენებული დამოწმებული ხელსაწყოები**

ხელსაწყო	სიზუსტის კლასი	გაზომვის ფარგლები
ცვლ.დენის ვოლტმეტრი	0,2 სარკიანი სკალით	7,5-15-75-150 ვოლტ/ 150 დანაყოფით
ცვლ.დენის ამპ-რი	0,5	5A / 100 დანაყოფით
ლაბორატორიული მზომი დენის ტრანსფორმ.	0,2	15/5 A

ასიმეტრიის შესაქმნელად 6(10კვ)ქსელის ფაზაზე მიერთდა ორი მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორი შემდეგი მახასიათებლებით:

მარკა-TGL200.

საქარხნო ნომრები:8269 და 8307.

ტიპი-KCF 1-16/4,8.

ნომინალური ძაბვა- $U_n=16$ კვ იმპულსში.

ტევადობა- $C_k=4,8\pm$ მკვ.

მუშა ტემპერატურა--30+40გრად.ცელს.

მწარმოებელი -ISOKOND, Kombinat VEB Lokomotivbau –

ElektrotechnischeWerke.გერმ.

ტევადობის სიდიდე შერჩეულია ასიმეტრიის შექმნის მოთხოვნდან 10-15% ქსელის მოსალოდნელი ტევადობიდან

$$I_{C_{დაბ}} = U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_{დაბ} \cdot 10^{-6} \quad (8)$$

ერთი კონდენსატორის დენი, როცა $U_H=6$ კვ	$I_{C_{დაბ}} = 314 \cdot \frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot 4,73 \cdot 10^{-6} = 5,15$ ა
ერთი კონდენსატორის დენი , როცა $U_H=10$ კვ	$I_{C_{დაბ}} = 314 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3}} \cdot 4,73 \cdot 10^{-6} = 8,59$ ა

ცხრილი.3. მოსალოდნელი დენი სექციების მიხედვით

სექცია	$I_C$ , მოსალოდნ., ა	$I_{C_{დაბ}}$ , საჭირო, ა	კონდენსატორების საჭირო რაოდენობა
1 სს. 6 კვ	25 A	2,5-3,75	2 მიმდევრობით: 2,575 A
2 სს. 6 კვ	25 A	2,5-3,75	2 მიმდევრობით: 2,575 A
1 სს. 10 კვ	35 A	3,5-4,75	2 მიმდევრობით: 4,295 A
2 სს. 10 კვ	35 A	3,5-4,75	2 მიმდევრობით: 4,295 A

ქსელზე დამატებითი ტევადობა ერთდებოდა შემდეგ უჯრედებში:

1 სს. 6 კვ	2 სს. 6 კვ	1 სს. 10 კვ	2 სს. 10 კვ
უჯ.№12 ფაზა A	უჯ.№31 ფაზა A	უჯ.№6 ფაზა C	უჯ.№16 ფაზა A

ცხრილი.4. გაზომვის რეზულტატები მიერთებული კონდენსატორებით და მათ

გარეშე და დამიწების დენის ანგარიში სექციების მიხედვით

პარამეტრი	1 სს. 6 კვ		2 სს. 6 კვ		1 სს. 10 კვ		2 სს. 10 კვ	
	ცდამ.გარ.	ცდამ-ით	ცდამ.გარ	ცდამ-ით	ცდამ.გარ.	ცდამ-ით	ცდამ.გარ	ცდამ-ით
კადრის დრო	11:45	11:50	12:45	12:50	14:15	14:20	14:30	15:10
$U_{AB}$ , ვ	100,5	100	99,6	98,5	101,5	100	102,5	102
$U_{BC}$ , ვ	101	100,6	100	100	99	99,5	102	102,5
$U_{AC}$ , ვ	100	99,9	99	99	100	100	101,5	102
$U_{A-0}$ , ვ	57,2	49	56,5	53	58	61	58	41,5
$U_{B-0}$ , ვ	58	62,2	57	59,5	57	60,5	58,5	62,5
$U_{C-0}$ , ვ	58	62	57	59,5	57,5	50,5	59	63
$3I_N$ , ვ	0,35	0,36	0,05	6,45	0,2	33,5	0,5	37,5
$I_{ცდამ}$ , ა	нет	2,23	нет	2,41	нет	3,825	нет	3,90
$I_{სექციის}$ , ა		15,72		39,40		31,60		13,94

1.5.5. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწების

სიდიდეების განსაზღვრა ოსცილოგრაფირებით

*სამუშაოს მიზანი.* ქსელის ნეიტრალის რეჟიმებისა და ერთფაზა დამიწების ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების კვლევის დროს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ქსელის ექსპერიმენტალურ კვლევას. არსებობს ასეთი კვლევის სხვადასხვა მეთოდი: დამიწების იმიტაცია საცდელი რეზისტორით, კონდენსატორით და ძაბვების ანალიზით. წინამდებარე ნაშრომში ექსპერიმენტალურ კვლევისათვის გამოყენებულია ციფრული დამამახსოვრებელი ოსცილოგრაფი ძაბვისა და დენის სენსორებით. სამუშაო მიზნათ ისახავს ელმაგნიტური გარდამავალი პროცესების ჩაწერას, პროცესის ძირითადი მახასიათებლების შესწავლას და

შედეგების ანალიზს ქსელის ნეიტრალის რეჟიმების შემდგომი მოდერნიზაციის ჩასატარებლად.

**სამუშაოს შესრულების მეთოდი.** მიწასთან მ.შ.დენების ფაქტიური მნიშვნელობების მისაღებად საჭიროა მისი უშუალო ექსპერიმენტალური გაზომვა.

ასეთი ექსპერიმენტი ჩატარდა სს „თელასის“ ქვესადგურებზე „ბაგები“ და „დიდუბე“ წინასწარ დამუშავებული პროგრამის მიხედვით(იხ.დანართი №).მიწასთან მოკლეშერთვის დენის უშუალო გაზომვის მეთოდი გულისხმობს წინასწარ ხელოვნური დამიწების მოწყობას მოკლე დროის განმავლობაში.

მოკლე დროის ინტერვალი(1-2წმ) შეირჩა ექსპერიმენტის მაქსიმალური უსაფრთხოების მიზნით ქსელის ნორმალური მუშაობისათვის.

ექსპერიმენტისათვის გამოყოფილ უჯრედში ეწყობა ხელოვნური მოკლეშერთვა მიწასთან ამომრთველის შემდეგ. მ.შ. შემქმნელი გამტარი გათვლილია ჰვაზა მ.შ-ის დენზე. წინასწარ,ექსპერიმენტის დაწყებამდე,უჯრედის დაცვების დაყოვნების დროები დარეგულირებულია მინიმალურ მნიშვნელობებზე. ექსპერიმენტის ჩატარების დროს დებოდა მიწასთან მ.შ-ის დენის და ფაზური ძაბვების ჩაწერა ოსცილოგრაფით.

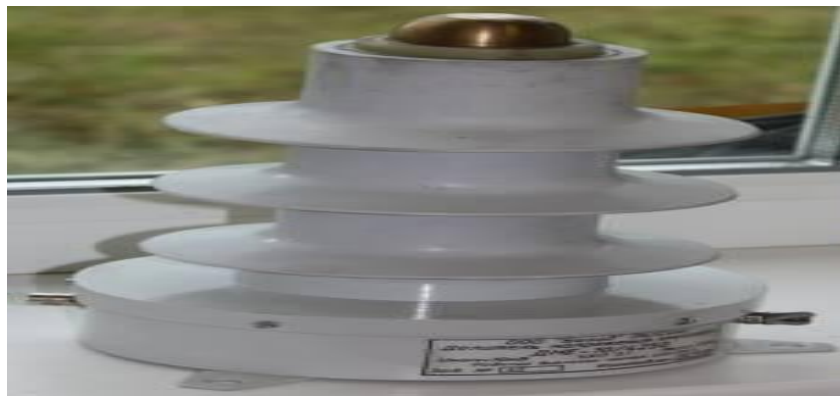
ოსცილოგრამების დამუშავების შედეგებით განისაზღვრება მიწასთან მ.შ-ის დენი, მისი ჰარმონიული შემადგენლობა და გადაძაბვების სიდიდეები მიწასთან მეტალური მოკლე შერთვისას.



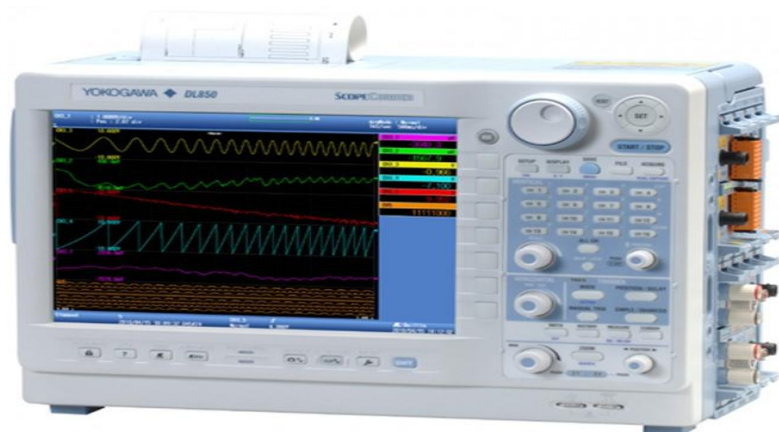
ნახ.1. დენის გადამწოდი

მ.შ-ის დენის გადამწოდად გამოყენებული იქნა TLM-10 ტიპის,100/5 კოეფიციენტის მქონე დენის ტრანსფორმატორი(ნახ.1), რომლის მეორადი გრაგნილი შუნტირებულია 0,5ომი სიდიდის რეზისტორით და მიერთებულია ციფრული დამამახსოვრებელი ოსცილოგრაფის შესასვლელზე.

ფაზური ძაბვების რეგისტრაცია ხორციელდებო დამალაი ძაბვის გამყოფის მეშვეობით-ΔH(ნახ.2),რომლის გაყოფის კოეფიციენტი  $K_{ა.გ.}=4250$ .გადამწოდის გატარების სიხშირული დიაპაზონი  $20-5 \times 10^4$  ჰერცია.გამოსავალი ინფორმაცია გამოყოფიდან RG-58 გამზომი 15 მსიგრძისკაბელითმიეწოდება ციფრული ოსცილოგრაფის შესაბამის შესასვლელს.



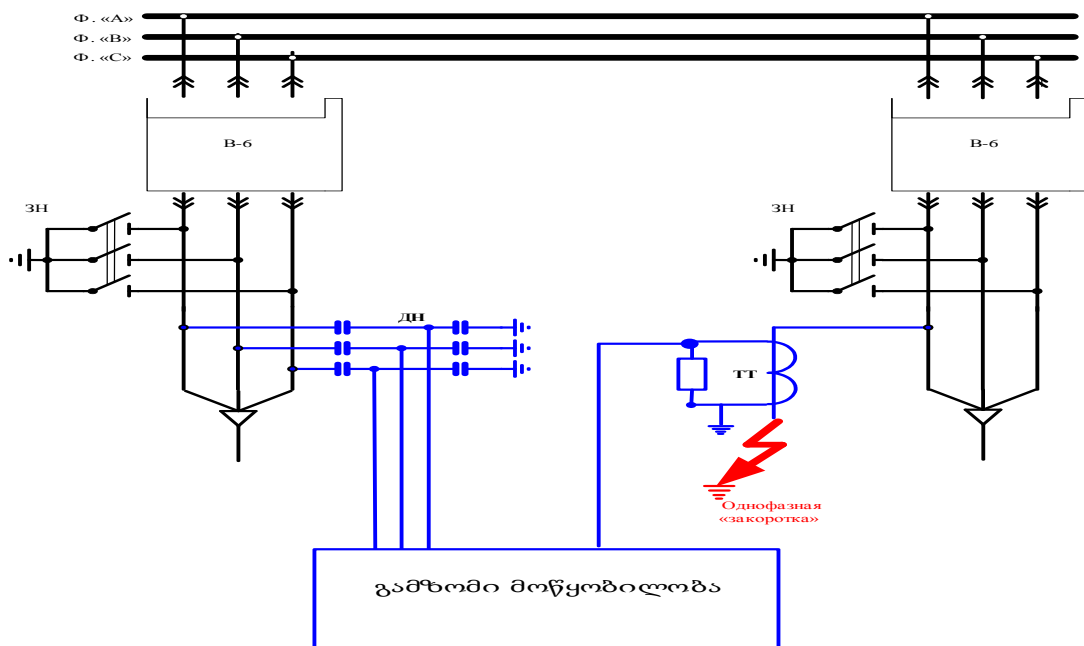
ნახ.2 ძაბვის გადამწოდი-გამყოფი



ნახ.3 ციფრული ოსცილოგრაფი

ოსცილოგრაფირებისათვის გამოყენებული იქნა DL-580 Scope Corder (Yokogoma Electric Corporation) ტიპის ოსცილოგრაფ-რეგისტრატორი (ნახ. 3). ეს არის მრავალარხიანი მონაცემთა შეკრების, დამუშავების და შენახვის კომპიუტერული 8 არხიანი სისტემა. ათვლების მაქსიმალური სიხშირე ტოლია 10 მ.ა/წმ. მახსოვრობა 25\*10<sup>6</sup> წერტილი ერთ არხზე. ვერტიკალური გარჩევითობა - 12 ბიტი, PC ბარათი, USB პორტი, GB-IB, RS232, SCSI, Ethernet და ჩაშენებული მყარი დისკი - 30 გბაიტი.

აპარატურის მიერთების პრინციპიალური სქემა მოცემულია №4 ნახაზზე. მოცემულია ფოტოები უჯრედში ძაბვის გადამწოდისა და დენის ტრანსფორმატორის მიერთების ჩვენებით.



ნახ.4. ექსპერიმენტის ჩატარების პრინციპიალური სქემა

**სამუშაოს შედეგები.** მიწასთან მ.შ-ის დენისა და ფაზური ძაბვების ოსცილოგრაფზე ჩაწერა ხდებოდა 2-ჯერ. წარმოდგენილია დამიწების დენისა და ფაზური ძაბვების ოსცილოგრამები (ნახ.5). ოსცილოგრამებზე ნაჩვენებია აგრეთვე გადაძაბვის ჯერადობები მ.შ-ის წარმოქმნისა და

ლიკვიდაციის დროს. ყველა ოსცილოგრამაზე ნაჩვენებია გადაძაბვების ჯერადობები, მ.შ-ის ხანგრძლივობა და მ/შ-ის პირველი რიგისანუ 50 ჰც-იანი ჰარმონიკის მნიშვნელობა.

გაზომილი ძაბვა შეიძლება გამოთვლილი იქნას ფორმულით:

$$U = U_{\text{ოსც}} * K_{\text{დვ}}$$

სადაც  $U_{\text{ოსც}}$  ---ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა ოსცილოგრამაზე.

$K_{\text{დვ}}$ ---მაღალი ძაბვის გამყოფისდაყოფის კოეფიციენტი.

მიწასთან მ.შ-ის დენი შეიძლება გამოვითვალოთ ფორმულით:

$$I = \frac{U * k}{R} \quad (9)$$

სადაც  $U$ ---ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა ოსცილოგრამაზე რომელიც შეესაბამება შუნტიდან მოხსნილ სიგნალს დენის ტრანსფორმატორის გამოსასვლელიდან.

$K$ ---დენის ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში 100/5-ის ტოლია.

$R$ ---შუნტის წინალობაა, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში 0,5 ომ-ის ტოლია.

ოსცილოგრამებზე ნაჩვენებია აგრეთვე დროის, დენის და ძაბვის მასშტაბები.

ცხრილში მოცემულია გადაძაბვის დონეები მ.შ-ის წარმოქმნისა და გამორთვის შემთხვევებში. გადაძაბვის ჯერადობა გამოითვლება ფორმულით:

$$K = U_{\text{მაქს}} / U_{\text{გ.მაქს}} \quad (10)$$

სადაც  $U_{\text{მაქს}}$ ---ადაძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა გარდამავალ პროცესში.

$U_{\text{გ.მაქს}}$ ---ფაზური ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა ნორმალურ რეჟიმში.

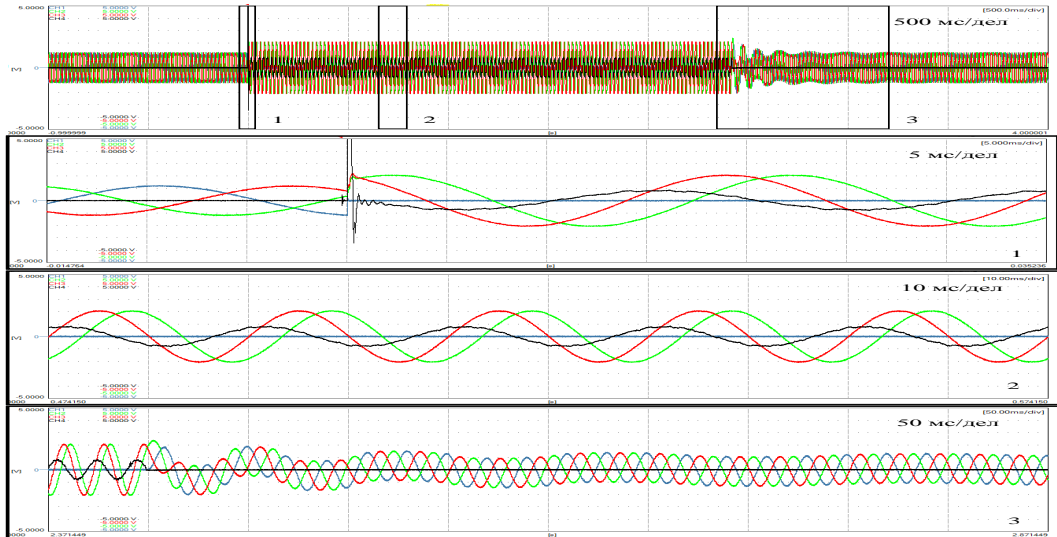
**მიწასთან მ.შ-ის დენის ჰარმონიული (სპექტრული) ანალიზი.**

ჰარმონიკების არსებობა მიწასთან მ.შ-ის დენში მოთხოვს განსაკუთრებულ გამოკვლევას რადგან მისი არსებობა მოქმედებს რკალურ პროცესებზე.

ციფრული ოსცილოგრაფის პროგრამულმა უზრუნველყოფამ და დამატებითმა მათემატიკურმა დამუშავებამ საშუალება მოგვცა ჩაგვეტარებინა ჰარმონიული ანალიზი. ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ჰისტოგრამის სახით (ნახ.6). სპექტრალური ანალიზის



საფუძველზე გამოვლინდა შედარებით მეტად გამოყოფილი ჰარმონიული მდგენელები 0,2%-ის გადაჭარბების კრიტერიუმით. პიქტოგრამაზე (ნახ.6) წარმოდგენილია ყველაზე გამორჩეული ჰარმონიკები.



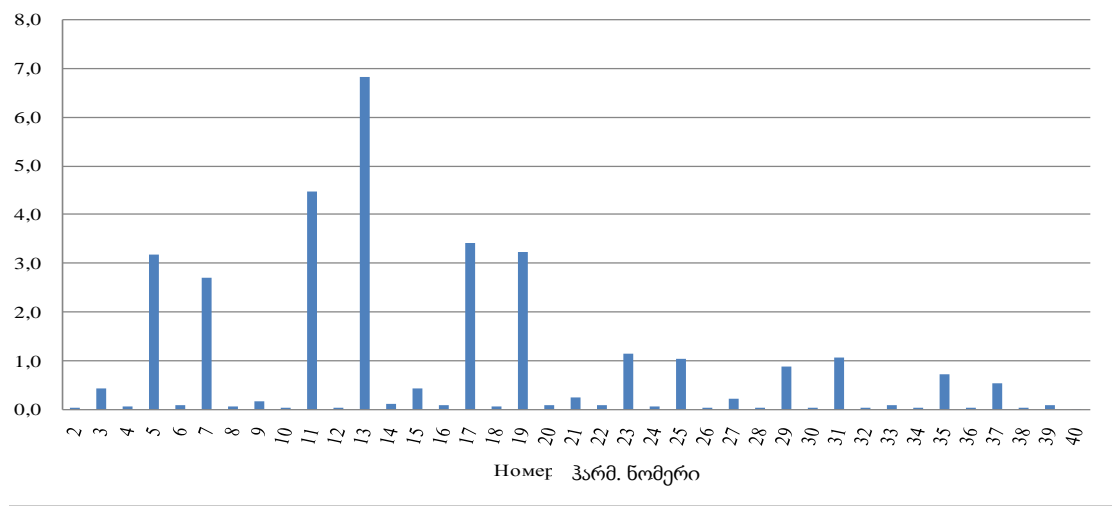
ნახ. 5. დამიწების დენისა და ფაზური ძაბვების ოსცილოგრაფა

ანალიზი გვიჩვენებს რომ ქსელში დომინირებს კენტი რიგის ჰარმონიკები. ქვესადგურ ბაგებში შეინიშნება ჰარმონიკების შედარებით მაღალი დონე. მათი სიდიდე შეადგენს 1,14 და 10,5 ამპერს. ასეთი დონის ჰარმონიკების შემთხვევაში კომპენსაციის ეფექტურობა მცირდება. ქს „ბაგებში“ ჩატარებულია ერთფაზა დამიწების ცდა როგორც დღისით ისე ღამით. შედარებამ გვიჩვენა რომ 11 და 13 რიგის ჰარმონიკები მცირდება ღამით. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ დამახინჯებებში ძირითადი როლი ეკუთვნის დღის მომხმარებელს. გამომდინარე სიხშირულული სპექტრიდან დამახინჯების წყარო შეიძლება იყოს სიხშირით რეგულირებადი ამძრავი.

მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობა ქმნის ფერორეზონანსის წარმოშობის საფრთხეს.

ჰარმონიული რეზონანსი ძალიან უარყოფითად მოქმედებს იზოლაციის მდგომარეობაზე. გადაძაბვები, რომლებიც თან სდევს რეზონანსულ რეჟიმებს, საშიშია ძირითადად ამპლიტუდის სწრაფი ზრდის

გამო და მოითხოვს ღონისძიებებს მათი ლიკვიდაციისათვის. ერთფაზა დამიწების ლიკვიდაციის შემდეგ შეინიშნება ჩაქრობადი ფერორეზონანსი, რაც მიგვითითებს ძაბვის ტრანსფორმატორების დაზიანების ალბათობაზე. დასკვნაში მოცემულია ერთფაზა მ.შ-ის დენის მოქმედი მნიშვნელობები. მიღებული მონაცემების მიხედვით და ტ.მ.წ-ების თანახმად საჭიროა ტევადური დენების კომპენსაცია.



**ნახ. 6. ჰარმონიკების ჰისტოგრამა**

საკაბელო მეურნეობის ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის მისაღებად შესრულდა დამიწების დენების აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ანგარიში და ანალიზი. დენის მაღალი აქტიური მდგენელის არსებობა მეტყველებს იზოლაციის დაძველებაზე და ლოკალური დაზიანებების შესაძლებლობაზე. ტევადური დენების შედარება ანგარიშით და ექსპერიმენტით გვიჩვენებს რომ ექსპერიმენტით მიღებული დენების სიდიდეები მეტია ვიდრე მიღებული გამოთვლებით, რაც მიგვანიშნებს რიგ მიმართულებებზე მონაცემთა არარსებობაზე.

საჭიროა აღინიშნოს რომ ნაჩვენები დონეები შეესაბამება ხელოვნურ მეტალურ მოკლეშერთევებს. ისინი გაცილებით ნაკლებია იმ გადაძაბვებზე რომლებიც შეიძლება წარმოიშვას ქსელში რკალური გადაძაბვების დროს.

## 1.6. ავარიული პროცესების რეგისტრაცია

### 1.6.1. ავარიული პროცესების ფიქსაციის აუცილებლობა 6-10კვ.ელ ქსელში.

სს „თელასის 6-10კვ განმანაწილებელი ელ ქსელს იზოლირებული ნეიტრალით, რომელმაც გაიარა 1990-2000წლების ანომალური ექსპლუატაციის რეჟიმი, ახასიეთებს ყველა ის უწყესივრობა და სირთულეები რაც ტიპურია ნეიტრალის მსგავსი რეჟიმიანი ქსელის ექსპლუატაციისათვის. ქსელის მუშაობა განსაკუთრებით რთულია ავარიულ ერთფაზა დამიწების რეჟიმში რომელსაც თან ერთვის :

გადაძაბვების მაღალი დონეები-1,7-3.5 ჯერადობით.

ფერორეზონანსი შეაბამისი შედეგებით.

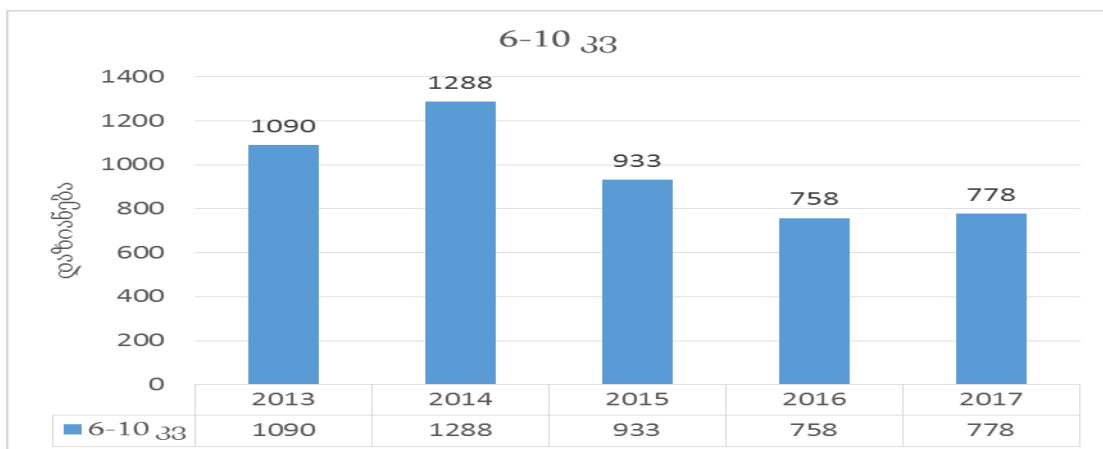
ერთფაზა დაზიანების ხშირი გადაზრდა მრავალფაზაში.

მრავალმიმართულებიანი დაზიანებები(ერთი სექციის სხვადასხვა მიწაერთზე)

სარელო დაცვების არასელექტიური მუშაობა.

ადამიანის და ცხოველის ელექტროტრამვატიზმის გაზრდილი საფრთხე.

აქ მოგვყავს ავარიული გამორთვების სტატისტიკა ბოლო 5 წლის პერიოდზე.



ნახ.7. ქსელის ავარიულობის მაჩვენებლები 2013-2017 წლებში

ასეთ პირობებში ძალიან მნიშვნელოვანია თითოეული ავარიული გამორთვის გამოკვლევა და მიზეზების დადგენა, ავარიული შემთხვევების ბაზის შექმნა, სტატისტიკის წარმოება, შედეგების განზოგადება, მომავალი ცვლილებების და მოდერნიზაციის დაგეგმვა. ჩამოთვლილი ამოცანების გადაწყვეტა შეუძლებელია ავარიული შემთხვევების რეგისტრატორების გარეშე.

ამ მხრივ სამუშაოები დაიწყო და მიმდინარეობს ორი მიმართულებით:

1. ავარიული შემთხვევების რეგისტრატორების დანერგვა.
2. ციფრული რეგისტრატორების დანერგვა ავარიული ოსცილოგრაფის ფუნქციებით.

#### **1.6.2. შესრულებული სამუშაოები რეგისტრატორების დანერგვაზე.**

2000 წლიდან დაწყებულმა რეაბილიტაციამ და ელ. მომხმარებლების იმედიანობის მზარდმა მოთხოვნებმა დააყენა მწვავე აუცილებლობა ქსელში მიმდინარე ელ-მაგნიტური გარდამავალი პროცესების ინსტრუმენტულ შესწავლაზე, რაც მოგვცემდა საშუალებას დაგვედგინა ქსელის არამდგრადი მუშაობის ძირითადი მიზეზები მისი ნეიტრალის რეჟიმის მოდერნიზაციის სამუშაოების დასაწყებად.

ამ მიმართულებით, სარელეო დაცვის სამსახურის მიერ, რომელსაც ამ პერიოდში (2000-2015წწ) ხელმძღვანელობდა ამ შრომის ავტორი, დაისახა და შესრულდა მთელი რიგი ღონისძიებები რომლებიც უზრუნველყოფდნენ ელ ქსელის უკეთეს ადაპტაციას შექმნილ პირობებში. მათ შორის მნიშვნელოვანია:

1. ქსელის არსებული მდგომარეობისათვის ტექნიკური რეკომენდაციების დამუშავება.
2. ე.მ.შ-საგან დაცვების ინტენსიური დანერგვა ძველ და რეკონსტრუქტიურებად ქვესაგურებზე.
3. ე.მ.შ. დაცვების დანაყენების ანგარიშის მეთოდის ათვისება.

4. ერთფაზა დამიწების დენების ანგარიშის ბაზის ჩამოყალიბება 6-10კვ-ის ქსელში.

5. ავარიული პროცესების რეგისტრატორების პროექტის მომზადება და შესრულება:

6. ტექ. დავალების მომზადება.

7. შექმნა.

8. სამონტაჟო-გაწყობითი სამუშაოების შესრულება სამსახურის საკუთარი ძალებით.

ზემოთაღნიშნულმა სამუშაოებმა საშუალება მოგვცა შეგვესწავლა რეალურად ელ. მაგნიტური გარდამავალი პროცესები და დაგვეწყო ქსელის ნეიტრალის მოდერნიზაციის სამუშაოები, კერძოდ:

1. ქსელის ერთფაზა დამიწების რეჟიმში ავარიული-გარდამავალი რეჟიმების შესწავლა არსებული ოსცილოგრამების ბაზის საფუძველზე და დამატებით ლაბორატორიული გაზომვებით.

2. ქსელის ნეიტრალის რეჟიმის მოდერნიზაციის პრინციპების და მიმართულების დადგენა.

3. მოდერნიზაციის ტექ. დავალების ჩამოყალიბება.

4. საპროექტო სამუშაოები.

5. სამონტაჟო გაწყობითი სამუშაოები.

### **1.6.3. შერჩეული რეგისტრატორების პარამეტრები და შესაძლებლობები.**

სტანდარტული მოთხოვნების შესაბამისად ჩვენს მიერ შეძენილი იქნა ავარიული შემთხვევების რეგისტრატორი «Жра»-ავარიული ოსცილოგრაფის კარადის III E2607 900900 სახით.

წარმდგენილია რამოდენიმე მნიშვნელოვანი და სახასიეთო მონაცემი:

- ნომინალური ხაზური ძაბვა-100ვ.

- ნომინალური მეორადი დენი-5ა.

- ანალოგური არხების რაოდენობა-24.

- დისკრეტული არხების რაოდენობა-32

-ჩასაწერი სიხშირეების ზედა ზღვარი-600ჰც(ეს პარამეტრი იძლევა საშუალებას რეგისტრატორმა აღიქვას სამრეწველო სიხშირის მე-12- ჰარმონიკა.

-გაზომვები საშუალო ცდომილება-5%.

-კავშირის პორტები:RS485; Ethernet,RS232.

პროგრამული უზრუნველყოფა: პროგრამული კომპლექსი DFR lab 00001-01. რომლის შემადგენლობაშიც შედის პროგრამული კომპლექსი WNDR რომლის დანიშნულებაა ავარიული ოსცილოგრაფების დათვალიერება და ანალიზი-ფაილი (WNDR32.exe).

ეს პროგრამული პროდუქტი იქნა გამოყენებული ჩვენს მიერ ოსცილოგრაფების დამუშავებისას

#### **1.6.4. ოსცილოგრაფების ბაზის ფორმირება დამუშავება და ანალიზი**

რეგისტრატორების დანერგვის საწყის ეტაპზე შერჩეულ იქნა ქვესადგურები სადაც ხშირი იყო ერთფაზა დამიწების შემთხვევები და შესაბამისი ავარიული გამორთვები,მაღალი იყო ჩვენს მიერ წინასწარ ნაანგარიშები დამიწების დენების ჯამური მნიშვნელობები.(აქ მოვიყვანო მონაცემები ავარიული გამორთვებზე და ტევადურ დენებზე ქვესადგურების: ავშიანის,ნავთლული-2-ის,ავლაბრის და ვარკეთილის ირგვლივ).(იხილეთ დანართი#)

2005 წლიდან სს თელასის საქმიანობაში ადგილს იკავებს ავარიული შემთხვევების ანალიზი რეგისტრატორების და ციფრული რელეების გამოყენებით.

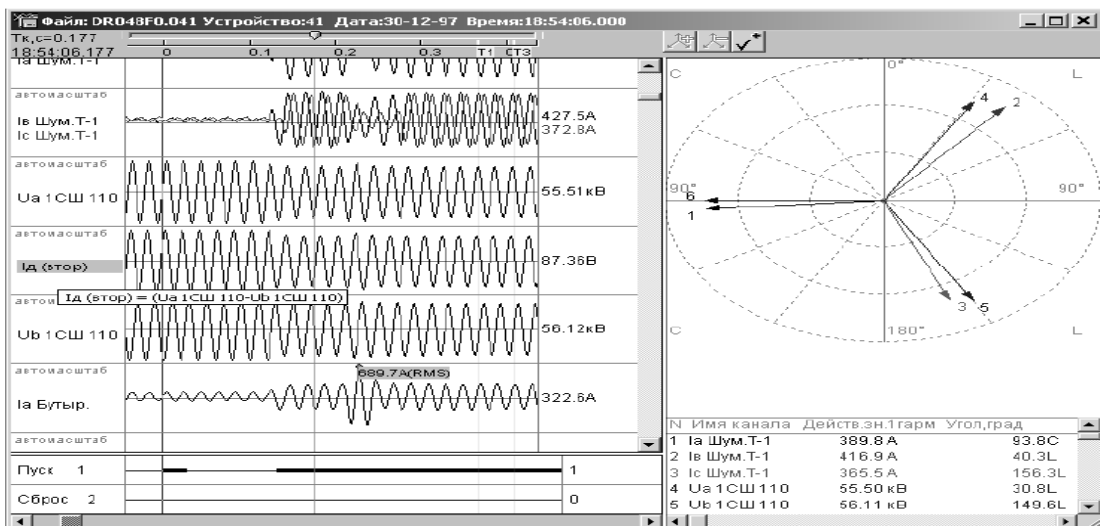
ამას გარდა იგივე პერიოდში მოხდა სდა სამსახურის ძალებით 5 ციფრული ცენტრალური სიგნალიზაციის, 10 ძაბვის ციფრული რეგულატორის და 8 სახაზო დაცვის თანამედროვე კომპლექტების დანერგვა რომლებმაც თავიანთი საკუთარი რეგისტრირების და ოსცილოგრაფების საშუალებით შეიტანეს დამატებითი წვლილი რეგისტრირების საქმეში.

ამას გარდა 2013-2015 წლებში ამ შრომის ავტორის უშუალო ინიციატივით და პროექტით მოხდა 35-110 კვ-ის თითქმის ყველა ეგზ-ის აღჭურვა ახალი ABB- წარმოების ცირული დაცვების კომპლექტებით რომლებსაც გააჩნიათ საკუთარი რეგისტრაციის და ოსცილოგრაფირების საშუალებები.

ყველაფერ ამას ემატება ის რომ, 2000 წლიდან სს თელასში მიმდინარე რეაბილიტაციის ფარგლებში ყველა მინაერთის აღჭურვა მიმდინარეობს ციფრული რელეებით რომლებსაც აუცილებლად გააჩნია რეგისტრატორი და ინფორმაციის ციფრული გადაცემის საშუალება.

ზემოთაღნიშნულმა ჩატარებულმა სამუშაოებმა საშუალება მოგვცა სისტემატურად გვეწარმოვებინა 6-10 კვ ქელში ავარიული პროცესების კვლევა და ანალიზი.

წინამდებარე ნაშრომს საფუძვლად დაედო ის მდიდარი მასალა რომელიც დაგროვდა ქსელში ავარიული პროცესების კვლევის მიმართულებით. კერძოდ ეს გულისხმობს ავარიული პროცესების, შეფოთებების ოსცილოგრაფებს, შემთხვევათა ჟურნალებს და გამორთვების სტატისტიკურ მონაცემებს.



ნახ.8. პროგრამული კომპლექსის ინტერფეისი ტიპიურ დასამუშავებელ ოსცილოგრაფასთან ერთად

ოსცილოგრაფების ბაზის დამუშავება მოხდა პროგრამული კომპლექსი WNDმეშვეობით რომელიც არის «ЭКРА» ტექნიკური საშუალების შემადგენელი ნაწილი

კომპლექსის დანიშნულებაა ელ ქსელის ავარიული სიტუაციების ანალიზი.

დასამუშავებელი ოსცილოგრაფები რეგისტრატორში ფორმირდება (\*.dff)ფაილების სახით.შემდგომ ეს ფაილები შეიძლება აღებული იყოს ფლემ მახსოვრობით ან გადაცემული იყოს ციფრული არხით.

პროგრამა (WNR.exe)-ის დანიშნულებაა ტერმინალის მიერ დარეგისტრირებული ავარიული უსცილოგრაფების დათვალიერება და ანალიზი.

მასზედ შესაძლებელია შემდეგი ფუნქციების შესრულება:

ანალოგური და დისკრეტული სიგნალების დათვალიერება დროისა და სიდიდის სხვადასხვა მასშტაბებში, მათი ინვერტირებით, კოპირებით, გადატანით და წაშლით.

სიგნალის სხვადასხვა მიმდევრობის მდგენელების :მყისა, მოქმედი,პირველი მეორე და მესამე ჰარმონიკა,მუდმივი მდგენელი იდენტიფიკაცია.

სიგნალების დათვალიერება პირველად და მეორად სიდიდეებში.

დროის ინტერვალების გაზომვა.

ვექტორული დიაგრამების აგება.

სიხშირის გრაფიკის აგება.

ფაილების ექსპორტი COMTRADE 1991 და 1999 ფორმატში.

ოსცილოგრაფების ბეჭდვა,სიგნალების და ვექტორების ცხრილების ბეჭდვა.

სიგნალების სიმეტრიული მდგენელების ანგარიში.

დაზიანების ადგილის ანგარიში.

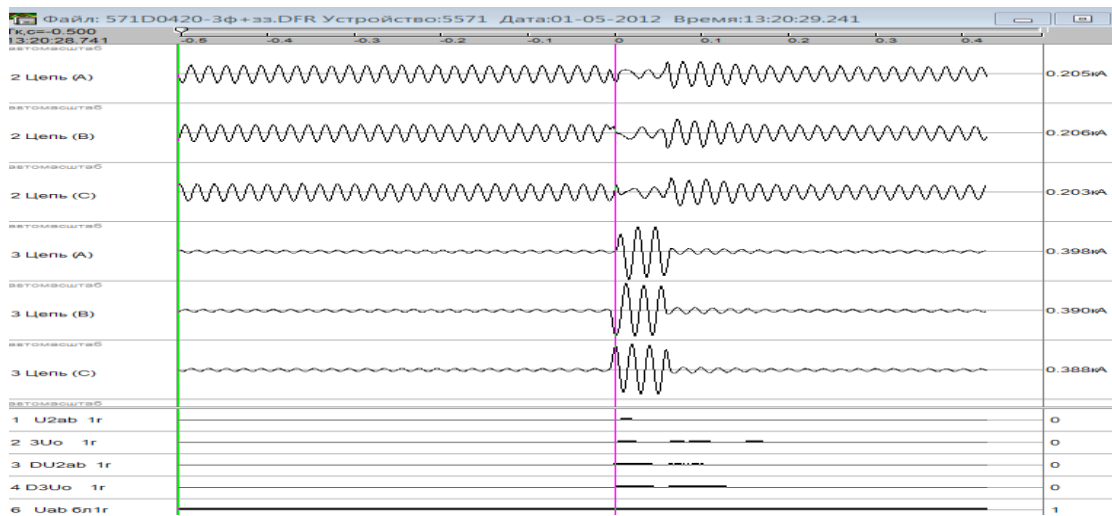
დასამუშავებლად შერჩეული იქნა სახასიათო ობიექტი ქ.ს.ავშნიანი,რომელიც ტიპიურია სს თელასის ქსელში იზოლირებულ



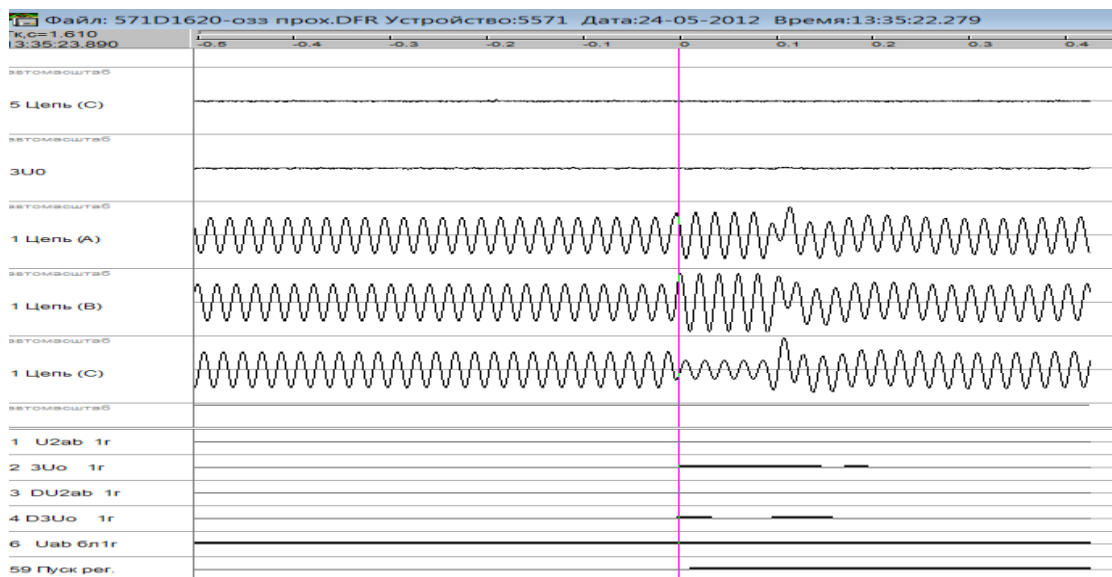
ნეიტრალიანი ქსელის მუშაობის პრობლემატიკის თხალსაზრისით. ოსცილოგრამები დაფიქსირებულია 2010 და 2018 წლებში

სულ დამუშავდა 243 ოსცილოგრამა.დამუშავება მოხდა(WNDR.exe) პროგრამის მეშვეობით.

ქვემოთ ნაჩვენებია რამოდენიმე ტიპური ოსცილოგრამა სამაგალითოდ



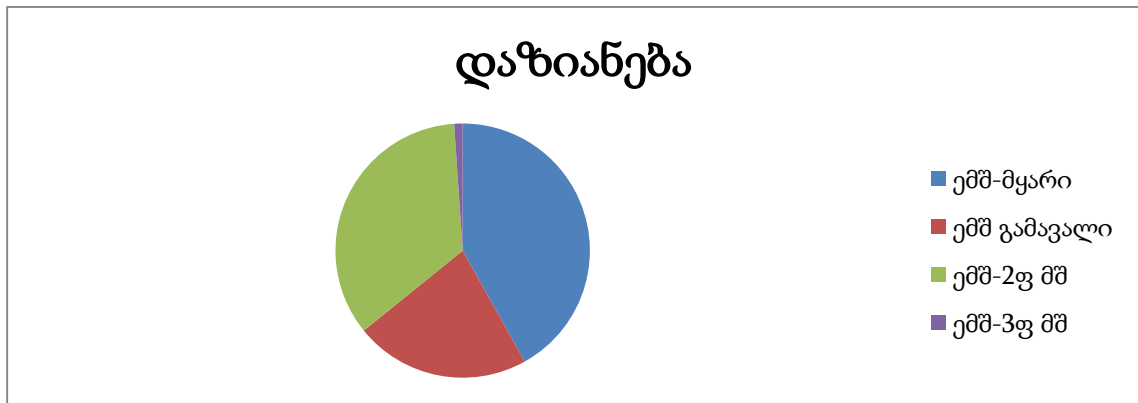
ნახ. 9 სამფაზა მშ ოსცილოგრამა



ნახ.10 ერთფაზა გარდამავალი მ.შ.

ცხრილი 5. ოსცილოგრამების კლასიფიკაცია და ანალიზი

№.	დაზიანების სახე	რაოდენობა	წილი	შენიშვნა	
1	მყარი ერთფაზა (ემმ)	47	0,22		
2	თვითლიკვიდირებადი ემმ	25	0,11		
3	რკალური ემმ	5	0,023		
3	არამდგრადი ემმ	5	0,023		
4	არასინუსოიდალური ემმ	3	0,014		
5	ემმ გადასვლა 2ფმ-ში	39	0,179		
6	ემმ გადასვლა 3ფმ-ში	26	0,118		
7	2ფმ	5	0,022		
8	3ფმ	9	0,041		
9	2ფმ ნახევარ პერიოდში	6	0,027		
10	ხანმოკლე შემფოთებები	12	0,054		
11	მაზვის ვარდნა	21	0,10		
12	მალოვანი ტრ-ის დატვირთვა	16	0,07		



ნახ.11 გავრცელებული ემმ-ის ფარდობითი დიაგრამები

## თავი 2.

### ერთფაზა მოკლემერთვის კომპიუტერული მოდელირება, საანგარიშო გამოკვლევები და გადაძაბვების შესწავლა 6-10კვ ქსელში

#### 2.1. საკითხის მნიშვნელობა

6-10კვ განმანაწილებელ ქსელში მნიშვნელოვან პრობლემად რჩება ქსელის მდგრადობა ერთფაზა დამიწების რეჟიმში, როდესაც წარმოქმნილი გადაძაბვების შედეგად ინიცირდება ახალი დაზიანებები ქსელის სხვადასხვა წერტილში აქედან გამომდინარე ავარიული გამორთვებით და მომხმარებელზე ელ ენერჯის მიწოდების შეწყვეტით.

წარმოდგენილია ერთფაზა მოკლემერთვის საანგარიშო კვლევა 6 კვ ქსელში EMTP პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. პროგრამა განკუთვნილია ელ. მაგნიტური გარდამავალი პროცესების გამოსაკვლევად ელექტრულ ქსელებსა და სისტემებში.

6-10კვ განმანაწილებელი ქსელის იმედიანობის ამალევა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მასში მიმდინარე გარდამავალ პროცესებზე ერთფაზა მოკლემერთვისას(ემშ).

ქსელის კრიტიკული რეჟიმი, რომელიც განსაზღვრავს მის იმედიანობასა და მდგრადობას, არის ერთფაზა მოკლემერთვის რეჟიმი.

ეს რეჟიმი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ქსელის იზოლირებული ნეიტრალით მუშაობის შემთხვევაში, თუმცა ის აგრეთვე საკმაოდ მნიშვნელოვანია ნეიტრალის სხვა რეჟიმების შემთხვევაშიც.

ქსელის მუშაობის კვლევა მის გარდამავალ რეჟიმში განსაკუთრებით მოხერხებული და ხელმისაწვდომია ქსელის მოდელირებით კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამული უზრუნველყოფის შემთხვევაში. ქსელის კომპიუტერული მოდელირება

გვადლევს საშუალებას შევისწავლოდ ქსელის მუშაობის გარდამავალი რეჟიმი მის რეალურ მუშაობაში ჩაურევლად შესაბამისი რისკების გარეშე.

## 2.2. გარდამავალი პროცესები

ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები 6-10კვ ელ.ქსელში ერთფაზა მოკლე შერთვების დროს მიმდინარეობს საშიში გადაძაბვების თანხმლებით რაც არის ძირითადი მიზეზი ორმაგი და მრავალადგილიანი იზოლაციის დაზიანებებია და ახდენენ დიდ გავლენას ქსელის მდგრადობასა და დაცვების სწორ მუშაობაზე.

ყველაზე მეტად საშიშია რკალური მოკლეშერთვები რომლებიც წარმოადგენენ წყვეტად მოკლეშერთვებს რკალის ანთებაჩაქრობის თანმიმდევრობით[23-25]. რკალური წყვეტადი ხასიათი სახიფათოა.როდესაც ინტერვალი ანთებასა და ჩაქრობას შორის არის მცირე,რკალს თან სდევს გადაძაბვები დაუზიანებელ ფაზებზე,რომლებიც იწოდება რკალურ გადაძაბვებად.გარდა საშიში გადაძაბვებისა,რკალური მშ-ები ხასიათდება დენის ეფექტური მნიშვნელობის ზრდით დაზიანების წერტილში.ინტენსიური ელ.მაგნიტური პროცესები,რომელსაც თან სდევს რკალური წყვეტადი ემშ-ები ახდენენ მნიშვნელოვან გავლენას დაცვების მუშაობაზე,რომლებიც დამყარებულია დენისა და ძაბვის სხვადასხვა მიმდევრობის გამოყენებაზე ემშ-ის დამყარებულ რეჟიმში. [ 35-38 ]. საკმაოდ ფართო გამოყენება ჰპოვა აგრეთვე დაცვებმა რომლებიც დამყარებულია გარდამავალი პროცესის პარამეტრებზე[42]. გარდამავალი პროცესების ანალიზის და პარამეტრების შეფასების საჭიროება დგება შემდეგი ამოცანების გადაჭრისას:

- 1.გადაძაბვების გამოკვლევა ემშ-ის რკალური მ.შ-ის რეჟიმში.
- 2.დენის ეფექტური მნიშვნელობის შედარება დაზიანების წერტილში.
- 3.გარდამავალი პროცესის გავლენა დაცვების მოქმედების მდგრადობაზე.

4.გარდამავალი დენების და ძაბვების პარამეტრების და თანაფარდობის შეფასება.

### **2.2.1. გარდამავალი პროცესების კვლევის მეთოდოლოგია ემშ-ის დროს 6-10კვ ქსელში**

ითვალისწინებდა რა გარდამავალი პროცესების სირთულეს ემშ-ის დროს,რიგ ქვეყნებში უპირატესობა ენიჭებოდა მისი გამოკვლევის ექსპერიმენტალურ მეთოდებს მოქმედ ქსელებში და ფიზიკურ მოდელებზე.[ 3,5,6.]ეს გამოკვლევები დაედო საფუძვლად თეორიულ მეთოდებს და მათემატიკური მოდელირების სისტემების დამუშავებას.

დღეისათვის არსებობს კომპიუტერული მათემატიკის ფართო კლასი, რომელშიც განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს EMTP(Electromagnits Transients Program ). პროგრამას გააჩნია გრაფიკული ინტერფეისი და აქვს სტანდარტული კომპონენტების მდიდარი ბიბლიოთეკა.პროგრამა ფართოდ არის გავრცელებული ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების შესასწავლად.

### **2.2.2. გარდამავალი პროცესების მოდელირება EMTP-ს კომპიუტერული მათემატიკის მეშვეობით**

EMTPარის უნივერსალური პროგრამირების სისტემა როგორც ელ.მაგნიტური ისე ელ.მექანიკური პროცესების შესასწავლად მათი კვლევის პროცესში.

EMTP განსაკუთრებით მოხერხებულია საკომუტაციო და ატმოსფერული გადამაბვების შესასწავლად,იზოლაციის კოორდინაციისათვის და აგრეთვე რელეური დაცვის სისტემების მოდელირებისათვის მათ სიგნალებზე ჰარმონიული ანალიზის ჩასატარებლად. ენერჯის ხარისხის და ელ.მაგნიტური თავსებადობის საკითხებში.

პროგრამა დამუშავებულია გ.დომმელის (Herman W. Dommel) მიერ, ფედერალური ენერგოკომპანიის მხარდაჭერით (Bonneville Power Administration, USA) და განიცდის მუდმივ სრულყოფას. არსებობს რამოდენიმე რეგიონალური ჯგუფი რომლებიც იყენებენ ამ პროგრამას. ასეთი ჯგუფი არსებობს ევროპაშიც.

გარდამავალი პროცესების მოდელირებისას გამოყენებული იქნა პარამეტრები რომლებიც აღებული იქნა ცნობარებიდან და სს „თელასის“ ტექნიკური ბაზიდან.

გადამაბვების ჯერადობების გამოთვლებისას ემშ-დროს გამოიენება ფორმულა

$$K_{გად} = U_m / U_{Fmax},$$

სადაც  $U_m$  -- ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა გარდამავალ რეჟიმში, განისაზღვრება ამპლიტუდური მნიშვნელობებიდან B და C ფაზებზე, A ფაზაზე მიწასთან მოკლემერთვის დროს.  $U_{Fmax}$ , - მუშა ფაზური ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობაა (6კვ ქსელის გამოთვლებში მიიღება 5,15კვ-ის ტოლი).

### **2.2.3. გარდამავალი პროცესის საანგარიშო რეჟიმების განსაზღვრა.**

ემშ-ის საანგარიშო გამოკვლევების ჩატარებისათვის, ქ/ს „დიდუბე“ და „ბაგები“-ს ტევადური დენების მნიშვნელობები აღებულია წინასწარ ჩატარებული ნატურული ექსპერიმენტების შედეგებიდან:

ქ/ს „დიდუბე“                                      1+3 სექცია ----- 22,07 ა.

2+4 სექცია ----- 53,10 ა.

ქ/ს „ბაგები“                                      1+3 სექცია ----- 45,51 ა.

2+4 სექცია ----- 61,92 ა.

ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების შესაბამისად რკალმქრობი კოჭი გამოიყენება კომპენსაციისათვის როდესაც ტევადური დენი აღემატება 30ა-ს.

ტექნიკური ექსპლუატაციის წესებიდან გამომდინარე, ქ/ს „დიდუბე“ და ქ/ს „ბაგები“ -ისათვის დაუშვებელია მუშაობატევადური დენის კომპენსაციის გარეშე, ამიტომ გამოთვლები ამ ქსელებისათვის სრულდება ტევადური დენების კომპენსაციის რეალიზაციიდან გამომდინარე.რადგან ქსელის სარემონტო რეჟიმების ხანგრძლივობა მცირეა, ამიტომ საანგარიშო გამოცდები სრულდება ქსელის ნორმალური საექსპლუატაციო რეჟიმებისათვის.

საანგარიშო რეჟიმების შერჩევისას საჭიროა გათვალისწინებული იყოს კომპენსაციის დაკარგვის შემთხვევა 15-20% კომპენსაციის აშლით.

კომპენსაციის აშლის დონე განისაზღვრება ემშ-ის რეაქტიული დენის ფარდობით ტევადურ დენტან

$$U = I_c - I_k / I_c * 100\% \quad (11)$$

ამავე დროს გარდამავალი პროცესების ანგარიშში მიღებულია, რომ კომპენსაციის კოჭა აწყობილია რეჟიმში რომელიც ახლოს არის რეზონანსულთან და კომპენსაციის აშლა ხდება ემშ-ის დროს, როცა კოჭის ავტომატიკა ბლოკირებულია და რეაქტორის აწყობა არ ხდება.

კომპიუტერული მოდელირების საანგარიასო რეჟიმები გარდამავალი პროცესების დროს გადამაბევის კვლევის რეჟიმში

1. ქ/ს „დიდუბე“ ტევადური დენი 1+3 სექცია-----22,07ა.

ქსელის ნეიტრალი იზოლირებულია.

2. ქ/ს „დიდუბე“ ტევადური დენი 2+4 სექცია, ტევადური დენი რომელიც მიღებულია ფიდერის გამორთვით(მაქსიმალური ტევადური დენი---  $I_c=42,48$ ა.

კოჭის აწყობის დენი 53,10ა.გამორთული ფიდერი  $\Delta I=10,62$ ა,კომპენსაციის აშლა25%.

3. ქს „ბაგები“ 1+3ს.საანგარიშო პარამეტრები:ტევადური დენი მიღებული მაქსიმალურ დენიანი ფიდერის გამორთვით  $I_c=36,40$ ა. კოჭის აწყობის დენი  $I=45,51$ ა.

ფიდერი რომელიც ითიშება ერთფაზა მ.შ. დროს  $\Delta I=9,1$ ა.კოჭის აშლა 20%.

4. ქს „ბაგები“ 2+4ს.საანგარიშო პარამეტრები:ემშ-ის ტევადური დენი,მაქსიმალურ დენიანი ფიდერის გამორთვა  $I_c=49,54$ ა; კოჭის აწყობის დენი  $I_c=61,32$ ა. გამორთული ფიდერი  $\Delta I=12,38$ ა, კოჭის აშლა 20%.

### 2.3. მაქსიმალური შესაძლო გადამაბვების გამოკვლევა იზოლირებული ნეიტრალის და რკალმქრობი კოჭის გამოყენების შემთხვევაში

#### 2.3.1 წინასწარი მოსაზრებები.

ერთფაზა მოკლემერთვების დროს გარდამავალი პროცესების მოდელირება შესრულდა პეტერსონის მიხედვით,რომელიც უზრუნველყოფს არა შემცირებულ-მაქსიმალურად შესაძლებელ გადამაბვების დონეებს.რკალის ანთება და ჩაქრობა პირველ და განმეორებით გარღვევაზე ფაზური ძაბვის მაქსიმუმში,როდესაც ნეიტრალის მუხტი ვერ ასწრებს დაცლას უდენო პაუზებში. ითვლება რომ ქსელის ნეიტრალი იზოლირებულია ან დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით.

ანგარიშების დროს გათვალისწინებული იყო ქსელის ბუნებრივი არასიმეტრიულობა.

ქვევით ცხრილში წარმოდგენილია შეუზღუდავი გადამაბვების ჯერადობები ე//შ-ების დროს მიღებული საანგარიშო გამოკვლევის შედეგად.

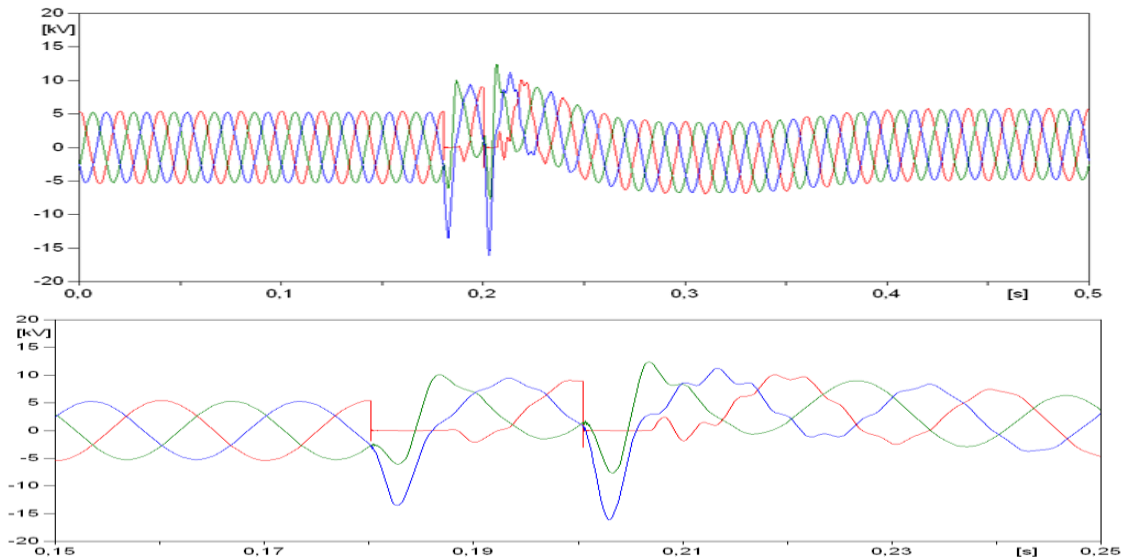
ცხრილი 6. ტევადური დენები და გადამაბვის ჯერადობები

ქსელი		$I_c, ა$	$I_{რკ.რ, ა}$	$K_{გად, ფ.ე}$
ქს“დიდუბე“, 6 კვ	1+3 c	22,07	-	3,26
	2+4 c	42,48	53,10	3,13
ქს“ბაგები“, 6 კვ	1+3 c	36,41	45,51	3,09
	2+4 c	49,54	61,92	3,17

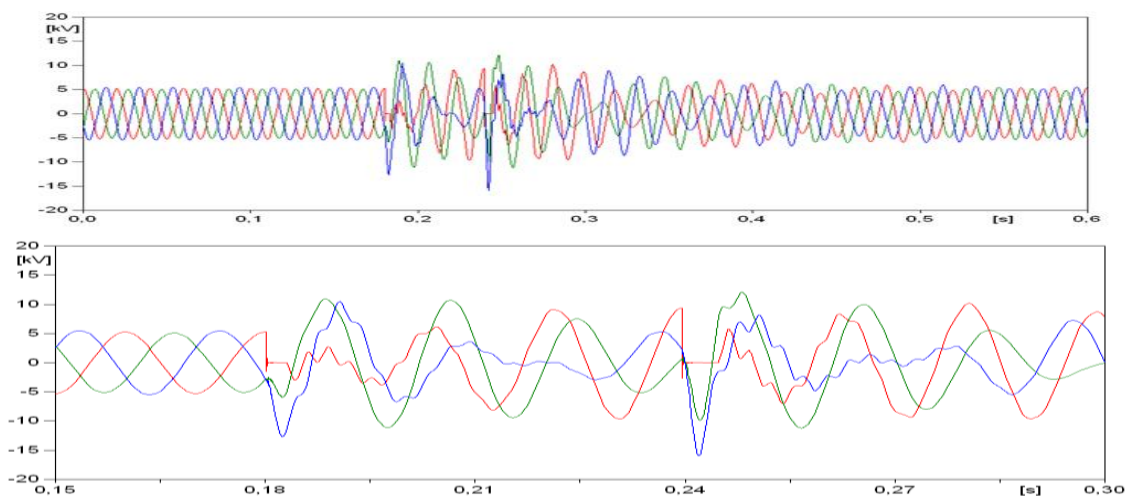


### 2.3.2. საანგარიშე ოსცილოგრამები.

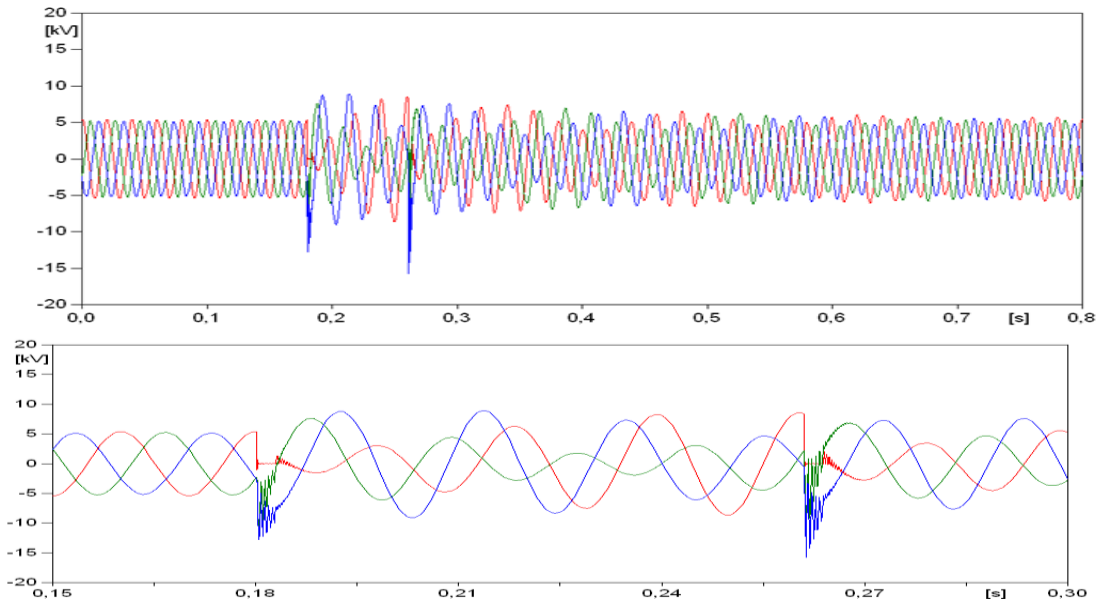
ქვემოთ მოყვანილ ოსცილოგრამებზე ნაჩვენებია ფაზური და ნეიტრალის ძაბვის ცვლილება ერთფაზა მოკლემერთვის რეჟიმში ფაზა ზე.ძაბვის მნიშვნელობები ნაჩვენებია ნაჩვენებია კილოვოლტებში და დრო წამებში.



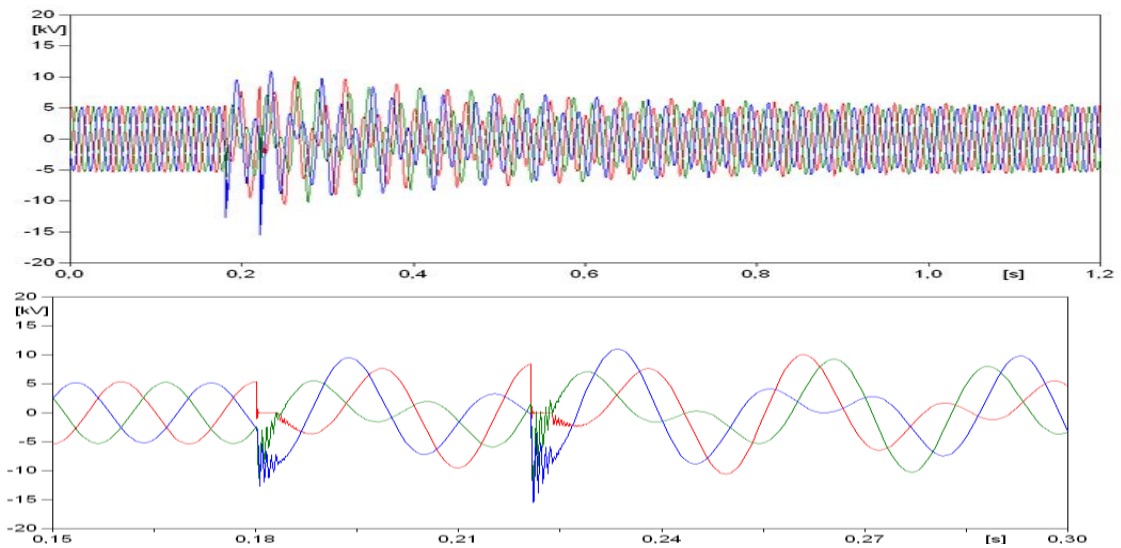
ნახ.12. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ემშ-ის დროს ქს“ დიდუბე“,1+3ს,იზოლირებული ნეიტრალი,  $K_{\Sigma}=3,26$



ნახ.13. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ემშ-ის დროს ქს“ დიდუბე“,2+4,ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით (კომპენსაციისაშლა20%), $K_{\Sigma}=3,13$



ნახ.14. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ეშშ-ის დროს ქს “ბაგები“,1+3,ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით (კომპენსაციის აშლა20%), $K_{\pi}=3,09$



ნახ.15. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამა ეშშ-ის დროს ქს “დიდუბე“,2+4,ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით (კომპენსაციის აშლა 20%), $K_{\pi}=3,17$

### 2.3.3. შედეგების ანალიზი.

ელ.მაგნიტური გარდამავალი პროცესების გამოსათვლელმა პროგრამამ მიგვანიშნა რომ,გარდამავალი პროცესის რხევადი ხასიათის

გამო,რომელიც გამოწვეულია ფაზური ტევადობების გადამუხტვაზე რკალის ანთების და ჩაქრობის მომენტებში,მაქსიმალური გადაძაბვა დაუზიანებელ ფაზაზე რკალის პირველი ანთების შემდეგ აღწევს  $2,4-2,6 U_{f,max}$ -ს.რკალის შემდეგი ანთებები ხდება ნეიტრალის არანულოვანი ძაბვების შემთხვევაში,რის გამოც გადაძაბვებმა არადაზიანებულ ფაზებზე შეიძლება მიაღწიონ  $3,09-3,26 U_{f,max}$ -ს.უდიდესი გადაძაბვები ვლინდება ქსელში,სადაც აგრეთვე უდიდესია დამიწების დენები,რაც ემთხვევა ჩვენს ცნობილ წარმოდგენებს ამ პროცესთან დაკავშირებით.

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ შემყვანებზე დენშემზღუდი რეაქტორების დაყენებას მივყავართ გადაძაბვების ჯერადობის გაზრდასთან.

ქ/ს დიდუბის მიმდებარე ქსელის(სექ.2-4) საანგარიშო გამოცდების დიაგრამაზე, ძაბვის ტრანსფორმატორების დიდი ოდენობის გამო ჩანს ჩაქრობადი ფერორეზონანსული პროცესი.

საჭიროა აღინიშნოს,რომ ელ მაგნიტური გარდამავალი პროცესის ხასიათი და გადაძაბვების დონეები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ემშ-ის ტევადური დენების სიდიდისაგან, რკალის ანთებისა და ჩაქრობის მომენტებისაგან,დაზიანებულ ფაზაზე განმეორებითი გარღვევების რიცხვისაგან, გარღვევის წერტილებზე და იზოლაციის მიმდინარე მდგომარეობაზე,გარდამავალი რკალის არსებობის ხანგრძლივობისაგან და კიდევ მრავალი სხვა ფაქტორისაგან.

კომპიუტერული მოდელირება და გადაძაბვების ანგარიში მიუთითებს გადაძაბვების შემცირების ჩასატარებელი ღონისძიებების აუცილებლობაზე  $2,4-2,6 U_{f,max}$ დონეზე.

ერთ-ერთი ოპტიმალური მეთოდი ასეთი გადაძაბვის ეფექტური შეზღუდვებისაკენ და დაცვების სწორი მოქმედების უზრუნველსაყოფაათ არის ქსელის ნეიტრალში დამცავი რეზისტორის დაყენება.

## 2.4. მაქსიმალური შესაძლო გადამაბვების გამოკვლევა ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში

### 2.4.1. წინასწარი შეფასებები.

გადამაბვების შეზღუდვის ძირითადი მეთოდები დამყარებულია რკალური მ/შ-ის დროს წარმოქმნილი მუხტების მიწაში განდინებას. უნდა აღინიშნოს რომ ეს მუხტი არის მიზეზე ნეიტრალის ძაბვის წანაცვლების.

თეორიული გამოთვლები გვიჩვენებს რომ გადამაბვების შემცირება ე.მ.შ-ის დროს, მიწასთან მ.შ-ის დენის მნიშვნელოვანი გაზრდის გარეშე შესაძლებელია ნეიტრალის წრედში რეზისტორის ჩართვით. ე.მ.შ-ის დროს, გადამაბვების შემცირება ხორციელდება განმუხტვის წრედის დროს მუდმივის შემცირების ხარჯზე, არადაზიანებულ ფაზებში უდენო პაუზის დროს, და ნეიტრალზე ძაბვის შემცირებით იმ მნიშვნელობამდე რომელიც გამორიცხავს გადამაბვების ესკალაციას, დაზიანებული იზოლაციის შემდგომი გარღვევების

ჩვენი წინასწარი შეფასებით ამ გამოკვლევების შედეგად უნდა გამოიკვეთოს გადამაბვების შემცირების ტენდენცია მისი შესაძლო შედეგებით.

ნეიტრალში ჩართული რეზისტორის ნომინალის შემცირება იწვევს ერთის მხრივ, ერთფაზა მ.შ-ის დენის გაზრდას, რაც იწვევს ერთის მხრივ ტევადობის სწრაფ დაცლას, მეორეს მხრივ ნეიტრალზე ძაბვის შემცირებას და რეზისტორზე გაბნეული ენერგიის გაზრდას.

### 2.4.2. კვლევის შედეგები.

ამ ნაშრომის ფარგლებში მოყვანილია საანგარიშო გამითვლები, რეზისტორის ნომინალური წინაღობის სიდიდის გავლენის შესასწავლად გადამაბვების სიდიდეზე ერთფაზა მოკლემერთვების დროს და რეზისტორის სიდიდის განსაზღვრისათვის, რომელიც გვამლევს

საშუალებას ჩავაქროთ რეზონანსული მოვლენები და ვუზრუნველოთ გადაძაბვები  $K_3=2,4-2,6$  დონემდე.

ნკვ-ის ქსელში ვირჩევთ მაღალომიან რეზისტორს, რომელიც გათვლილია ე.მ.შ.-ის დროს ხანგრძლივ მუშაობაზე რომელიც დგება დამოუკიდებლად ან რკალმქრობი კოჭის პარალელურად, კომპენსაციის საჭიროების შემთხვევაში.

მაღალომიანი რეზისტორი საჭიროა მიერთდეს რკალმქრობი კოჭის პარალელურად.

ქვევით ცხრილში მოცემულია გადაძაბვების ჯერადობები რეზისტორის წინალობის მიხედვით(ცხრილში).

შენიშვნა: დიდუბის 2+4ს ქსელისათვის და ბაგების 1+3 და 2+4ს ქსელებისათვის,

**ცხრილი 7. გადაძაბვების ჯერადობები ე.მ.შ.-ის დროს მოყვანილია ნეიტრალის კომბინირებული რეჟიმებისათვის**

რეზისტორის ქს ნომ.		K <sub>გად</sub> (ფარდ.ერთ)						
		რეზისტორის გარეშე	2000 ომი	1000 ომი	800 ომი	500 ომი	400 ომი	200 ომი
ქს დიდუბე	1+3 ს	3,26	3,16	3,07	3,01	2,91	2,72	2,58
	2+4 ს	3,13	3,01	2,91	2,83	2,64	2,52	
ქს ბაგები	1+3 ს	3,09	3,09	3,01	2,76	2,64	2,56	
	2+4 ს	3,17	3,08	2,97	2,83	2,76	2,62	2,52

წინალობების ეს დიაპაზონი მიღებულია გადაძაბვების შეზღუდვის მოცემული დონიდან, რომელიც ტოლია  $(2,4-2,6)U_{fmax}$  და აქტიური მდგენელის გაზრდით ე.მ.შ-ის სრულ დენში.

ეს მდგენელი ხშირ შემთხვევებში საკმარისია სარელეო დაცვის იმედიანი მუშაობისათვის.

ამგვარად საანგარიშო გამოკვლევების ჩატარების შემდეგ ნკვ-ის ქსელში ვირჩევთ რეზისტორის ოპტიმალურ წინააღმდეგობას ნეიტრალის დამიწებისათვის.

მაღალომიანი რეზისტორის ნომინალის შერჩევა ხდება გადაძაბვების მოცემული დონის მიხედვით ე.მ.შ-ის დროს(2,4-2,6) $U_{fmax}$ -ისათვის.

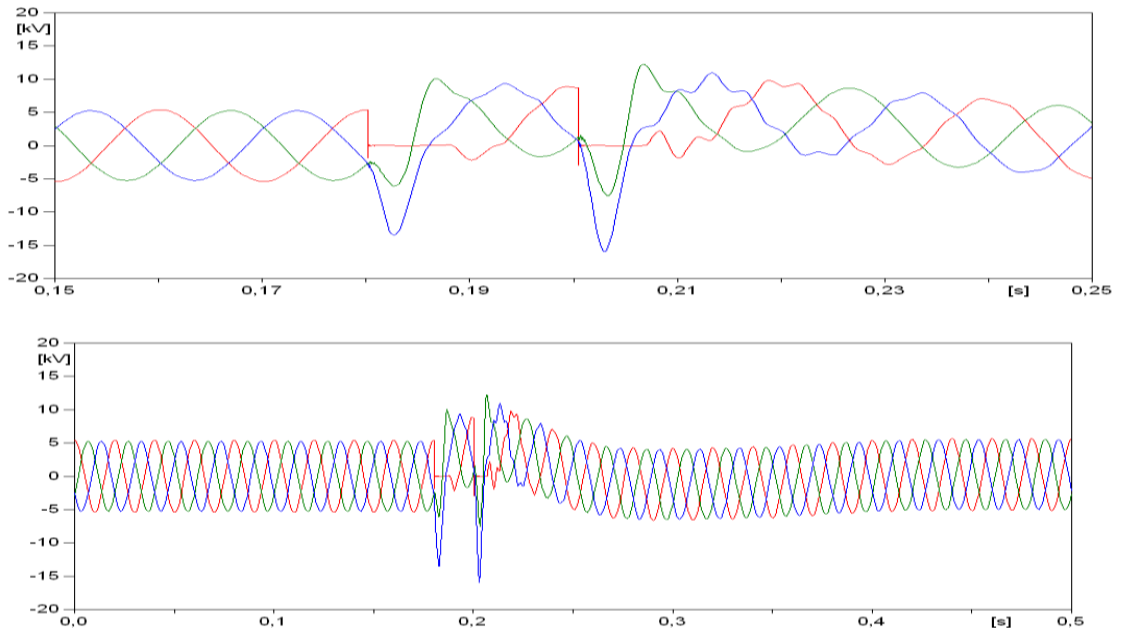
**ცხრილი 8. რეზისტორის ნომინალები რომლებიც რეკომენდირებულია განხილულ ქსელების ნეიტრალში დასაყენებლად.**

ქვესადგური	„ დიდუბე“		„ ბაგები“	
	1+3 ს	2+4ს	1+3ს	1+3 ს
რეზისტორის ნომინალი	200	400	500	200
$K_{ად(ფარდ.ერთ)}$	2,58	2,52	2,56	2,52

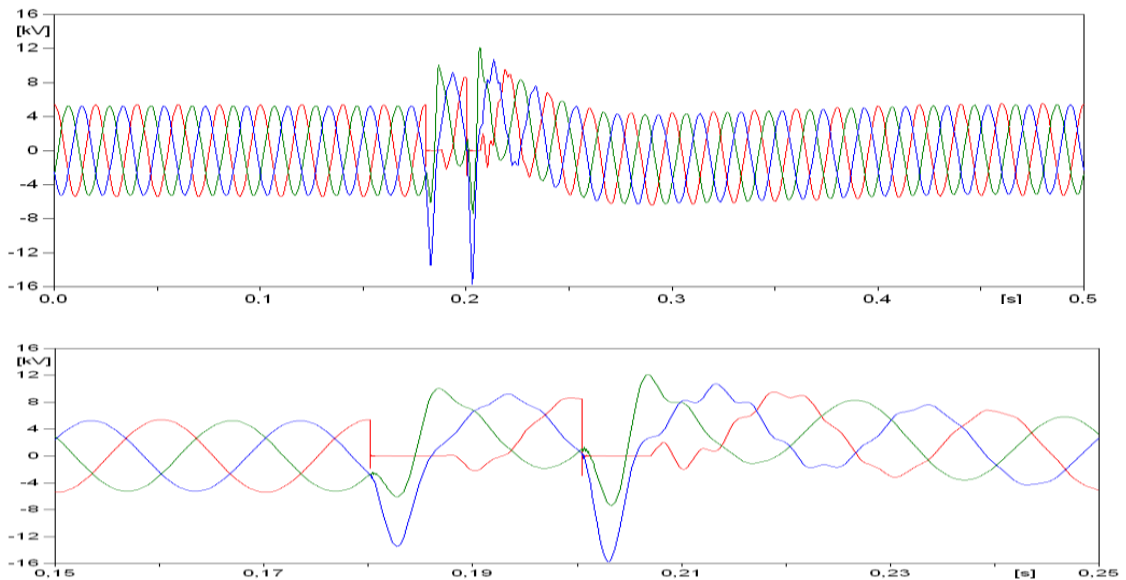
აქტიური დენი, როგორც წესი,საკმარისია დაცვის სელექტიური მუშაობისათვის, რომელსაც შეუძლიან იმუშაოს როგორც სიგნალზე ისევე გამორთვაზე,იმის მიხედვით თუ ელ მომარაგების რა იმედიანობის დონე უნდა იყოს შენარჩუნებული.

ამგვარად,გარდამავალი პროცესების საანგარიშო გამოკვლევებმა ერთფაზა მოკლემერთვის დროს ნკვ-ის ქსელში გვიჩვენა,რომ რეზისტორის არსებობა ქსელის ნეიტრალში გვაძლევს შესაძლებლობას ეფექტურად შევამციროდ გადაძაბვები ერთფაზა მოკლემერთვების დროს  $2,6 U_{fmax}$ -ის დონეზე.გადაზაბვების ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს,ქსელის ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში წარმოდგენილია ქვემოთ მოცემულ ოსცილოგრამებზე. ამ ოსცილოგრამებზე ნაჩვენებია როგორც ფაზური ძაბვის ცვლილების პროცესი ისე ძაბვის ცვლილება ნეიტრალზე

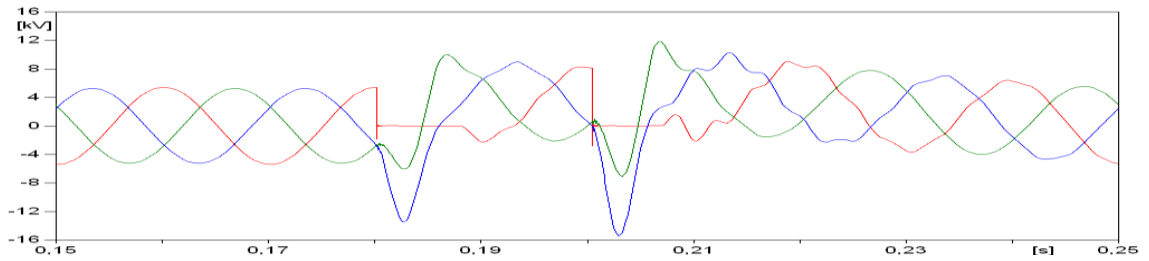
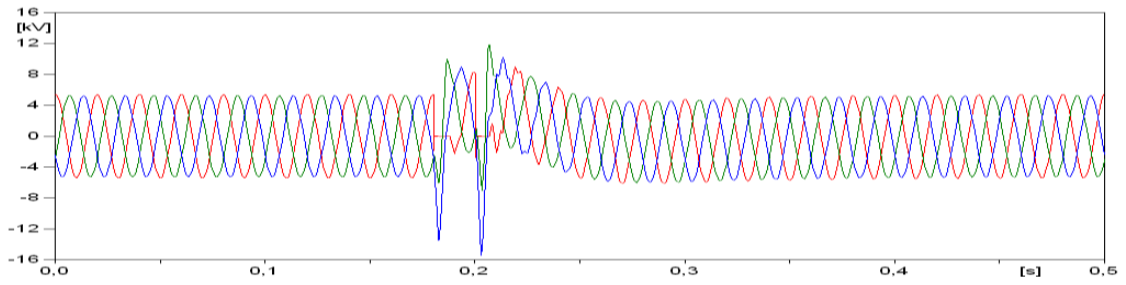
### 2.4.3. კომპიუტერული ოსცილოგრამები რეზისტორით ნეიტრალის დამიწებისას



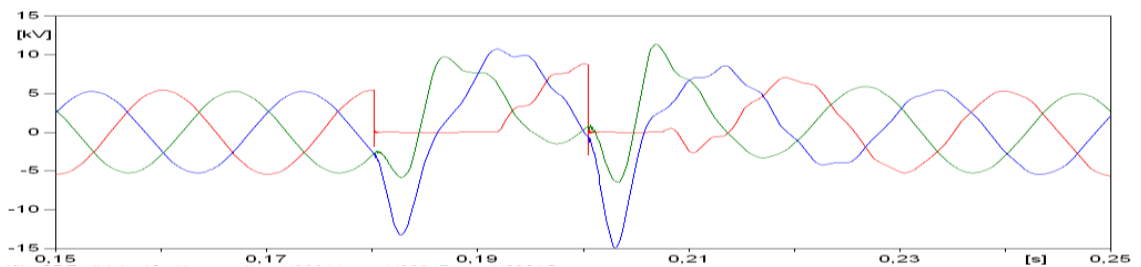
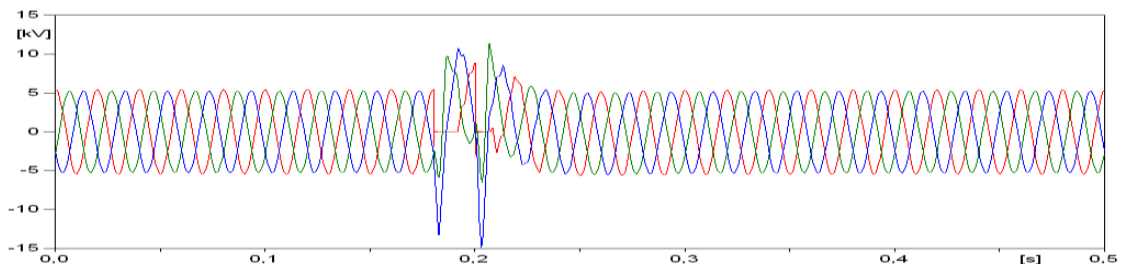
ნახ.16. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის 6კვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 2000 ომი,  $K_{გად}=3,16$



ნახ.17. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ქს დიდუბის 6კვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 1000 ომი,  $K_{გად}=3,07$

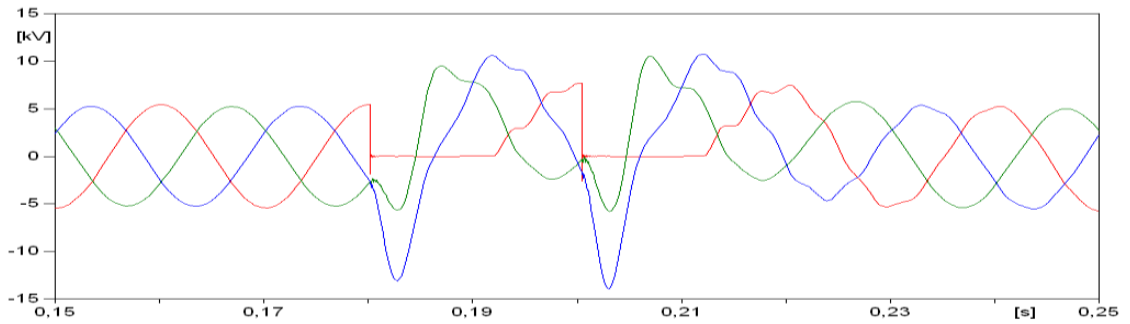
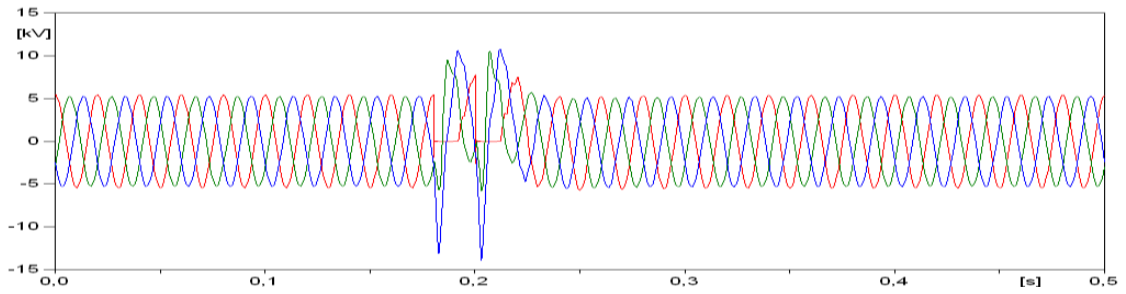


ნახ.18. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ეშშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 800 ომი,  $K_{გაღ}=3,01$

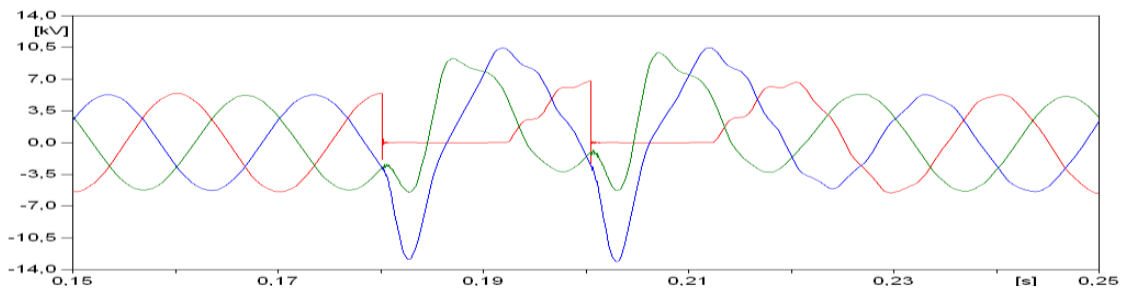
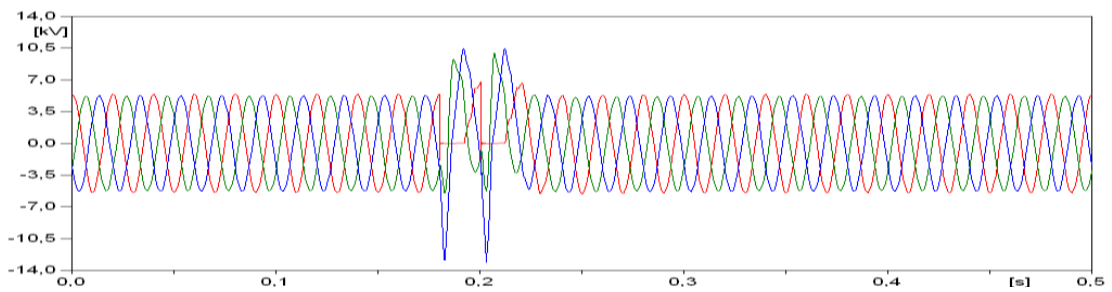


ნახ.19. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ეშშ-ის დროს ქს დიდუბის ნკვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 500 ომი,  $K_{გაღ}=2,91$

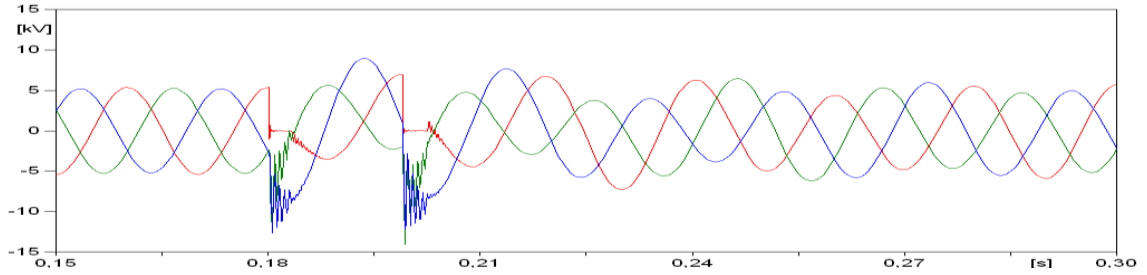
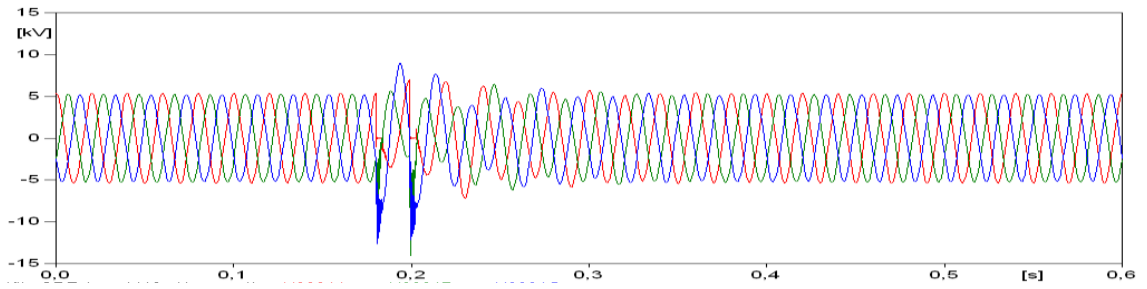




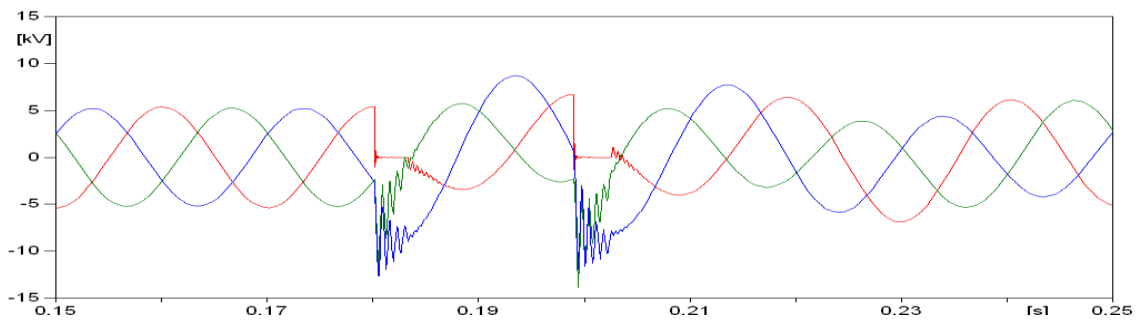
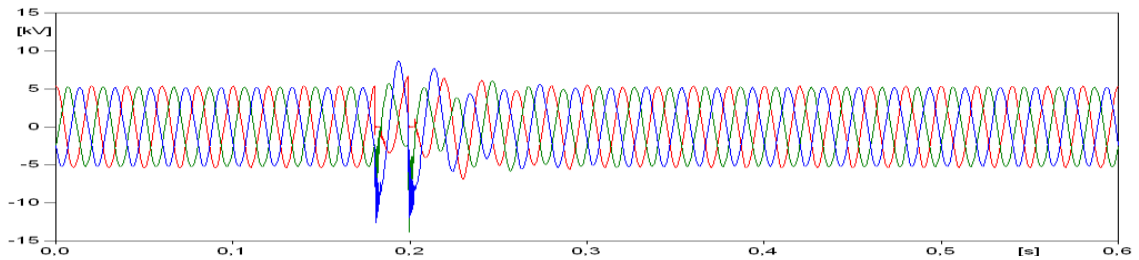
ნახ.20. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ეს დიდუბის 6კვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 400 ომი,  $K_{გაღ}=2,72$



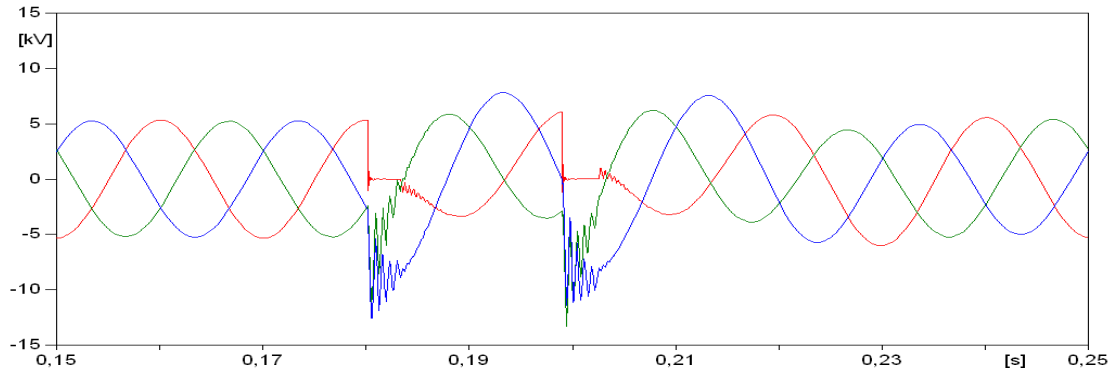
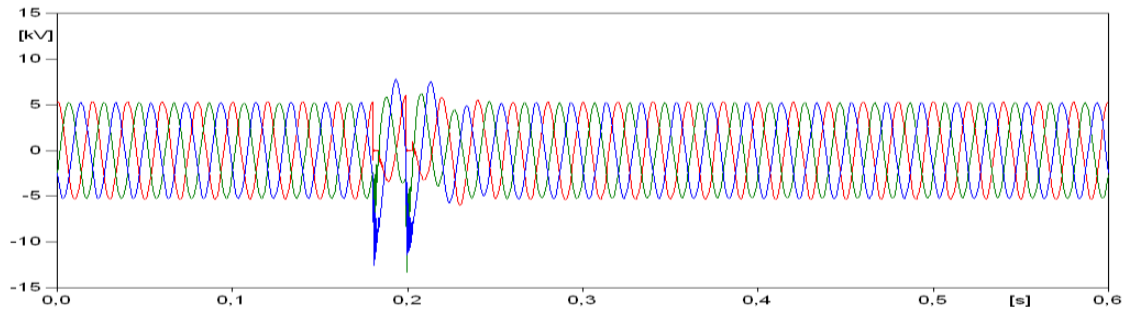
ნახ.21. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ეს დიდუბის 6კვ-ის ქსელში 1+3 სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რეზისტორით 200 ომი,  $K_{გაღ}=2,58$



ნახ. 22. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ქს ბგების ნკვ-ის ქსელში 2+4სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით(აშლა 20%) რეზისტორით 500 ომი,  $K_{გად}=2,76$



ნახ. 23. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ქს ბგების ნკვ-ის ქსელში 2+4სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალმქრობი კოჭით(აშლა 20%) რეზისტორით 400 ომი,  $K_{გად}=2,62$



ნახ. 24. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული ოსცილოგრამები ემშ-ის დროს ეს ბგების ნკვ-ის ქსელში 2+4სექ ქსელის ნეიტრალი დამიწებულია რკალბქრობი კოჭით(აშლა 20%) რეზისტორით 200 ომი,  $K_{გად}=2,52$

### თავი 3.

## რეზისტორული დამიწების და სარელეო დაცვის მოწყობილობის პარამეტრების შერჩევის მეთოდის დამუშავება და მათი შერჩევა

### 3.1. საერთო დებულებები

ნეიტრალის მაღალომიანი რეზისტორული დამიწება საჭიროა გამოვიყენოთ იმ შემთხვევაში როცა ქსელმა უნდა იმუშაოს ხანგრძლივად ემშ-ის რეჟიმში სანამ მოიძებნება დაზიანების ადგილი. მაგრამ ამავე დროს ნეიტრალის დენი უნდა იყოს ისეთი სიდიდის, რომ გამოირიცხოს საშიში პროცესები-გადაძაბვები და ელექტროუსაფრთხოების დარღვევა და უზრუნველყოს ამავე დროს დაზიანების ადგილის მოძებნა და სარელეო დაცვის მუშაობა სიგნალზე. ნეიტრალის ამგვარი რეჟიმი ხასიათდება გადაძაბვების დონის შემცირებით დასაშვებ დონემდე, დამიწების დაცვების მუშაობის შესაძლებლობით და ქსელის ხანგრძლივი მუშაობის შესაძლებლობით ამ რეჟიმში.

ნეიტრალის დაბალომიანი დამიწების შემთხვევაში როგორც ეს გამოიკვეთა ჩატარებული საანგარიშო გამოკვლევებით, შეიძლება გამოვიყენოთ მაშინ როცა საჭიროა ემშ-ის გამორთვა მინიმალურ დროში. ამავე დროს დენი ნეიტრალში უნდა იყოს საკმარისი რელეური დაცვის სამოშაოდ გამორთვაზე. დაბალომიანი რეზისტორული დამიწება ხასიათდება გადაძაბვების მნიშვნელოვანი შემცირებით და დამიწების დაცვების მარტივი და ეფექტური ორგანიზაციით.

თანამედროვე დაცვების უმეტესობა იძლევა საშუალებას მოეწყოს ემშ-ისაგან სელექტიური დაცვები დაბალომიანი რეზისტორით ნეიტრალის დამიწების შემთხვევაში.

### 3.2. დაბალმომიანი რეზისტორის შერჩევის პრინციპები და მეთოდოლოგია

ტექნიკურად მიზანშეწონილია დაბალმომიანი რეზისტორი შეირჩეს უმცირესი შემდეგი ორი პირობიდან გამომდინარე:

1. ემშ-ის დროს რკალის მდგრადი არსებობის უზრუნველყოფა. თანახმად ჩატარებული გამოკვლევებისა [10-1] რკალის არსებობის ასეთი პირობები მიიღება აქტიური დენის იმ მნიშვნელობით რომელიც 2-4 ჯერ მეტია სექციის ტევადურ დენზე:

$$I_R \geq kI_C \text{ и } I_R = \frac{U_\phi}{R} \Rightarrow R \leq \frac{U_\phi}{kI_C}, \quad (12)$$

სადაც  $k$  — არის რეზისტორის, აქტიური დენის შფარდება დამიწების წერტილის ტევადურ დენთან, როცა რკალი ანთია მდგრადად (გამოთვლებში იღებენ  $k = 3$ );

$I_R$  — დენი რეზისტორში ემშ-ის რეჟიმში;

$R$  — რეზისტორის წინაღობა;

$I_C$  — სალტების მაქსიმალური ტევადური დენი ემშ-ის დროს;

$U_\phi$  — ფაზური ძაბვის მნიშვნელობა (ქსელის ნეიტრალზე ძაბვა ემშ-ის დროს).

2) მარტივი დაცვების მუშაობის უზრუნველყოფა გამორთვაზე ემშ-ის დროს, როცა რეზისტორის დენი უნდა აჭარბებდეს დაცვის მუშაობის მაქსიმალურ დენს.

ზემოთ მოყვანილი პირობების თანახმად შესრულებულია რსისტორების წინააღობების ანგარიში ეს „დიდუბისა“ და „ბაგების“ ნკვ-ზე. ემშ-ის ხანმოკლე რეჟიმში რეზისტორი მუშაობის დროთ მიღებულია 10 წმ, IEEE Std 32-1972-ის მოთხოვნებით.

გადაძაბვების ეფექტური შეზღუდვისა და დაცვების სელექტიური მუშაობის უზრუნველყოფისათვის რეზისტორები მონტაჟდება კვების ცენტრებში 6 კვ-ის სექციებზე, უშუალოდ ქვესადგურებში ბაგები და დიდუბე. მოქმედი სქემის მიხედვით სექციები 1-3 და 2-4 მუშაობენ

გაერთიანებულად.მაგრამ იმედიაანობის გაზრდის მიზნით რეზისტორები დგება სექციების მიხედვით.ეს გვაძლევს საშუალებას იმედიაანად დავიცვათ ქსელი გადაძაბვებისაგან სექციების მუშაობის ყველა საექსპლუატაციო რეჟიმში.

**ცხრილი 9. რეზისტორების საანგარიშო წინაღობები**

ქსელი	სექცია	$I_{გაბ} A^{1)}$	რეზისტორის წინაღობა,ომ <sup>2)</sup>	საანგარიშო
ქს დიდუბე-ნკვ	1+3 c	22,07	52,31	
	2+4 c	42,48	27,18	
ქს ბაგრბი-ნკვ	1+3 c	36,41	31,71	
	2+4 c	49,54	23,31	

შენიშვნა: <sup>1)</sup> – ემშ-ის ტევადური დენი;<sup>2)</sup> – რეზისტორის წინაღობა 5.1. გამოსახულების მიხედვით;

ჩვენს მიერ გამოთვლილი გადაძაბვების დონეები ემშ-ის რეჟიმში 6 კვ-ის ქსელისათვის შეადგენს  $2,6U_{\phi max}$ .ქსელის ნეიტრალის დამიწება,გამომდინარე რკალის სტაბილური ანთებიდან, რეზისტორის მეშვეობით საშუალებას იძლევა შეიზღუდოს გადაძაბვები  $2,6U_{\phi max}$  სიდიდემდე.

საბოლოოდ,დაბალომიანი დამიწების განსახორციელებლად ვირჩევთ რეზისტორების ნომინალებს ცხრილის მიხედვით.

**ცხრილი 10. რეზისტორების ნომინალების შერჩევა**

ქსელი		$I_{A, \Delta}$	R,ომი
ქს დიდუბე, ნკვ	1 სექ	69,28	50
	2 სექ	69,28	50
	3 სექ	69,28	50
	4 სექ	69,28	50
ქს ბაგები, ნკვ	1 სექ	69,28	50
	2 სექ	138,56	50
	3 სექ	69,28	50
	4 სექ	138,56	50

### 3.3. ნეიტრალშემქმნელი მოწყობილობების შერჩევა რეზისტორების მისაერთებლად

ნეიტრალის დაბალომიანი რეზისტორით დამიწების რეჟიმის შესაქმნელად საჭიროა ეს დიდუბესა და ბაგებში უჯრედის გამოყოფა ნეიტრალშემქმნელი ტრანსფორმატორის მისაერთებლად გამოყვანილი ნეიტრალით, რომელზეც მიერთდება რეზისტორი. სარეზერვო უჯრედების არარსებობის გამო, მოწყობილობები დამონტაჟდა მხოლოდ 1 და 4 სექციებზე.

ცხრილი 11. მოწყობილობების დაყენების ადგილები რეზისტორული დამიწებების მოსაწყობად.

ქვესადგური	სექ	დაყენების ადგილი
„დიდუბე“	1სექ	უჯ. 5
	2სექ	-
	3სექ	-
	4სექ	უჯ. 45
ბაგები	1სექ	უჯ. 11
	2სექ	უჯ. 22
	3სექ	უჯ. 40
	4სექ	უჯ. 52

მოწყობილობების მიერთებამდე უჯრედებში რომლებიც გამოიყო მოწყობილობების დასადგმელად საჭიროა შემოწმდეს სარელეო დაცვები და ამომრთველები მათი მუშაობისუნარიანობის კუთხით და საჭიროების შემთხვევაში მოხდეს მათი კომპლექტაცია ფაზათაშორისი და ერთფაზა მოკლემერთვეებისაგან დაცვებით.

ქსელზე მაღალი ძავის რეზისტორის მისაერთებლად საჭიროა ჩატარდეს ნეიტრალშემქმნელი ტრანსფორმატორის სიმძლავრის შემოწმება მისი ხანმოკლე დროით მუშაობის გათვალისწინებით ემშ-ის რეჟიმში.

რადგანაც ნეიტრალ შემქმნელი ტრანსფორმატორის მუშაობა იგულისხმება ხანმოკლე რეჟიმში, დასაშვებია მისი მნიშვნელოვანი გადათვირთვა. იმისათვის რომ განისაზღვროს ტრანსფორმატორის ნომინალური დენი მცირე ხნით გადატვირთვის შემთხვევაში, შესაძლებელია გამოვიყენოთ მონაცემები ტრანსფორმატორის დასაშვებ გადატვირთვებზე. [11-1]-ის თანახმად, ზეთიანი ტრანსფორმატორის გადატვირთვა 1,5 წთ-ის განმავლობაში დასაშვებია 200%-ით.

ტრანსფორმატორის ნომინალური დენი შეიძლება განისაზღვროს თუ გაუტოლებთ ენერგიებს ემშ-ის და ტრანსფორმატორის დასაშვებ გადატვირთვის რეჟიმებში

$$(I_{რეზ}/3)^2 \times R_{ემშ} = (I_{გარდ})^2 \times R \times t_{გარდ} \quad (12)$$

სადაც R-ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის გრაგნილის აქტიური წინაღობაა

$$(I_{რეზ}/3)^2 \times t_{ემშ} = (K_{გარდ} \times I_{ნომ.საანგ})^2 \times t_{გარდ} \quad (13)$$

ნომინალური საანგარიშო დენისათვის გვექნება

$$I_{ნომ.საანგ} = 1/K_{გარდ} \times ((I_{რეზ}/3)^2 \times t_{ემშ} / t_{გარდ})^{1/2} \quad (14)$$

ნეიტრალის დამამიწებელი ტრანსფორმატორის სიმძლავრე  $I_{ნომ.საანგ}$  იქნება:

$$S_{საანგ} = \sqrt{3} U_{ნომ} I_{ნომ.საანგ}. \quad (15)$$

სადაც  $U_{ნომ}$  – ქსელის ნომინალური ხაზური ძაბვაა.

ემშ-ის მაქსიმალურ ხანგრძლივობას ვირჩევთ ნეიტრალის რეზისტორის მიერთების მაქსიმალური დროის მიხედვით.

**ცხრილი 12. ნეიტრალშემქ. ტრ-ის შერჩევა რეზისტორის მისაერთებლად**

R <sub>რეზ</sub> ომ	I <sub>რეზ</sub> , ა	T <sub>ემშ</sub> , წმ	I <sub>ნომ.საანგ</sub> , ა	S <sub>საანგ</sub> , კვტ	S <sub>ტ</sub> , კვტ
50	69,28	15	11,59	80/160	120/200



ტრანსფორმატორს გააჩნია აქტიური და ინდუქტიური წინააღმდეგობა, ამიტომ ნეიტრალის დენი ემშ-ის რეჟიმში იქნება შეზღუდული ტრ-ის სრული წინააღმდეგობით

$$I_{რეზ} = \sqrt{3} \times U_{ნომ} / Z_{წულ} \quad (16)$$

სადაც  $Z_{წულ}$  — იმ კონტურის ნულოვანი მიმდევრობის წინააღმდეგობაა, სადაც ჩართულია რეზისტორი ემშ-ის დროს

$$Z_{წულ} = ((R_{ტ0} + 3R_n)^2 + (X_{ტ0})^2)^{1/2} \quad (17)$$

სადაც  $X_{ტ0}$  და  $R_{ტ0}$  — ნეიტრალშემქმნელი მოწყობილობის აქტიური და ინდუქტიური წინააღმდეგობაა.

ტრანსფორმატორის ნულოვანი მიმდევრობის აქტიური და ინდუქტიური წინააღმდეგობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$X_{ტ0} = X_{ტ1} = U_{შშ} / 100 \times U_{ნომ}^2 / S_{ტ} \quad (18)$$

სადაც  $U_{შშ}$  — ნეიტრალშემქმნელი ტრ-ის მოკლემერთვის ძაბვაა;

$U_{ნომ}$  და  $S_{ტ}$  — ტრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვა და სიმძლავრე, მისი ემშ-ის რეჟიმში მუშაობიდან გამომდინარე.

წარმოდგენილი ფორმულების მიხედვით შესრულდა რეზისტორის დენის ანგარიში ემშ-ის რეჟიმში მისი შეზღუდვის გათვალისწინებით ტრ-ის წინააღმდეგობით (ცხრ.5.5). თექნიკურად გამართლებულია დასაშვები დენის შეზღუდვა არა ნაკლებ 10%-ისა.

**ცხრილი 13. რეზისტორის დენი ნეიტრალშემქმნელი ტრანსფორმატორის წინააღმდეგობის გათვალისწინებით**

ტრ-ის ტიპი	R, ომ	ნომინალური დენი, ა	ნომინალური დენი ტრანსფორმატორის წინააღმდეგობის გათვალისწინებით, ა	რეზისტორის დენის შეზღუდვის ხარისხი, %
Φ3Г-200	50	69,28	68,5	1,13
Φ3Г-310	25	138,56	136,3	1,63

ამგვარად. ეს ბაგებში რეზისტორის მისაერთებლად ტექნიკურად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ძეითიანი ნეიტრალშემქმნელი

ტრანსფორმატორული Φ3Γ-310/6 ტიპის ფილტრი Z<sub>N</sub>-შეერთების სქემით. ასეთი ფილტრის წინააღობა შეზღუდავს დენს 1,63%-ით.

ეს ბაგებში რეზისტორის მისაერთებლად ტექნიკურად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ზეთიანი ნეიტრალშემქმნელი Φ3Γ-200/6 ტიპის ფილტრი Z<sub>N</sub>-შეერთების სქემით. ასეთი ფილტრის წინააღობა შეზღუდავს რექისტორის დენს 1,13%-ით.

**ცხრილ 14. რეკომენდებული მოწყობილობის ჩამონათვალი**

ქსელი	სექცია	რეზისტორის ტიპი	რეზისტორის მისაერთებელი ტრანსფორმატორის ტიპი
ქს «დიდუბე»	1სექ	P3-25-480-6	Φ3Γ-310/6 YXJ11
	2სექ	-	-
	3სექ	-	-
	4სექ	P3-25-480-6	Φ3Γ-310/6 YXJ11
ქს «ბაგები»	1სექ	P3-50-240-6	Φ3Γ-200/6 YXJ11
	2სექ	P3-50-240-6	Φ3Γ-200/6 YXJ11
	3სექ	P3-50-240-6	Φ3Γ-200/6 YXJ11
	4სექ	P3-50-240-6	Φ3Γ-200/6 YXJ11

ცხრილი 5.6-ქს დიდუბის და ბაგების ნეიტრალის დამამიწებელი აპარატურის ჩამონათვალი და ტიპები.

### **3.4. სარელეო დაცვების ადაპტაცია ნეიტრალის რეზისტორული დამიწების რეჟიმთან**

#### **3.4.1. ემშ-ის დაცვების აგების პრინციპები**

ერთფაზა მოკლემერთვეებისაგან დაცვა არის მნიშვნელოვანი ელემენტი ქსელის ეფექტური ექსპლუატაციისათვის, დაზიანებების ლოკალიზაციისა და დაზიანებისა და ზარალის მინიმიზაციისათვის.

ერთფაზა მოკლემერთვებისაგან დაცვების რეალიზაციისათვის და დაზიანებული უბნის სელექტიური ამორთვისავის, ეწყობა დამიწების დაცვები როგორც მკვებავი ქვესადგურის ყველა გამავალ მიმართულებებზე ისე განმანაწილებელ პუნქტებში.

დღეისათვის გამოიყენება დაცვების შემდეგი ძირითადი სახესხვაობები.

1. დაცვები რომლებიც ზომავენ ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვებს.
2. არამიმართული დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი მიმართულების დენის სამრაწველო სიხშირის მდგენელზე.
3. მიმართული დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი მიმდევრობის სამრეწველო სიხშირის ძაბვასა და დენზე.
4. დაცვები რომლებიც აფიქსირებენ „ზედდებულ“ არასამრეწველო სიხშირის დენებს.
5. დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ემშ დენის მაღალსიხშირულ მდგენელებზე.
6. დაცვები რომლებიც რეაგირებენ გარდამავალი პროცესის ძაბვისა და დენის ნულოვანი მიმდევრობის მდგენელებზე.

რეზისტორით ნეიტრალის დამიწების შემთხვევაში სელექტივობა მიიღქვევა იმით რომ ემშ-ის დენის აქტიური მდგენელი გადის მხოლოდ დაზიანებულ მიმართულებაში, მაშინ როცა სხვა დანარჩენ მიმართულებებში გადია მხოლოდ ნულოვანი მიმდევრობის საკუთარი თევადური დენები, რომლისაგანაც დაცვები უნდა იყოს საიმედოდ განრიდებული.

დაბალმიანი რეზისტორული დამიწების შემთხვევაში ( $I_{\Sigma} = 40 - 2000$  ა) შეიძლება მივაღწიოთ კარგ სელექტივობას, გამოვიყენოთ რა ნულოვანი მიმდევრობის მარტივი დენური დაცვები (კოდი ANSI 50/51N) ან მიმართული დაცვები (კოდი ANSI 67/67N).

ნულოვანი მიმდევრობის დენური დაცვები ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების შემთხვევაში ემშ-ების დროს შეიძლება შესრულებული იქნას დაცვების შემდეგი მოწყობილობებით:

მარტივი დენური რელე ყოველ მიმართულებაზე;

თანამედროვე ციფრული ტერმინალები ყოველ მიმართულებაზე;  
ემშ-ისაგან ცენტრალიზებული დაცვები ცალკეული სექციებისათვის;

დენური არამიმართული დაცვის მუშაობის უნარიანობა განისაზღვრება დამიწების დენის მნიშვნელოვან სიდიდეზე, რომელიც აღემატება დასაცავი მიმართულების ტევადურ დენს 2-3-ჯერ.

კომბინირებული და მაღალომიანი ნეიტრალის დამიწების შემთხვევაში ემშ-ისაგან დაცვების ორგანიზაცია შეიძლება შემდეგის გათვალისწინებით:

ნულოვანი მიმდევრობის არამიმართული დაცვის მოწყობა (მაღალომიანი და დამიწება) და დამიწების დაცვები უფრო რთული პრინციპების გათვალისწინებით (ნეიტრალის კომბინირებული დამიწება)

ნეიტრალის მაღალომიანი დამიწება ეწყობა იმ შემთხვევაში, როცა ქსელში შეუძლიან ხანგრძლივი მუშაობა ცალფაზა დამიწების რეჟიმში, ან როცა არის შეზღუდვა ერთფაზა დამიწების დენის მიხედვით. რეზისტორის წინაღობა განისაზღვრება ძირითადად გადამაბვების დონი შემცირების აუცილებლობით. დენური არამიმართული დაცვის არასაკმარისი მგრძობიარობის შემთხვევაში საჭიროა გამოყენებული იყოს უფრო რთული დაცვები:

დაცვები რომლებიც რეაგირებენ ნულოვანი დენის მაღალსიხშირულ ჰარმონიკებზე;

დაცვები რომლებიც იყენებენ გარდამავალი პროცესის ნდგენელებს;

დაცვები ზედდებული დენებით.

### 3.4.2. დამიწებისაგან დაცვების ამუშავების დენისა და დროის განსაზღვრა

ნეიტრალის დაბალომიანი რეზისტორული დამიწების შემთხვევაში.

დენური არამიმართული დაცვის დანაყენი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

1. დაცვის მუშაობა როდესაც ემშ არის დასაცავ მიმართულებაზე

$$I_{C3} = \frac{I_3}{k_q}, \quad (19)$$

სადაც  $I_{\Sigma}$ -დამიწების სრული დენი(ტევადური და აქტიური დენების ჯამი),როდესაც დენი გადის დასაცავ მიმართულებაზე.

მგრძნობიარობის კოეფიციენტი უნდა იყოს 1,5-ზე მეტი საკაბელ და საჰაერო ხაზებისათვის.

### 3.4.3. დაცვების არმუშაობა სად მიმართულებებზე.

საკაბელო ხაზების ამუშავეების დენი მოწმდება მის განრიდებაზე მინაერთის ტევადური დენისაგან,როცა მოკლემშრთვა არის სხვა მიმართულებებზე. დაცვის ამუშავეების დენი მოწმდება შემდეგი გამოსახულების მიხედვით:

$$I_{\Sigma} \geq k_{\text{იმედ}} \cdot (k_{\text{ნახტ}} \cdot I_{\text{ც.მაქს}} + I_{\text{უბ.მაქს}}), \quad (20)$$

სადაც  $k_{\text{იმედ}}$ -იმედიანობის კოეფიციენტი,  $k_{\text{იმედ}}=1,2$ ;

$k_{\text{ნახტ}}$ -კოეფიციენტი რომელიც ითვალისწინებს ტევადური დენის ნახტომს ემშ-ის წარმოქმნისას და აგრეთვე თუ როგორ რეაგირებს დაცვა მასზე,ციფრული რელეს გამოყენების შემთხვევასი  $k_{\text{ნახტ}}=1,5$ .

$I_{\text{ც.მაქს}}$ -საკუთარი ტევადური დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა მინაერთზე გარეემშ-ის დროს

$I_{\text{უბ.მაქს}}$ -უბალანსობის დენის მაქსიალური მნიშვნელობა მუშა და ავარიულ რეჟიმებში.

ნულოვანი მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორების უბალანსობის დენი აღწევს 270 მა-ს როცა პირველადი ედენი 300ა-ია.უბალანსობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

**Error!**, (20)

სადაც  $I_{\text{ნბ.300}}$  – დენის უბალანსობა ТТНП დენის ტრანსფორმატორში როდესაც კაბელში გაივლის დენი 300აпри ;  $I_{\text{ნაპ}}$  –რეალური ტვირთის დენი ამპერებში..

იმის გამო რომ არ არის ინფორმაცია ტვირთის დენზე,მისი მნიშვნელობა შეიძლება გაუტოლოთ კაბელის უდიდეს დასაშვებ დენს(ACB) 240 მმ²,  $I_{\text{ნაპ}}=351 \text{ A}$

ნგარიშს ვაწარმოებთ ერთი მინაერთის მაქსიმალური დენის მიხედვით. შეფასებითი გამოთვლისათვის მივიღოთ მინაერთის ნომინალური დენი-390ა.

$$I_{ნომ. max} = 0,27 \cdot \frac{390}{300} = 0,32A \quad (21)$$

აღნიშნულია, რომ დენის ტრანსფორმატორის ჯამური უბალანსობის დენი, რომლის მეორადი გრაგნილები შეერთებულია პარალელურად, არ აღემატება ერთი საკაბელო ტრანსფორმატორის უბალანსობის დენს.

დაცვის ამუშავების დენის ანგარიში მგრძნობიარბის კოეფიციენტების მიხედვით მოცემულია ცხრილ 5.7-ში. რადგანაც, თუნდაც ტევადური დენის მნიშვნელოვანი სიდიდის დროს (50-70ა) დენი დაზიანების წერტილში განისაზღვრება ძირითადად აქტიური მდგენელით, რეზისტორის მიე შექმნილი დაცვის მუშაობის დენი შეიძლება გამოთვლილილიქნეს საჭირო მგრძნობიარობის კოეფიციენტის უზრუნველყოფის კუთხით ( $k_{\pm}=1,5$ ) შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$I_{C3} = \frac{I_R}{k_{\pm}}, \quad (22)$$

ცხრილი 15. დაცვების ამუშავების დენის ანგარიში ქს-ების და განმანაწილებელი პუნქტების ყველა მინაერთისათვის

ქვესადგური	სექცია	I <sub>რ</sub> , ა	I <sub>სა</sub> , ა	I <sub>სა.მეორ.</sub> , ა	I <sub>სა.მეორ.</sub> , ა c ZX-122 ტერმინალის მაქსიმალური დანაყენის გათვალისწინებით
«დიღუბე»	1 სექ	136,3	90,87	3,64 <sup>1)</sup>	2,5
	2 სექ	136,3	90,87	3,64 <sup>1)</sup>	2,5
	3 სექ	136,3	90,87	3,64 <sup>1)</sup>	2,5
	4 სექ	136,3	90,87	3,64 <sup>1)</sup>	2,5
«ბაგები»	1 სექ	68,5	45,67	1,83	–
	2 სექ	68,5	45,67	1,83	–
	3 სექ	68,5	45,67	1,83	–
	4 სექ	68,5	45,67	1,83	–

გამოთვლილი ამუშავების დენების მნიშვნელობები უნდა დადგეს ქვესადგურის და განმანაწილებელი პუნქტების მიმართულებებზე რომლებიც იკვებებიან შესაბამისი სალტეებიდან.

### 3.4.4.დაცვების ამუშავების დენების შემოწმება.

მისი საკუთარი დევადური დენის განრიდებით გარე მოკლე შერთვების დროს ფორმულა 5.10-ის მიხედვით მოცემულია ცხრილ5.8-ში.შემოწმება ჩატარებულია ქსელის ნორმალური სქემის პირობებში )6კვ ქს ბაგები და დიდუბე.

ექსპლუატაციის პროცესში ქსელი კონფიგურაცია შეიძლება შეიცვალოს ავარიული გამორთვებისა სა ოპერატიული გადართვების გამო,რის გამოც მინაერთის ჯამური ტევადური დენი შეიძლება შეიცვალოს დიდ ფარგლებში.შერჩეული პირველი პირობის მიხედვით ემშ-ის დენების ამუშავების დენი უზრუნველყოფს(ცხრილი5.7) დაცვის განრიდებას საკუთარი ტევადური დენისაგან,და მის სელექტივობას გარე ემშ-ის დროს.

ტევადური ედენის ანგარიში გამავალ მინაერთებზე შესრულებულია დაზუსტებული მონაცემებით და განსხვავდება საანგარიშო დენებისაგან სექციების მიხედვით(1განყ).უცნობი პარამეტრების საკაბელო ხაზებისათვის,მიღებულია შემდეგი დაშვებები: კაბელის ტიპი- ACE, კვეთი- 120 მმ²,სიგრძე-450მ.

ცხრილი 16. დაცვების დანაყენების შემოწმების რეზულტატები საკუთარი ტევადური დენისაგან განრიდების პირობით ქს დიდუბისა და ბაგების 6კვ ქსელისათვის

ქს	№ სექ	უჯრედის ნომერი	Iტევ, ა	Iდ.მ., ა	Iდაც, ა	Kმგრძ,
ქს «დიდუბე»	1 სექ	2	4,17	7,89	140,50	17,82
		3	0,9	2,00	141,08	70,57
		6	0,9	2,00	141,08	70,57
		8	0,41	1,12	141,17	126,37
		9	1,66	3,37	140,94	41,86
		10	4,98	9,34	140,37	15,02
	3 სექ	33	1,35	2,81	140,99	50,19
		34	0,9	2,00	141,08	70,57
		35	4,54	8,55	140,44	16,42

ქს	№ სექ	უჯრედის ნომერი	იტევ, ა	იდ.მ., ა	იდაც, ა	კმგრძ,	
		36	2,1	4,16	140,86	33,87	
		37	2,2	4,34	140,84	32,46	
		38	0,45	1,19	141,16	118,72	
		39	2,87	5,55	140,72	25,38	
	2 სექ	15	2,37	4,65	141,90	30,55	
		16	4,71	8,86	141,41	15,97	
		17	2,01	4,00	141,97	35,52	
		18	2,88	5,56	141,79	25,49	
		19	0,6	1,46	142,29	97,52	
		20	4,3	8,12	141,49	17,43	
		21	0,6	1,46	142,29	97,52	
		24	1,59	3,24	142,07	43,83	
		25	0,45	1,19	142,32	119,69	
		26	3,9	7,40	141,57	19,13	
		4 სექ	46	0,7	1,64	142,27	86,80
			47	0,45	1,19	142,32	119,69
	48		0,15	0,65	142,39	219,37	
	49		0,9	2,00	142,22	71,14	
	50		0,9	2,00	142,22	71,14	
	53		3,38	6,46	141,68	21,92	
	54		3,07	5,91	141,75	24,00	
	ქს «მაგები»	1 სექ	2	0,55	1,37	144,43	105,49
			3	3,22	6,18	143,61	23,26
			4	6,4	11,90	142,69	11,99
			5	6,84	12,69	142,56	11,23
			6	0,13	0,61	144,56	235,80
7			7,29	13,50	142,44	10,55	
11			0,9	2,00	144,32	72,19	
13			15,54	28,35	140,41	4,95	
3 სექ		36	0,45	1,19	144,46	121,49	
		41	3,6	6,86	143,49	20,92	
		42	1,36	2,83	144,18	51,00	
2 სექ		20	6,33	11,77	150,83	12,81	
		21	0,9	2,00	153,18	76,63	
		23	0,13	0,61	153,53	250,42	
		24	8,31	15,34	150,02	9,78	
		25	12,1	22,16	148,51	6,70	
		27	7,92	14,64	150,17	10,26	
		28	1,06	2,29	153,11	66,95	
		29	2,95	5,69	152,28	26,77	
4 სექ		50	1,36	2,83	152,98	54,11	
		51	0,9	2,00	153,18	76,63	
		52	8,26	15,25	150,04	9,84	
		53	13,9	25,40	147,83	5,82	
		54	0,45	1,19	153,39	129,00	
		57	4,29	8,10	151,70	18,73	
		59	0,57	1,41	153,33	109,13	



**3.4.5. ნეიტრალის დაბალმიან რეზისტორით დამიწებულ რეჟიმზე გადასვლა,დაცვების სელექტიური მუშაობის კუთხით მ/მ ქვესადგურებში ჩასატარებელი ღონისძიებები:**

1. ნკვ ყველა უჯრედში სადაც დგას ZX-122 ტიპის ტერმინალები შესრულდეს 3Io დენის მიწოდება T3JM-1-1 დენის ტრანსფორმატორებიდან კოეფიციენტით 25/1. ტერმინალებში შევიყვანოთ არამიმართული ემშ-ისაგან დაცვები დანაყენებით(ცხრილი16). ZX-122-ტიპის ტერმინალებში ჩაშენებულია არამიმართული დამიწებისაგან დაცვა ძირითადი სიხშირის დენის კონტროლით და მეორადი დენის დიაპაზონით 0,02-2,5ა.დენის დაყენების დისკრეტულობაა 0,01 ა.

2. ყოველ უჯრედში ნეიტრალშემქმნელი ფილტრით Φ3Γ-200/310 და რეზისტორით 25 და 50 ომი გამოიყენება დამონტაჟებული T3JM-1-1ტიპის დენის ტრანსფორმატორები,ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით 25/1 და მიკროპროცესორული ტერმინალი ZX-122 რეზისტორიანი მინაერთის დასაცავად.

ორი ან მეტი კაბელის შემთხვევაში უჯრედში ,ნულოვანი მიმდევრობის დენის ტრანსფორმატორების მეორადი გრაგილები უნდა შეერთდეს პარალელურად.

**3.4.6. ნეიტრალის დაბალმიან რეზისტორით დამიწებულ რეჟიმზე გადასვლა,დაცვების სელექტიური მუშაობის კუთხით განმანაწილებელ პუნქტებში ჩასატარებელი ღონისძიებები:**

1.შესრულდეს PT-140/6, PB-112(215) და PY21 (წარმოებაOAO «ЧЭАЗ»)რელეების დაყენება გამავალ მიმართულების უჯრედებში ყველა განმანაწილებელი პუნქტისა(დაყენება არ არის საჭირო ПП-2038 и ПП-2005პუნქტებში სადაც უკვე დგას ZX-122-ტიპის ტერმინალები.შესრულდეს დენურ რელეებზე საკაბელო დენის ტრანსფორმატორების მეორადი გრაგნილების მიერთება ტრანსფორმაციის კოეფიციენტებით 25/1 ემშ-ისაგან დაცვების რეალიზაციისათვის და მიეცეს შესაბამისი დანაყენები (ცხრილი

5.7).მაქსიმალური დაცვის რეჟები PT-140/6 ტიპის განკუთვნილია როგორც დაცვის დენური ორგანოები. მათი ნომინალური დენი კოჭების მიმდევრობით შეერთებისას არის 10 ა.კოჭებში გამავალი ხანგრძლივად გამავალი დენი შეადგენს  $1,1 \cdot I_{\text{ნომ}} - \text{ს.დენის რეგულირების ზღვრებია } 1,5—3,0 \text{ ა(კოჭების მიმდევრობითი შეერთება)}$  და  $3,0—6,0 \text{ ა(კოჭების პარალელური შეერთება)}$

2. PII-2038 და PII-2005 უჯრედებში დგას ტერმინალები ZX-122<ხდება დენების მიერთება და დანაყენების მიცემა თანახმად( ცხრილი5.7)

3. შემყვანების გამორთვების რეზერვირებისათვის მკვებავი ქვესადგურებიდან ემშ-ის შემთხვევაში გათვალისწინებული იქნას რაჩ-ის მოწყობა სასაექციო ამომრთველებზე.

1.6 დაცვის მუშაობის დროის განსაზღვრა ქს ბაგების,დიდუბის გამავალ მინაერთებზე და განმანაწილებელ პუნქტებში.

ნეიტრალი დაბალომიანი წინაღობით დამიწების შემთხვევაში დაცვის მუშაობის დრო მიიღება  $t_{\text{აგ}} = 0,2 \text{ წმ.სელექტივობის საფეხური დროითი სელექტივობ დასაკმაყოფილებლად მიიღება } 0,2 \text{ წმ.ქს ბაგების და დიდუბის გამავალ უჯრედებზე მუშაობის დრო მიიღება } T_{\text{აგ}} = 0,4 \text{ წმ.}$

სექციების ავარიული მუშაობის შემთხვევაში მაღალი ძაბვის ქვესადგურებზესაჭიროა გავითვალისწინოთ სასაექციო ამომრთველის გამორთვა მინაერთის ემშ-ის დაცვით დროის დაყოვნებით 0,6წმ.

დაცვის ან ამომრთველი მუშაობის უარის შემთხვევაში,რომ გამოირიცხოს ემშ-ის დენის ხანგრძლივი გავლა ,გათვალისწინებულია რეზისტორის მინაერთის ავარიული გამორთვა( $t_{\text{აგ}} = 0,6 + 0,2 = 0,8 \text{ წმ}$ ),რითაც ქსელი გადადის იზოლირებულ ნეიტრალიან რეჟიმში, იმშემთხვევაში როცა ეს შესაძლებელია. გამორთვების შედგომი ლიკვიდაცია დამოკიდებულია პერსონალზე.

გამშვებ სიგნალად რეზისტორის გამორთვის შემთხვევაში გამოიყენება დენი  $U_{\text{OK}} 3I_0$  რეზისტორის დამიწების წრედის საკაბელო ტრანსფორმატორიდან.

რეზისტორის გამორთვის უარი რეზერვირდება შესაბამისი სექციის შემყვანის გამორთვით რა რაჩ-ის აკრძალვით. ედდ-ის დენი მიეწოდება შემყვანს რეზისტორის დამიწების წრედიდან. დროის დანაყენი მიიღება ერთი საფეხურით მეტი ვინემ რეზისტორის გამორთვის დროის დანაყენი.  $T_{აღ} = 0,8 + 0,2 = 1,0$  წმ. დენური დანაყენი იგივეა რაც რეზისტორის დაცვაში. რეზისტორის მინაერთის არაავარიული გამორთვის შემთხვევაში (ტრანსფორმატორის, ამომრთველის ან რეზისტორის რემონტი ან მომსახურება) ქსელი გადადის იზოლირებული ნეიტრალის რეჟიმში, როდესაც დაცვები რომლებიც აწყობილია შედარებით დიდ დანაყენებზე არ იმუშავებენ. ასეთ შემთხვევაში საშტატო მუშაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა სექციების გაერთიანება. ამ შემთხვევაში რეზისტორის დენი, რომელიც დაყენებულია მეორე სექციაზე საკმარისი იქნება სელექტიური დაცვის უზრუნველსაყოფად. ემშ-გან დაცვს ქს დიდუბის გამავალი ფიდერიდან გატვლილია ერ რეზისტორზე მუშაობისათვის ნომინალით 50 ომ (68,5ა). ერთი რეზისტორის გამორთვა არ გამოიწვევს დაცვების მუშაობის უნარიანობის დაკარგვას და სექციების გაერთიანება არ იქნება საჭირო.

### 3.5. ქვესადგურ ბაგებსა და დიდუბეში ჩატარებული ნეიტრალის რეჟიმის მოდერნიზაციის შედეგები

ქვესადგურებში ნეიტრალის რეჟიმების მოდერნიზაცია ჩატარდა 2017 წლის ოქტომბერ-დეკემბრის პერიოდში.

ნეიტრალის რეზისტორებით დამიწების შედეგად, როდესაც მკვეთრად გაიზარდა მიწასთან ერთფაზა მოკლემერთვის დენი მისი აქტიური მდგენელის გაზრდის ხარჯზე მოქმედება დაიწყეს შემდეგმა პოზიტიურმა ფაქტორებმა:

1. მიწასთან მოკლემერთვების უმეტესობა მაშინვე გადადის მეტალურში, დამიწების საკმარისი დენის (100ფ-მდე) გამო.

2. ეს ფაქტორი გამორიცხავს რკალურ გარდამავალ მოკლემერთვებს რაც არის მთავარი მიზეზი მრავალჯერადი გადაძაბვების ესკალაციის ქსელის ამ უბნებზე.
3. ნეიტრალის დამიწების რეზისტორულმა რეჟიმმა მკვეთრად გაზარდა მოკლემერთვის დენი მხოლოდ დაზიანებულ მინაერთში.
4. ამ ფაქტორმა იმოქმედა დაცვების სელექტივობაზე რადგან დაუზიანებელ მიმართულებებში ამ დროს გადის საკუთარი ტევადური დენი რომელიც ბევრად ნაკლებია და ატარებს ძირითადად ტევადუე ხასიათს.
5. გაიზარდა დაცვების მგრძობიარობა მოკლემერთვის დენის გაზრდის გამო და გამარტივდა დაცვების არმუშაობის ორგანიზება არადაზიანებულ მინაერთში.
6. დაზიანების ცალსახად გადაზრდამ მეტალურში მინაერთის დაზიანების მკვეთრი ფიქსაციით გამორიცხა დაზიანებების აკუმულიაცია კაბელში მისი არამდგრადი მუშაობით.
7. გამარტივდა სარელეო დაცვების შესრულების და დანაყენების ანგარიშის პროცედურები.
8. აღნიშნული პროცესები მიმართულია ქსელის გაჯანსაღებისაკენ კაბელებში დაზიანებების დაუგროვლობის ხარჯზე.

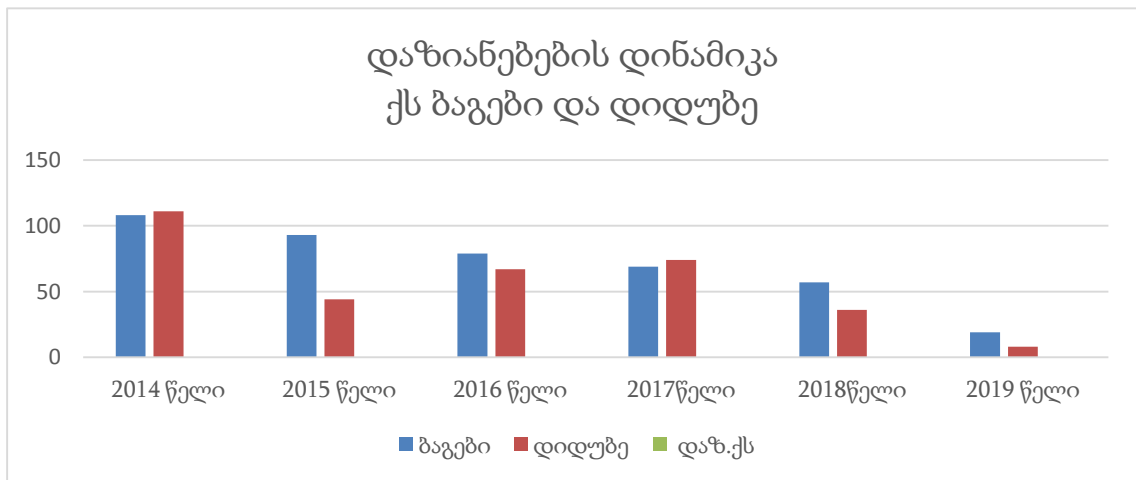
ზემოთაღნიშნული ფაქტორები მკვეთრად აისახა მოდერნიზირებული ქსელის უბნების( ბაგები და დიდუბე)მუშაობის იმედიანობაზე.

2018წელს(მოდერნიზაციის შემდგომი პირველი წელიწადი)ავარიული გამორთვების რაოდენობა 6კვ ქსელში მკვეთრად დაეცა: ქს ბაგებში 69 დან 57-მდე ხოლო ქს დიდუბეში 74-დან 36-მდე.

2019 წლის ნახევარი წლის მონაცემების მიხედვით ამ წლის ბოლოს ეს მაჩვენებლები გაუტოლდება შესაბამისად 38 და 16 მაჩვენებლებს.

ქსელის ამ უბნებზე გამოირიცხა მრავალმიმართულებიანი და მრავალადგილიანი (ერთ მიმართულებაზე) გამორთვები.

დახასიათებული ტენდენცია წარმოდგენილია ქვევით  
 ჰისტოგრამებისა და ცხრილის სახით.



ცხრილი 17. 6კვ მინაერთების ავარიული გამორთვების რაოდენობა წლების მიხედვით

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ბაგები	108	93	79	69	57	19
დიდუბე	111	44	67	74	36	8
ქსელი	2267	1811	2200	2300	2021	503
პროცენტი	9,6 %	8,1%	6,6%	6,2%	4,6%	5,3%

ნეიტრალის რეჟიმების მოდერნიზაციასთან დაკავშირებული შედეგების გასამტკიცებლად საჭიროა გაგრძელდეს ის სამუშაოები რომლებიც იყო გათვალისწინებული მოდერნიზაციის პროექტით:

1. შეიქმნას ავტომატური რეზერვირების საშუალებები პირველი ცგპ-ების დონეზე დაზიანებული ფიდერების გამორთვის შემთხვევაში მომხმარებლების შეუფერხებელი კვების უზრუნველსაყოფად.
2. გაიზარდოს საქვესადგურო მოწყობილობების ტექნიკური და ოპერატიული მომსახურების დონე.
3. გაიზარდოს 6-10 კვ საკაბელო ქსელის ტექნიკური და ოპერატიული მომსახურების დონე.

## თავი 4.

### სარელეო დაცვის თანამედროვე მეთოდების და საშუალებების კვლევა, ანალიზი და მოდელირება

#### 4.1. ვეივლეტ- ანალიზი და მისი გამოყენების შესაძლებლობები სარელეო დაცვაში

##### 4.1.1. შესავალი .

ტერმინი „ვეივლეტი“ (მცირე ტალღა) წარმოიშვა გასული საუკუნის ბოლოს. იგი შემოიტანეს გროსმანმა და მორლემ (Grossman, Morlet) სეისმური და აკუსტიკური სიგნალების დამუშავებასთან დაკავშირებით [50].

დღეისათვის ანალიზატორების ოჯახი-რომლებსაც ეწოდება ვეივლეტები იწყებს გამოყენებას სხვადასხვა მიმართულებით სიგნალების დამუშავების და სინთეზის პროცესებში, კერძოდ გამოსახულებების ანალიზის დროს, მათ შორის მედიცინაში, კოსმოსში, რადიოტექნიკაში, ტელევიზიაში, ენერგეტიკაში და მრავალ სხვა სფეროში.

ერთგანზომილებიანი სიგნალის ვეივლეტ გარდაქმნა მდგომარეობს გარკვეული ნიშნებით კონსტრუირებული ფუნქციის (ვეივლეტის) დაშლას ბაზისის მიხედვით, მასშტაბური ცვლილებებით და წანაცვლებით.

ვეივლეტ ანალიზის წარმოქმნასა და განვითარებას წინაპირობა შეუქმნა ფურიე ანალიზმა.

##### 4.1.2. ფურიეს ინტეგრალური გარდაქმნები და ფურიეს მწკრივები

წარმოადგენენ ჰარმონიული ანალიზის საფუძველს. გარდაქმნის შედეგად მიღებული ფურიეს კოეფიციენტები ექვემდებარებიან საკმაოდ მარტივ ფიზიკურ ინტერპრეტაციას. ფურიეს ინტეგრალური გარდაქმნა ძალიან თვალსაჩინოა ყველა საჭირო და აუცილებელი თვისებები უბრალოდ

გამოიხატება ორი ფუნქციის  $\sin t$  და  $\cos t$ -ს ერთი კომპლექსური სინუსოიდალური ტალღის  $\exp(it) = \cos t + i \sin t$  საშუალებით.

მოვიტანოთ რამოდენიმე ცნება, რომლებიც დაგვჭირდება შემდეგი მსჯელობის პროცესში: გვაქვს  $L^2(0, 2\pi)$ -სივრცე კვადრატულად ინტეგრირებადი ფუნქციისათვის სრული ენერგიით (ნორმით)

$$\int_0^{2\pi} |f(t)|^2 dt < \infty, \quad t \in (0, 2\pi). \quad (23)$$

ეს არის ნაწილობრივ უწყვეტი  $f(t)$  ფუნქციის განსაზღვრა. ის შეიძლება პერიოდულად გაფართოვდეს და განისაზღვროს მთელ ღერძზე  $R(-\infty, \infty)$ , ისე რომ

$$f(t) = f(t - 2\pi), \quad t \in R. \quad (24)$$

ნებისმიერი ფუნქცია  $2\pi$ -პერიოდით კვადრატულად ინტეგრირებადი სივრციდან, შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ფურიეს მწკრივის სახით:

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} C_n \exp(int). \quad (25)$$

კოეფიციენტები

$$C_n = (2\pi)^{-1} \int_0^{2\pi} f(t) \exp(int) dt. \quad (26)$$

ამრიგად, ნებისმიერი  $2\pi$ -პერიოდული კვადრატულად ინტეგრირებადი ფუნქცია შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს როგორც ბაზისური ფუნქციის სუპერპოზიცია მასშტაბური გარდაქმნებით

$$W(t) = \exp(it) = \cos t + i \sin t. \quad (27)$$

და არის სხვადასხვა სიხშირის ტალღების კომპოზიცია-კოეფიციენტებით, რომლებიც დამოკიდებულია ჰარმონიკის ნომერზე

#### 4.1.3. ვეივლეტ- გარდაქმნა.

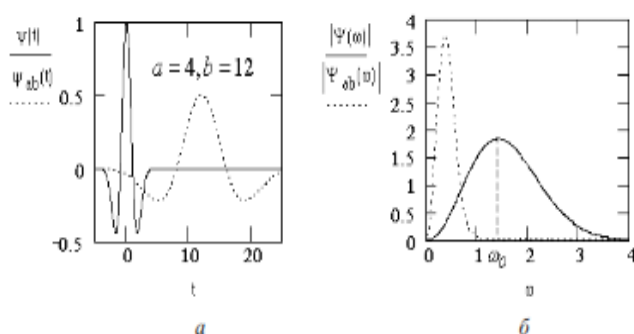
ინგლისური სიტყვა wavelet (ფრანგული “ondelette”)-დან ითარგმნება როგორც მოკლე, “პატარა ტალღა” [53].

ერთგანზომილებიანი სიგნალის ვეივლეტ გარდაქმნა (ვ.გ.)-ეს არის მისი წარმოდგენა განზოგადებული ფურიეს მწკრივის ან ინტეგრალის სახით, ბაზისური ფუნქციის სისტემაში

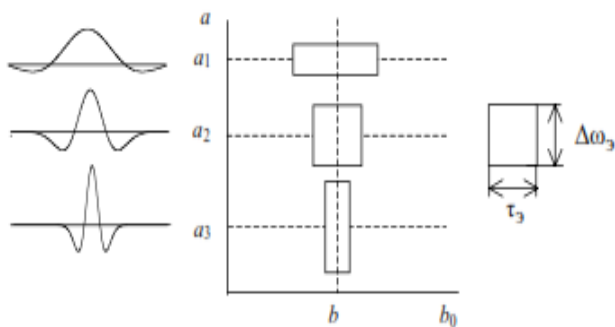
$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (28)$$

რომელიც კონსტრუირდება საწყისი ვეივლეტისაგან  $\psi(t)$ , და რომელსაც გააჩნია გარკვეული თვისებები დროში წანაცვლებისა ( $b$ ) და დროითი მასშტაბის ( $a$ ) ცვლილებით (იხ/ნახ.1). მამრავლი  $1/\sqrt{a}$  უზრუნველყოფს ამ ფუნქციის ნორმის დამოუკიდებლობას მასშტაბირების რიცხვი  $a$ -საგან. ესეიგი,  $a$  და  $b$  მოცემული პარამეტრების ფუნქცია არის ვეივლეტი, რომელიც წარმოშობილია დედა ვეივლეტის  $\psi(t)$ -საგან.

ნახაზზე (1) როგორც მაგალითი, მოცემულია ვეივლეტი მექსიკური “ცილინდრი” ( $a$ ) და მისი სპექტრალური სიმკვრივის მოდული ( $b$ ).  $a$ -ს პატარა მნიშვნელობები შეესაბამება ვეივლეტის  $\psi(t)$ -ს -წვრილ მასშტაბს ან მაღალ სიხშირეებს ( $\omega \sim 1/a$ ),  $a$ -ს დიდი პარამეტრი, მსხვილ მასშტაბს, ეი, დედავეივლეტს გაჭიმვას და მისი სპექტრის შეკუმშვას.



ნახ.25. ვეივლეტი მექსიკური ცილინდრი



ნახ.26. განუსაღვრელობის პრინციპი



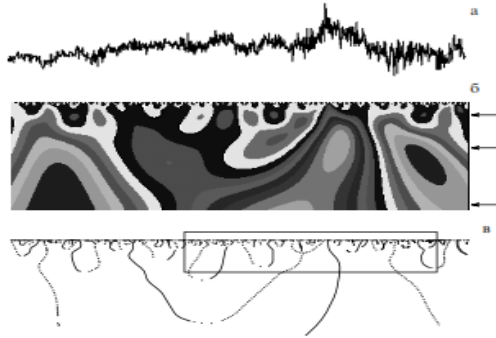
ამრიგად, ვეივლეტები ლოკალიზებულია როგორც დროით ისე სიხშირულ ზონებში(საზღვრებში. ნახ.26 განუსაზღვრელობის პრინციპის თანახმად(მოვიგონოთ მსგავსი პრინციპი ქვანტური მექანიკიდან),ეფექტური ხანგრძლივობის ( $\tau$ )-ს ნამრავლი სიხშირული სპექტრის ეფექტურ სიგანესთან( $\Delta\omega$ )  $\psi$  ფუნქციისა(მართკუთხედის ფართობი)რჩება მუდმივი.ამას გარდა მასშტაბირებისა და დროითი წანაცვლების გამო(  $b/a=\Delta=const$  ) შენარჩუნებულია ბაზისური ფუნქციის განლაგების ფარდობითი სიმკვრივე  $t$  ღერძზე.

ამიტომ გასაგებია,რომ ვეივლეტების დახმარებით შესაძლებელია ჩატარდეს ნებისმიერი სიგნალის  $S(t)$  ფუნქცია  $S(x)$  ლოკალური თავისებურებების ანალიზი და სინთეზი.

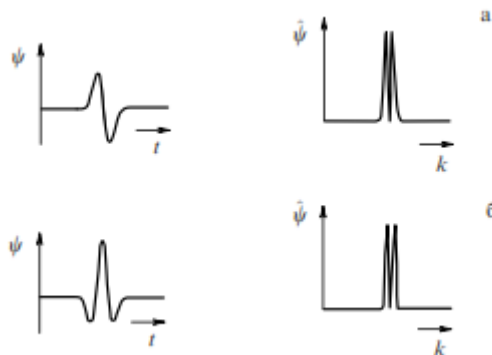
**ვეივლეტ-ანალიზის ძირითადი ამოცანებია:** ვეივლეტ-ანალიზი ანუ დეკომპოზიცია; ვეივლეტ-სინთეზი ანუ სიგნალების რეკონსტრუქცია; სიგნალების გაფილტვრა ხმაურისაგან;სიგნალების შემჭიდროვება, შეკუმშვა-კომპრესია[49].

**ვეივლეტ ანალიზის კომპონენტები.** ვინაიდან ვეივლეტ-გარდაქმნა ეს არის სკალარული გადამრავლება ანალიზის ჩამტარებელი ვეივლეტისა საანალიზე სიგნალზე,ამიტომ კომპონენტიც არის ორი: საანალიზე სიგნალი და მანალიზებელი (ბაზისური ) ვეივლეტი. მანალიზებელი ვეივლეტი შეირჩევა იმის მიხედვით, თუ რა ინფორმაციის ამოღება გვინდა სიგნალიდან. ვეივლეტ ანალიზის მიკროსკოპთან ანალოგიის მიხედვით, $b$ -წანაცვლების პარამეტრი აფიქსირებს მიკროსკოპის ფოკუსირების წერტილს,  $a$ -მასშტაბური კოეფიციენტი-მიკროსკოპის „ გადიდებას“,ხოლო ბაზისური ვეივლეტი  $\psi$  –შეირჩევს-მიკროსკოპის ოპტიკურ თვისებებს.

**სახასიათო ვეივლეტები.** ნახაზ. 28-ზე სამაგალითოდ ნაჩვენებია ორი ტიპის ვეივლეტი, ესენია WAVE(ტალღური)( $a$ ) და MHAT(მექსიკური



ნახ.27. ვიზუალიზაცია



ნახ.28. ვეივლეტები

ვეივლეტ გარდაქმნების შედეგების წარმოდგენა.  $W(a,b)$  ერთგანზომილებიანი სიგნალის სპექტრი წარმოადგენს ზედაპირს სამგანზომილებიან სივრცეში. ზედაპირის ნაცვლად წარმოადგენენ მის პროექციებს  $ab$  სიბრტყეში, რაც გვამღებს საშუალებას დავაკვირდეთ ინტენსივობის ცვლილებას. ქვემოთ მოყვანილია ვეივლეტ გარდაქმნის ტიპური ვიზუალიზაციის მაგალითი, სადაც  $a$ -საანალიზო სიგნალია,  $b$  არის  $W(ab)$  კოეფიციენტების სურათი,  $v$ -ლოკალური ექსტრემუმების სურათი.

ვეივლეტ -გარდაქმნები MATLAB-ში. Wavelet Toolbox-ის პაკეტი Matlab-ის სისტემაში ფლობს საშუალებებს სიგნალების ვეივლეტ სპექტრების ასაგებად გაუმჯობესებული ვიზუალიზაციით.

სპექტროგრამები წარმოადგენენ ვეივლეტ- კოეფიციენტების მნიშვნელობებს სიბრტყეზე მასშტაბი-დრო. სპექტროგრამების ქვემოთ

განლაგებულია მასშტაბის მცირე მნიშვნელობები რომლებიც წარმოადგენენ სიგნალის დეტალუს სურათს.

#### 4.1.4. Wavelet გარდაქმნების გამოყენება სარელეო დაცვაში.

პირველად ვეივლეტი შემოიტანა ჰაარიმ(Chaari)გარდამავალი პროცესების ანალიზისათვის.მიღებული მოკლე სიგნალები, რომლებიც თან სდევს დაზიანების პროცესს ვეივლეტ ანალიზის პროცედურებით დამუშავების შემდეგ,გვამღევენ სასარგებლო ინფორმაციას დაზიანების სიგნალის ამპლიტუდურ,სიხშირულ და დროით შემადგენლობაზე და როგორც შედეგი გვამღევენ საშუალებას იდენტიფიკაცია გაუკეთოდ დაზიანების ხასიათს და თავისებურებებს.

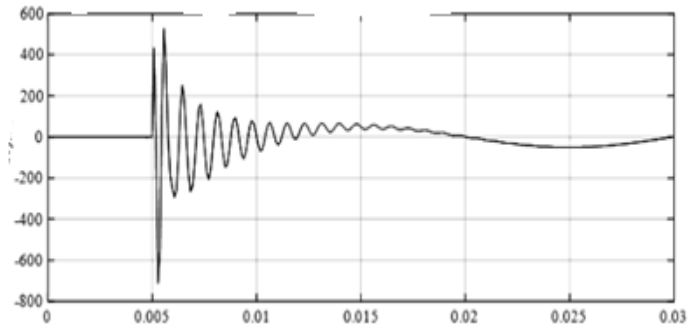
1998 წელს მაგნაგომ(Magnago )და აბერმა( Abur )დაიწყეს ახალი გამოკვლევები დაზიანების ადგილის მოძებნის სფეროში,სადაც არეკლილი ტალღის ანალიზისათვის გამოიყენეს ვეივლეტ გარდაქმნების ინსტრუმენტი.

ვეივლეტი გამოიყენეს ავტომატური განმეორებითი ჩართვის გარდამავალ პროცესში დაზიანების სიგნალის ანალიზისათვის უდენო პაუზის დროის შესამცირებლად და შესაბამისა ციკლის ეფექტურობის გასაზრდელად.

ვეივლეტი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ძრავების, გენერატორების დაცვებში შესაბამისი სიგნალების ანალიზით დაზიანების ცალსახა იდენტიფიკაციისათვის, რაც პრინციპულად ცვლის სელექტივობის ტრადიციული კრიტერიუმების გამოყენების საკითხს.

ტრანსფორმატორების დაცვის შემთხვევაში შესაძლოა გამოყენებული იქნეს ალგორითმი, რომ სიგნალების ანალიზის საფუძველზე მოხდეს განსხვავება დაზიანებისა, რომელიც გამოწვეულია იზოლაციის დაძველებით, ტრანსფორმატორის გარეთ მომხდარი დაზიანებისაგან.

საინტერესო ამოცანის გადაწყვეტაა წარმოდგენილი [79]-ში (Ляшков А.) ნაჩვენებია ვეივლეტ-გარდაქმნის გამოყენება ნულოვანი მიმდევრობის დენების დეკომპოზიციისა და შემდგომი დამუშავებაში.



ნახ.29-1. ნულოვანი მიმდევრობის დენის ოსცილოგრამა

ნახაზზე წარმოდგენილია ერთფაზა მოკლე შერთვის ნულოვანი მიმდევრობის დენის ოსცილოგრამა, რომელიც წარმოადგენს ანალიზის საწყის მონაცემს.

ზემოთქმული და წარმოდგენილი მასალები გვაძლევენ საფუძველს მასზედ, რომ ვეივლეტ ანალიზი როგორც სიგნალების დამუშავების თანამედროვე ინსტრუმენტი, განაპირობებს დიდ პერსპექტივებს მისი გამოყენებისა ელექტროენერგეტიკაში და კერძოდ სარელო დაცვაში.

#### 4.2. ქსელში განვითარებული დაზიანებების იდენტიფიკაცია და კლასიფიკაცია ავარიული ოსცილოგრამების საფუძველზე, პროგრამული უზრუნველყოფა Wavelet -Toolbox ის გამოყენებით

##### 4.2.1. შესავალი.

განმანაწილებელ ქსელში განვითარებული დაზიანებები რომელიც არის შედეგი ფაზა-ფაზა და ფაზა მიწა მკლემშერთვებისა კლასიფიცირდება

როგორც: ერთფაზა-მიწა, ორფაზა, ორფაზა-მიწა და სამფაზა. ამ დაზიანებებს მოსდევს სერიოზული უარყოფითი შედეგები, რომლებიც არის საგანი მთელი რიგი სამეცნიერო-საინჟინრო კვლევებისა. ამიტომ ფრიად მნიშვნელოვანია დაზიანების განვითარების და ფორმირების პროცესში მოხდეს დაზიანების სახის და მისი მდებარეობის იდენტიფიკაცია მისი ოპერატიული და სელექტიური ლიკვიდაციის მიზნით. მნიშვნელოვანია განსაკუთრებით მიწასთან მიმდინარე დაზიანებების დროული სელექცია და მოცილება მისი მრავალმხრივი უარყოფითი, ქსელისათვის დამანგრეველი შედეგების გამო.

Wavelet-ის მათემატიკური თეორია და მისი პრაქტიკული კომპიუტერული მათემატიკის ინსტრუმენტარიუმი, მოწოდებულია ხანმოკლე არასტაციონარული პროცესების შესასწავლად. განსაკუთრებული აღიარება ამ თეორიამ მიიღო სიგნალების და გამოსატულებების დამუშავებაში [54].

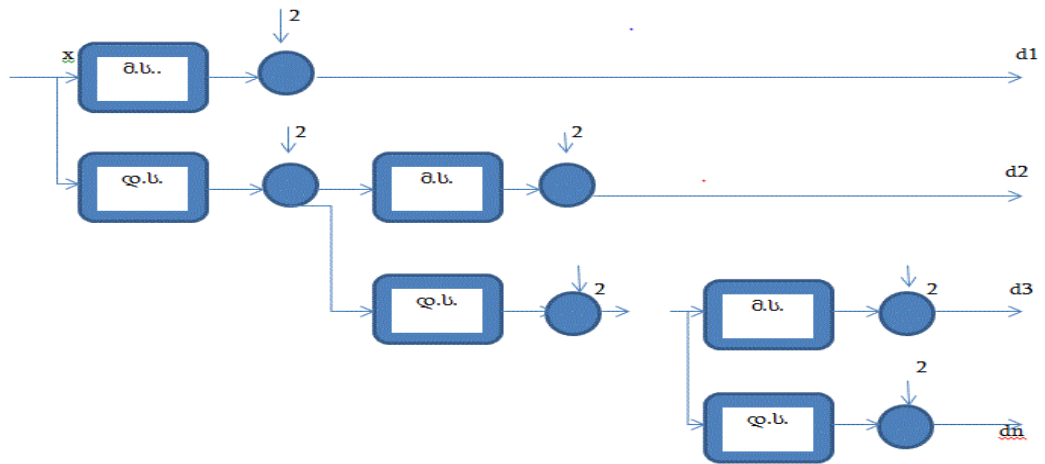
DWT-დისკრეტული Wavelet გარდაქმნა განსაკუთრებით მოხერხებულია განმანაწილებელ ქსელში მიმდინარე ხანმოკლე გარდამავალი პროცესების ანალიზისათვის, რადგან მას შეუძლიან საანალიზო ჩარჩოს ზომების და დროითი მდგომარეობის შეცვლა სიგნალის დრო-სიხშირის ლოკალიზაციის მიხედვით.

WT (Wavelet Transform) ახორციელებს გარდამავალი პროცესის სიგნალის დაშლას Wavelet კომპონენტებათ რომლებიც წარმოადგენენ სიხშირულ მდგენელებს სხვადასხვა ოქტავებში, რაც იძლევა პროცესის დეტალური ანალიზის საშუალებას. [55]

DWT შემოტანილია მალე-ს (Malet) ალგორითმით რომელიც ეფუძნება ფილტრების კომპლექტის თეორიას.

WT იყენებს მის ალგორითმში ორ მაღალი სიხშირის (HP) და დაბალი სიხშირის (LP) ფილტრს. მხოლოდ და მხოლოდ ეს ორი ფილტრი გამოიყენება გარდაქმნის შემდეგ საფეხურებზე.

მაღალი სიხშირის(HP)ფილტრი განახორციელებს Wavelet ფუნქციას(დედა ვეივლეტი) ზომავს სიგნალის დეტალებს,მაშინ როცა დაბალი სიხშირის(LP) წარმოდგება სიგნალის არამკაფიო ვერსიიდან და დაკავშირებულია შკალურ ფუნქციასთან. აღწერილი ალგორითმი ილუსტრირებულია ნახაზზე.



ნახ.29-2. ვეივლეტ გარდაქმნის ბლოკ-სქემა

#### 4.2.2. მეთოდოლოგია და სამუშაო მასალა

შრომაში გამოყენებულია db4 დედა ვეივლეტ (debauches).ვეივლეტის ენერგია გამოიხატება როგორც გარდაქმნის მადეტალიზებული კოეფიციენტების ჯამის კვადრატი.სიგნალის ენერგია უმეტესად მოთავსებულია ანალიზის მაპროქსიმებელ ნქწილში.დაზიანების სიგნალი შეიცავს მაღალსიხშირულ კოეფიციენტებს, სადაც უფრო აშკარაა მადეტალიზებული კოეფიციენტების გამოყენება.DWT-ალგორითმი არ არის შეზღუდული დიადური სიგრძეზე და დამყარებულია შემდეგ მარტივ სქემაზე: შეკვრა და ამორჩევა.

Matlab,Wavelet Toolbox-ის პროგრამულ გარემოში გამოყენებულია ქს „ავშნიანის“ 10კვ ქსელში რეგისტრატორ ЭКРА-ზე დაფიქსირებული ავარიული ოსცილოგრამები.შერჩეულია ერთფაზა-მიწა,ორფაზა-მიწა და სამფაზა მოკლეშერთვის ოსცილოგრამები.

ეს ოსცილოგრაფები წინასწარ ჩაიტვირთა Matlab, Wavelet Toolbox-ში, სადაც მოხდა მისი გარდაქმნა ფაზების დროის ღერძზე შეთავსებით და შემდეგ ჩატარდა DWT (db4, done1) გარდაქმნა დეკომპოზიცია, ანალიზი, შედეგების ვიზუალიზაცია. ჩატარდა სხვადასხვა დაზიანებების სიგნალების (დენის. ძაბვის) დეკომპოზიცია მაქსიმალური დეტალიზაციის მიღებით. თუ სიგნალია ენერჯის დონე აღემატება მის ზღურბლს -0,001-ს, მაშინ საკმე გვაქვს დაზიანების შემთხვევასთან.

#### 4.2.3. ავარიული დენის დეკომპოზიცია და ანალიზი Wavelet Toolbox-ში

Wavelet Toolbox-პროგრამული უზრუნველყოფა არის ფუნქციების კოლექცია, რომელიც ჩაშენებულია კომპიუტერული მათემატიკის პროგრამულ კომპლექსს Matlab-ის ტექნიკური გამოთვლების გარემოში.

ეს არის იარაღი სიგნალებისა და გამოსახულებების ანალიზისა და სინთეზისათვის Wavelet-ების გამოყენებით, რისი თეორიული და პრაქტიკული გამოყენების საფუძვლები მოცემულია წინა განყოფილებებში.

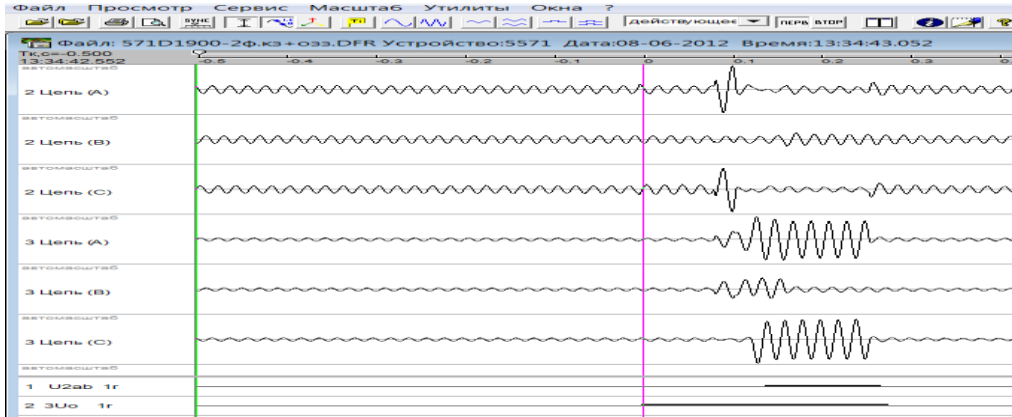
Wavelet Toolbox-ი გავძლევს ორი კატეგორიის იარაღს:

1. **Command Line Functions**- Matlab -ის საკომანდო სტრიქონში
2. **Grafical interactive tools**-სპეციალური გრაფიკული ინტერაქტიური ინტერფეისის სახით.

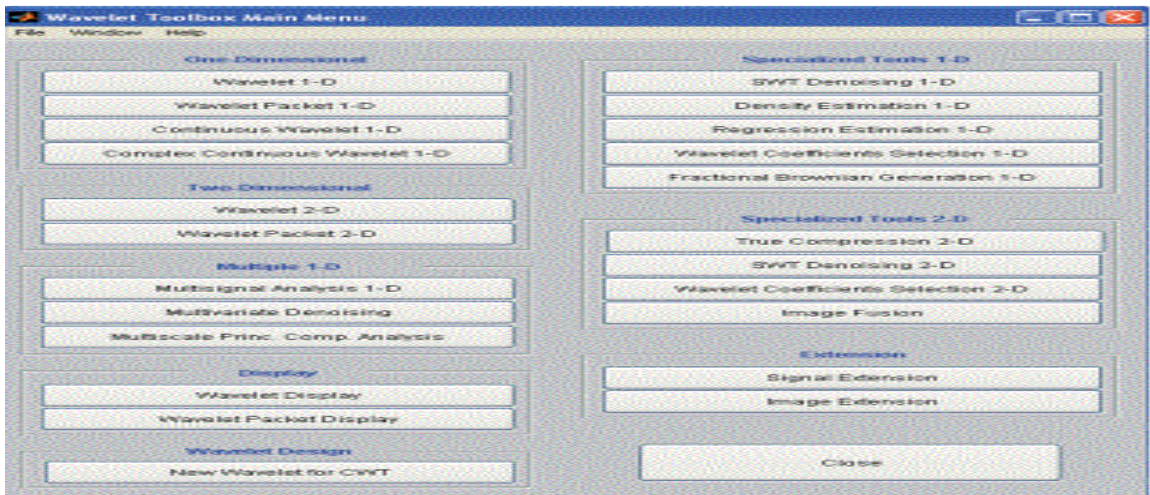
ჩვენს ნაშრომში გამოყენებული იქნა 2-ე იარაღი, როგორც უფრო მარტივი და ხელმისაწვდომი ჩვეულებრივი სიგნალების ანალიზისა და სინთეზისათვის. იმისათვის რომ გაუშვათ ეს ინსტრუმენტი საჭიროა მატლაბის

საკომანდო სტრიქონში ავკრიფოთ-wavemenu.

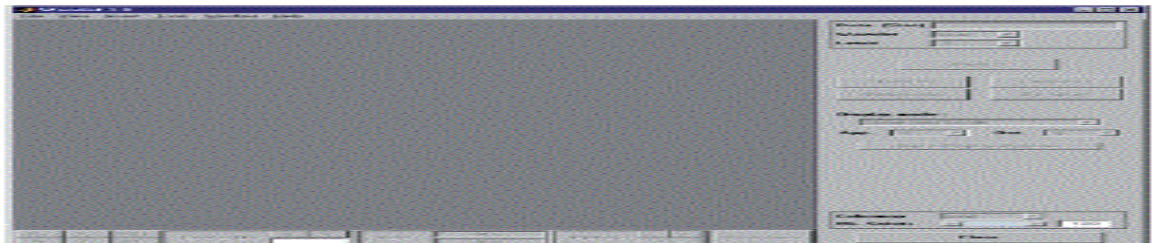
სიგნალის ერთგანზომილებიანი Wavelet-ანალიზი(დეკომპოზიცია) გრაფიკული ინტერფეისის გამოყენებით. საანალიზე სიგნალი ასე გამოიყურება:



ნახ.30. საანალიზე სიგნალი

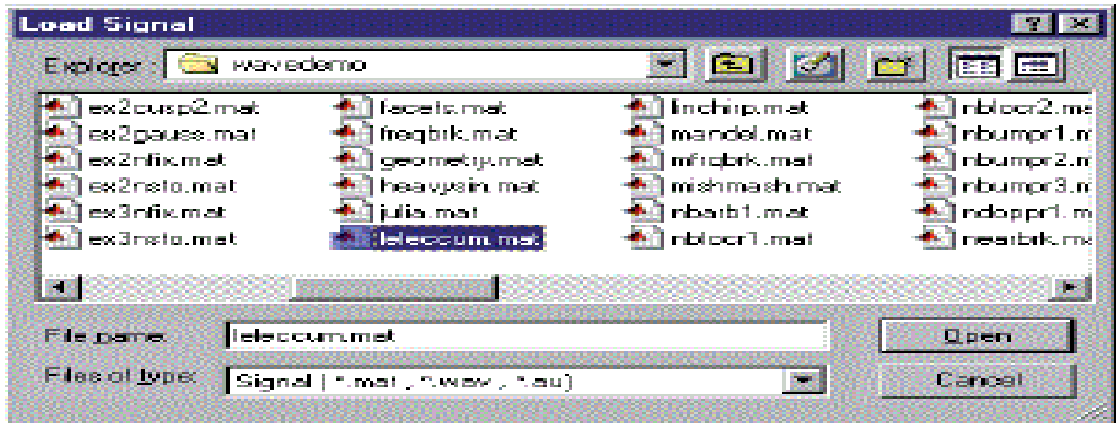


ნახ.31. 1-D Wavelet საანალიზე პროგრამა

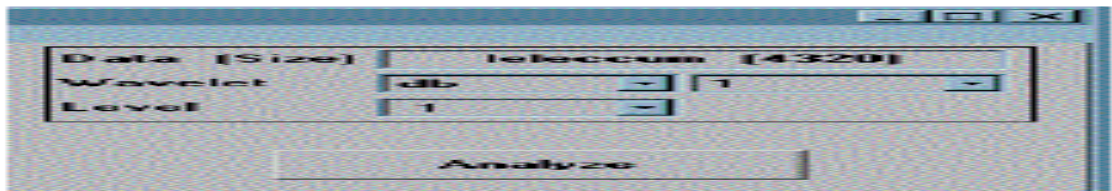


ნახ.32. Wavelet 1-D პუნქტი- ერთ განზომილებიანი დისკრეტული ანალიზის მონაცემების ფანჯარა

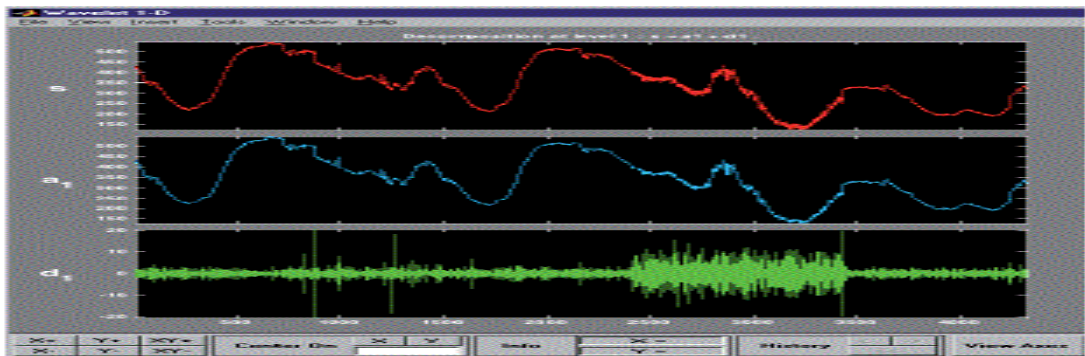




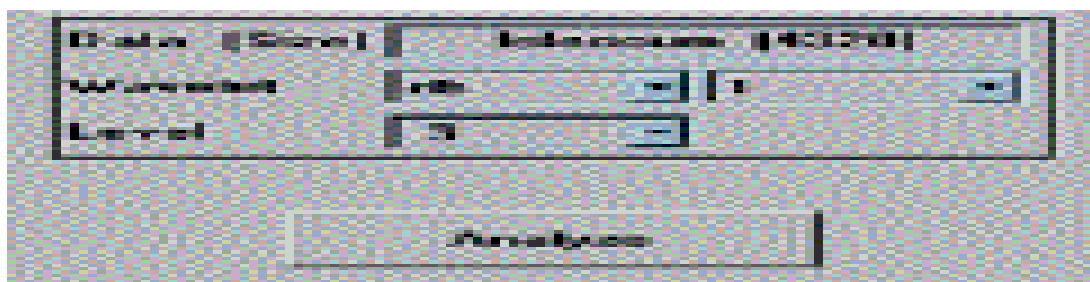
ნახ.33. სიგნალის ჩატვირთვა File menu-დან, load>Signal კომანდით



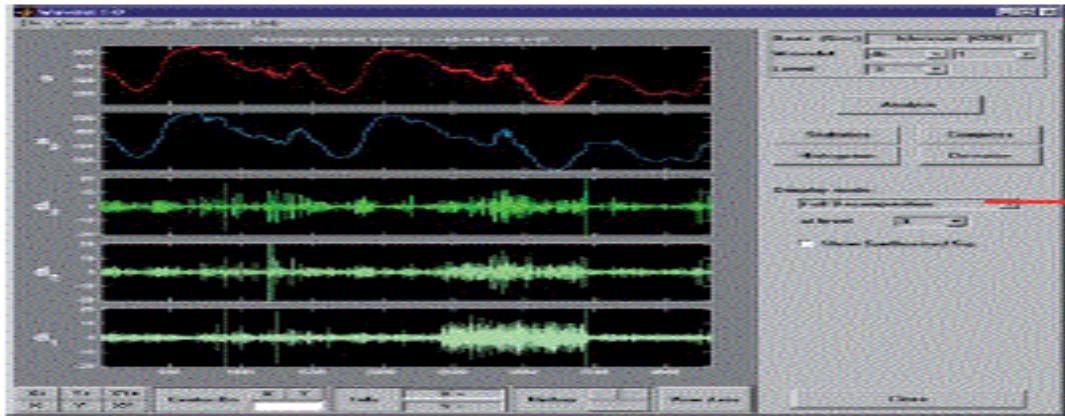
ნახ.34. 1 დონიანი დეკომპოზიციის და საანალიზო ვივლეტი-db-1 შერჩევა



ნახ.35. ფანჯარა დეკომპოზიციის შედეგებით



ნახ.36. მრავალდონიანი დეკომპოზიცია- db-1 ვივლეტით ჩატარება

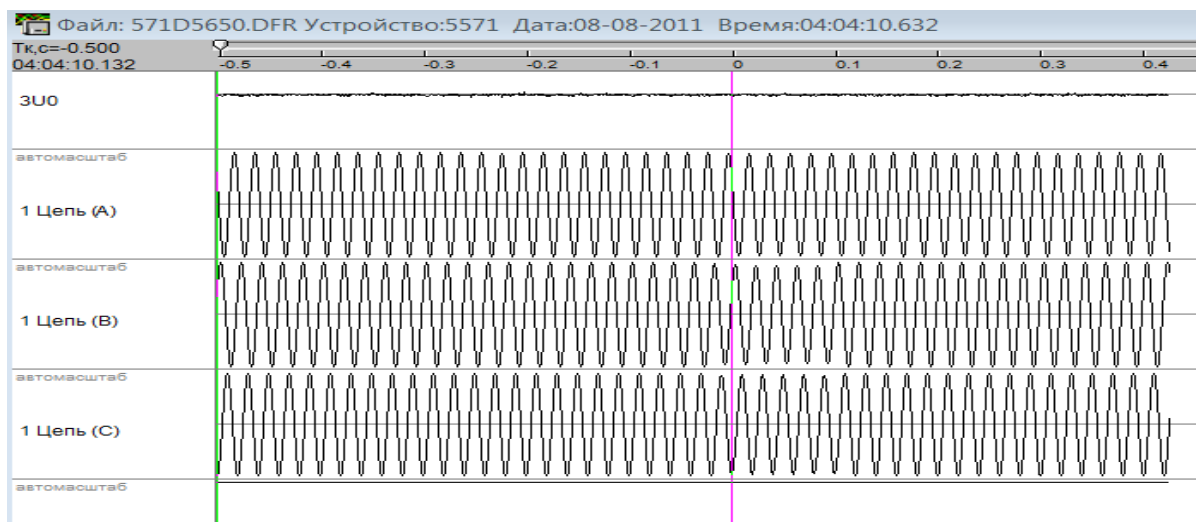


ნახ.37. დეკომპოზიციის შედეგების ფანჯარა

ამ პროგრამას აქვს გაგრძელება სადაც შეიძლება ჩატარდეს სიგნალის გაწმენდა (de noising )ხმაურისაგან და კომპრესია(compression) -შეკუმშვა), რომლებსაც ჩვენს შრომაში არ განვიხილავთ.

#### 4.2.4..დაზიანების შემთხვევების შესწავლა და შედეგების ანალიზი.

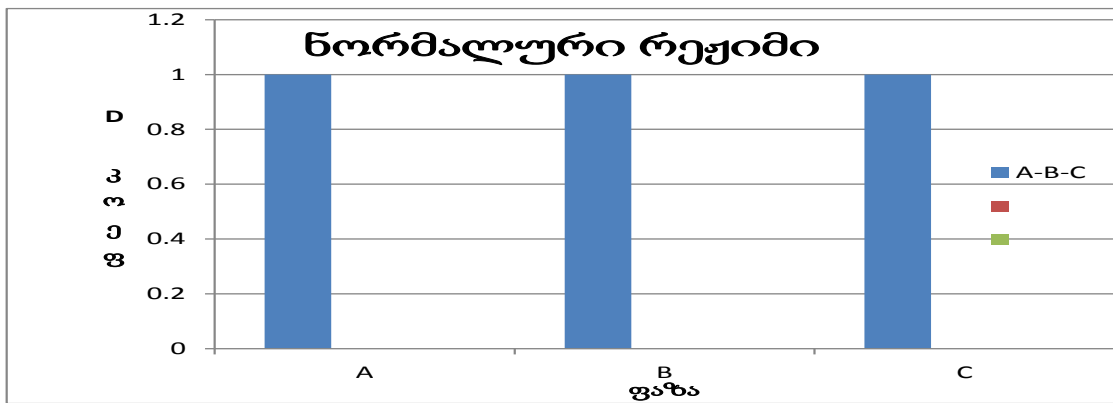
##### 1. ნორმალური მდგომარეობა



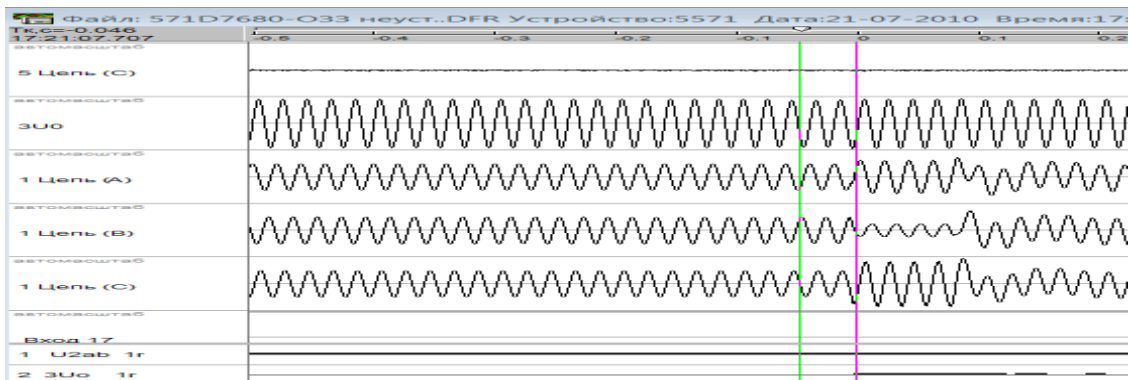
ნახ.38. საწარმო ოსცილოგრამა,ნორმალური რეჟიმი

ცხრილი 18. ნორმალური რეჟიმის მონაცემები

მდგომარეობა	A			B			C		
	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ
ნორმალური	0,731	2,816	0,6323	0,742	3,7214	0,6313	0,467	3,820	0,5325



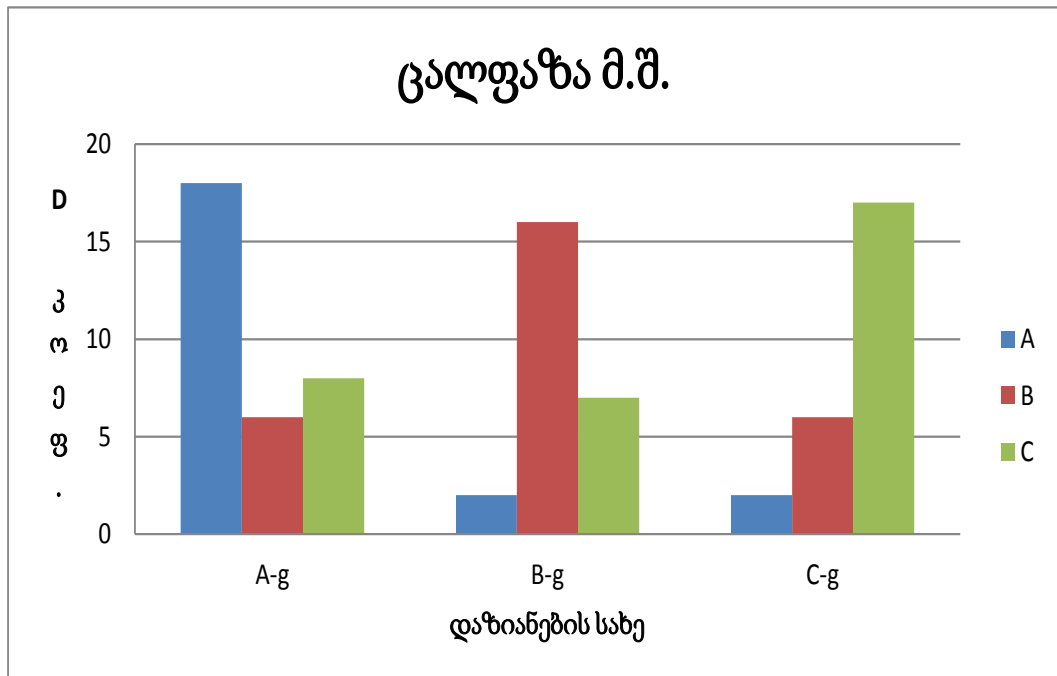
2. ცალფაზა დამიწება



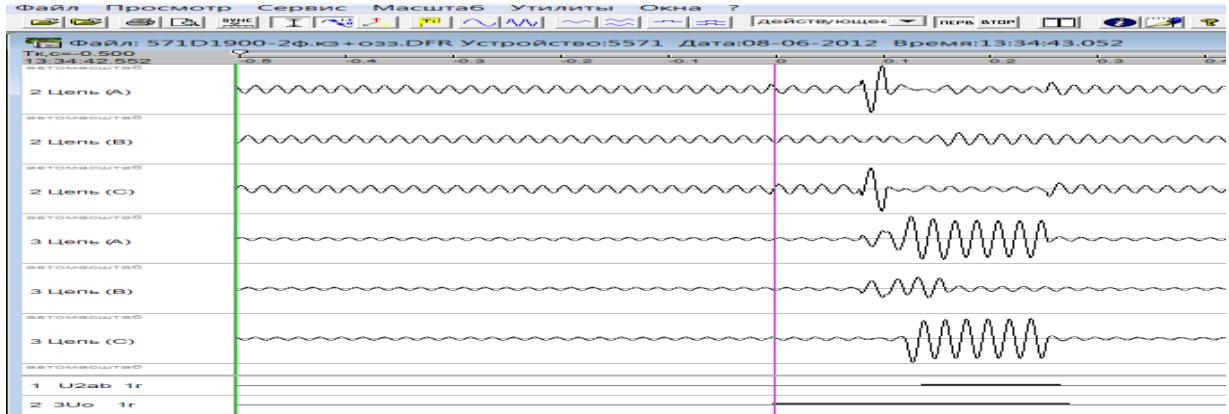
ნახ.39. საწარმო ოსცილოგრამა, ცალფაზა დამიწება

ცხრილი 19. ცალფაზა დამიწების მონაცემები

	A			B			C		
	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ
A--მიწა	<b>17,463</b>	2,39	4,827	1,067	4,098	04980	0,879	4,178	1,065
B--მიწა	5,658	4,374	1,083	<b>17,086</b>	2,89	3,574	6,045	4,08	0,789
C--მიწა	7,867	3,849	1,056	8,023	3,978	1,500	<b>17,908</b>	2,123	3,175



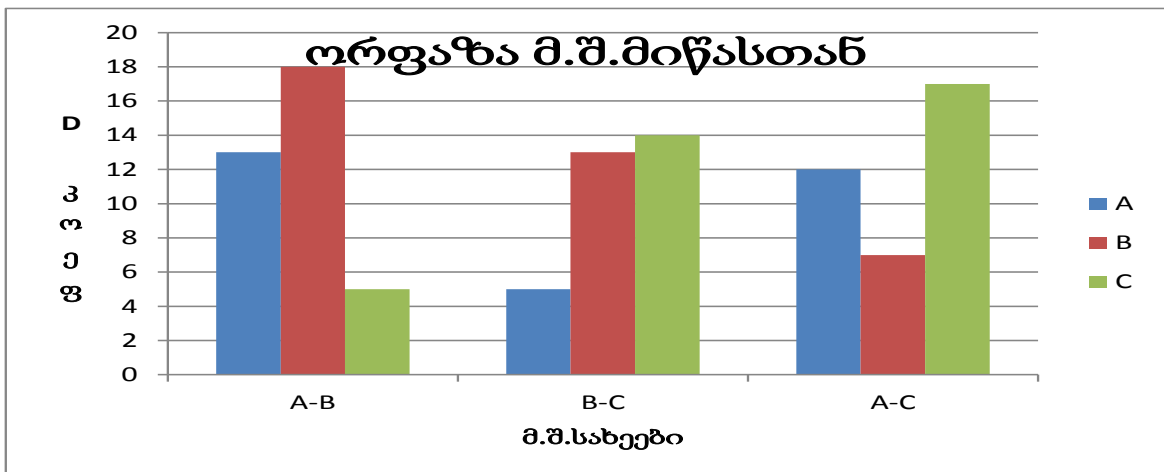
### 3. ორფაზა მ.შ. მიწით



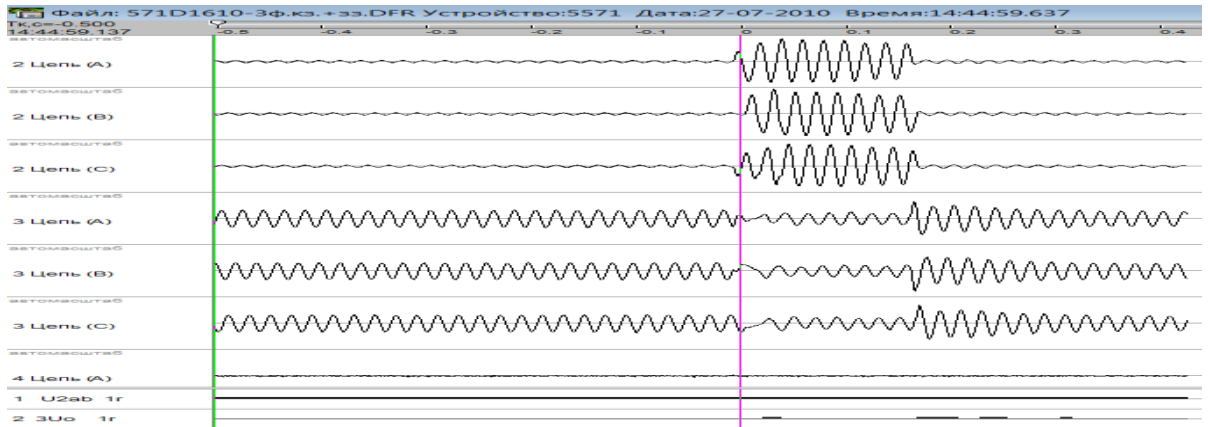
ნახ.40. საწარმო ოსცილოგრამა, ორფაზა მ.შ.მიწით

ცხრილი 20. მიწასთან ორფაზა მოკლეშერთვის მონაცემები

მდგომარეობა	A			B			C		
	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ
A-B--მიწა	12,607	3,563	5,243	18,102	2,357	4,12	5,507	4,128	2,136
B-C--მიწა	15,476	5,467	1,628	12,224	3,753	4,975	14,229	2,076	3.586
C-A--მიწა	12,809	2,564	5,034	7,994	4,5007	2,0045	17,206	2,130	4,025



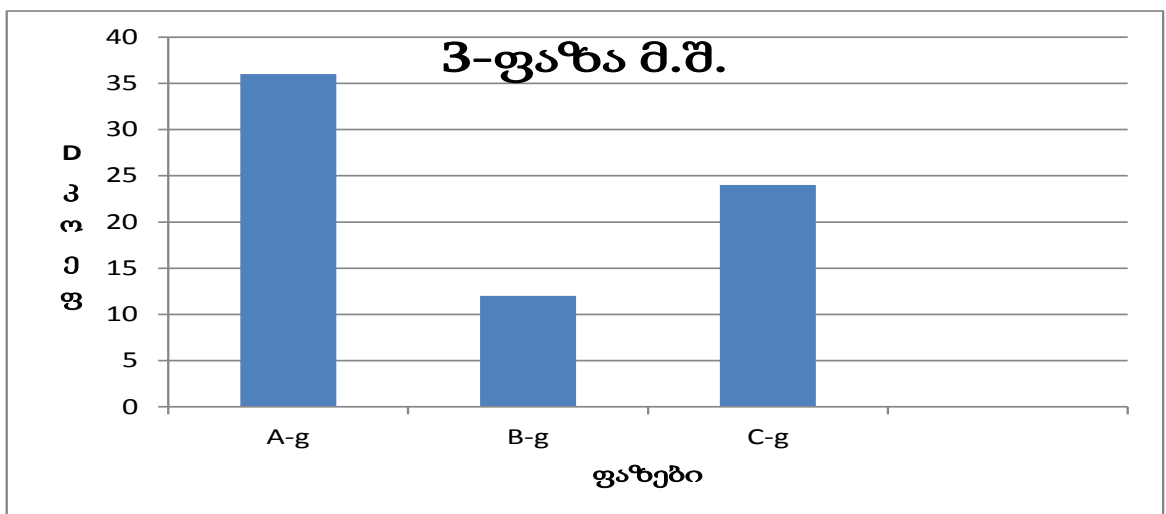
#### 4. სამფაზა მ.შ.



ნახ.41. საწარმო ოსცილოგრამა, სამფაზა მ.შ.

#### ცხრილი 21. სამფაზა მოკლემეტრის მონაცემები

	A			B			C		
	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ	D-კოეფ	ენერგია	მაქს. ნორმ
A-B-C	36,127	2,367	4,789	12,387	2,875	3,597	24,549	2,371	4,648



## **შედეგების ანალიზი.**

ნახ.1,2,3,4-ებზე წარმოდგენილია სს თელასის ქსელში ავარიული შემთხვევების რეგისტრატორებზე დაფიქსირებული ოსცილოგრამები რომლის დეკომპოზიციაც ჩატერდა Matlab-ის პროგრამული პაკეტი Wavelet-Tool Box-ის მეშვეობით.

### **1. ნახ.38. ნორმალური რეჟიმი.**

ნაჩვენებია სამფაზა დენების სიგნალი და მათი მადეტალიზებული კოეფიციენტების დიაგრამა ნულოვანი დონეებით ცვლილებების გარეშე. იგივე ჩანს ცხრილის მონაცემებიდან.

### **2. ნახ.39. ცალფაზა მ.შ-ის რეჟიმი.**

საწყის ოსცილოგრამაზე ინდიცირდება ერთფაზა მ.შ. რეჟიმის ძაბვების სურეთი, სახასიეთო ამ რეჟიმისათვის ძაბვების ასიმეტრიით. D კოეფიციენტების დიაგრამაზე ჩანს აშკარად გამოხატული მადეტალიზირებული კოეფიციენტების ზრდა დაზიანებულ ფაზაზე. სად ფაზაზე ასეთი ზრდა არ აღინიშნება.

### **3. ნახ.40. ორფაზა მ.შ. მიწით.**

საწყის ოსცილოგრამაზე ინდიცირდება ორფაზა მ.შ-ის დენები. მადეტალიზირებული კოეფიციენტების დიაგრამაზე აშკარად ჩანს მრავალჯერადი ნახტომი დაზიანებულ ფაზებზე. სურათი ცხრილში მეტყველებს იგივე ცვლილებებზე.

### **4. ნახ.41. სამფაზა მ.შ.**

საწყის ოსცილოგრამაზე ინდიცირდება სამფაზა მ.შ-ის დენები. მადეტალიზირებული კოეფიციენტების დიაგრამაზე აშკარად ჩანს მრავალჯერადი ნახტომი დაზიანებულ ფაზებზე. სურათი ცხრილში მეტყველებს იგივე ცვლილებებზე.

## დასკვნები

1. ქსელის ავარიული დაზიანებების პროცენტულად დიდი ნაწილი მოდის ერთაფხა მოკლე შერთვებზე მიწაზე(67%), რომელთა უმეტესი ნაწილი გადადის ორფაზა და სამფაზა მოკლე შერთვებში და იწვევენ გადაძაბვებს(30%).
2. ერთფაზა დამიწების არამდგრად რეჟიმში ადგილი აქვს დენების სინუსოიდალურობის დამახინჯებას, რომლის ოსცილოგრაფირებაც ექსპერიმენტის დროს მოხდა ავარიული რეგისტრატორის საშუალებით.
3. კონკრეტულ ობიექტზე (ქ/ს „დიდუბე“ და ქ/ს „ბაგები“) შეფასებულია ქსელის ნეიტრალის რეჟიმის შეცვლის აუცილებლობა, ამავე ობიექტებზე ჩატარებულია გარდამავალი პროცესების ლომპიუტერული მოდელირება EMPT პროგრამული უზრუნველყოფით.
4. გამოკვლევებით დადგენილია გადაძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობა  $(2,4+2,6)V_{გ, max}$  რკალის პირველ ანთებისა და ჩაქრობის შედეგად, არადაზიანებულ ფაზებზე გადაძაბვები აღწევს  $(3,09+3,26)V_{გ, max}$ .
5. კვლევამ გვიჩვენა, რომ მოკლე შერთვის გათიშვისას გარდამავალი პროცესის რხევითი ხასიათის გამო ნულოვანი მიმდევრობის კონტურში წარმოიშვება არამდგრადი ფერორეზონანსი ძაბვის ტრანსფორმატორების ჩართვის გამო.
6. შემუშავებულია რეკომენდაციები გადაძაბვების ეფექტურად შესაზღუდავად, რომელიც ითვალისწინებს მკვებავი ქვესადგურების 6 კვ ძაბვის ყველა სექციის ნეიტრალი დამიწდეს მაღალი ძაბვის რეზისტორით გათვლილი ერთფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმში სამუშაოდ. ამ დროს გადაძაბვების მაქსიმალური დონე აღწევს  $2,6 V_{გ max}$ .



7. კვლევის შედეგად დამუშავებულია რეზისტორების განლაგებისა და კონფიგურაციის სქემები, რეზისტორის მისაერთებლად ნეიტრალშემქმნელი მოწყობილობის შერჩევის მეთოდიკა.
8. კვლევის შედეგად დამუშავებულია მეთოდიკა, გათვლილია დაცვების კონფიგურაცია და დანაყენები ნეიტრალის რეზისტორით დამიწების რეჟიმისათვის.
9. ჩატარებულია სამფაზა იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში დაზიანების სხვა და სხვა სახეობის იდენტიფიკაცია სიგნალის სტრუქტურაში მომხდარ ცვლილებების საფუძველზე Wavelet გარდაქმნების გამოყენებით. ასევე Wavelet დეკომპოზიციის საშუალებით განისაზღვრა დაზიანების სახე მისი სახასიათო ნიშნებით. დადგენილია რომ იდენტიფიკაციის აღნიშნული მეთოდი არ არის დამოკიდებული ქსელის რეჟიმის პარამეტრებზე.
10. სამეცნიერო კვლევით მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა შემუშავდეს რელეური დაცვის მოწყობილობები მატემატიკური ლოგიკოს, ვეივლეტ გარდაქმნების, ნეირონული ქსელის, არამკაფიო ლოგიკისა მეთოდების გამოყენებით.

## ლიტერატურა

1. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. Л.: Госэнергоиздат, 1969. -415 с.
2. Кадомская К.П. Лавров Ю.А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник.-Новосибирск: Изд-во НГТУ,2004.
3. Ваинштайн Р.А. Коломиец Н.В. Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: Учебное пособие.-Томск:Изд-во ТПУ, 2006-118с.
4. Шуин В.А. Гусенков А.В. Защита от замыкания на землю в электрических сетях 6-10кВ. –М.; НТФ «Энергопрогресс» 104 с.; ил.[Библиотечка Электротехника; Вып.11(35)].
- 4-1. Шуин В.А.,Сарбеева О.А.,Чугрова Е.С. Токовые защиты от замыканий на землю.Исследование динамических режимов Функционирования// Новости Электротехники.Информационно-справочное издания.№2(62).-2010.-С.36-40.
- 4-2. Шуин В.А.,Сарбеева о.А.Параметры токов переходного процесса при замыканиях на землю,Влияние и функционирование токовых защит нулевой последовательности электрических сетей 6-10кВ // Вестник ИГЭУ.2006.Вып.6.-с.138-144.
5. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов.-М.: энергия,1971.
6. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыкария на землю в электрических сетях6-10кВ.-М.:НТФ «Электропрогресс»,2001.
7. Дьяконов В.Matlab 6: Учебный курс/ В.Дьяконов.-СПб.: Питер,2001.საგრეთვე პროგრამა EMTP(Electromagnetic Transients Program-
- 9.Каганов З.Г.Волновые напряжения в электрических машинах. М.:Энергия.1970г..
8. Koch W.Кратковременные замыкания на землю и их действие на реле// Энергетическое образование. Электротехнический выпуск, 1936,№7.
9. Сирота И.М.,Кисленко С.Н., Михайлов А.М. Режимы нейтрали электрических сетей.-Киев:Наукова Думка,1985.

10. Цапенко Е.Ф. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ.-Мю: Энергоиздат,1986.
- 10-1. Стандарт организации ОАО «МРСК Сибири» СО 2.069/0-ЛУ «Выбор режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6, 10 и 35 кВ» (2009 г.)
11. Шуин В.А. Влияния разряда емкости повреждённой фазы на переходный процесс при замыканиях на землю в кабельных сетях 3-10 кВ//Электричество,1981.- С. 4-9
- 11-1. ГОСТ 14209-97
12. Petersen W. Unterdrückung des aussetzenden durch Nullpunkt und Funkenbleater|| ETZ-1918?U/35-c/341.
13. Защита сетей 6-35кВ от перенапряжений/под ред.Г.А.Евдокуина,А.И.Халилова.С.-Петербург:ПЭИпк,1997.-215
14. Защита сетей 6-35кВ от перенапряжений/под ред.Г.А.Евдокуина,А.И.Халилова.С.-Петербург:ПЭИпк,1997.-215
15. ЛихачевФ.А. Повышение надёжности распределительных сетей 6-10кВ//Электрические станции.-1981.-№11.с.51-56
16. Васюра Ю.Ф. Исследование коммутационных перенапряжений на электродвигателях собственных нужд электрических станций. Дисс.канд.техн.наук. Л.: ЛПИ, 1979.-244с.
17. Торосян А.С. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ с токоведущими реакторами. Электрические станции.1995,-№4. с.34-42
18. Петров О.А. Смещение нейтрали при пофазных отключениях и обрывах фаз в компенсированной сети//Электрические станции.1972.-№9.-с.57-61,
19. Защита сетей 6-35кВ от перенапряжений/под ред. Г.А.Евдокуина, А.И.Халилова.С.-Петербург: ПЭИпк,1997.-215 с .
20. Petersen W.Die Begrenzung des Erdschlubstromes und die Unterdruckimg des Erdschlub Lichtbogens durch ErdsMubspule/Mektrotechn/Ztschr/-1919/-Jahrg/#40/-Y/1/-s/5-7/
21. Peters J.F., Slepian J. Voltage induced by arcing grounds||AIEE Transactions on power apparatus and systems/1923/-April/-vol/42/-pp/478,193

22. Беляков Н.Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6-10кВ с изолированной нейтралью // Электричество. - 1957. - №5. с.31-36
23. Лихачев Ф.А. Защита от внутренних перенапряжений установок 6-220кВ. - М Энергия, 1968. - 101с.
24. Кадомская К.П., Тихонов А.А., Цырикова О.В., Курсиш В.А. Процессы при однофазных дуговых замыканиях в сетях 6-35кВ с учётом распределённости параметров воздушных линий // Известия вузов. Энергетика. 1994. - №1/2. с.3-8
25. Lehtonen M., Naanaakola T. Neutral earthing and power system protection / - Kirjaino FRAM Oy, 1966. 118с
26. Evdokunin G.A., Titenkov S.S. Choose of the way of neutral grounding in networks of International conference on electric power quality and supply reliability, June 9.12, Segadi, 1999.
27. Hopkinson R/H/ Ferroresonance during single-phase switching of three-phase distribution transformer banks // IEEE Transactions on power apparatus and systems / 1965 / - # 4 / - vol / PAS-84 - pp / 514-517
28. Boehn E.W., Low S.S. Shunt capacitor energization with vacuum interupters - a possible source of overvoltages // IEEE Transactions on power apparatus and systems. 1969. #9 / vol. PAS 88. - pp / 1424-1443
29. Шуин В.А. Солодов С.В. Об эффективности ограничения перенапряжения при дуговых замыканиях на землю различных режимов заземления нейтрали электрических сетей 6-35кВ.)
30. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией ёмкостного тока. - М.: Энергия, 1971. - 152 с.
31. Сиротинский Л.И. Техника высоких напряжений. Волновые процессы и внутренние перенапряжения в электрических системах. - М.: Госэнергоиздат, 1959. - 368 с.
- 31-1. Ширковец А.И., Ильиных М.В., Дмитриев И.Н. и др. Экспериментальное исследование эффективности дугогасящего реактора РУОМ при «металлических» и дуговых замыканиях на землю в сети 10кВ. // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2009. №3. - С. 17- 26

32. Евдокунин Г.А., Гудилин С.В., Корепанов А.А. Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6–10 кВ //Электричество. – 1998. – № 12. – С. 822.
33. Дугогасящие реакторы с автоматической компенсацией емкостного тока замыкания на землю / Б.И.Базылев, А.М. Брянцев, А.Г. Долгополов и др. – СПб.: Изд-во ПЭИПК, 1999. – 184 с.
- 33-1. Правила технической эксплуатации. Действующее издание.
34. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений /Ф.Х. Халилов, Г.А. Евдокунин, В.С. Поляков и др.; Под ред.Ф.Х. Халилова, Г.А. Евдокунина, А.И. Таджибаева. – СПб.: Энергоатомиздат, 2002. – 272 с.
35. Релейная защита от замыкания на землю в сетях с резистивным заземлением нейтрали. Шалин А.И. Д.Т.Н., профессор, ве.специалист ООО «ПНП Болид», г.Новосибирск, Россия.
36. Борухман В.А. Об эксплуатации селективных защит от замыкания на землю в сетях 6-10кВ и мероприятиях по их совершенствованию, 2000, №1. С.20-22.)
37. Каганов З.Г. Волновые напряжения в электрических машинах. М.: Энергия. 1970г
38. Вайнштейн Р.А., Головки С.И. и др. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях //Электрические станции. 1998. №7. С.26-30 .. [3] Вайнштейн Р.А., Головки С.И., Коберник Е.Д. Защита от замыканий на землю обмотки статора генераторов, работающих на сборные шины //Электрические станции. 1981. №10. С.54-56
39. Кискачи В.М. Селективная сигнализация замыканий на землю с использованием высших гармоник // Электричество. 1967, №9. С.24-29.
40. Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-2-Л». «РАДИУС Автоматика» Техническое описание, инструкция по эксплуатации, паспорт. Москва, 2002. SPAS 801-013 Micom P120, P121, P122, P123, P126, P127, P-141, P-142, P-143, AREVA [8]
41. Универсальные устройства защиты М P120/121/122/123/ Технические материалы фирмы ALSTOM. [9] Серия направленных/ненаправленных токовых реле MICIM P125, P126, P127. Технические материалы фирмы ALSTOM

42. Попов И.Н., Соколова Г.Н., Махнев В.И. Импульсная защита электрических сетей от замыканий на землю типа ИЗС//Электрические станции.1978.С.69-73.
43. Соколова Г.В. Устройство сигнализации замыканий на землю с импульсным реле направления мощности/В кн.:» Сигнализация замыканий на землю в компенсированных сетях». М.: Госэнергоиздат,1962. С.12-39.[
44. Соколова Г.В. Импульсные устройства защиты от замыканий на землю компенсированных сетей/В КН.: Новые устройства защиты и противоаварийной автоматики.Вып.1. М.: Информстандартэлектро,1968. С. 34-43.
- 44-1. Лачугин В.Ф. Направленная импульсная защита от замыканий на землю//Энергетик.1997.№9.С.21
- 44-2. Попов И.И., Лачугов В.Ф., Соколова Г.В. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов.М.: Энергоатомиздат.-1986.-248с.
- 44-3. Шуин В.А. теория и практическая реализация защит от замыкания на землю, основанных на использовании электрических величин переходного процесса, для электрических сетей 6-35 кВ//...Дис....докт.техн.наук.-Москва: ВНИИЭ. - 1994
45. Шуин В.А., Гусенков А.В., Дроздов А.И. Централизованное направленное устройство сигнализации однофазных замыканий на землю с использованием переходных процессов//Электрические станции.1993.№9.С.53-57
46. Устройство сигнализации и защиты от однофазных замыканий на землю в компенсированных кабельных сетях/В.А.Шуин, А.В.Гусенков, А.Ю.Мурзин и др.//Энергетическое строительство.1993.№10.С.35-39
47. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10кВ.-М.:НТФ «Энергопрогресс»,2001г.10с
48. Устройство сигнализации и защиты от однофазных замыканий на землю в компенсированных кабельных сетях/В.А.Шуин, А.В.Гусенков, А.Ю.Мурзин и др.//Энергетическое строительство.1993.№10.С.35-39.
49. Мисриханов, Применение методов Вейвлет-преобразования в электронике автоматике и телемеханике.,2006, выпуск 5, 5-23. Math-Net/Ru.Общероссийский математический портал.

- 49-1. Регистраторы аварийных событий. Технические требования. СТО 34.01-41-002. Стандарт организации «РАО Россети».
50. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005.
51. Воробьев В.И., Грибунов В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Издательство ВУС, 1999.
52. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Москва-Ижевск: «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
53. Чуи Т.К. Введение в Вейвлеты. М.: Мир, 2001.
54. Robertson D., C0mps J., Mayer J/ Wavelet and Power Sistem Trancients//SPIE Int/Sympos/Optical Engen/Aerospase Sensing. 1994/P.474-487/
55. Robeiro P.F. Wavelet Transform: An Advansed Tool for Analising Non-stationary Harmonic Distortion in Power System//Proc.IEEE ICHPS, Bologna, 1994.Sep.21-23
56. Гентмахер Ф. Теория матриц. -М.: Наука, Физматгиз, 2005.
57. Фадеев А.К., Фадеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. Изд. 3-е, стереотипное.
- 58-1. Гентмахер Ф. Теория матриц. -М.: Наука, Физматгиз, 2005.
59. Дяконов В.П. MATLAB 6: Учебный курс. -СПб.: ПИТЕР, 2001. ],
60. Дьяконо В.П. MATLAB. Полный самоучитель -М.: ДМК Пресс, 2018-768с.:ил)
61. Дяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. Изд. 2-е, доп. и перер. -М.: СОЛОМ-Пресс, 2004. 78.
62. Misiti M., Misiti ., Oppenheim G., Poggi J.-M., Wavelet Toolbox user,s Guide, The Math Worksm 2000
64. Paul S Addison. The illustrated Wavelet Transform Handbook. Napier University, Edinburgh, UK. IOP Publishing LTD 2002.
65. Chaari O., Maunier M., Brauaye F. Waveletes: F neu TOOL for The Resonant Grounding power distribution System Relayng//IEEE Trans. Power Delivery. 1996.5.11. №3. P.13011338

66. Magnago F.H., Abur A. Fault location using traveling Waves and Wavelet Transform// Nort Amer.Power Sympos.Oct.1997.P.322 338
67. P.K.RAY, B.K.Panigrahi, P.K.Rout,A.Mohanty, H.Dabay, "Detection of Faults in Power System using Wavelet transform and Independent Component Analyses" First international Conference on Advancement of computer communication and Electrical Technology, October 2016, Vurshidabad, India <D01:10.13140/RG.2.2.20394.82882
68. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Математические пакеты расширения MATLAB: Специальный справочник.: Питер, 2001
69. Фейфлер Л.А. Анализ нестационарных сигналов с помощью вейвлет преобразования// Молодой учёный. - 2016. - №14. - С.182-186.
70. Долгих Н.Н. и др. Применение дискретного вейвлет преобразования для расчёта нестационарных режимов систем электроснабжения. Научный журнал КубГАУ, №113(09), 2015г.
71. Wavelets and Their Applications (Ed.R.Coifmann) (Boston: Jones and Barlett Publ., 1992)
72. Power disturbances," IEEE Tranzactions on power dilaivery, vol.pp.358-364, APR.1999.
73. Квრიшвили М.М., Перадзе В.М., Сачалели И.В., инженеры Грузэнергоналадка. Применение вакуумных конденсаторов при испытаниях высоковольтной изоляции Электрические станции. №7. 1988г. стр.81-82.
74. Квრიшвили М.М., Куртанидзе В.Л., инженеры Грузэнергоналадка. Питание нульиндикаторов в мосте переменного тока типа P5026. Электрические станции. №5. 1988г. Стр 88-89.
75. Квრიшвили М.М., Некрасов А.Н., инженеры Грузглавэнерго. Запись тока соленоидов воздушных выключателей на электромеханическом осциллографе типа «Армази». Электрические станции. №7. 1986г. стр.74-75.
76. ქვიციანიშვილი მ., წერეთელი კ., შირკოვეცი ა., ქვიციანიშვილი ნ. განმანაწილებელ ელ. წსელებში ერთფაზა მოკლემშერთვებისაგან დაცვების ანალიზი, კლასიფიკაცია და გამოყენების თავისებურებები. მე-3 ქართულ-პოლონური საერთაშორისო-ტექნიკური კონფერენცია-„სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“. შრომების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 24-26/10/2017 წ., გვ. 275-279.



77. ქვრივიშვილი მ., წერეთელი კ., ქვრივიშვილი ნ. ვივილეტ ანალიზი და მისი გამოყენება ენერგეტიკაში. მე-3 ქართულ-პოლონური საერთაშორისო-ტექნიკური კონფერენცია-„სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“. შრომების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 24-26/10/2017წ., გვ. 281-286.

78. ქვრივიშვილი მ., შირკოვეცი ა., წერეთელი კ., ქვრივიშვილი ნ. 6-10კვ განმანაწილებელ ქსელში საანგარიშო გამოკვლევების ჩატარება ერთფაზა მოკლემერთვების რეჟიმში წარმოქმნილი გადაძაბვების შესასწავლად. მე-5 საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია-„ენერგეტიკა: რეგიონარული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. მოხსენებების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 25-26/10/2018წ. გვ. 35-40.

79. ქვრივიშვილი მ., წერეთელი კ., ქვრივიშვილი ნ. 6-10კვ ქსელში განვითარებული დაზიანებების იდენტიფიკაცია და კლასიფიკაცია ავარიული ოსცილოგრამების საფუძველზე, Matlab(Wavelet-Toolbox) gardaqmnebis გამოყენებით. მე-5 საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია-„ენერგეტიკა: რეგიონარული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. მოხსენებების კრებული. ქ. ქუთაისი, საქართველო, 25-26/10/2018წ. გვ. 40-45.

80. ქვრივიშვილი მ., წერეთელი კ., შირკოვეცი ა., ბეჟანიშვილი ჯ. იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ერთფაზა დამიწების სიდიდეების განსაზღვრა ექსპერიმენტალურად. „ინტელექტუალი“, 2017, №34, გვ. 211-216.

81. ქვრივიშვილი მ., წერეთელი კ. 6-10კვ ქსელში ავარიული პროცესების რეგისტრაცია, ანალიზი და სტატისტიკა. „ინტელექტუალი“, 2018, №36, გვ. 139-146.

82. წერეთელი კ., ქვრივიშვილი მ., გობაძე დ. არამკაფიო ლოგიკა და მისი გამოყენება სარელეო დაცვაში. „ენერგია“, 2018, №4(88), გვ. 80-85.

83. საქპატენტი. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ცენტრი. დეპონირების დამადასტურებელი მოწმობა-7173. ერთფაზა მოკლე შერთვებისაგან დაცვა ვივილეტ გარდაქმნებისა და შაბლონური ამოცნობის მეთოდების გამოყენებით. სამეცნიერო სტატია დეპონირებულია 2017.12.05.