

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ბორის ჯინჭელეიშვილი

ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის გამოკვლევა
ელექტროენერგიის სტატიკური დამაგროვებლების გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეზეტი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“
შიფრი: 0713

თბილისი

2025 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2025 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

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

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. ელექტროენერგეტიკული სისტემა განიცდის თავისი რეჟიმულ ცვლილებას ყოველწამიერად, ნაგულისხმევია ნორმალური რეჟიმის დროს მოხმარების ცვლილება, რომელსაც შესაბამისად მოყვება გენერაციის ცვლილება. საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ ქსელში არსებობენ მსხვილი მომხმარებლები, როგორებიცაა:

1. ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხანა;
2. რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა;
3. ჯეოსთილი.

ზემოთ ნახსენები სამივე საწარმოში მოხმარების მყისიერი მკვეთრი ცვლილება შეიცავს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის დარღვევის საფრთხეს. აღნიშნული საწარმოების მოხმარების მყისიერ ცვლილებებს მყისიერად ვერ არეგულირებს დღეს არსებული რეგულატორები, რომელთაც ჭირდებათ დაახლოებით 2 წუთამდე რეაგირების სრული ციკლისთვის რათა ელექტროენერგიის მოთხოვნა დააკმაყოფილოს მიწოდებამ, მნიშვნელოვანია დაკმაყოფილდეს წარმოებაში მოწოდებული ელექტროენერგიის გამოყენების ეფექტურობის ერთ ერთი ძირითადი მაჩვენებელი - ელექტრული დატვირთვის გრაფიკი. ამიტომ ელექტროენერგეტიკული სისტემების დატვირთვის გრაფიკების გათანაბრებით დიდი ხნიდან დაკავებულნი არის დარგის სპეციალისტები და ეს ამოცანა წარმოადგენს ელექტროენერგეტიკის ოპტიმიზაციის ერთ ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას.

ენერგიის დამაგროვებელი არის მრავალფუნქციური მოწყობილობა, რომელსაც შეუძლია მრავალი და რთული პრობლემის გადაჭრა ენერგეტიკული სისტემების განვითარებაში, თუმცა, ის უნდა იქნას გამოყენებული სხვა აღჭურვილობასთან ერთად, რომელიც საშუალებას იძლევა გაათანაბროს ელექტროსადგურის დატვირთვის გრაფიკი და გაზარდოს ენერგოსისტემის საიმედოობა.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში დამაგროვებელი მოწყობილობის ჩართვა შესაძლებელს გახდის გასწორებული იქნას ელექტროსადგურების

მუშაობის გრაფიკი და შესაბამისად მთელი დღეღამის განმავლობაში უზრუნველყოფილი იქნეს თანაბარი დატვირთვა. ამავდროულად, კმაყოფილდება ელექტრომოხმარების მკვეთრად ცვალებადი გრაფიკიც.

გარდა ამისა, ენერგიის დამაგროვებლები საშუალებას იძლევიან შენარჩუნებული იქნეს მუდმივი სიხშირე და მონაწილეობა მიიღონ სისტემაში მათი შეერთების წერტილებში ძაბვის რეგულირებაში.

ელექტროენერგიის დამაგროვებელ მოწყობილობებს აქვთ ენერგოტევადობის ფართო სპექტრი და მაღალი სწრაფქმედება. შესაბამისად, მათი გამოყენება შესაძლებელია როგორც დატვირთვის გრაფიკების გათანაბრებისათვის, ასევე ენერგოსისტემების მდგრადობისა და საიმედოობის გასაზრდელად.

როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს ელექტროენერგიის დამაგროვებლები წარმოადგენენ ენერგეტიკის დამაგროვებლების ყველაზე უფრო პერსპექტიულ ტიპებს და აქედან გამომდინარე საქართველოში მათი პრაქტიკული გამოყენების დანერგვა ენერგოსისტემის მუშაობის რეჟიმების, მისი დინამიკური და სტატიკური მდგრადობის გაუმჯობესების მიზნით მეტად აქტუალური თემაა.

სამუშაოს მიზანი. საქართველოს ელექტროსისტემის ენერგოეფექტურობისა და დინამიკური მდგრადობის ამაღლება დატვირთვის გრაფიკების რეგულირების გზით ელექტროენერგიის სტატიკური დამაგროვებლების გამოყენებით;

დასმული ამოცანის მისაღწევად საჭიროა გადაწყვეტილი იქნეს შემდეგი ამოცანები:

1. გაანალიზებული იქნეს ელექტროენერგიის დაგროვების არსებული სისტემები, მათი გამოყენების ხერხები.
2. ჩატარებული იქნეს საქართველოს ენერგოსისტემის სტრუქტურული სქემის ანალიზი და განსაზღვრული იქნეს ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დაყენების აუცილებლობა;
3. შერჩეული იქნეს ელექტროენერგიის დამაგროვებლის სიმძლავრე;
4. დამუშავებული იქნეს ელექტროენერგიის დამაგროვებლის ფუნქციონირების ალგორითმი ელექტრული დატვირთვის პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით.

კვლევის საგანი. ელექტროენერგიის დამაგროვებლის გამოყენებით დატვირთვის გრაფიკების რეგულირება.

კვლევის მეთოდოლოგია და მეთოდები. სამუშაოში გამოყენებულია ელექტრული წრედების თეორიის, ელექტროტექნიკური კომპლექსების ელექტრომომარაგების, პროცესების მოდელირების მათემატიკური და იმიტაციური მეთოდები.

სამეცნიერო სიახლე:

1. შემოტანილი იქნა ΔDp კრიტერიუმი, რომელიც დაფუძნებულია დატვირთვის გრაფიკების დისპერსიასა და ურთიერთ კორელაციაზე, რომელიც იძლევა საშუალებას დაწესებულების ელექტრომომარაგების სისტემის კვანძებში შევაფასოთ მათი რეგულირების ეფექტიანობა;

2. დამუშავებულია ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დაყენების ადგილის განსაზღვრის ალგორითმი, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრომომარაგების სისტემის სტრუქტურულ ანალიზზე და ახლად შემოტანილი ΔDp კრიტერიუმის გამოყენებაზე;

3. პროგრამა „DigSILENT PowerFactory“-ში ჩატარებულია 100 მგვტ და 200 მგვტ დადგმული სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების მართვის იმიტირებული მოდელი საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემაში შესაძლო ძლიერ შემფოთებებზე.

პრაქტიკული გამოყენება. დამუშავებული იქნა კომპლექსური მიდგომა ისეთი ამოცანების გადაწყვეტისათვის, რომელიც დაკავშირებულია ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროდამაგროვებელი სისტემის დანერგვასთან და რომელიც იძლევა მაქსიმალური ეკონომიური ეფექტის მიღების საშუალებას.

სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 12 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე 2023 წელს მოხსენებული იქნა ქ. თბილისის საერთაშორისო სამეცნიერო – ტექნიკურ კონფერენციაზე „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, 2024 წელს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 88-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის ელექტროტექნიკის და ელექტრონიკის სექციაზე, 2024

წელს ქ. ქუთაისში, აკაკი წერეთლის სახელობის უნივერსიტეტში ენერგეტიკულ სისტემათა ინჟინერიის 1-ლ საერთაშორისო კონგრესზე და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში პირველ, მეორე, მესამე კოლოქვიუმებზე და წინასწარ დაცვაზე.

სამუშაოს სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 4 თავისაგან, დასკვნისაგან, 72 დასახელების ლიტერატურული წყაროსგან. დისერტაციის საერთო მოცულობა წარმოდგენილია 154 გვერდზე, შეიცავს 37 ნახაზსა და 34 ცხრილს.

ავტორეფერატში გამოყენებული აბრევიატურა

ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემა - „ბეედს“

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა - „სეეს“

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

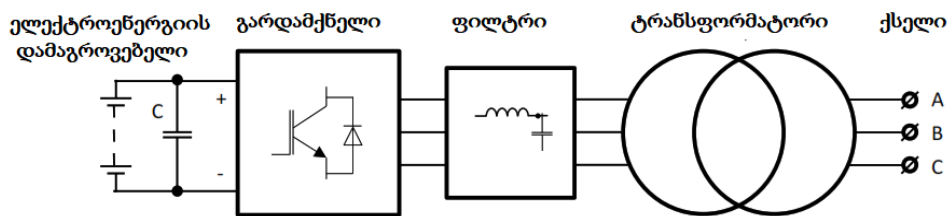
შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალობა და მისი მეცნიერული სიახლე. ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი, განსაზღვრულია კვლევის ობიექტი და კვლევისათვის გამოყენებული მეთოდები. განსაზღვრულია სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება.

ნაშრომის პირველ თავში მოცემულია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები. კერძოდ, ელექტროენერგიის დამაგროვებლების სისტემების გამოყენების საკითხის მდგომარეობის ანალიზი, ელექტროენერგიის დამაგროვებლების სისტემების გამოყენების წინამძღვრები და ბარიერები. ელექტროენერგიის დამაგროვებლების ქვესისტემების ტიპების შედარებითი ანალიზი, ელექტროენერგიის დამაგროვებლების სისტემების გამოყენების დარგების ანალიზი, ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების ფუნქციონირების ალგორითმისა და ჩართვის ადგილის შერჩევის მიმართ მიდგომების ანალიზი და ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების საზღვარგარეთის გამოცდილების ანალიზი.

ელექტროენერგიის დამაგროვებლები შედგებიან სამი ძირითადი ელემენტისგან:

- დაგროვების ქვესისტემისაგან;
- გარდაქმნის ქვესისტემისაგან;
- ქსელთან შეთანხმების ქვესისტემისაგან.

დაგროვების ქვესისტემა კომპლექტდება ელექტროენერგიის აკუმულატორებით და შეიცავს დამუხტვა/განმუხტვის მონიტორინგის სისტემას. გარდაქმნის ქვესისტემა ახორციელებს დაგროვების ქვესისტემის მუდმივი დენის ძაბვის გარდაქმნას ცვლად ძაბვად და პირიქით. განაწილების ქვესისტემაში ძირითად ელემენტს წარმოადგენს შემათანხმებელი ტრანსფორმატორი და საკომუტაციო აპარატურა. ყველა ჩამოთვლილი სისტემის შეთანხმებული მუშაობისათვის ელექტროენერგიის დამაგროვებლების სისტემას ემატება მართვის სისტემა. ნახ.1-ზე მოყვანილია ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის სტანდარტული სტრუქტურა.



ნახ.1. ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის სტანდარტული სტრუქტურა

დისერტაციაში მოყვანილია ელექტროენერგიის დამაგროვებლების სისტემის შემადგენლობაში გამოყენებული დაგროვების ქვესისტემის ტიპების დაწვრილებითი ანალიზი და წარმოდგენილია ენერგიის ზემოთმოყვანილი დამაგროვებლების ძირითადი მახასიათებლები, რომელთა საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნა, რომ ელექტროენერგიის დამაგროვებლების სისტემის შემადგენლობაში სამრეწველო დაწესებულებებში გამოყენებისათვის ყველაზე უფრო პერსპექტიულია ელექტროქიმიური ტიპის დამაგროვებლის ქვესისტემა ლითიუმ-იონური აკუმულატორული ბატარეების ბაზაზე.

დამაგროვებლების მაღალი ღირებულების გათვალისწინებით, მიზანშეწონილია რამდენიმე ფუნქციის გაერთიანება ერთ მოწყობილობაში. დაგროვების სისტემები საშუალებას გვაძლევს რამდენიმე პრობლემა ერთდროულად გადაიჭრას:

1. განახლებადი ენერგიის წყაროებზე დაფუძნებული ელექტროსადგურების ეფექტურობის ამაღლება და მათი ინტეგრირება ტრადიციულ ენერგოსისტემებში.
2. სიხშირის და აქტიური სიმძლავრის ნაკადების ავტომატური რეგულირება.
3. ყოველდღიური დატვირთვის გრაფიკების გასწორება.
4. ძაბვის ვარდნის თავიდან აცილება.
5. ელექტროგადამცემის გამტარუნარიანობის გაზრდა.

მსოფლიოს ქვეყნების ენერგეტიკულ სისტემებში დამაგროვებლების სისტემების პრაქტიკული გამოყენების გასაანალიზებლად გამოყენებული იქნა აშშ-ს მონაცემთა ბაზა.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის დინამიკური მდგრადობასა და მის პრობლემებს. ნაშრომის ამ თავში

მოცემულია საქართველოს გადამცემი ქსელის სტრუქტურა და მისი ძირითადი სუსტი ადგილები.

სისტემის დასავლეთ ნაწილში (ენგური-ზესტაფონის 500/220 კვ ძაბვის მაგისტრალი) ყველაზე დიდი პრობლემა იქმნება 500 კვ ძაბვის ეგზ „იმერეთის“ გამორთვის შემთხვევაში, რადგან 220 კვ ძაბვის მაგისტრალი ვერ უზრუნველყოფს მთლიანი სიმძლავრის გადაცემას.

საქართველოს გადამცემი ქსელის სისტემათაშორისო კავშირის ხაზები ძირითადად დაურეზერვებელია და მათი გამორთვა ქმნის ავარიის რისკს. გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, არსებობს რამდენიმე 220 კვ ჩიხური ხაზი, რომელთა გამორთვა აგრეთვე წარმოადგენს გარკვეულ საფრთხეს სისტემის მდგრადობისთვის.

მდგრადობისა და მომხმარებლების კვების საიმედოობის მიხედვით, საქართველოს ენერგოსისტემაში შეიძლება არსებობდეს ხუთი სახის ელექტრული რეჟიმი.

ეს რეჟიმებია: ნორმალური, სიფრთხილის, ავარიული, ექსტრემალური, აღდგენითი.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის მოხმარებასა და მიწოდებას შორის ბალანსს, რეგულარულად არღვევს მსხვილი საწარმოებისა და მომხმარებლების მიერ გამოწვეული უბალანსობა. მაგალითისთვის, ქვემო ქართლის რეგიონში მოხმარება შეიძლება მომენტალურად 60÷80 მგვტ-მდე შეიცვალოს, რაც საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის იზოლირებულ რეჟიმში ოპერირებისას საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის სიხშირეს 1 ჰერცზე მეტ დიაპაზონში მომენტალურად ცვლის.

აღნიშნული შემთხვევა არის ავარიის წყარო, რადგან სიხშირის 1 ჰერცით ცვლილება საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის დინამიკურ მდგრადობას უქმნის მნიშვნელოვან საფრთხეს.

რეჟიმული თვალსაზრისით ზემოთ ხსენებული მსხვილი საწარმოებისა და მომხმარებლის მიერ მომენტალურად 60÷80 მგვტ-ით დატვირთვა, განსაკუთრებით არასასურველია საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის

დინამიკური მდგრადობისთვის, როდესაც ხდება დამთხვევა დროში სადგურებზე გენერატორების მარქაფში გაჩერებისას,

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემა მსხვილი საწარმოებსა და მომხმარებელზე ელექტროენერგიის მიწოდების დროს სინქრონულ რეჟიმში მუშაობს აზერბაიჯანის, სომხეთის და რუსეთის ენერგოსისტემებთან, ხოლო თურქეთის ენერგოსისტემასთან არის ასინქრონული კავშირი მუდმივი დენის ჩანართით, ასევე არის თურქეთთან დამაკავშირებელი 220 კვ ეგხ, რომლითაც არ შედიან სინქრონში თურქეთის ენერგოსისტემასთან შესაძლო მზარდი გადადინებების საფრთხის გამო, აღნიშნული 220კვ ეგხ-ით მუშაობენ თურქეთთან ჩიხური სქემით.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მოხმარება-მიწოდების ცვლილებები ასევე აისახება მეზობელ ელექტროენერგეტიკულ სისტემებშიც, რაც ცვლის საერთო სიხშირეს.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის დინამიკური მდგრადობის უწყვეტი შენარჩუნებისთვის მნიშვნელოვან საფრთხეს წარმოადგენს 110კვ ეგხ-ები „ჯეოსთილი“, „მეტალურგია-2“ და ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა. აღსანიშნავია ისიც, რომ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა დიდ რეაქტიულ ენერგიას მოიხმარს და მისი ავარიული გამორთვა ქ/ს „ზესტაფონი-500“-ის კვანძში ძაბვების მნიშვნელოვან გაზრდასაც იწვევს.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემას დიდ საფრთხეს უქმნის ქვესადგურებში 500 კვ ატ-ების ავარიული გამორთვა. განსაკუთრებით ყურადსაღებია რეჟიმული სურათი, როდესაც ხდება ელექტროგადამცემი ხაზების ავარიულად გამორთვა, მათი მიწასთან მოკლედ შერთვის დროს სანამ დაცვა იმუშავებს და გამორთავს ელექტროგადამცემ ხაზს შესაძლებელია დაზიანების ადგილიდან მყისიერად იქნეს მოქაჩული სისტემიდან დიდი სიმძლავრე.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის მდგრადობის საიმედოობის გაზრდა განსაკუთრებით ეფექტური იქნება, როდესაც ელექტროენერგიის დამაგროვებელ სისტემებში გამოყენებული იქნება ორმხრივ ნახევარგამტარული გარდამქმნელი. რაც თავის მხრივ მოიცავს გამმართველს და ინვერტორს, რომელიც ენერგიას მართვის სისტემის საშუალებით მიაწვდის

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემას და ასევე მოიხმარს მისგან ენერგიას საჭიროების შემთხვევაში განახლებული ენერგიის მართვის სისტემის საშუალებით.

ნაშრომის მესამე თავში ჩატარებულია დამაგროვებლის გარეშე და 100მგვტ და 200მგვტ დადგმული სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების მართვის იმიტირებული მოდელის მაჩვენებელი პროგრამული იმიტაცია, გამოყენებულია პროგრამა DIgSILENT Power Factory.

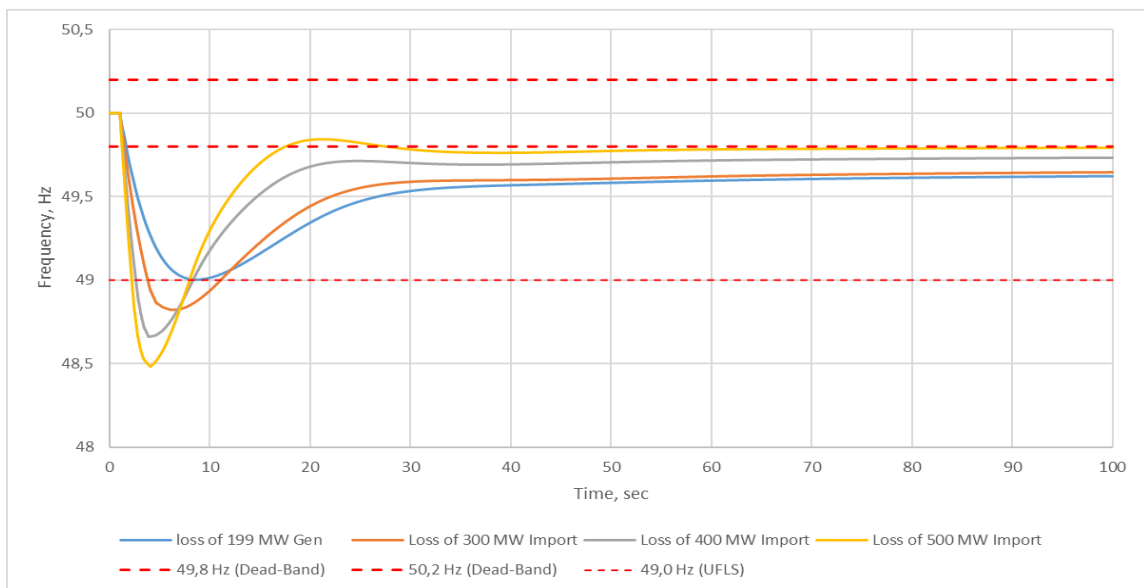
პარამეტრები:

- სტატიზმის კოეფიციენტი შეადგენს 2%-ს;
- სიხშირის მკვდარი ზონა, უგრძნობელობის ზონის გათვალისწინებით, შეადგენს 10 მლჰც-ს (0.01 ჰც);

ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მიერ

პერსპექტიული სადგურების აგრეგატების სიმძლავრის აღების (სიმძლავრის მომატების) სიჩქარე 3,33%/წმ. [52] (თ. მუსელიანი ი. ვ., 2025)



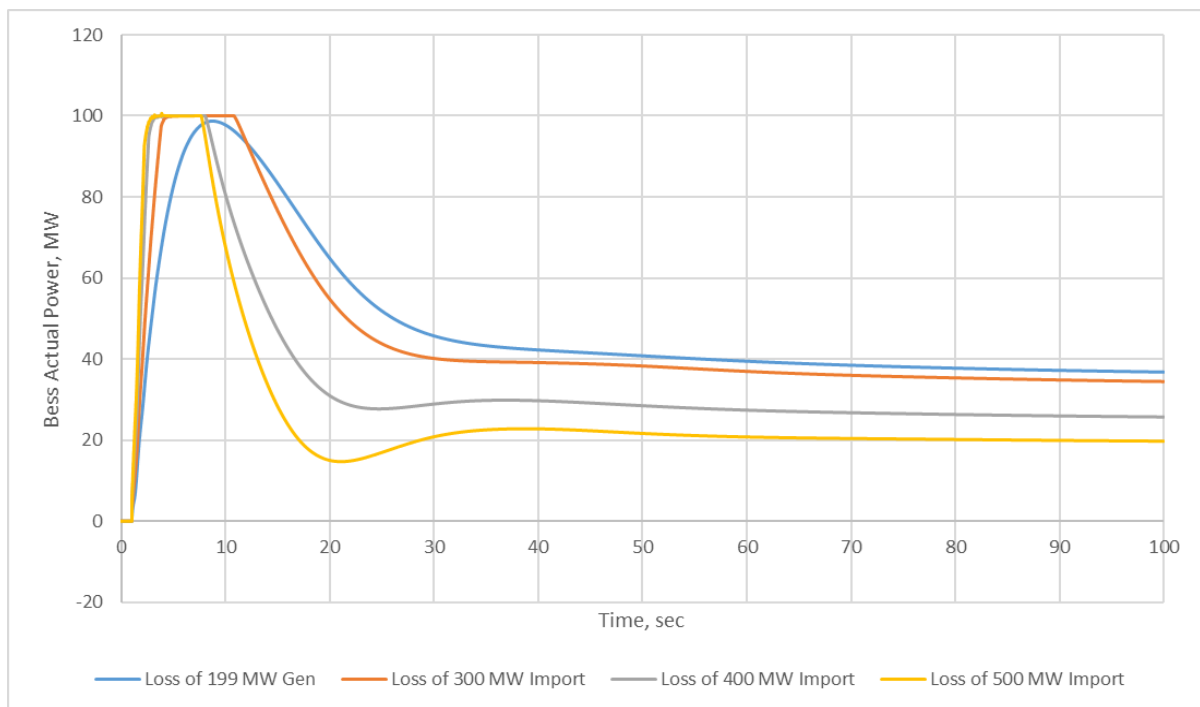
ნახაზი 2. 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 199 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 500 მგვტ

ცხრილი 1. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 199 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 500 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	199	300	400	500
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	1,00	1,18	1,34	1,52

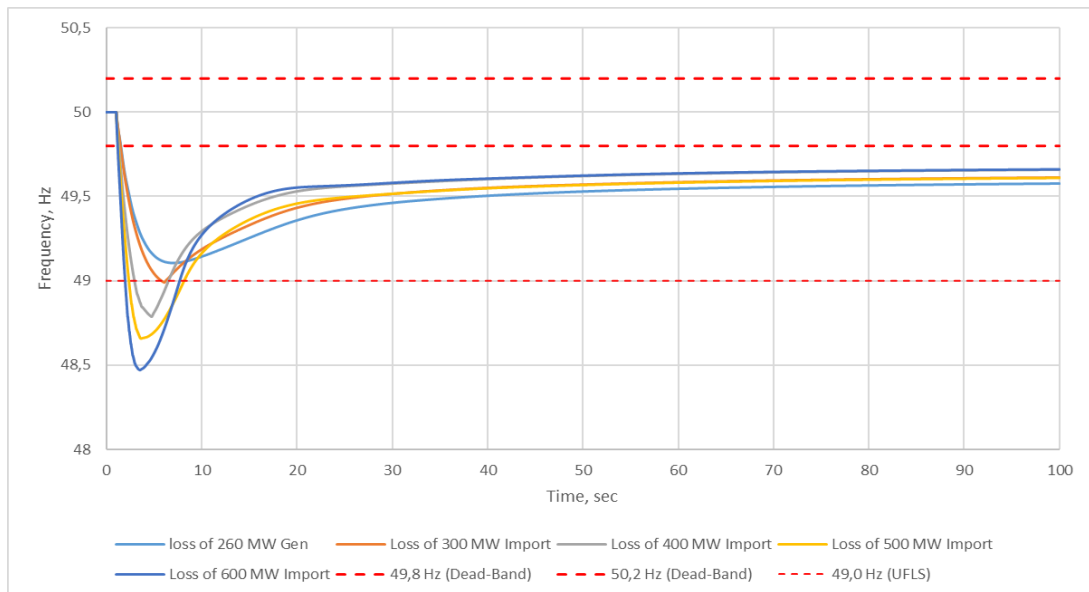
ცხრილი 2. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 199 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 500 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
199	0	0
300	2	117,05
400	4	272,10
500	6	413,30



ნახაზი 3. 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მიერ ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს „სეეს“-სთვის მიწოდებული სიმძლავრის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 199 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 500 მგვტ

**„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 200
მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მიერ**



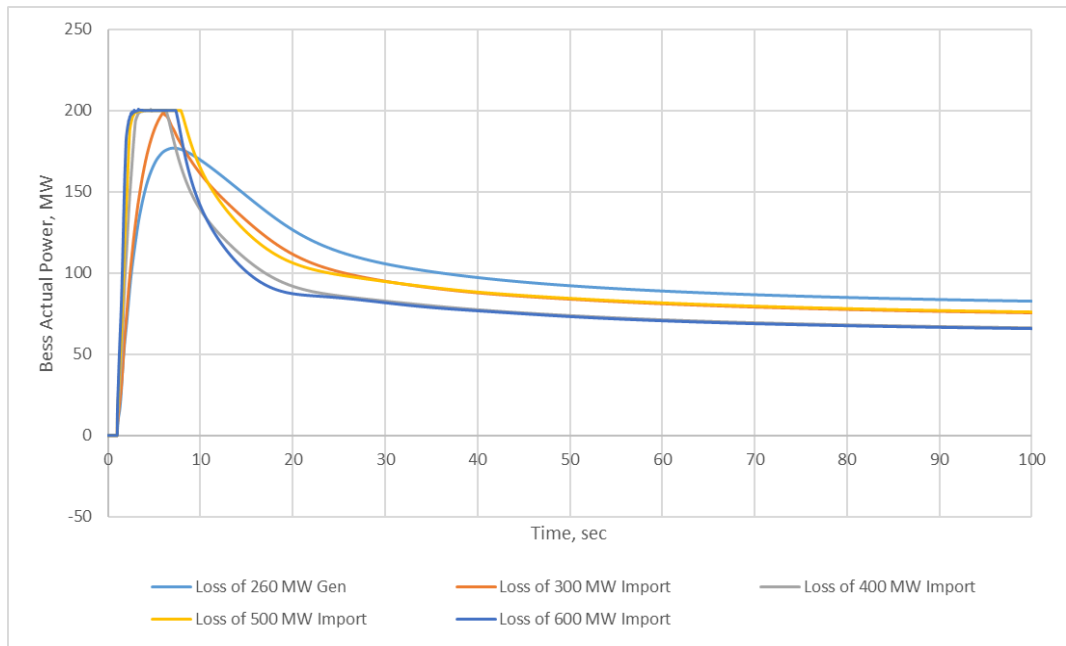
ნახაზი 4. 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

ცხრილი 3. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	260	300	400	500	600
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,89	1,01	1,21	1,34	1,53

ცხრილი 4. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

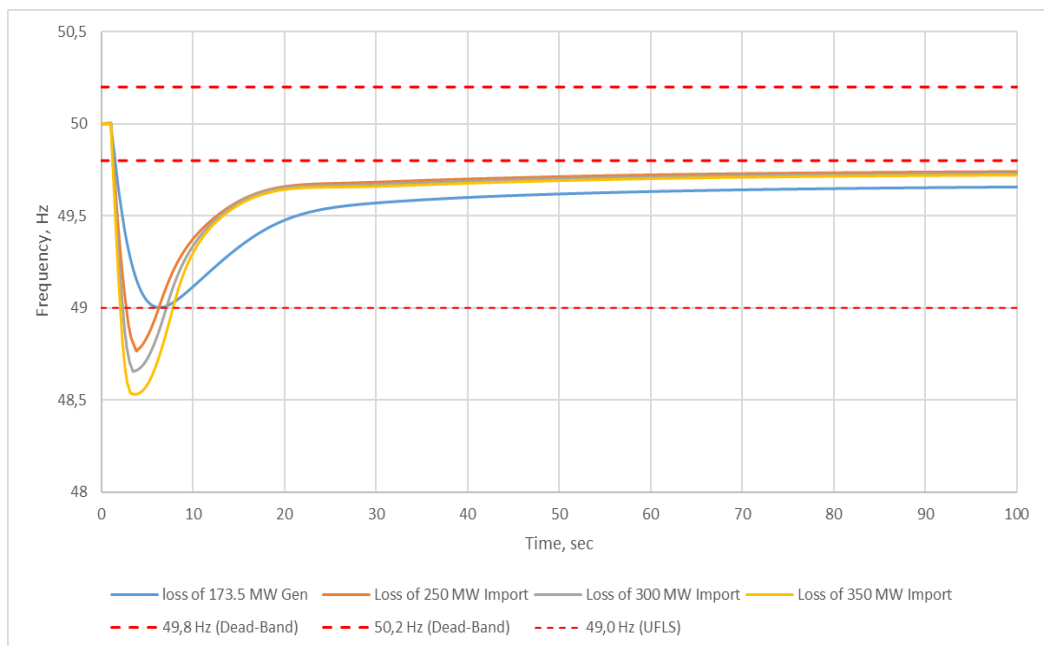
შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
260	0	0
300	1	63,84
400	3	197,71
500	4	272,10
600	6	413,30



ნახაზი 5. 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მიერ ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს „სეეს“-სთვის მიწოდებული სიმძლავრის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმი

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მიერ



ნახაზი 6. 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 173,5 მგვტ, 250 მგვტ, 300 მგვტ და 350 მგვტ

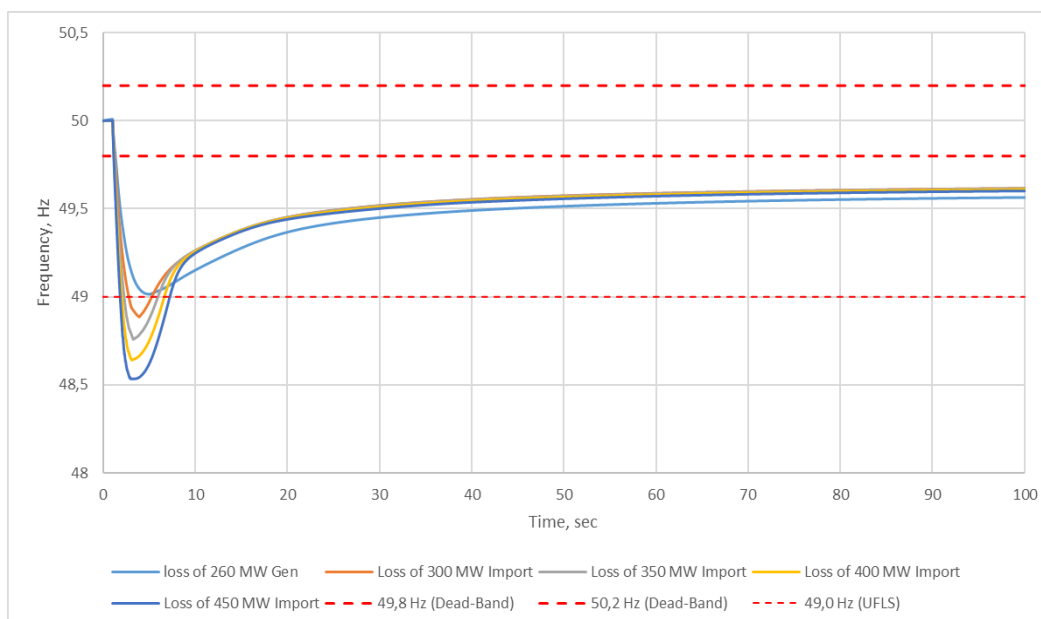
ცხრილი 5. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 173,5 მგვტ, 250 მგვტ, 300 მგვტ და 350 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	173.5	250	300	350
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	1,00	1,23	1,35	1,47

ცხრილი 6. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 173,5 მგვტ, 250 მგვტ, 300 მგვტ და 350 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
173.5	0	0
250	3	125,06
300	4	171,38
350	5	217,14

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მიერ



ნახაზი 7. 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 350 მგვტ, 400 მგვტ და 450 მგვტ

ცხრილი 7. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 350 მგვტ, 400 მგვტ და 450 მგვტ

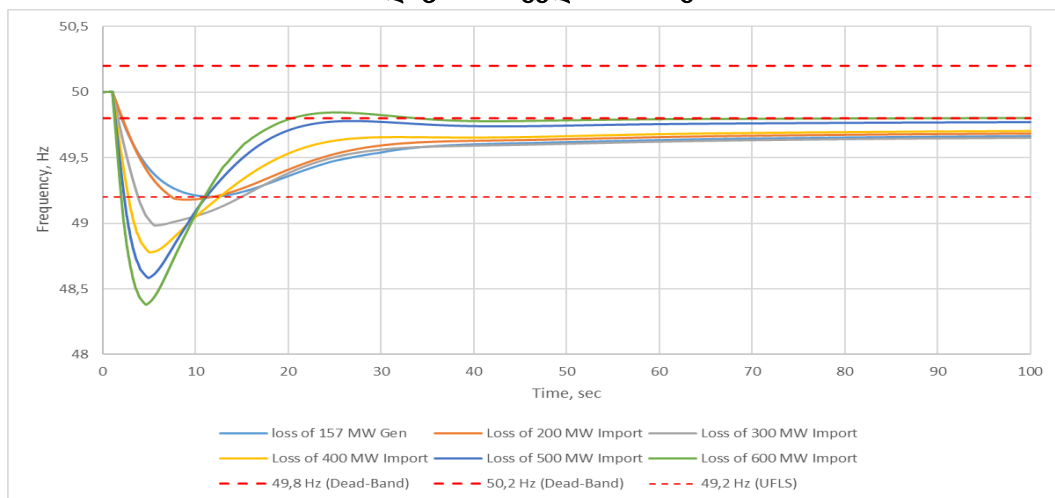
შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	260	300	350	400	450
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,99	1,11	1,24	1,36	1,47

ცხრილი 8. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 260 მგვტ, 300 მგვტ, 350 მგვტ, 400 მგვტ და 450 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
260	0	0
300	2	75,39
350	3	125,06
400	4	171,38
450	5	217,14

ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მიერ



ნახაზი 8. 100 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 157 მგვტ, 200 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

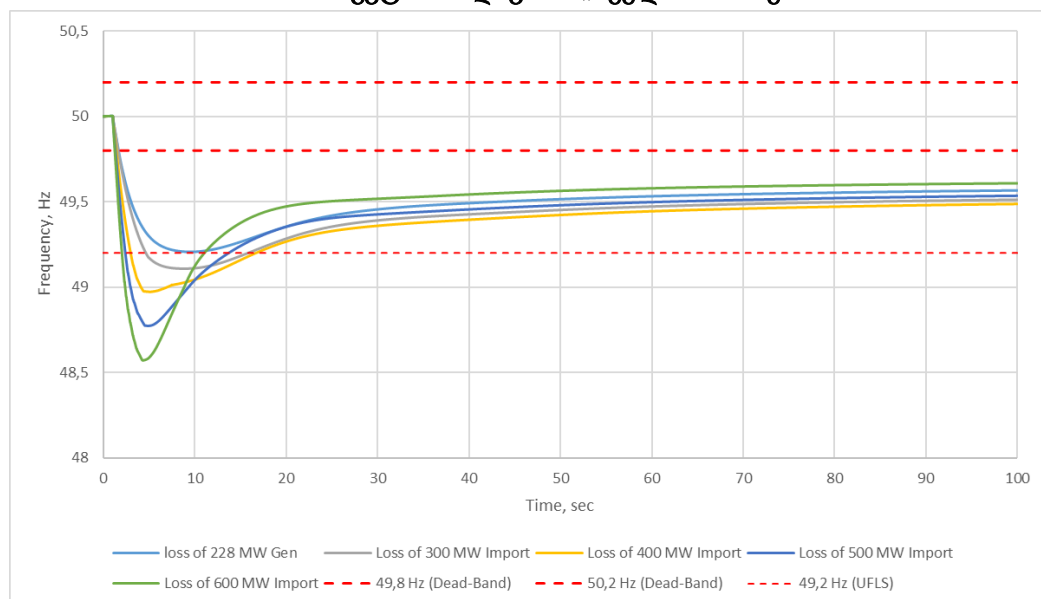
ცხრილი 9. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 157 მგვტ, 200 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 500 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	157	200	300	400	500
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	0,82	1,02	1,22	1,42

ცხრილი 10. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 157 მგვტ, 200 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 500 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
157	0	0
200	1	28,57
300	3	211,36
400	5	347,31
500	7	493,68

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მიერ



ნახაზი 9. 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 228 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

ცხრილი 11. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 228 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

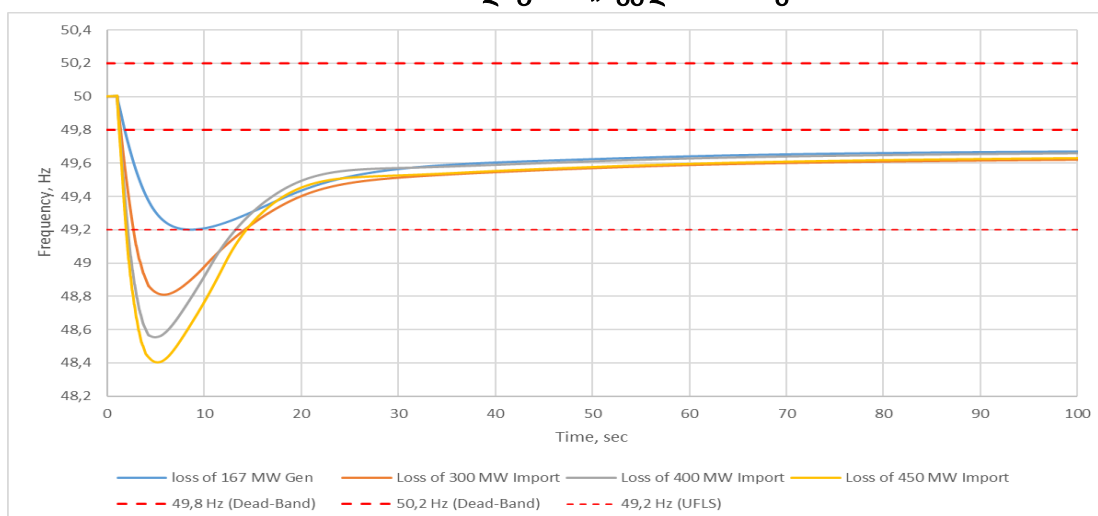
შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	228	300	400	500	600
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	0,89	1,03	1,23	1,43

ცხრილი 12. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 228 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 600 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
228	0	0
300	1	28,57
400	3	211,36
500	5	347,31
600	7	493,68

ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმი

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მიერ



ნახაზი 10. 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 167 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 450 მგვტ

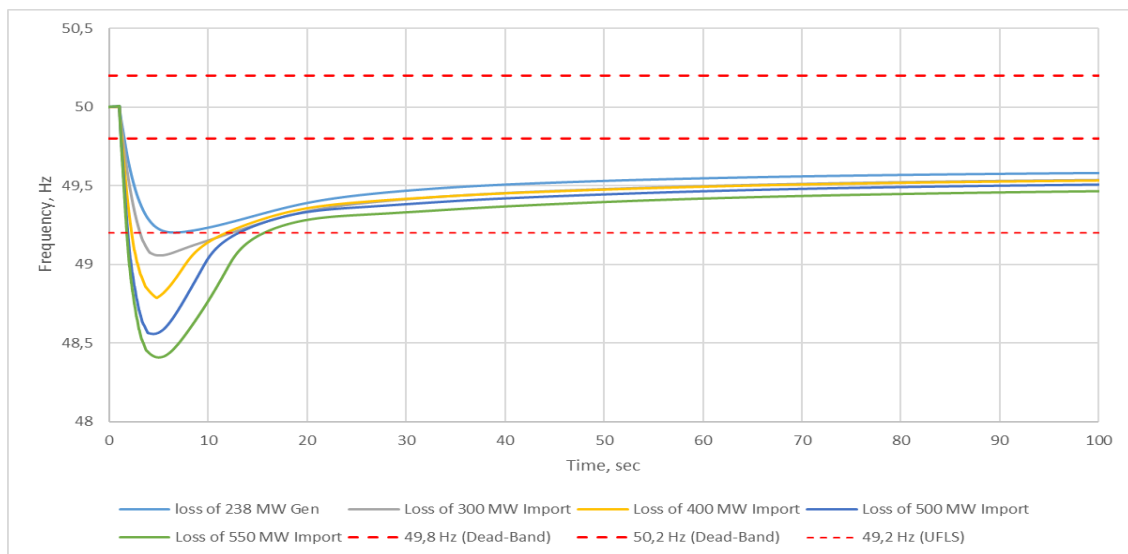
ცხრილი 13. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 167 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 450 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	167	300	400	450
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	1,19	1,45	1,60

ცხრილი 14. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 100 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 167 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ და 450 მგვტ

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
167	0	0
300	4	176,89
400	7	310,97
450	8	348,26

„სეეს“-ში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მიერ



ნახაზი 11. 200 მგვტ სიმძლავრის „ბედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს სიხშირის ცვლილების მრუდები, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 238 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 550 მგვტ

ცხრილი 15. სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 238 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 550 მგვტ

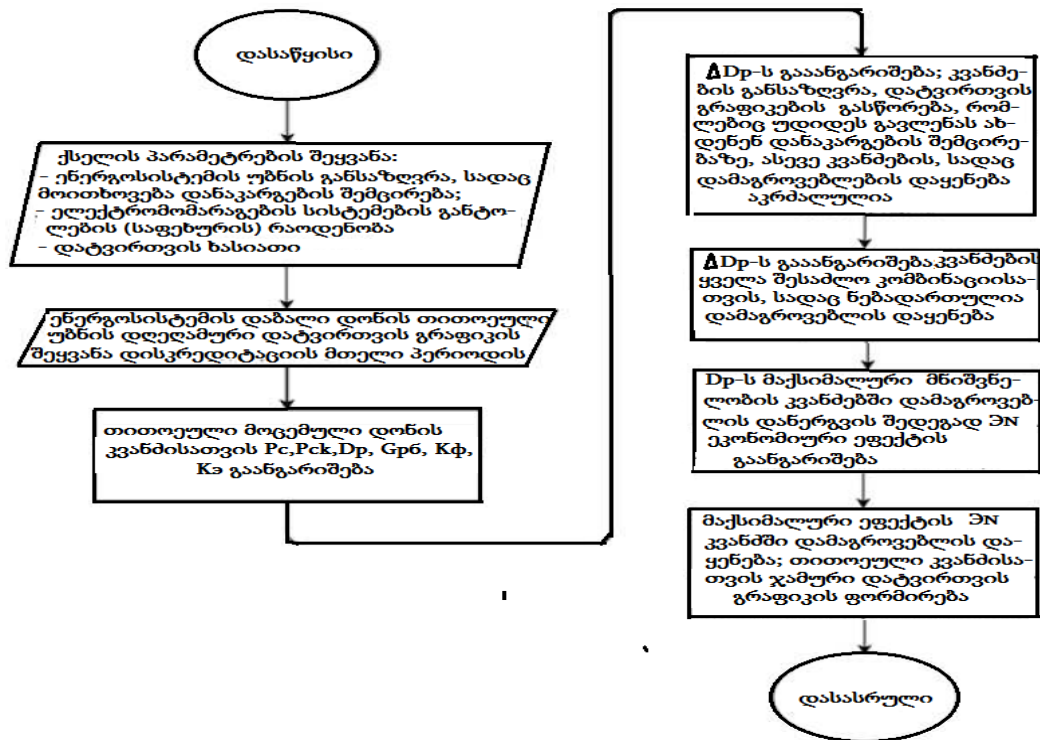
შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	238	300	400	500	550
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	0,94	1,21	1,44	1,59

ცხრილი 16. ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა და გამორთული ჯამური მოხმარება 200 მგვტ სიმძლავრის „ბეედს“-ის მონაწილეობით ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმის დროს, როდესაც შეშფოთების სიდიდე არის 238 მგვტ, 300 მგვტ, 400 მგვტ, 500 მგვტ და 550 მგვტ (თ. მუსელიანი ი. ვ., 2025)

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
238	0	0
300	2	98,32
400	5	218,79
500	7	310,97
550	8	348,26

ΔDp კრიტერიუმი, რომელიც დაფუძნებულია დატვირთვის გრაფიკების დისპერსიასა და ურთიერთ კორელაციაზე, რომელიც იძლევა საშუალებას დაწესებულების ელექტრომომარაგების სისტემის კვანძებში შევავასოთ მათი რეგულირების ეფექტიანობა, გარდა ამისა დამუშავებულია ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დაყენების ადგილის განსაზღვრის ალგორითმი, რომელიც დაფუძნებულია ელექტრომომარაგების სისტემის სტრუქტურულ ანალიზზე და ახლად შემოტანილი ΔDp კრიტერიუმის გამოყენებაზე.

იმისათვის, რომ შევავასოთ როგორ გავლენას მოახდენს დატვირთვის გრაფიკის ფორმის ცვლილება ერთ კვანძში Dp -ს მნიშვნელობაზე უფრო მაღალი დონის კვანძში და საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში, ვისარგებლოთ დატვირთვის გრაფიკის ურთიერთკორელაციური ფუნქციით:



ნახ.12. ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დაყენების ადგილის შერჩევის ალგორითმის ბლოკ-სქემა

$$P_{rs} = \left[\frac{1}{t_\theta} \left(\int_0^{t_\theta - \tau} P_r(t) P_s(t - \tau) dt + \int_0^{t_\theta - \tau} P_r(t) P_s(t - t_\theta + \tau) dt \right) \right] - P_{r\text{საშ}} P_{s\text{საშ}} \quad (1)$$

სადაც $P_r(t)$, $P_s(t)$ -ორი კვანძის დატვირთვის გრაფიკია, $P_{r\text{საშ}}$, $P_{s\text{საშ}}$ - ორი კვანძის სიმძლავრეთა საშუალო მნიშვნელობა, t_θ - ციკლის დროა.

მოცემულ კოეფიციენტს შეუძლია მიიღოს როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი მნიშვნელობა, რაც შემდეგში იქნება ნაჩვენები რა გავლენას ახდენს დისპერსიის მნიშვნელობაზე.

მოცემული კოეფიციენტის მნიშვნელობა საშუალებას იძლევა გავიანგარიშოთ სიმძლავრის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა და ჯგუფური დატვირთვის გრაფიკების დისპერსია.

$$P_{\text{საშ}}^2 = \frac{1}{t_\theta} \int_0^{t_\theta} (\sum_{r=1}^n P_r(t))^2 dt = \frac{1}{t_\theta} \int_0^{t_\theta} \sum_{r=1}^n P_r^2(t) dt + \frac{2}{t_\theta} \sum_{r < s} P_r(t) P_s(t) dt =$$

$$= \sum_{r=1}^n P_{r\text{საშ}}^2 + \sum_{r < s} (k P_{rs} + P_{r\text{საშ}} P_{s\text{საშ}}) \quad (2)$$

$$D_P = \sum_{i=1}^2 P_{r\text{საშ}}^2 + 2 \sum_{r < s} (k P_{rs} + P_{r\text{საშ}} P_{s\text{საშ}}) - (\sum_r P_{r\text{საშ}}^2 + 2 \sum_{r < s} P_{rs} p_{s\text{საშ}}) =$$

$$= \sum_{r=1}^n D_{P_r} + 2 \sum_{r < s} k p_{rs} \quad (3)$$

დანაკარგებში შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი გამოსახულება:

$$\begin{aligned}\Delta DP_n &= DP_k + 2\sum_k^t kP_{kt} \\ \Delta DP_m &= \sum_{n \in m} \Delta DP_n \\ \Delta DP &= DP_k + \sum_{m=2}^N DP_m\end{aligned}\quad (4)$$

მოყვანილი გამოსახულებები მართებულია იმ შემთხვევისათვის, როცა ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემა ყენდება რამდენიმე კვანძში:

$$\begin{aligned}\Delta DP_n &= \sum_k^t DP_k + 2\sum_k^t kP_{kt} \\ \Delta DP_m &= \sum_{n \in m} \Delta DP_n \\ \Delta DP &= \sum_k^t DP_k + \sum_{m=2}^N DP_m\end{aligned}\quad (5)$$

(5) გამოსახულება საშუალებას იძლევა გავიანგარიშოთ დისპერსიის ცვლილება ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დაყენებისას $k, \dots, t$ კვანძებში.

ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დანერგვისაგან მიღებული ეკონომიური ეფექტი ვიანგარიშეთ ფორმულით:

$$\Xi_{\text{ედს}} = \Xi_{\text{დგ}} - \Xi_{\text{ედს}} \quad (6)$$

სადაც $\Xi_{\text{დგ}}$ - არის დატვირთვის გრაფიკის გასწორებით მიღებული ეკონომიური ეფექტი; $\Xi_{\text{ედს}}$ - დანახარჯები ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემაზე.

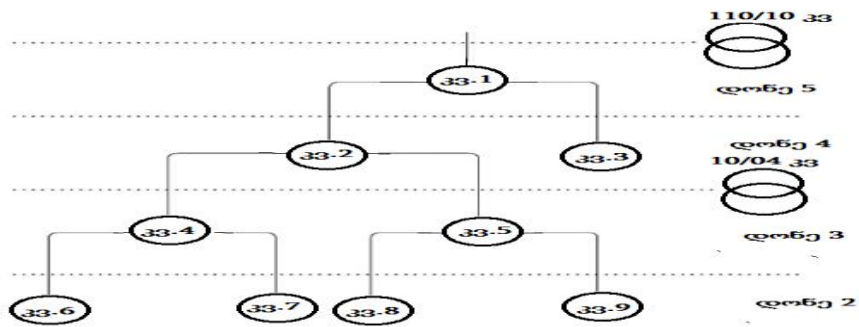
თავის მხრივ

$$\Xi_{\text{დგ}} = \Pi_{\theta} \Delta P_{\theta} T_{\theta} + \Pi_{\text{ეფ}} \Delta W + \Pi_{\text{ეფ}} \sum_{i=1}^n \Delta W_{\text{ედს}} \quad (7)$$

ხოლო

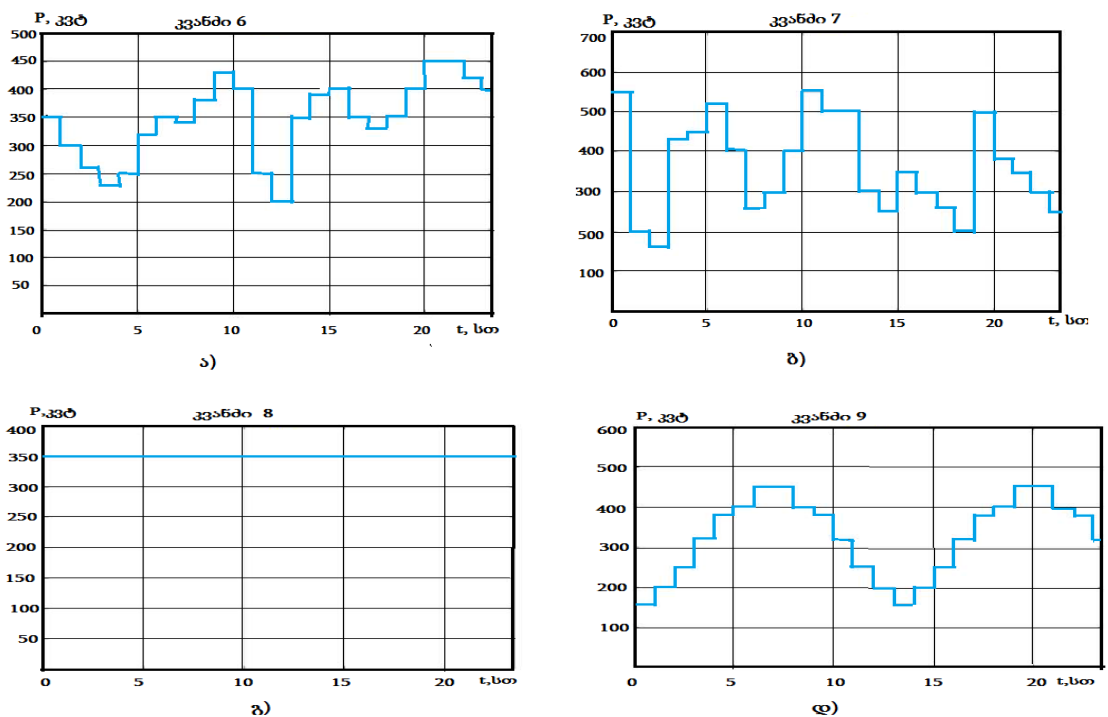
$$\begin{aligned}\Xi_{\text{ედს}} &= \Pi_{\text{ედს}} + (e_{\text{ეფ}} + \alpha_{\text{აა}}) \kappa_{\text{კდ}} C_{\text{ედს}} + (e_{\text{ეფ}} + \alpha_{\text{აინ}}) \kappa_{\text{ინვ}} P_{\text{ინვ}} + (e_{\text{ეფ}} + \alpha_{\text{გვმ}}) \kappa_{\text{გვმ}} Q_{\text{გვმ}} + \\ &\frac{1-\eta_{\text{ედ}}}{\eta_{\text{ედ}}} C_{\text{ედს}} \eta_{\text{ინვ}} \kappa_{\text{ეფ}} \Gamma_{\text{ედს}}\end{aligned}\quad (8)$$

განვიხილოთ მაგალითი, სადაც დამუშავებული ალგორითმით საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის უბანში (ნახ.13) განვსაზღვროთ კვანძი, სადაც დისპერსიის ცვლილება იქნება მაქსიმალური და შესაბამისად, ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დაყენება უფრო პერსპექტიულია.



ნახ.13. ენერგოსისტემის განსახილველი უბნის ჩანაცვლების სქემა

საწყის ინფორმაციად გამოყენებულია დაბალი დონის კვანძების დატვირთვის გრაფიკები დისკრეტიზაციის ერთიანი პერიოდით (30 წთ) (ნახ.17).



ნახ.14. განსახილველი კვანძების დღელამური დატვირთვის გრაფიკები

ცხრილი 17. დატვირთვის გრაფიკების საანგარიშო მაჩვენებლები

კვანძის #	$P_{საშ}$	$P_{საშ,k}$	DP	Σp	$K_{ფ}$	$K_{შევ}$
6	347,9	354,6	4691,5	68,494	1,0	0,77
7	360,8	3790	13466	116,0	1,05	0,65
8	359	350	0	0	1,0	1,0
9	327,9	341,3	8966,5	94,7	1,04	0,72

ცხრილი 18. ურთიერთკორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები

კოეფიციენტები	$K_{p\ 6-7}$	$K_{p\ 6-8}$	$K_{p\ 6-9}$	$K_{p\ 7-8}$	$K_{p\ 7-9}$	$K_{p\ 8-9}$	$K_{p\ 3-6}$
---------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

ურთიერთ კორელაციის ფუნქციის მაქსიმალური მნიშვნელობანი	-9,9	-0,008	23,9	-0,02	2,2	-0,008	-32,4
კოეფიციენტები	Kp ₃₋₇	Kp ₃₋₈	Kp ₃₋₉	Kp ₄₋₅	Kp ₃₋₄	Kp ₃₋₅	Kp ₂₋₃
ურთიერთ კორელაციის ფუნქციის მაქსიმალური მნიშვნელობანი	19,02	-0,04	-95	26,1	-13,4	-94,9	-10- 8,3

ცხრილი 19. ენერგოსისტემის ცალკეულ კვანძებში დისპერსიის მაქსიმალური ცვლილება ერთ რომელიმე კვანძში ელექტროენერგიის დამაგროვებელის დაყენების დროს

დამაგროვებლის დაყენების ადგილი	ΔD_{P1}	ΔD_{P2}	ΔD_{P3}	ΔD_{P4}	ΔD_{P5}	ΔD_{P6}	ΔD_{P7}	ΔD_{P8}	ΔD_{P9}
კვანძი # 1	39160								
კვანძი # 2	8689	30356							
კვანძი # 3	8805		30471						
კვანძი # 4	18711	21391		16177					
კვანძი # 5	-4809	14178			8965				
კვანძი # 6	1010	7495		2712		4691			
კვანძი # 7	15721	11916		11486			13466		
კვანძი # 8	0	0			0			0	
კვანძი # 9	-4817	14183			8964				8966

ცხრილი 20. ენერგოსისტემაში დისპერსიის მაქსიმალური ცვლილება ერთ რომელიმე კვანძში ელექტროენერგიის დამაგროვებელის დაყენების დროს

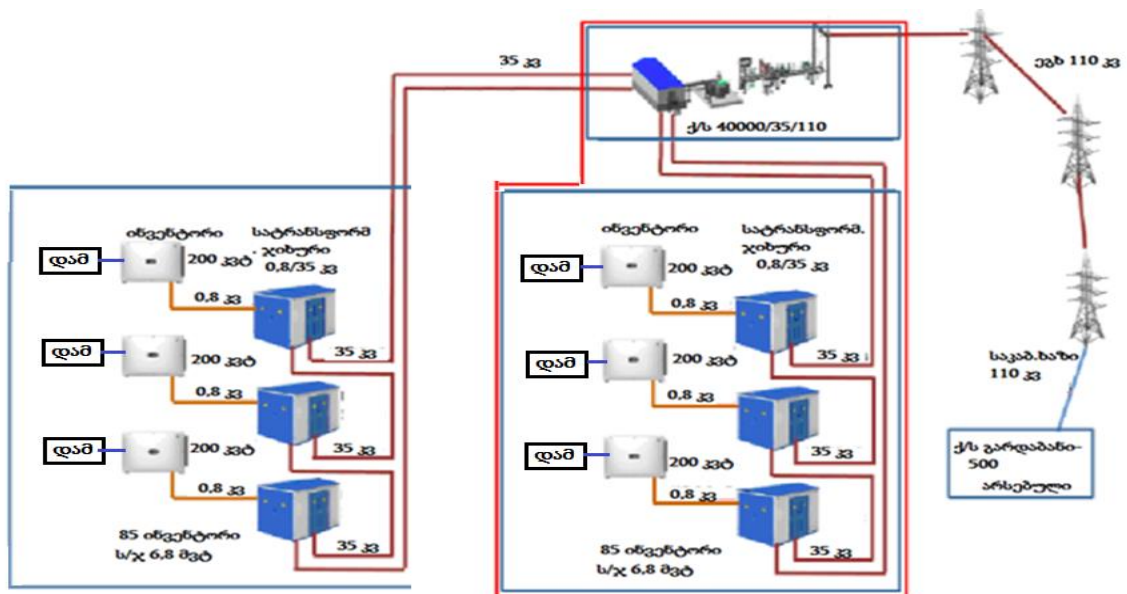
კვანძის #	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ჯამური ეფექტი, ΔD_P	39160	39044	39276	56279	18334	15908	52589	0	38784

ამგვარად, ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დანერგვის შედეგად მაქსიმალური ეფექტი მიიღწევა კვანძი # 4-ში დატვირთვის გრაფიკის გასწორების დროს.

ნაშრომის მეოთხე თავში წარმოდგენილია გარდაბნის 30 მგვტ სიმძლავრის მზის ელექტროსადგურის პროექტის დაწვრილებითი აღწერა თავიანთი

ცალხაზოვანი სქემებით. საპროექტო მზის ელექტროსადგური გარდაბნის 500/220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურს უკავშირდება 110 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზით.

ჩვენ სადისერტაციო სამუშაოში ვთავაზობთ პიკური დატვირთვის პერიოდში საქართველოს ელექტროსისტემის დინამიკური მდგრადობის ამალგების მიზნით მზის ელექტროსადგურის ტერიტორიასთან დამონტაჟებული იქნეს 30 მგვტ სიმძლავრის ელექტროენერგიის დამაგროვებელი ლითიუმ-იონური აკუმულატორის ბაზაზე, რომლის მოდერნიზებული სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია ნახ.15-ზე.



ნახ.15. გარდაბნის მზის ელექტროსადგურის მოდერნიზებული სტრუქტურული სქემა

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემა წარმოადგენს ელექტროენერგიის დამაგროვებელ სტანდარტულ მოდულურ კარდას IP54 დაცვის ხარისხით (ნახ.16).



ნახ.16. ლითონურ-იონური ელექტროდამაგროვებელი მოდულური სისტემა

დასკვნა

დისერტაცია წარმოადგენს დამთავრებულ სამეცნიერო ნაშრომს, რომელშიც დასმულია აქტუალური სამეცნიერო - ტექნიკური ამოცანის, ელექტროგადაცემის სისტემაში ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენების საკითხი. დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად:

- . შესრულებულია არსებული ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების მიმოხილვა და მათი გამოყენების ხერხების ანალიზი;

- . დადგენილია, რომ ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემებით ელექტროენერგეტიკული სისტემის შემოფოთების მცისიერი აღმოფხვრა არ არის დანერგილი საქართველოში და საჭიროებს კვლევებს, რადგან აღნიშნული დამაგროვებლების ენერგიის მართვის სისტემები იძლევა ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის უწყვეტ რეჟიმში შენარჩუნების შესაძლებლობას.

- . დასაბუთებულია ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების დაყენების ადგილის განსაზღვრასთან დაკავშირებული ახალი მეთოდების, ფუნქციონირების ალგორითმისა და სტრუქტურის დამუშავების საჭიროება;

- . შემოტანილია კრიტერიუმი ΔD_p , რომელიც საშუალებას იძლევა შევაფასოთ დაწესებულების ელექტრომომარაგების სისტემის კვანძებში დატვირთვის გრაფიკების რეგულირებით მიღებული ეფექტიანობა;

- . დამუშავებულია ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დაყენების ადგილის განსაზღვრის ალგორითმი, რომელიც დაფუძნებულია ΔD_p კრიტერიუმის გამოყენებაზე. იმ შემთხვევაში, როცა ΔD_p კრიტერიუმის მნიშვნელობა უარყოფითია, მაშინ არჩეულ კვანძში ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დაყენება რეკომენდირებული არ არის.

- . დადგენილია, რომ რაც უფრო დიდია ΔD_p კრიტერიუმის სიდიდე, მით უფრო ექვემდებარება რეგულირებას დატვირთვის გრაფიკი ამა თუ იმ კვანძში და მით უფრო დიდია დატვირთვის გრაფიკის გასწორებით მიღებული ეკონომიური ეფექტი;

- . დადგენილია, რომ ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით საჭიროა საქართველოს ელექტროსისტემის

კუთვნილ ყველა 500კვ-ის ქვესადგურის მიმდებარედ დამონტაჟდეს ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემები, ქსელისთვის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების რეგულირებისათვის;

. პროგრამა „DIGSILENT PowerFactory“-ში შესრულდა 100მგვტ და 200მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის მოქმედების იმიტაციის მოდელი სისტემაში შესაძლო მოსალოდნელ ძლიერ შემფოთებებზე და პროგრამულად დამტკიცდა მოქმედების ეფექტიანობა.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომების სია

1. მუსელიანი თ., ვახტანგაძე ი., ვახტანგაძე გ., ბურდიაშვილი ო., ჯინჭველეიშვილი ბ., ყამარაული ა. 100 მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელის მართვის იმიტირებული მოდელი ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2025, №1(112), გვ. 5-13.
2. მუსელიანი თ., ვახტანგაძე ი., ვახტანგაძე გ., ბურდიაშვილი ო., ჯინჭველეიშვილი ბ., ყამარაული ა. 200 მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელის მართვის იმიტირებული მოდელი ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2025, №1(112), გვ. 27-34.
3. Museliani T., Museliani G., Jintchveleishvili B. Foreign Experience of Electricity Storage Systems. Proceedings of 1st international Energy Systems Engineering Congress INESEC 2024, 18-19 October, 2024 Kutaisi, Georgia, p. 24-25.
4. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნება ნებისმიერი მყისიერი შეშფოთებების დროს ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2024, №1(109), გვ. 20-27.
5. ჯინჭველეიშვილი ბ. ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის კვლევა 500კვ ქს „ქსანი-500“-ის მიმდებარედ 200 მგვტ-ის სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2024, №1(109), გვ. 36-39.
6. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის გაუმჯობესების შესაძლო ვარიანტების განხილვა, ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის და ფოტოელექტრონული სისტემის დანერგვით საქართველოში. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2024, №1(109), გვ. 40-48.
7. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზი ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემებში ინტეგრირებული ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელების და ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით. სტუ-ის შრომები, SCOPUS CODE 2105, 2024, №4(534), გვ. 146 – 154.

8. მუსელიანი თ., ვახტანგაძე ი., ჯინჭველეიშვილი ბ. გამანაწილებელ ქსელში ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების შერჩევისა და მათი მდებარეობის ანალიზი. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2024, №2(110), გვ. 11-23.
9. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ., ყამარაული ა. ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით ქვეყნის გადამცემი სისტემის უსაფრთხო მუშაობის უპირატესობები. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2024, №3(111), გვ. 5-10.
10. ჯინჭველეიშვილი ბ. დიდი სიმძლავრის ელექტროენერგიის დამაგროვებლები ელექტროენერგეტიკული სისტემის რეჟიმული მდგრადობის უწყვეტ რეჟიმში შენარჩუნების უზრუნველყოფისათვის და კონკურენტული ბაზრების განვითარებისათვის საქართველოში. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2023, №1(105), გვ. 13-21.
11. Museliani T. Jintchveleishvili B. In order to increase the stability of the electric power system, installation of battery energy storage system near 500 kv substations and justification of its need. International organization of scientific research – IOSR-JEEE. E-ISSN:2278-1676, p-ISSN:2320-3331, Volume 18, Issue 4 Ser. I (July.-August. 2023), pp.12-15.
12. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. ბატარეას ენერგიის დამაგროვებელი სისტემა, რომლის მიზანია გახადოს ენერგეტიკის სექტორი უფრო ხელსაყრელი, კლიმატთან და გარემოსთან მიმართებაში. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2023, №2(106), გვ. 24 – 36.
13. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. ელექტროენერგიის დამაგროვებლების გამოყენების ეკონომიური ეფექტურობა ენერგოსისტემაში. სერია: „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2023, №3(107), გვ. 42-45.
14. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. კონკურენტული ბაზრების პირობებში ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროენერგიის დამაგროვებლების ეკონომიკური სარგებლიანობის შეფასება. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“, 2023, №1(105), გვ. 22-27.
15. Jintchveleishvili B. In order to increase the stability of the electric power system, installation of energy storage near 500 kv substations and justification of its need. Scientific-technical refereed journal „Energy“. 2022, №3-4(103-104), pp. 90–95.

Abstract

One of the main indicators of the efficiency of using electricity supplied to production is the electrical load schedule. The electrical loads of modern power systems have a pronounced unevenness in daily, weekly, seasonal and annual intervals.

Analysis of load schedule changes shows that the daily load schedules of modern power systems, as a rule, have two clearly defined peaks. Between the peaks there is a reduced load zone, and at night there is an even deeper reduction. Hence the need to store energy and use it during peak load hours. One of way to solve this problem is to include devices in energy systems that, on the one hand, ensure equal loading of power plants, and on the other hand, reliable power supply and a variable energy consumption schedule. Such devices include various types of energy storage devices. Electricity storage devices are the most promising types of energy storage devices, and therefore, the introduction of their practical use in Georgia is a highly relevant topic in order to improve the operating modes of the power system and its dynamic and static stability. (Infrastructure center EnergyNet, 2019) (Placeholder1) (Baghbanzadeh, 2021) (Placeholder) (Placeholder1) (L.V., 2019)

The first chapter of the paper presents the results of a literature review. In partucular, an analysis of the state of the art of using electricity storage systems, as well as the drivers and barriers to using electricity storage systems. Comparative analysis of types of electricity storage subsystems, analysis of areas of application of electricity storage systems, analysis of approaches to the operation algorithm of electricity storage systems and selection of the place of inclusion, and analysis of foreign experience of electriccity storage systems.

Specialists in the field have long been engaged in balancing the load schedules of power systems, and this task is one of the most important tasks of power system optimization.

As a result of the analysis of scientific literature, it has been concluded that the most promising subsystem of an electrochemical type accumulator based on lithium-ion batteries is the one for use in industrial facilities as part of an electricity storage system.

The use of electricity storage systems in the power industry is practiccaly not implemented in Georgia, since the requirements for energy storage devices in terms of power and energy intensity were quite low, while this is quite possible today, which makes it possible to gain experience in their operation and develop algorithms and laws for their control. With the development of technologies and the diversity of storage systems, the cost is inevitably decreasing, and they should be actively in demand in the Georgian energy sector.

The second chapter of the paper is devoted to the dynamic stability of the Georgian state power system and its problems. This chapter of the paper presents the structure of the Georgian transmission network and its main weaknesses. The issues of the dynamic stability of the Georgian power system are discussed and ways of its maintenance are proposed. A study of the dynamic stability of the power system using a 200 MW battery energy storage system near the 500 KV substation “Ksani-500” has been conducted, and a dynamic stability analysis of the Georgian power system using a

bidirectional semiconductor converter and energy management system integrated into battery energy storage systems is provided.

Georgian transmission network is located mainly horizontally from the western part of the country to the eastern part. However, the majority of hydropower generation is located in the western part of the country, while the majority of consumption falls on the eastern part. This imbalance is especially noticeable during the spring-summer season.

It is argued that increasing the reliability of the stability of the electric power system will be particularly effective when two-way semiconductor converters are used in energy storage systems.

The third chapter of the work presents the issues of developing an algorithm for the location of energy storage systems and selecting economic parameters for enterprise power supply systems, approaches to selecting energy storage systems and analyzing their location in power distribution networks, an algorithm for determining the location of energy storage systems, and the use of energy storage systems to reduce voltage deviations on 0.4 KV voltage taps of a transformer substation.

Incorrect selection of energy storage systems can lead to economic inefficiency in its use, while incorrect placement of storage systems can lead to a reduction in the capacity of the distribution network.

When developing an algorithm for determining the location of an energy storage system connection, the main task is to minimize electricity losses in the network.

To solve the problem of determining the location of the energy storage system, an algorithm has been developed, which is based on the analysis of the correlation of load graphs.

Simulation was performed in the program “DIGSILENT PowerFactory”, without the energy storage system being involved and the maximum dynamic frequency deviation in the system during disturbance was shown, a simulated model of storage management involving a battery energy storage system with an installed capacity of 100 MW and 200MW is also shown. The dynamic stability of the power system in all three cases mentioned above is compared and discussed.

The fourth chapter of the paper states that the Georgian power system was planned to operate synchronously with the large unified system. As a result of losing connection to this system, the Georgian power system will enter an isolated mode, which will most likely result in a generation or consumption deficit that could amount to 25-30% of the entire system.

The dissertation presents a detailed description of the Gardabani 30 MW solar power plant project with its single-line diagrams. The proposed solar power plant is connected to the Gardabani 500/220/110 KV substation via a 110 KV overhead power line. The electricity generated by the power plant is used to supply electricity to consumers in Georgia.