

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ომარი ბურდიაშვილი

ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის შემდგომი განვითარება
და მისი კომპიუტერული მოდელირება

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: 1. ასოც. პროფესორი ი. გორდიაშვილი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
აუდიტორია 805.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

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

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. სადისერტაციო თემა ეხება საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში დღეისთვის არსებულ ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელის შექმნას და ახალი ტიპის ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კონცეფციის და კომპიუტერული მოდელის შექმნას.

დღეს-დღეისობით საქართველოში არ არსებობს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მოქმედი რეალური ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკისთვის სრულფასოვანი კომპიუტერული მოდელი, რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელია პერსპექტიულ, პროგნოზირებულ რეჟიმებში ავარიული სიტუაციების განვითარების სცენარებისა და ავტომატიკის მოქმედების სისწორის შესწავლა. ამასთან არსებულ ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკას გააჩნია გარკვეული ნაკლოვანებები იმ კუთხით, რომ მისი მოქმედება სისტემის დინამიკურ მდგრადობას ვერ უზრუნველყოფს ყველა შესაძლო ავარიის შემთხვევაში, ამრიგად სადისერტაციო ნაშრომში განხილული ახალი ტიპის ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება არის ფაქტობრივად ახალი სიტყვა ქართული ენერგეტიკისთვის.

სადისერტაციო თემა შედგება ორი ძირითადი ნაწილისგან, პირველ ნაწილში განხილულია არსებული ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება, მოდელის ტესტირება და წარმოდგენილია მოდელირების შედეგები, ხოლო მეორეში აღწერილია ახალი ტიპის ავტომატიკის მოქმედების ლოგიკა და ასევე განხილულია როგორც მისი კომპიუტერული მოდელირება ისე მოდელირების შედეგები.

არსებული მეთოდების ნაკლოვანება. სისტემის დინამიკური მდგრადობის შესწავლისთვის საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მომუშავე სპეციალისტები იყენებენ საინჟინრო მოდელირების პროგრამებს, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია სისტემის კომპიუტერული მოდელის შექმნა. სისტემის მოდელი შეიცავს როგორც გენერაციის ობიექტებს (ელექტროსადგურები) ასევე ქვესადგურებსა და ელექტროგადამცემ ხაზებს. მოდელში ასევე შეტანილია ყველა მოდელირებული ელემენტის შესაბამისი

ელექტრული პარამეტრები. კომპიუტერული მოდელის საშუალებით შესაძლებელია მომზადდეს წინასწარ განსაზღვრული რეჟიმი და ამ რეჟიმში ჩატარდეს სისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზი სხვადასხვა ავარიის განვითარების შემთხვევაში. ავარიის მოდელირებითვის და სისტემის მდგრადობის ანალიზისთვის საჭიროა რომ ასევე გათვალისწინებული იქნას ავტომატიკის იმ მოწყობილობების ქცევა რომლებიც რეაგირებენ ავარიაზე და რეჟიმის პარამეტრების ცვლილებაზე. ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელის (ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელი შეიცავს ინფორმაციას იმის შესახებ თუ როგორ რეაგირებას მოხდენს რეალური ავტომატიკა სისტემის რომელიმე ელემენტის გათიშვის ან რეჟიმის პარამეტრების გადახრის შემთხვევაში) შექმნის გარეშე სისტემის მდგრადობის სპეციალისტები იძულებულები არიან ავარიების სიმულაციისას ხელით ჩაერიონ მოდელირებაში და მოახდინონ ისეთი ცვლილებები მაგალითად სიხშირის აწევის გამო გენერატორის გათიშვა რაც რეალურად უნდა შესრულდეს კომპიუტერული მოდელის მიერ. ავარიის მოდელირებისას სიმულაციაში ხელით ჩარევა პირველ რიგში მოითხოვს დიდ დროს სასურველი შედეგის მისაღებად და ამასთან არის საკმაოდ არაზუსტი შესაბამისად შესაძლებელია უამრავი მცდელობის მოუხედავად ვერასდროს შეძლო გარდამავალ პროცესში ავტომატიკის გავლენის შესწავლა სისტემის მდგრადობაზე ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელის შექმნის გარეშე.

სამუშაოს მიზანი. ნაშრომის მიზანია შეიქმნას საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში არსებული ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელი ასევე შეიქმნას ახალი ტიპის ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელი და მოხმდეს მათი ტესტირება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ში შექმნილი საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის კომპიუტერული მოდელი და პროგრამირების ენა Python-ით შესრულებული საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში არსებული ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკისა და ჯერ-ჯერობით არ არსებული ახალი ტიპის ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელები.

მეცნიერული სიახლე. სამეცნიერო სიახლედ უნდა ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ აქამდე არ არსებობდა არსებული ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელი და მეტადრე არ არსებობდა ისეთი ახალი ტიპის ავტომატიკის კონცეფცია და კომპიუტერული მოდელი, რომელსაც გამოავლენს და რეაგირებას მოახდენს თითქმის ყველა ტიპის ავარიაზე, რომელიც განპირობებულია გენერაციის ან მოხმარების ობიექტის დაკარგვით ან სისტემათაშორისო კავშირის გათიშვით.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერაციო ნაშრომის შედეგებისას ჩატარებული კვლევის შედეგები და კვლევის ჩატარების მიზნით შექმნილი კომპიუტერული პროგრამების გამოყენების სფერო შემოიფარგლება მხოლოდ ენერგეტიკის დარგით. მოდელირების შედეგები გამოსადეგია ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპერატიული დისპეტჩერებითვის, რომლებიც ახორციელებენ სისტემის მართვას რეალურ რეჟიმში და ასევე ავტომატიკის სპეციალისტებისთვის, რომლებიც ახდენენ როგორც ავტომატიკის დანაყენების ცვლილებას ელექტრული რეჟიმების სცვლილების შესაბამისად ასევე ახალი ლოგიკების შექმნას და მათ განხორციელებას. ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელის გამოყენებით ექნებათ შესაძლებლობა წინასწარ განსაზღვრონ რა შედეგს მოიტანს ავტომატიკის დანაყენის ცვლილება ავარიული სიტუაციის განვითარების შემთხვევაში ან ახალი ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის გაფართოება რამდენად აამაღლებს სისტემის მდგრადობას.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე და დეპარტამენტის გაფართოებული სხდომის ფარგლებში გამართულ დისერტაციის წინასწარ დაცვაზე. ასევე, 2 საერთაშორისო კონფერენციაზე.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სტატია.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ.

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 106 გვერდის, მათ შორის 68 ცხრილს და 40 ნახაზს. იგი შეიცავს შესავალს, სამ თავს, დასკვნასა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

ნაშრომის I, II და III თავები წარმოადგენს კვლევისა და ექსპერიმენტის შედეგებს. ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილების მიმართულება) და საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის დისპეტჩერიზაციის დეპარტამენტში.

თავი 1. არსებული „ასა“ და მისი კომპიუტერული მოდელი

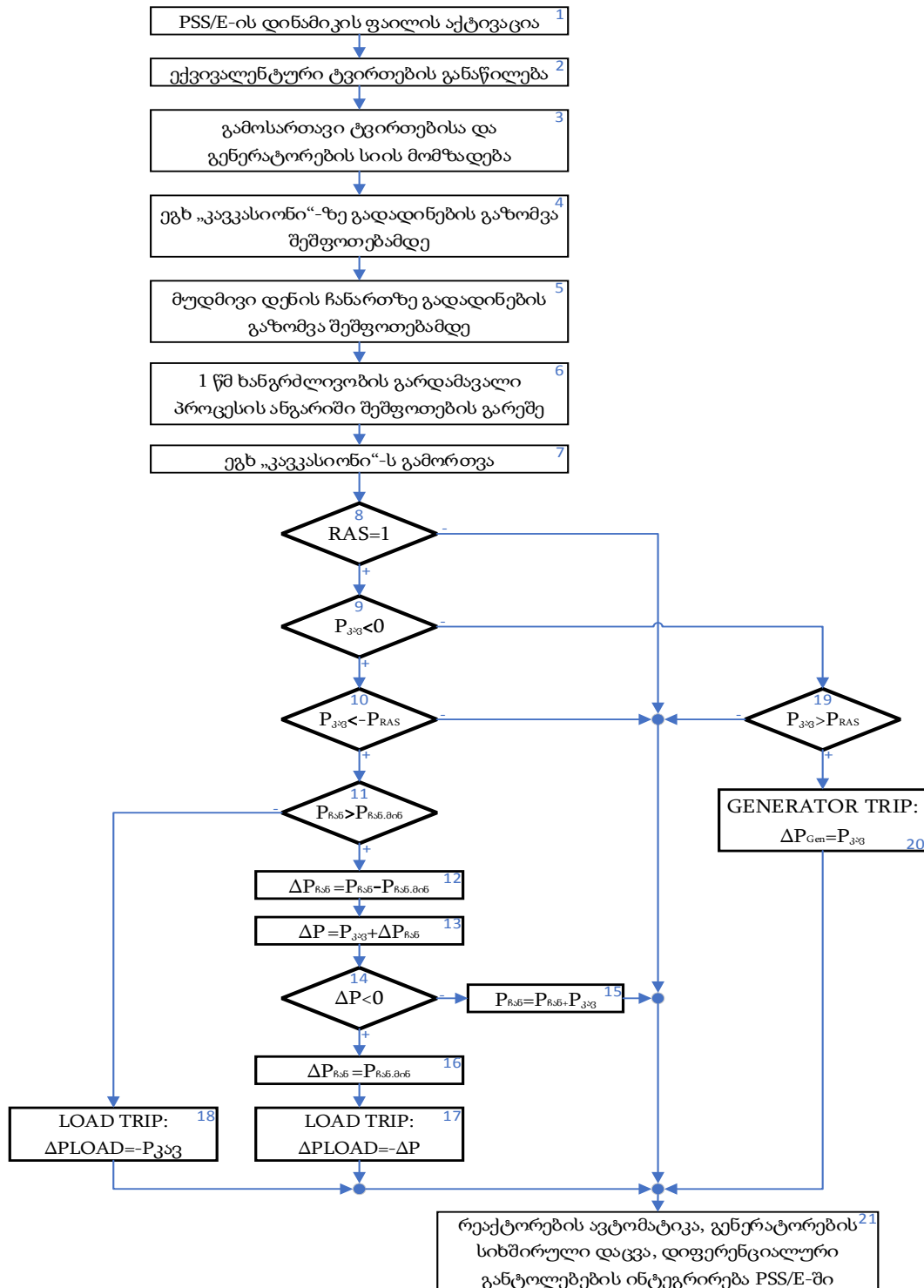
სადისერტაციო თემის კვლევისთვის გამოყენებულია დღეისთვის ყველაზე ეფექტური და ფართოდ გავრცელებული მათემატიკური (კომპიუტერული) მოდელირების მეთოდი. კერძოდ, გამოყენებული იქნება კომპიუტერული მოდელირების რამდენიმე კომპლექსური საშუალება, რომლის მიხედვითაც ჩატარდება კვლევა. პირველ რიგში მოხდება გამოსაკვლევი საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის კომპიუტერული მოდელის შესაბამისობაში მოყვანა, რომელიც მონაწილეობას მიიღებს სიმულაციის პროცესში. შემდეგ ეტაპზე შეიქმნა შესაბამისი დამატებითი პროგრამული კოდები პროგრამირების ენის გამოყენებით. ამ პროგრამული კოდის დანიშნულებაა მართოს საინჟინრო მოდირების პროგრამა. შემდეგ ეტაპზე მოხდება შესაბამისი რეჟიმების შერჩევა, ნაკადგანაწილების ანგარიში და ამის შემდეგ შესაბამისი დინამიკური სიმულაციების ჩატარება (სასისტემო ხაზების, სისტემათაშორისო ხაზებისა და გენერატორების გამორთვის მოდელირება).

მოდელირებისთვის გამოყენებული იქნა საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E და პროგრამირების ენა Python. Python-ის გამოყენებით შექმნილი პროგრამული კოდი იძლევა PSS/E-ის მართვის საშუალებას და შესაბამისი მანიპულაციების ჩატარების საშუალებას.

კვლევის პროცესში, პროგრამირების ენის საშუალებით პირველ ეტაპზე შექმნათ არსებული სასისტემო ავტომატიკის, მათ შორის: ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის, სიხშირით ავტომატური განტვირთვის, გენერატორების სიხშირის

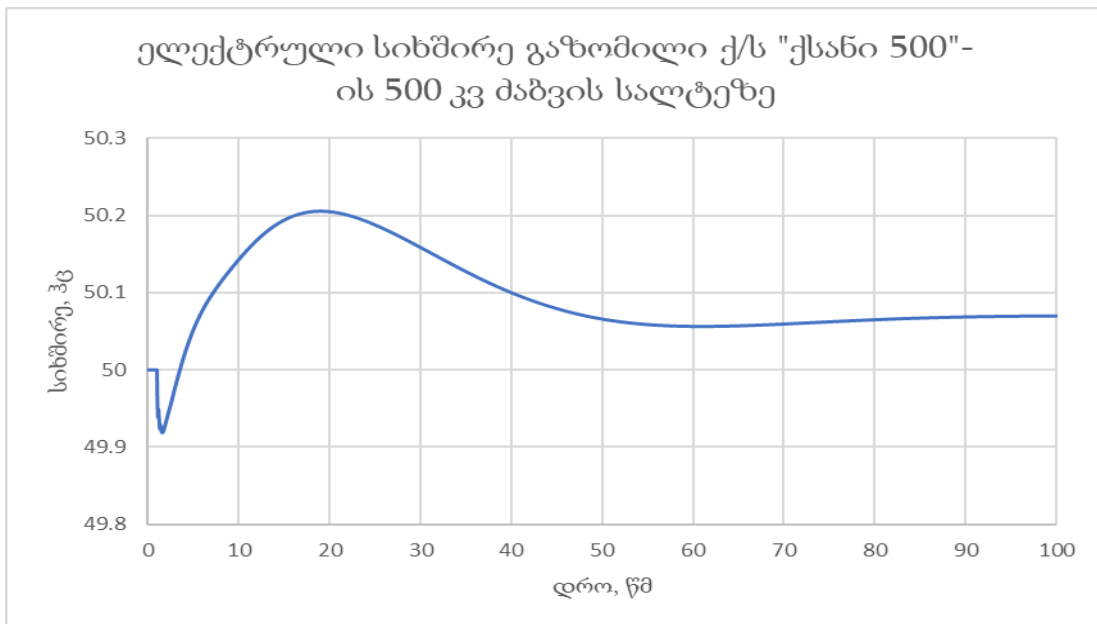
აწვევა/დაწვევის დაცვებისა და შუნტური რეაქტორების მოქმედების ლოგიკები, ხოლო შემდეგ ეტაპზე შეიქმნას ახალი ტიპის ავტომატიკის მოქმედების ლოგიკა და შემდეგ მისი კომპიუტერული მოდელი იმავე პროგრამირების ენის გამოყენებით.

ნახაზ N1-ზე წარმოდგენილია არსებული ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელის ბლოკ-დიაგრამა.



ნახაზი 1. არსებული ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელის ბლოკ-სქემა

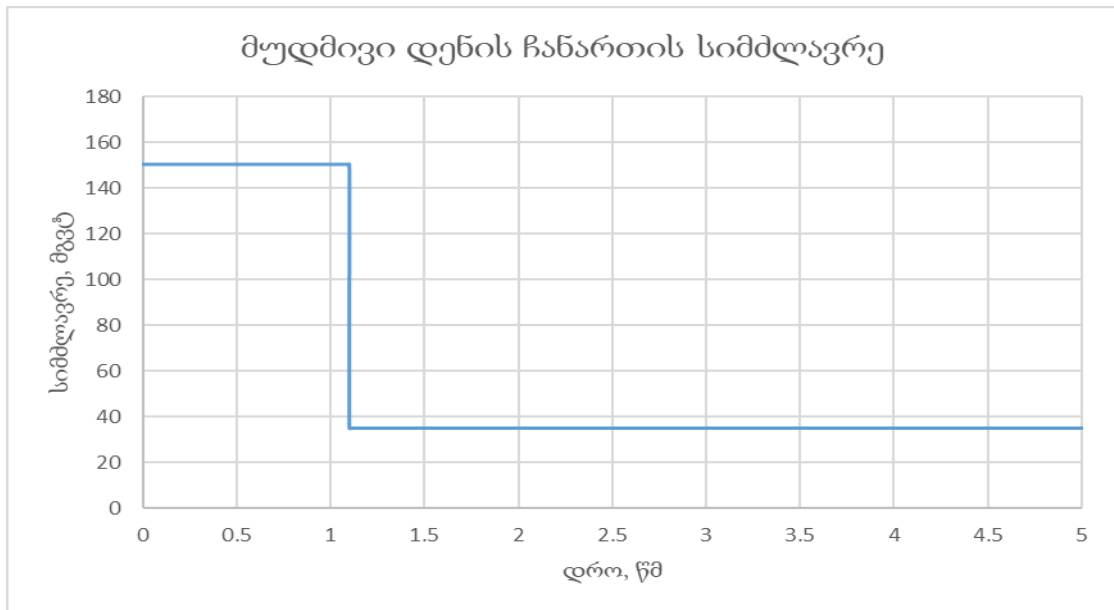
Python-ის გამოყენებით ნახაზ 1-ზე წარმოდგენილი ბლოკ სქემის შესაბამისი ლოგიკის აწყობის შემდეგ ჩატარდა ეგზ „კავკასიონის“ გამორთვის მოდელირება რამდენიმე სახასითო შემთხვევაში და მოხდა მოდელირების შედეგების გაანალიზება. ნახაზ 2-ზე წარმოდგენილია 250 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „კავკასიონის“ გამორთვის შედეგად ქს „ქსანი 500“-ის 500 კვ ძაბვის სალტეზე ელექტრული სიხშირის ცვლილების ამსახავი მრუდი.



ნახაზი 2. ელექტრული სიხშირე გაზომილი ქს "ქსანი 500"-ის 500 კვ ძაბვის სალტეზე

ნახაზ 3-ზე წარმოდგენილია ეგზ „კავკასიონის“ გამორთვის გამო ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედების შედეგად როგორ იცვლება გადადინება თურქეთის ელექტროენერგეტიკულ სისტემათან დამაკავშირებელ მუდმივი დენის ჩანართზე.

ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედების შედეგად მუდმივი დენის ჩანართზე გადადინება შემცირდა 150 მგვტ-დან 35 მგვტ-მდე (35 მგვტ წარმოადგენს ჩანართის 1 კონვერტორისთვის მუშაობის მინიმალურ სიმძლავრეს), ხოლო დარჩენილი მექანიკური სიმძლავრის დეფიციტის აღმოსაფხვრელად ასამ დამატებით დამართო 135 მგვტ სიმძლავრის მომხმარებელი საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში. შესაბამისად შესაძლებელია ითქვას, რომ ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელმა სწორად იმოქმედა ამ კონკრეტულ შემთხვევაში.

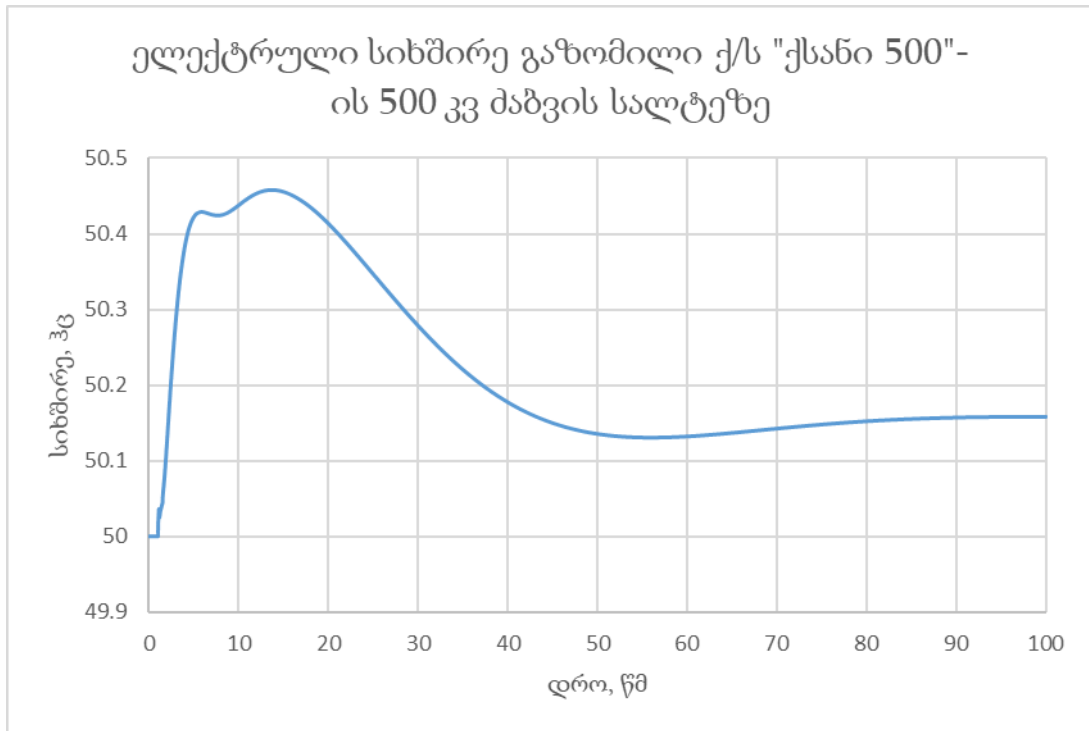


ნახაზი 3. მუდმივი დენის ჩანართის სიმძლავრე

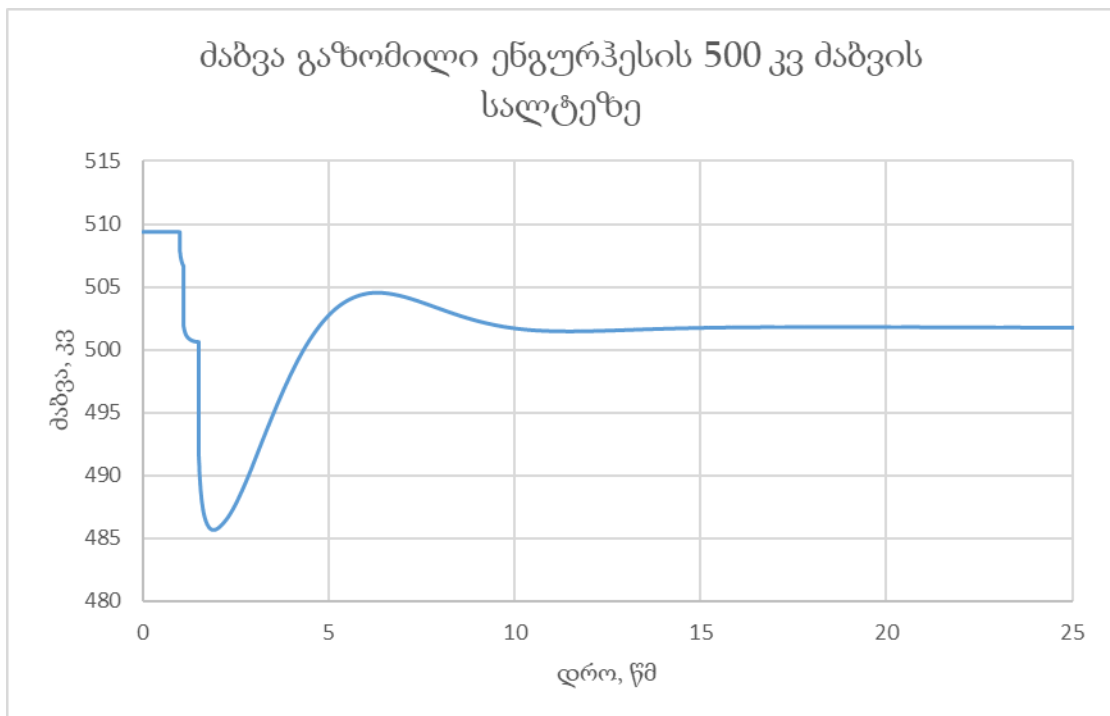
ენერჯის იმპორტის გარდა ეგზ „კავკასიონის“ გამორთვის მოდელირება ასევე ჩატარდა საქართველოდან რუსეთის ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ენერჯის ექსპორტისას. ნახაზ 4-ზე წარმოდგენილია 150 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „კავკასიონის“ გამორთვის შემდეგ ასა-ს მოქმედების შემთხვევაში როგორ იცვლება ელექტრული სიხშირე ქ/ს „ქსანი 500“-ის 500 კვ ძაბვის სალტეზე.

როგორც ნახაზ N4 დან ჩანს შეშფოთების შედეგად სიხშირე გაიზარდა, რაც განპირობებულია სისტემაში წარმოქმნილი მექანიკური სიმძლავრის ნაჭარბით. მიუხედავად იმისა, რომ ასა-ს მოქმედების შედეგად გამორთული გენერაციის სიდიდე საკმარისია სიმძლავრის უბალანსობის აღმოსაფხვრელად სიხშირემ ასა-ს მოქმედების შემდეგაც განაგრძო გაზრდა, რაც განპირობებულია სისტემაში ძაბვის შემცირებით. როგორც ცნობილია მოხმარებლების უმეტესობას გააჩნია მოხმარებული სიმძლავრის ძაბვაზე დამოკიდებულება, რაც იმას ნიშნავს რომ ძაბვის სიდიდის შეცვლით იცვლება მოხმარებული სიმძლავრეც შესაბამისად ძაბვის შემცირება ამცირებს მოხმარებული ელექტროენერჯის სიდიდეს რაც თავის მხრივ აღრმავებს შეშფოთების შედეგად წარმოქმნილ სიმძლავრის უბალანსობას. ნახაზ N5-ზე წარმოდგენილია მოდელირების შედეგად მიღებული

ძაბვის ცვლილების ამსახავი მრუდი, გაზომილი ენგურჰესის 500 კვ ძაბვის სალტეზე.



ნახაზი 4. ელექტრული სიხშირე გაზომილი ქ/ს "ქსანი 500"-ის 500 კვ ძაბვის სალტეზე



ნახაზი 5. მოდელირების შედეგად მიღებული ძაბვის ცვლილება ენგურჰესის 500 კვ ძაბვის სალტეზე

არსებული ავტომატიკების მოდელირებისა და მისი ტესტირების შედეგების მიხედვით შესაძლებელია ითქვას, რომ ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება არის წარმატებული.

თავი 2. სარეზერვო ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედების ლოგიკა

როგორც ნაშრომის შესავალ ნაწილში და პირველ თავშია აღწერილი, სასისტემო ავტომატიკა არ მოქმედებს რამდენიმე შემოფოტების შემთხვევაში, მაგალითად ე.გ.ხ „კავკასიონი“-ს ცალმხრივად ქ/ს „ცენტრალნაია“-ში გამორთვისას. აღნიშნული ასა-ს უმოქმედობა განპირობებულია იმ ფაქტით, რომ ხაზის ცალმხრივად გამორთვის შემთხვევაში რუსეთის მხრიდან საქართველოში არ იგზავნება ამომრთველის მოქმედების სიგნალი (თანამედროვე ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში, როგორც ზემოთ არის ნახსენები, კომუნიკაციისთვის გამოიყენება ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კაბელი. გამომდინარე იქიდან, რომ ეგხ „კავკასიონი“-ს სიგრძე აღემატება 400 კმ-ს, ამასთან ხაზის ტრასის დიდ ნაწილს წარმოადგენს საკმაოდ რთული მთიანი რელიეფი ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კაბელის გამოყენება ამომრთველის მდგომარეობის სიგნალის „სტატუსის“ გადასაცემად შესაძლებელია გარკვეული მოსაზრებით არახელსაყრელად ჩაითვალოს). შესაბამისად სასურველია არსებობდეს ავტომატიკის ლოგიკა, რომელიც იმოქმედებს ასა-ს უმოქმედობის შემთხვევაში დიდი შემოფოტებისას, წინააღმდეგ შემთხვევაში სისტემაში სიხშირის გადახრის შედეგად მოქმედებაში მოვა საგ-ის, სწაგ-ის ან/და გენერატორების სიხშირის აწევა/დაწევისაგან დაცვის მოწყობილობები.

სარეზერვო ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედება დაფუძნებულია სისტემაში ჩართული აგრეგატების მექანიკური კუთხური სიჩქარის ცვლილების ან სისტემის სიხშირის წარმოებულზე. სიხშირის წარმოებული ან/და გენერატორის მექანიკური კუთხური სიჩქარის წარმოებული საჭიროა მოხმარება/გენერაციის გამოსართავი სიმძლავრის განსაზღვრისთვის. ამასთან ავტომატიკის მოქმედებისთვის წარმოებულის გარდა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს სისტემაში ჩართული გენერატორების ჯამური ინერციის დროის

მუდმივა. სიხშირის წამოებულისა და გენერატორის ინერციის დროის მუდმივების ცოდნის საჭიროება ავტომატიკის მოქმედებისთვის აღწერილია ქვემოთ.

დღეს-დღეობით საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ჩართულია ათობით ჰიდრო და ტურბოგენერატორი, რომლებიც ხასიათდებიან გარკვეული ინერციულობით. თითოეული გენერატორის ინერცია ან ინერციის დროის მუდმივა, რომელიც გენერატორის საპასპორტო პარამეტრს წარმოადგენს, დაყვანილია გენერატორის ნომინალურ სრულ სიმძლავრეზე აქედან გამომდინარე სისტემის ინერციის ჯამური სიდიდის განსაზღვრისთვის საჭიროა ინერციის დროის მუდმივები დაყვანილი იქნას ბაზისურ სიმძლავრეზე (ბაზისური სიმძლავრის სიდიდედ შესაძლებელია შერჩეული იქნას ნებისმიერი, სიმარტივისთვის ბაზისურ სიმძლავრედ ანგარიშებში ყველაზე ხშირად აღებულია 100 მგვა, შესაბამისად ამ ნაშრომშიც ბაზისურ სიმძლავრედ აღებულია 100 მგვა).

გენერატორის ინერცია H წარმოადგენს აგრეგატის მახასიათებელ მექანიკურ პარამეტრს, რომელის განზომილებაა წმ და უთითებს დროს რომლის განმავლობაშიც გაჩერებული აგრეგატი მიაღწევს ნომინალურ ბრუნთა რიცხვს იმ შემთხვევაში, თუ მის ლილვზე იმოქმედებს ნომინალური სრული სიმძლავრის ტოლი მაბრუნნი მომენტი, ხოლო მამუხრუჭებელი მომენტი კი ნულის ტოლი იქნება, განმარტებიდან გამომდინარე ინერცია ტოლია გენერატორის მბრუნავი მასაში დაგროვებული კინეტიკური ენერჯისა. ინერციის დროის მუდმივა T_J წარმოადგენს ასევე გენერატორის მახასიათებელ მექანიკურ პარამეტრს, რომელსაც იგივე შინაარსი აქვს რაც ინერციას და რიცხობრივად ორჯერ აღემატება მას, შესაბამისად ინერციის დროის მუდმივა ეს არის გენერატორის მბრუნავ მასაში დაგროვებული კინეტიკური ენერჯის გაორმაგებული მნიშვნელობა.

გამომდინარე იქიდან, რომ სისტემის მდგომარეობა და ტოპოლოგია არ არის სტაციონალური და იცვლება მუდმივად, ასევე მუდმივად იცვლება სისტემაში ჩართული გენერატორების რაოდენობა და შემადგენლობა, რაც თავის მხრივ ცვლის სისტემის ჯამურ ინერციის დროის მუდმივას. ამასთან აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ დღეის მდგომარეობით ელექტროენერგეტიკული სისტემაში ჩართული სერვერები, რომელთა მეშვეობითაც ხდება სისტემის მდგომარეობის მუდმივი მონიტორინგი და მართვა, არ იღებენ ყველა სადგურიდან ინფორმაციის

გენერატორების მდგომარეობის (ჩართულ-გამორთულობის) შესახებ, შესაბამისად სერვერებში შესაძლებელია არსებობდეს ინფორმაცია გენერატორების ინერციის დროის მუდმივებთან დაკავშირებით, თუმცა იმ შემთხვევაში თუ დროის ნებისმიერ მომენტში უცნობი იქნება სისტემაში პარალელურ რეჟიმში მომუშავე გენერატორების შემადგენლობა შეუძლებელი იქნება სისტემის ინერციის ჯამური დროის მუდმივის განსაზღვრა. აქედან გამომდინარე ავტომატიკის ის ტიპი, რომელიც განხილულია ნაშრომის ამ თავში, მოითხოვს იარსებოს სადგურებსა და სისტემის სერვერებს შორის ინფორმაციის საიმედო მიმოცვლამ, ისე რომ მუდმივად, დროის ნებისმიერ მომენტში ცნობილი იყოს სისტემაში ჩართული გენერატორების რაოდენობა და შემადგენლობა, წინააღმდეგ შემთხვევაში უცნობი იქნება სისტემის ინერცია.

გენერატორის ინერციის დროის მუდმივა, როტორის ნომინალურ ბრუნთა რიცხვისას, განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$T_{j0} = \frac{2.74 * GD^2 * n_0^2}{S_{Gen.}}$$

სადაც:

T_{j0} - წარმოადგენს გენერატორი ინერციის დროის მუდმივას;

GD^2 - გენერატორის მქნევარა მომენტია;

n_0^2 - გენერატორის ნომინალური ბრუნთა რიცხვის კვადრატია;

$S_{Gen.}$ - გენერატორის ნომინალური სრული სიმძლავრეა;

გენერატორის ინერციის დროის მუდმივა, დაყვანილი ბაზისურ სიმძლავრეზე აღვნიშნოთ T_j -ით, ხოლო მისი საანგარიშო ფორმულა არის შემდეგი:

$$T_j = T_{j0} * \frac{S_{Gen.}}{S_{ბაზ}} = \frac{2.74 * GD^2 * n_0^2}{S_{Gen.}} * \frac{S_{Gen.}}{S_{ბაზ}} = \frac{2.74 * GD^2 * n_0^2}{S_{ბაზ}}$$

სადაც:

$S_{ბაზ}$ - წარმოადგენს ბაზისურ სიმძლავრეს;

სისტემის ინერციის ჯამური დროის მუდმივა მიიღება გენერატორების ბაზისურ სიმძლავრეზე დაყვანილი დროის მუდმივების შეკრებით.

გამომდინარე იქიდან, რომ ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესის დროს იცვლება გენერატორის ბრუნთა რიცხვი ასევე იცვლება გენერატორის

როტორში დაგროვებული კინეტიკური ენერგია. ამასთან როტორში დაგროვებული კინეტიკური ენერგია გენერატორის ბრუნთა რიცხვთან კვადრატულ დამოკიდებულებაშია. შესაბამისად გარდამავალი პროცესის დროს ინერციის დროის მუდმივა გენერატორისთვის გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$T_{j1} = \frac{2.74 * GD^2 * n_0^2 * (1 + s)^2}{S_{\text{მპ}}}$$

სადაც:

T_{j1} - არის გენერატორის ინერციის დროის მუდმივა გარდამავალი პროცესის დროს;
 s - წარმოადგენს გენერატორის სრიალს, რომლის საანგარიშო ფორმულაც არის შემდეგი;

$$s = \frac{n - n_0}{n_0}$$

სრიალის საანგარიშო ფორმულის შესაბამისად იმ შემთხვევაში, თუ გენერატორის კუთხური სიჩქარე სინქრონულზე დაბალია ანუ $n < n_0$ სრიალი უარყოფითია, ხოლო თუ ბრუნთა რიცხვი მეტია სინქრონულზე სრიალი დადებითია.

როგორც ცნობილია სრიალის წარმოქმნას იწვევს გენერირებულ ელექტრულ სიმძლავრესა და მექანიკურ სიმძლავრეებს შორის სხვაობა (შემდგომში ელექტრულ და მექანიკურ სიმძლავრეებს შორის სხვაობა ნახსენები იქნება, როგორც სიმძლავრეების უბალანსობა), შესაბამისად ეს სხვაობა ნაწილდება გენერატორებს შორის. რაც უფრო დიდია სიმძლავრეების უბალანსობა მით უფრო დიდი სიჩქარით იცვლება მანქანების კუთხური სიჩქარე, ანუ სრიალის წარმოებული მით უფრო დიდია. როტორის რხევის ანუ იძულებითი მოძრაობის განტოლების შესაბამისად სიმძლავრეების უბალანსობა გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta P = 100 * T_{j1E} * (1 + s) * \frac{ds}{dt}$$

სადაც:

T_{j1E} - ინერციის ჯამური დროის მუდმივა;

$\frac{ds}{dt}$ - როტორის სრიალის წარმოებული დროით;

სრიალის წარმოქმნის შედეგად იცვლება აგრეგატების მექანიკური სიმძლავრე შემდეგი ფორმულის შესაბამისად:

$$P_{mec} = \frac{P_{mec.0}}{1 + s}$$

სადაც:

P_{mec} - არის ტურბინის მექანიკური სიმძლავრე სრიალის არსებობისას;

$P_{mec.0}$ - ტურბინის საწყისი მექანიკური სიმძლავრე სრიალის წარმოქმნამდე;

გამომდინარე იქიდან, რომ სრიალის სიდიდე სიხშირის შემცირებისას არის უარყოფითი, მექანიკური სიმძლავრე ნომინალურზე ნაკლები ბრუნთა რიცხვის დროს აღემატება მექანიკურ სიმძლავრეს, რომელსაც ტურბინა ავითარებს სინქრონული ბრუნთა რიცხვის დროს და პირიქით. ამიტომაც გარდამავალი პროცესის დროს სარეზერვო ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედების სისწორის შემოწმებისას, სიმძლავრის ბალანსის შედგენისას უნდა იქნას გათვალისწინებული სრიალის შედეგად მექანიკური სიმძლავრის ცვლილების ფაქტი. გარდა ამისა მომხმარებლების ნაწილის სიმძლავრე დამოკიდებულია როგორც ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის ასევე სიხშირის სიდიდეზეც, მაგრამ სადიპლომო ნაშრომში განხილულ სისტემის მოდელში არ არის გათვალისწინებული მომხმარებლის სიმძლავრის სიხშირეზე დამოკიდებულება.

როგორც როტორის რხევის ანუ იძულებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებიდან ჩანს, სისტემაში წარმოქმნილი სიმძლავრეთა უბალანსობის სიდიდის განსაზღვრა შესაძლებელია სრიალის წამროებულისა და ინერციის ჯამური დროის მუდმივებით, რაც მოდელირებით იქნება დადასტურებული. ამისათვის საჭიროა ისეთი ავარიის მოდელირება, რომლის შემთხვევაშიც ასა-ს მოქმედება არ არის გათვალისწინებული, მაგალითად ეგზ „კაკვასიონი“-ს გამორთვა ქ/ს „ცენტრალნაია“-ს მხრიდან. ამასთან საჭიროა პროგრამირების ენა python-ით სპეციალური კოდის შექმნა, რომელიც გამოიყენებს საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ს და შეასრულებს იმ მათემატიკურ ოპერაციებს რომლითაც უნდა განისაზღვროს შემფოთების შედეგად წარმოქმნილი სიმძლავრის უბალანსობა.

თავი 3. სარეზერვო ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოდელირება და ტესტირება

ავტომატიკის ლოგიკის ტესტირებისთვის შეიქმნა შესაბამისი მოდელი პროგრამირების ენა Python-ის გამოყენებით და ჩატარდა არაერთი სიმულაცია, ხოლო შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ.

განხილულ რეჟიმში სისტემის ჯამური მოხმარება შეადგენს 1200 მგვტ-ს, ხოლო სისტემის ჯამური ინერციის დროის მუდგვა 120.7 წმ-ს. ამ რეჟიმში ჩატარდა შუახვევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორის გამორთვის მოდელირება 5 სხვადასხვა სიტუაციისთვის. შუახვევიჰესის გამოსართავი გენერატორის სიმძლავრე იცვლება 40 მგვტ-დან 80 მგვტ-მდე 10 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯებით. ცხრილ N29-ში წარმოდგენილია შუახვევიჰესის მოდელირებისას გამართული გენერატორის სიმძლავრე, პროგრამის მიერ ნაანგარიშევი გამოსართავი სიმძლავრე dp, მაკორექტირებელი K კოეფიციენტი და მაკორექტირებელი კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა. ცხრილ N30-ში წარმოდგენილია შუახვევიჰესის გამართული გენერატორის სიმძლავრე, მაკორექტირებელი კოეფიციენტის გათვალისწინებით პროგრამის მიერ ნაანგარიშევი გამოსართავი სიმძლავრე dp1, ასევე შეშფოთებასა და dp1-ს შორის პროცენტული სხვაობა.

Tj=120.7 Ps=1200			
Pg	dp	K	Average
40	25	1.60	1.37
50	35	1.43	
60	46	1.30	
70	55.6	1.26	
80	64	1.25	

ცხრილი 1. მაკორექტირებელი კოეფიციენტის ცხრილი 1200 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, შუახვევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორი გამორთვისას

Pg	dp1	%
40	34.25	14.38%
50	47.95	4.10%
60	63.02	-5.03%
70	76.17	-8.82%
80	87.68	-9.60%

ცხრილი 2. 1200 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, შუახვევიკესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორი გამორთვისას პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლავრე და ცდომილება პროცენტებში

dp1 არის პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი მოხმარების სიმძლავრე იმ შემთხვევისთვის, როდესაც მაკორექტირებელი კოეფიციენტის მნიშვნელობად აღებულია ცხრილ N1-ში წარმოდგენილი საშუალო მნიშვნელობა 1,37.

განხილულ რეჟიმში სისტემის ჯამური მოხმარება შეადგენს 1400 მგვტ-ს, ხოლო სისტემის ჯამური ინერციის დროის მუდგვა 131 წმ-ს. ამ რეჟიმში ჩატარდა შუახვევიკესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორის გამორთვის მოდელირება 5 სხვადასხვა სიტუაციისთვის. შუახვევიკესის გამოსართავი გენერატორის სიმძლავრე იცვლება 40 მგვტ-დან 80 მგვტ-მდე 10 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯებით. ცხრილ N3-ში წარმოდგენილია შუახვევიკესის მოდელირებისას გამორთული გენერატორის სიმძლავრე, პროგრამის მიერ ნაანგარიშევი გამოსართავი სიმძლავრე dp, მაკორექტირებელი K კოეფიციენტი და მაკორექტირებელი კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა. ცხრილ N4-ში წარმოდგენილია შუახვევიკესის გამორთული გენერატორის სიმძლავრე, მაკორექტირებელი კოეფიციენტის გათვალისწინებით პროგრამის მიერ ნაანგარიშევი გამოსართავი სიმძლავრე dp1, ასევე შეშფოთებასა და dp1-ს შორის პროცენტული სხვაობა.

dp1 არის პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი მოხმარების სიმძლავრე იმ შემთხვევისთვის, როდესაც მაკორექტირებელი კოეფიციენტის მნიშვნელობად აღებულია ცხრილ N3-ში წარმოდგენილი საშუალო მნიშვნელობა 1,28.

Tj=131		Ps=1400	
Pg	dp	K	Average
40	27	1.48	1.28
50	38	1.32	
60	49	1.22	
70	59	1.19	
80	67	1.19	

ცხრილი 3. მაკორექტირებელი კოეფიციენტის ცხრილი 1400 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, შუახვევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორი გამორთვისას

Pg	dp1	%
40	34.02	14.95%
50	47.88	4.24%
60	61.74	-2.90%
70	74.34	-6.20%
80	84.42	-5.53%

ცხრილი 4. 1400 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, შუახვევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორი გამორთვისას პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლავრე და ცდომილება პროცენტებში

განხილულ რეჟიმში სისტემის ჯამური მოხმარება შეადგენს 1600 მგვტ-ს, ხოლო სისტემის ჯამური ინერციის დროის მუდგვა 158 წმ-ს. ამ რეჟიმში ჩატარდა შუახვევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორის გამორთვის მოდელირება 5 სხვადასხვა სიტუაციისთვის. შუახვევიჰესის გამოსართავი გენერატორის სიმძლავრე იცვლება 40 მგვტ-დან 80 მგვტ-მდე 10 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯებით. ცხრილ N5-ში წარმოდგენილია შუახვევიჰესის მოდელირებისას გამორთული გენერატორის სიმძლავრე, პროგრამის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლავრე dp, მაკორექტირებელი K კოეფიციენტი და მაკორექტირებელი კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა. ცხრილ N6-ში წარმოდგენილია შუახვევიჰესის გამორთული გენერატორის სიმძლავრე,

მაკორექტირებელი კოეფიციენტის გათვალისწინებით პროგრამის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლვრე dp1, ასევე შეშფოთებასა და dp1-ს შორის პროცენტული სხვაობა.

Tj=158		Ps=1600	
Pg	dp	K	Average
40	no	no	1.24
50	36.6	1.37	
60	48	1.25	
70	59	1.19	
80	69	1.16	

ცხრილი 5. მაკორექტირებელი კოეფიციენტის ცხრილი 1600 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, შუახევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორი გამორთვისას

Pg	dp1	%
40	no	no
50	45.38	9.23%
60	59.52	0.80%
70	73.16	-4.51%
80	85.56	-6.95%

ცხრილი 6. 1600 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, შუახევიჰესის სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული გენერატორი გამორთვისას პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლავრე და ცდომილება პროცენტებში

dp1 არის პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი მოხმარების სიმძლავრე იმ შემთხვევისთვის, როდესაც მაკორექტირებელი კოეფიციენტის მნიშვნელობად აღებულია ცხრილ N5-ში წარმოდგენილი საშუალო მნიშვნელობა 1,24.

შუახევიჰესის 40 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული გენერატორის გამორთვა არ იწვევს სარეზერვო ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის ამოქმედებას,

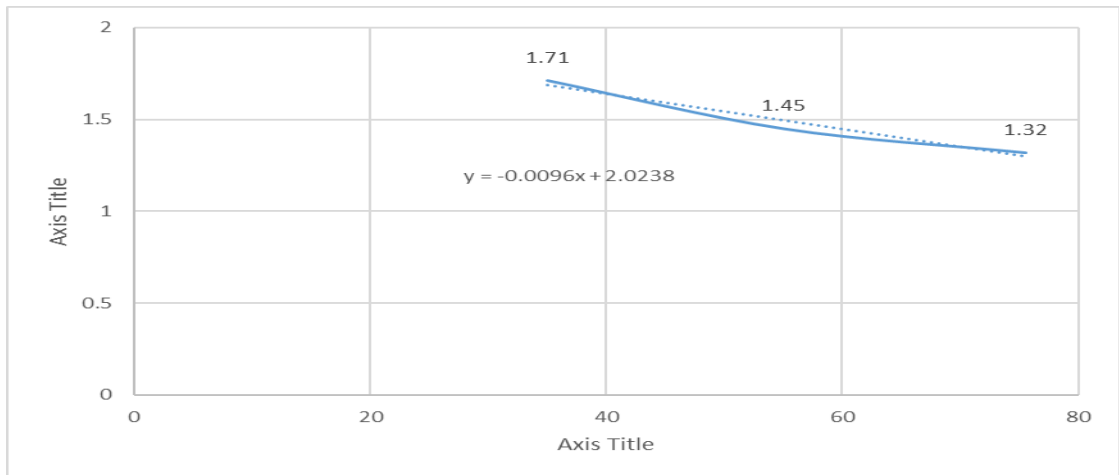
შესაბამისად პროგრამული მოდული არ ანგარიშობს გამოსართავი მოხმარების სიდიდეს. განხილულ რეჟიმში სისტემის ჯამური მოხმარება შეადგენს 1578 მგვტ-ს, ხოლო სისტემის ჯამური ინერციის დროის მუდმივა 150 წმ-ს. ამ რეჟიმში ჩატარდა სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „დერჩის“ გამორთვის მოდელირება. ეგზ „დერჩის“ დატვირთვა იცვლება 60 მგვტ-დან 100 მგვტ-მდე 20 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯებით. ცხრილ N7-ზე წარმოდგენილია ეგზ „დერჩის“ დატვირთვა, პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი მოხმარების სიმძლავრე, მაკორექტირებელი K კოეფიციენტის მნიშვნელობა და ნახაზ N6-ზე მოცემული მაკორექტირებელი კოეფიციენტისა და ინერციის ჯამური დროის მუდმივების მიხედვით შედგენილი გრაფიკის აპროქსიმაციით მიღებული მაკორექტირებელი კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

Ps=1578		Tj=150	
P _{derchi}	dp	K	trend
60	35	1.71	1.6878
80	55	1.45	1.4958
100	75.5	1.32	1.299

ცხრილი 7. მაკორექტირებელი კოეფიციენტის ცხრილი 1578 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „დერჩი“-ს გამორთვისას

P _{derchi}	dp1	%
60	59.22	1.30%
80	82.5	-3.13%
100	98.3916	1.61%

ცხრილი 8. 1578 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „დერჩის“ გამორთვისას პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლავრე და ცდომილება პროცენტებში



ნახაზი 6. K კოეფიციენტის დამოკიდებულების ამსახავი მრუდი სისტემის ჯამური ინერციის დროის მუდმივაზე

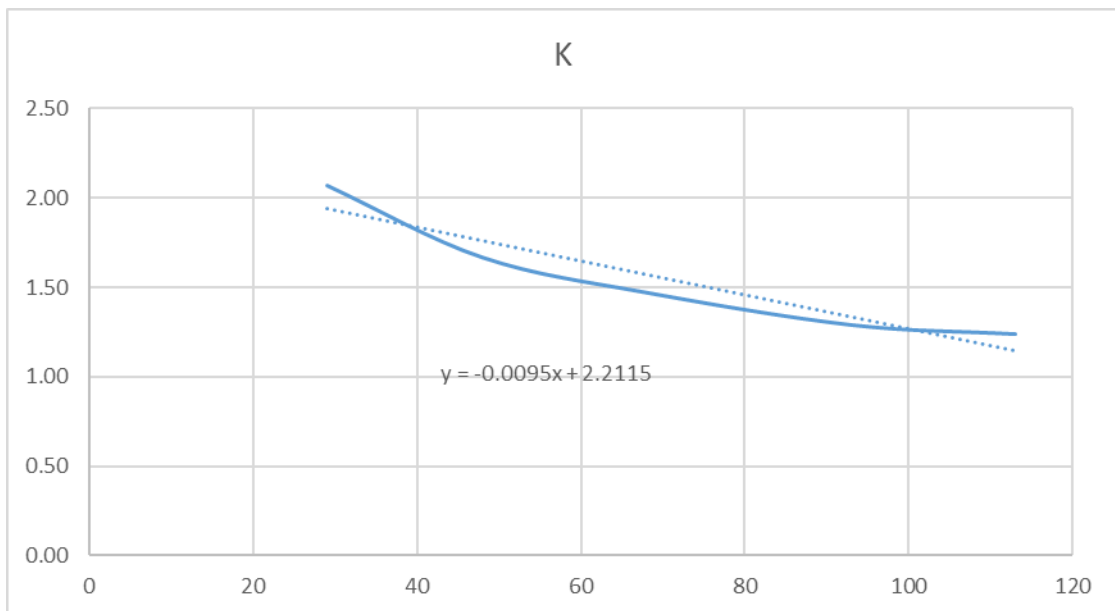
განხილულ რეჟიმში სისტემის ჯამური მოხმარება შეადგენს 1450 მგვტ-ს, ხოლო სისტემის ჯამური ინერციის დროის მუდმივა 121 წმ-ს. ამ რეჟიმში ჩატარდა სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „დერჩის“ გამორთვის მოდელირება. ეგზ „დერჩის“ დატვირთვა იცვლება 60 მგვტ-დან 140 მგვტ-მდე 20 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯებით. ცხრილ N9-ში წარმოდგენილია ეგზ „დერჩის“ დატვირთვა, პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი მოხმარების სიმძლავრე, მაკორექტირებელი K კოეფიციენტის მნიშვნელობა და ნახაზ N7-ზე მოცემული მაკორექტირებელი კოეფიციენტისა და ინერციის ჯამური დროის მუდმივების მიხედვით შედგენილი გრაფიკის აპროექსიმაციით მიღებული მაკორექტირებელი კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

Pg	dp	K	trend
60	29	2.07	1.936
80	48	1.67	1.7555
100	68	1.47	1.5655
120	93	1.29	1.328
140	113	1.24	1.138

ცხრილი 9. მაკორექტირებელი კოეფიციენტის ცხრილი 1450 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „დერჩი“-ს გამორთვისას

Pg	dp1	%
60	57.3446	4.43
80	86.3424	-7.93
100	109.5344	-9.53
120	127.9494	-6.62
140	134.2214	4.13

ცხრილი 10. 1450 მგვტ-ით დატვირთული სისტემის შემთხვევაში, სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული ეგზ „დერჩის“ გამორთვისას პროგრამული მოდულის მიერ ნაანგარიშები გამოსართავი სიმძლავრე და ცდომილება პროცენტებში



ნახაზი 7. K კოეფიციენტის დამოკიდებულების ამსახავი მრუდი სისტემის ჯამურ ინერციის დროის მუდმივაზე

დასკვნები

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება ორი ძირითადი ნაწილისგან. პირველ ნაწილში განხილულია არსებული სასისტემო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება, მისი ტესტირება და მოდელირების შედეგების განსჯა. მეორე ნაწილში განხილულია ახალი ტიპის ავტომატიკის, მოქმედების პრინციპის განსაზღვრა, მისი შესაბამისი კომპიუტერული მოდელის შექმნა, კომპიუტერული მოდელის ტესტირება და შედეგების ანალიზი. სადისერტაციო ნაშრომში განხილული ორივე ძირითადი ნაწილის შეფასების შემდეგ უნდა გაკეთდეს შემდეგი დასკვნა:

1. არსებული სასისტემო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება წარმატებულია, ვინაიდან კომპიუტერული მოდელი ისევე რეაგირებს ავარიებზე როგორც რეალური ავტომატიკა და მოდელირების შედეგად მიღებული რეჟიმის პარამეტრები მოდელირებისათვის დასაშვები სიზუსტით ემთხვევა რეალური ავარიის შედეგებს.
2. ახალი ტიპის ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება წარმატებულად უნდა ჩაითვალოს მოდელირების შედეგების მიხედვით, ვინაიდან ნაშრომში განხილული არაერთი სიმულაციისას ავტომატიკის კომპიუტერულმა მოდელმა სწორად განსაზღვრა ავარიის სახე და გამოსართავი გენერაცია/მოხმარების სიმძლავრე.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები

1. ბურდიაშვილი ო. სიხშირით ავტომატური განტვირთვის ცენტრალიზებული მოწყობილობა. „ენერჯია“, 2019, N4(92), გვ. 5-8.
2. Burdiashvili O. Modelling of emergency automatics of Georgian power system. „CIGRESESSION 48“, Paris, 2020, C4-111, pp. 1-10.
3. ბურდიაშვილი ო. საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში არსებული ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის კომპიუტერული მოდელირება. „ენერჯია“, 2021, N4(100), გვ. 35-38.

Abstract

Georgian power system is a small power system with a peak consumption of 2000-2200 MW at the moment, most of the power plants in the system have a large capacity, in case of emergency shutdown one of those unit there is a risk of power outage in the part of the power system or blackout of the whole power system. Maintaining the normal frequency of the system in normal ranges during emergency situations depends on whether the Georgian power system operates in synchronous parallel mode with one or more neighboring power systems. If the Georgian power system operates in isolation or if it operates in parallel with any of its neighbor countries and tie line switched off forthly, the country remains isolated mode and the generation or consumption sureplus is dangerose for the stability of the system. In order to increase stability after emergencies, the so-called Remedial Action Scheme (RAS) has been created, which constantly monitors such elements of the system as: Generators, Tie lines, high and extra high voltage lines, autotransformers, etc. and in case of outage one of the elements, according to a predetermined logic, determines the amount of generation or consumption, which should eliminate the accident results and avoid mode parameters (frequency and voltage) Further deterioration. In the event of RAS inactivity after one event the parameters may deviate so much from the normal value that a deterioration of the paraneters will cause another event. At present, the logic of action in the Remedial Action Scheme in the power system of Georgia is embedded in the logic of action for about 20 different types of accidents, although there are types of accidents that threaten the stability of the power system but the logic of this accident is not yet considered.

The aim of the dissertation is to computer modeling of the existing Remedial Action Scheme and additionally criation of an automation algorithm and creation a computer model that determines the generation-consumption value in the event of accidents for which no logic is found in the existing Remedial Action Scheme. The creation of an existing computer model of Remedial Action Scheme will enable the relevant personnel of the power system to model various accidents and determine in a particular case how effective the RAS will be in eliminating the consequences of the accident, or whether it is necessary to change the logic of the actual RAS. In addition, the existence of the RAS computer model makes it possible to anticipate as much detail as possible when analyzing system stability in current and prospective modes. The principle of operation of backup automation should be designed so that it is a logic for different types of automation, and the creation of a computer model of this logic and its use in accident modeling will allow us to check whether the new type of automation logic has been selected correctly. Only one RAS logic in the dissertation is considered in the opinion that it is impossible to present the results of the relevant modeling in the dissertation due to the limited volume of the dissertation, considering the consideration of all existing logics. It can be said that the modeling of other logics will also be successful since almost all logics are composed of more or less the same principle of operation. In addition to the Remedial Action Scheme model, as already mentioned, the dissertation also presents the logic of backup anti-accident automation. To test the correctness of the logic, a second software module was developed using Python, the purpose of which is also to manage the engineering modeling program PSS/E. Accordingly, the dissertation

discusses one specific RAS logic for outage of the OHL "Kaukasioni", for which the programming language Python has developed an engineering modeling software module adapted to the PSS/E. The purpose of the software module is to manage the engineering modeling program and perform the operations that will be performed by the real-time Remedial Action Scheme in the event of a real event in the real system.