

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით დათაშვილი

საქართველოს ენერჯისტიკაში განახლებადი არატრადიციული
ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის შესაძლებლობის შეფასება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: "ენერჯეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

თბილისი

2018 წელი

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

ხელმძღვანელი: პროფესორი მ. რუხვაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2018 წლის "-----" ----- "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე

კორპუსი VIII, აუდიტორია

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. კლიმატურ ცვლილებებთან ბრძოლა მთელს მსოფლიოში აქტუალური საკითხია, რადგან აქტუალობა გამოიწვია წყლისა და ჰაერის დაბინძურების ზრდამ, დაბინძურების ძირითადი გამომწვევ მიზეზია წიაღისეული საწვავის გამოყენება, ამიტომ მნიშვნელოვანი ხდება ისეთი ენერჯის წყაროს პოვნა რომელიც არ გამოყოფს ნახშირორჟანგს, საქართველო მდიდარია როგორც ჰიდრო რესურსით ასევე ქარისა და მზის ენერჯის განახლებადი რესურსებით, განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის ზრდა საქართველოს ელექტრულ სისტემაში ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხია როგორც გარემოს დაცვის კუთხით ასევე ენერგოდამოუკიდებლობისათვის.

არსებული მეთოდების ნაკლოვანება. მიუხედავად იმისა რომ განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციას აქვს ბევრი დადებითი მხარე გარემოზე ზემოქმედების კუთხით, მას ახასიათებს აგრეთვე ნაკლოვანებები რომლებიც გამოხატულია გამომუშავებული სიმძლავრის სწრაფ ცვლილებასთან ქარის ელექტროსადგურის შემთხვევაში რაც იწვევს სიმძლავრის ბალანსის დარღვევას რაც იწვევს სიხშირის რხევას ენერგოსისტემაში, სიხშირის გარკვეულ სიდიდემდე დაცემა გამოიწვევს სიხშირით ავტომატური განტვირთვის მოწყობილობის მოქმედების შედეგად ელ.ენერჯის მომხმარებლების გამორთვას სიმძლავრის ბალანსის აღსადგენად, მომხმარებლების გამორთვისაგან თავის ასარიდებლად საჭიროა სიმძლავრის დამატებითი რეზერვების შექმნა, მზის ელექტროსადგურებს არ ახასიათებთ გამომუშავებული სიმძლავრის მკვეთრი ცვლილება მაგრამ მათი ნაკლოვანება შედგება ტექნოლოგიის სიძვირეში რაც იწვევს გამომუშავებული სიმძლავრის ფასის ზრდას.

სამუშაოს მიზანი. საქართველოს ელექტროსისტემაში განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის აუცილებლობიდან გამომდინარე საჭიროა მოიძებნოს განახლებადი ენერჯის ელ.სადგურების ტიპები და

დადგმული სიმძლავრის მოცულობები რომელთა ინტეგრაციაც შესაძლებელია საქართველოს ენერგოსისტემაში და მათი ინტეგრაცია არ გამოიწვევს ენერგოსისტემის მდგრად და საიმედო მუშაობის დარღვევას, საქართველოს ენერგოსისტემაში განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის შესწავლა წარმოადგენს ამ ნაშრომის მიზანს.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. ამ ნაშრომის კვლევის ობიექტია საქართველოს ენერგოსისტემის განახლებადი ენერჯის წყაროების მიერთების შესაძლებლობა და განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის გავლენა საქართველოს ენერგოსისტემაზე. განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის საქართველოს ენერგოსისტემაზე გავლენის შესაფასებლად ანგარიშები ჩატარებული საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ში.

მეცნიერული სიახლე. გორის ქარის ელექტროსადგური არის პირველი ქარის ელექტროსადგური კავკასიაში, ამგავრად ნაშრომში წარმოდგენილი ანგარიშები პირველი მცდელობაა შესწავლილ იქნას ქარის ელექტროსადგურის გამომუშავებული სიმძლავრის გავლენა საქართველოს ენერგოსისტემაზე, ნაშრომში ანგარიშები ჩატარებულია საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ში, მზის ელექტროსადგურებისათვის შექმნილია სპეციალური მოდელი რომელიც პირველია მთელს კავკასიაში და მის მეზობელ ენერგოსისტემებში, ასევე პროგრამა PSS/E -ის ბიბლიოთეკიდან აღებულ იქნა ქარის ელექტროსადგურის მოდელი რომლის მეშვეობითაც იქნა ჩატარებული დინამიური მდგრადობის ანგარიშები ქარის ელექტროსადგურების გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების საქართველოს ელექტრულ სისტემაზე ზეგავლენის შესაფასებლად. ნაშრომში გაკეთებულია რეკომენდაციები განახლებადი არატრადიციული ენერჯის წყაროების ტიპებისა და დასაშვები მოცულობების საქართველოს ელექტროსისტემაში ინტეგრაციასთან დაკავშირებით.

შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში ჩატარებული ანალიზის შედეგების საფუძველზე შესაძლოა გაიცეს რეკომენდაციები საქართველოს ენერგოსისტემაში განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის მოცულობებთან და დასაინტეგრირებელი ელექტროსადგურის ტიპებთან დაკავშირებით, რადგან სხვადასხვა სახის განახლებადი ენერჯის წყარო ახდენს სხვადასხვა გავლენას ენერგოსისტემაზე, ცალ-ცალკეა შესასწავლი თითოეული წყაროს ზემოქმედება ენერგოსისტემაზე და თითოეული წყაროს მაქსიმალური დასაშვები დადგმული სიმძლავრე რომელიც შეიძლება იქნეს ინტეგრირებული საქართველოს ენერგოსისტემაში. რაც იძლევა იმის საშუალებას რომ ერთის მხრივ თავიდან ავირიდოთ გარემოს დაბინძურება წიაღისეული საწვავის დაწვით და შევამციროთ ნახშირორჟანგის დონე და მეორეს მხრივ არ მოხდეს საქართველოს ენერგოსისტემის მდგრადი და საიმედო მუშაობის დარღვევა განახლებადი ენერჯის გენერირების ცვალებადობის გამო რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ელექტროენერჯის მომხმარებლების გამორთვა ან ენერგოსისტემის ელემენტების დაზიანება.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომი ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე. აგრეთვე, მოხსენებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მეხუთე ღია საერთაშორისო ეკონომიკურ კონფერენციაზე - "IEC-2017 ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუშინ, დღეს, ხვალ". სექცია 4 - ეროვნული ეკონომიკური დარგების განვითარების ძირითადი მიმართულებები. ქუთაისი, საქართველო, 2017 წელი.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სტატია.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 108 გვერდის, მათ შორის 4 ცხრილს და 82 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. ქარის ენერჯიდან ელექტროენერჯის მიღება და ბუნებაზე ზეგავლენა

ქარის გენერატორის სიმძლავრე დამოკიდებულია გენერატორის ფრთის ფართობზე და მისი განლაგების სიმაღლეზე. თანამედროვე ქარის გენერატორის ჯამური სიმაღლე არის 115 მეტრი. კომპლურის სიმაღლე 70 მეტრი, ფრთების დიამეტრი 90 მეტრი.

მიწის ზედაპირზე ჰაერის ნაკადი არის ლამინარული სახის - ქვემოთა ფენები ამუხრუჭებენ ზედაფენებს. ეს ეფექტი შეიმჩნევა 1 კმ სიმაღლემდე, მაგრამ სწრაფად მცირდება 100 მეტრზე მეტ სიმაღლეზე. ამ ზღვარზე მაღლა განლაგებული ქარის გენერატორი ერთდროულად იძლევა იმის საშუალებას რომ გაიზარდოს ფრთების დიამეტრი და ამავდროულად ათვისებულ იქნას ქარის ელექტროსადგურის მიმდებარე ტერიტორია (მაგალითად მიწათმოქმედებისათვის). თანამედროვე გენერატორები (2010 წლიდან) უკვე გასცდნენ ამ ზღვარს და მათი რაოდენობა მკვეთრად იზრდება.

ბოლო ორი-სამი ათწლეულის განმავლობაში მოხდა მათი გამოყენების და სრულყოფის სწრაფი ზრდა. ამჟამად, მსოფლიოში ქარის სადგურებზე წარმოებული ენერჯის სიდიდე უახლოვდება გაზზე მომუშავე თბოსადგურების მიერ გამომუშავებულ ენერჯიას. მიუხედავად

ასეთი სადგურების დადებითი თვისებებისა, მათ გააჩნიათ გარკვეული უარყოფითი თვისებებიც. ქარის ელექტროსადგურის მიერ განვითარებული სიმძლავრე დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე. ქარის გენერატორი იწყებს სიმძლავრის გაცემას თუ ქარის სიჩქარე 2-3 მ/წამია. ქარის სიჩქარის ზრდასთან ერთად ეს სიმძლავრე იზრდება და აღწევს გენერატორის ნომინალურ სიმძლავრეს ქარის 12 მ/წმ სიჩქარის დროს. თუ ქარი გაძლიერდა და მისმა სიჩქარემ გადააჭარბა 25 მ/წმ (90კმ/სთ, ქარიშხალია), გენერატორი გაითიშება ვინაიდან მისი ბრუნთა რიცხვი ხდება დაუშვებელი, ქარის სიჩქარე არ არის მუდმივი და დღე-ღამის განმავლობაში შეიძლება მნიშვნელოვნად იცვლებოდეს. შესაბამისად ცვლადი იქნება გენერატორის მიერ გაცემული სიმძლავრე. ეს ქმნის გარკვეულ სიძნელეებს ელექტრული სისტემის მუშაობაში. ასეთი ქაოსურად ცვლადი გენერაცია იწვევს სიხშირის რყევას. ეს კი არ არის დასაშვები და საჭირო ხდება დამატებითი ტექნიკური ზომების მიღება ამ მოვლენის წინააღმდეგ. როგორც ყველა ტიპის ელექტროსადგურის შემთხვევაში, წარმოებული ენერჯის თვითღირებულების შესამცირებლად საჭიროა გენერატორის სიმძლავრის გაზრდა. ერთეული ქარის გენერატორის სიმძლავრემ 2014 წელს მიაღწია 8 მეგავატს. გენერატორს აბრუნებს ტურბინა რომლის დიამეტრია 165 მეტრი და თვითონ გენერატორი მდებარეობს 220 მეტრი სიმაღლის კოშკის თავზე. ეს ხელასყრელია, ვინაიდან დედამიწის ზედაპირთან შედარებით, სიმაღლის ზრდასთან ქარის სიჩქარე მატულობს.

ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვა ქარის გენერატორის კონსტრუქციამ სამი ფრთით და ჰორიზონტალური ღერძით, თუმცა ზოგჯერ ისევ გვხვდება ორფრთიანი გენერატორებიც. იმ ადგილებისათვის სადაც ქარის სიჩქარე შედარებით მცირეა ბევრად ეფექტურია გენერატორები ვერტიკალური ღერძით. ბოლო დროს ქარის გენერატორების მწარმოებლები იწყებენ ვერტიკალურღერძიანი გენერატორების წარმოების გაზრდასაც რადგან ელექტროენერჯის ყველა მომხმარებელი სანაპიროზე არ ცხოვრობს და კონტინენტური ქარის სიჩქარე 3 მ/წმ დან 12 მ/წმ დიაპაზონშია. ესეთ

რეჟიმში ვერტიკალურ ღერძიანი გენერატორების ეფექტურობა ბევრად უფრო მაღალია. ვერტიკალურღერძიანი გენერატორებს აქვს კიდევ რამოდენიმე უპირატესობა, მათ არ ჭირდებათ არანაირი მომსახურება 20 წლის განმავლობაში, ისინი გაცილებით ჩუმიად მუშაობენ ჰორიზონტალურ ღერძიან გენერატორთან შედარებით, ბოლო წლებში დამუხრუჩების სისტემის დახვეწამ განაპირობა ესეთი გენერატორების სტაბილური მუშაობა 60 მ/წმ ქარის სიჩქარის დროსაც.

არსებობს ქარის გენერატორების ხუთი ტიპი:

- I. ასინქრონული გენერატორი (მოკლედ შეკრული როტორით);
- II. ასინქრონული გენერატორი ფაზური როტორით;
- III. ორმაგი კვების გენერატორი;
- IV. სინქრონული გენერატორი მიერთებული ქსელთან მუდმივი დენის ჩანართით;
- V. სინქრონული გენერატორი ავტომატური სიჩქარის კოლოფით.

პირველი ტიპის ქარის გენერატორი მიერთებულია უშუალოდ ქსელთან ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის საშუალებით. მისი მუშაობისათვის საჭიროა რეაქტიული სიმძლავრე რომელსაც ის ღებულობს ან ქსელიდან ანდა მის მომჭერებზე მიერთებული ტევადობიდან. როდესაც გენერატორის ბრუნთა რიცხვი აღემატება სინქრონულს და მისი
$$s = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$$
 სრიალი ხდება დადებითი, ის იწყებს აქტიური სიმძლავრის გაცემას ქსელში, გენერატორი მიერთებულია ქარის ტურბინასთან რედუქტორის საშუალებით. ქარის სიჩქარის ცვლილებისას ტურბინის ბრუნთა რიცხვი რომ დარჩეს საჭირო დიაპაზონში, ხდება ტურბინის ფრთების დახრის კუთხის ავტომატური რეგულირება. მაგრამ ასეთი გენერატორის მუშა დიაპაზონი ბრუნთა რიცხვის თვალსაზრისით საკმაოდ ვიწროა.

მეორე ტიპის ქარის გენერატორი ეს ფაზურ როტორიანი ასინქრონული მანქანაა. ასეთ მანქანას როტორზე აქვს სამფაზა გრაგნილი,

რომლის ბოლოები გამოყვანილია საკონტაქტო რგოლებზე. რგოლების და მუსების საშუალებით როტორის გრაგნილის ფაზებში ჩართულია აქტიური წინაღობები, ტირისტორების გახსნის კუთხის რეგულირებით იცვლება როტორის წრედში ჩართული ექვივალენტური წინააღობის სიდიდე. ამით ხდება ასინქრონული მანქანის მახასიათებლის შეცვლა. ამიტომ ერთი და იგივე სიმძლავრის გაცემა შესაძლებელია სხვადასხვა სრიალის ანუ როტორის სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს. ეს წინა გენერატორთან შედარებით ბევრად ზრდის მუშაობის ზონას ქარის სიჩქარის თვალსაზრისით. ამავე დროს ამ გენერატორს აქვს სუსტი ადგილი. ეს მუსები და საკონტაქტო რგოლებია, რომლებიც ხახუნის გამო ცვდებიან და საჭიროებენ მოვლას. ეს კი ართულებს ექსპლუატაციას.

მესამე ტიპის ქარის გენერატორი ეს ორმაგი კვების ელექტრული მანქანაა. ასეთ მანქანას როტორზე აქვს სამფაზა გრაგნილი. ეს გრაგნილი მუსებით და საკონტაქტო რგოლებით იკვებება ქსელიდან კონვერტორის მეშვეობით. კონვერტორი გარდაქმნის ქსელის 50 ჰერცის სიხშირის ძაბვას ისეთ სიხშირის ძაბვად, რომ ყოველთვის დაცული იყოს პირობა.

$$\omega_s = \omega_r \pm \omega_2.$$

სადაც ω_s სტატორის მბრუნავი მაგნიტური ველის კუთხური სიჩქარეა, ω_r - როტორის მექანიკური ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა და ω_2 როტორის დენით შექმნილი მბრუნავი მაგნიტური ველის კუთხური სიჩქარეა. ფაქტიურად ასეთ მანქანას გააჩნია როგორც სინქრონული მანქანის, ასევე ასინქრონული მანქანის თვისებები. მას „ასინქრონიზირებულ სინქრონულ მანქანას“ უწოდებენ. ამ მანქანის მახასიათებლები ნაჩვენებია სტატორის მიერ ქსელში გაცემული სიმძლავრე პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული ტურბინის ბრუნთა რიცხვზე. როტორი კი ქსელიდან მოიხმარს სიმძლავრეს. ბრუნთა რიცხვის ზრდასთან ერთად ეს სიმძლავრე მცირდება და 2100 ბრუნის დროს ხდება ნულის ტოლი. ბრუნთა რიცხვის შემდგომი ზრდისას, ეს სიმძლავრე იცვლის ნიშანს და ამის შემდეგ ემატება ქსელში

გაცემულ სტატორის სიმძლავრეს. ასეთი ქარის გენერატორის დადებითი მხარეა ის, რომ მას შეუძლია მუშაობა ბრუნთა რიცხვის დიდ დიაპაზონში (1500 დან 2300 ბრუნამდე).

მეოთხე ტიპის ქარის გენერატორი მოწყობილია შემდეგნაირად. ქარის ტურბინა აბრუნებს სინქრონულ გენერატორს. გენერატორის როტორს არა აქვს აგზნების გრაგნილი და მის ფუნქციას ასრულებს ძლიერი მუდმივი მაგნიტები. ქარის სიჩქარის ცვლილებასთან ერთად იცვლება გენერატორის ბრუნთა რიცხვი და ძაბვის სიხშირე. გენერატორი მიერთებულია მუდმივი დენის ჩანართზე (გამმართველი+ინვენტორი) , გამმართველის მხარეს. გენერატორის ძაბვა იმართება და ინვენტორის საშუალებით მუდმივი ძაბვა გარდაიქმნება 50 ჰერცის ცვლად ძაბვად, ცხადია, რომ მუდმივი დენის ჩანართის სიმძლავრე ტოლი უნდა იყოს გენერატორის სიმძლავრისა. გენერატორს შეუძლია მუშაობა ქარის ტურბინის ბრუნთა რიცხვის საკმაოდ დიდ დიაპაზონში. ვინაიდან გენერატორის ძაბვა გამმართველით გარდაიქმნება მუდმივ ძაბვად.

ქარის გენერატორების უკანასკნელი მოდიფიკაციაა მეხუთე ტიპის ქარის გენერატორია. ასეთ გენერატორს არა აქვს მუდმივი დენის ჩანართი და ის უშუალოდ მიერთებულია ქსელზე. ისევე როგორც მეოთხე ტიპის გენერატორში, მისი როტორი მუდმივი მაგნიტებიანია. ესეიგი მისი ელექტრული ნაწილი მაქსიმალურად გამარტივებულია და არ განსხვავდება ტრადიციული ჰიდრო ან თბო გენერატორების ელექტრული ნაწილისაგან. ქარის ნებისმიერი სიჩქარის დროს მისი ბრუნთა რიცხვი მუდმივია. ეს მიიღწევა რედუქტორის განსაკუთრებული კონსტრუქციით. ტურბინა მიერთებულია ავტომატურ რედუქტორთან, რომელიც მუშაობს იმავე პრინციპით, როგორც ავტომობილის ავტომატური სიჩქარის კოლოფი, რედუქტორი თავის მხრივ მიერთებულია ჰიდროტრანსფორმატორთან. ეს უკანასკნელი უზრუნველავს გენერატორის მუდმივ ბრუნთა რიცხვს.

**თავი 2. ქარის ელექტროსადგურის მახასიათებლები და
საქართველოს ენერგოსისტემაში მაქსიმალური დასაშვები
სიმძლავრეები წლების მიხედვით**

ქარის ელ.სადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის სიჩქარის ცვლილების ხასიათის შესასწავლად მოხდა 2017 წლის 5 აპრილის 24 საათის განმავლობაში წუთობრივი ინფორმაციის გაანალიზება, ქარის სიჩქარე მკვეთრად იკლებს ღამის 2 საათისათვის და ქარის სიჩქარე საკმაოდ დაბალია დილის 10 საათამდე, ქარის ელექტროსადგურზე სიმძლავრის გენერაცია იწყება 3მ/წმ ქარის სიჩქარიდან და მაქსიმალურ სიმძლავრეს აღწევს 12 მ/წმ ქარის სიჩქარეზე, დავაკვირდეთ როგორ იცვლება ქარის ელ.სადგურზე სიმძლავრის გენერაცია ქარის სიჩქარეზე დამოკიდებულების მიხედვით, ღამის პირველ საათზე ქარის სიჩქარის შემცირების შემდეგ ქარის ელ.სადგურზე გამომუშავებული გენერაცია მცირდება ნულამდე და 01:31 დან 03:02 მდე ქარის გენერატორები ჩერდება, შემდგომ 03:49 დან ისევ იწყება მცირე სიმძლავრის გენერაცია და 05:48 სათვის მთლიანად ჩერდება სადგური 10:53 წუთამდე სადაც სტაბილურად მაგრამ მდორედ ხდება ქარის სიჩქარისა და შესაბამისად გამომუშავებული ენერჯის მატება 17:05 მდე სადაც ხდება ქარის სიჩქარის დღის განმავლობაში ყველაზე მკვეთრი ზრდა 18:28 მდე, ამ შუალედში ქარის სიჩქარე იზრდება 7,05 მ/წმ დან 12,65 მ/წმ მდე ვინაიდან ქარის ელ.სადგურზე გამომუშავებული ენერჯია ქარის სიჩქარის მესამე ხარისხის პროპორციულია ამ შუალედში ქარის მატებასთან შედარებით გაცილებით სწრაფად იზრდება გამომუშავებული ენერჯია, 17:05 ზე გორის ქარის ელ.სადგურის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრე იყო 5.4 მგვტ ხოლო 18:28 ზე 20,44 მგვტ.ესეიგი ქარის სიჩქარის ცვლილება ამ შუალედში იყო $12,65-7,05=5.6$ მ/წმ ხოლო სიმძლავრის ცვლილება კი $20,44-5,4= 15,04$ მგვტ. როგორც ვხედავთ ამ ზღვრებში ქარის სიჩქარის 1 მ/წმ

სიჩქარის ცვლილება იწვევს დაახლოებით 2,6 ჯერ გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილებას.

საქართველოს ელ.სისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით 2018 წელს საქართველოს ელ.სისტემაში ქარის ელ.სადგურების მაქსიმალური დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 93 მგვტ-ს აქ შედის უკვე არსებული გორის ქარის ელ.სადგური სიმძლავრით 21 მგვტ. ესეიგი სისტემაში ჯამური მაქსიმალური სიმძლავრე რომელიც შეიძლება დეამტოს 2018 წლისათვის შეადგენს 72 მგვტ-ს.

ანგარიში ჩატარდა საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E - ში. 2018 წლის იზოლირებულ რეჟიმში, ჯამური დატვირთვა 1252 მგვტ. 10 წლიანი გეგმის მიხედვით შესაბამისი რეგიონების სალტეებზე განთავსდა შესაბამისი სიმძლავრის ქარის ელ.სადგურები.

როგორც გორის ქარის ელ.სადგურზე ქარის სიჩქარეზე დაკვირვებამ აჩვენა ქარის სიჩქარე დღის გარკვეულ მონაკვეთზე შეიძლება მკვეთრად იცვლებოდეს რაც იწვევს გენერაციის კიდევ უფრო მეტ ცვლილებას, იმის გათვალისწინებით რომ 2018 წლის პერსპექტიულ რეჟიმში ქარის გენერაციის დასაშვები მაქსიმალური სიმძლავრე გაცილებით დიდია არსებობს საშიშროება რომ ქარის სიჩქარის მკვეთრი ცვლილება გამოიწვევს სისტემაში სიხშირის რყევებს რადგან ქარის შემცირებით შემცირდება სიმძლავრის გენერაცია ქარის ელ.სადგურებზე რაც გამოიწვევს ელ.სისტემაში სიმძლავრის დეფიციტს და სიხშირის შემცირებას.

იმ შემთხვევაში თუ მარეგულირებელი სადგურები ვერ მოახერხებენ გაჩენილი დეფიციტის დროულ აღმოფხვრას, ასევე ქარის სიჩქარის ცვლილებისგან გამოწვეული გენერაციის ცვლილებამ ეგზ-ებზე სიმძლავრის გადადინებების საგრძნობი რყევები შეიძლება გამოიწვიოს.

ანგარიშის მიზანია დადგინდეს რა გავლენას მოახდენს ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაცია ელ.სისტემის პარამეტრებზე რა რისკები და რა საფრთხეებია მოსალოდნელი.

პერსპექტიული ქარის ელ.სადგურებზე ქარის სიჩქარისა და სიმძლავრის ცვლილების მახასიათებელი აღებულია გორის ქარის ელ.სადგურის მახასიათებლის მსგავსად და გადაანგარიშებული შესაბამისი სადგურის სიმძლავრეზე, ასევე გათვალისწინებულია შესაბამის რეგიონში ქარის სიჩქარე იგივე დროს.

გეოგრაფიულად ახლო წერტილებში ქარის სიჩქარის მახასიათებელი აღებულია ერთნაირი.

საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E -ში ჩატარდა მოდელირება სადაც წინასწარ მიცემული მახასიათებლის მიხედვით, იცვლებოდა ქარის ელ.სადგურების მიერ გამომუშავებული ელ. ენერჯია, პროგრამა PSS/E - ის არ შეუძლია იანგარიშოს გარდამავალი პროცესი 24 საათის განმავლობაში რადგან ინფორმაცია რომელიც შედეგის სახით გამოდის ძალიან დიდი იქნება და მის შესაძლებლობს აღემატება, ამიტომ ანგარიში ჩატარდა 10 წუთის დიაპაზონში, გორის ქარის ელ. სადგურის მახასიათებლიდან აღებულია 10 წუთის დიაპაზონი რომელშიც ქარის სიჩქარე ყველაზე მკვეთრად იცვლებოდ და სხვა სადგურების სიმძლავრის მახასიათებლებიც ამის მიხედვით არის შედგენილი. ანგარიშის შედეგად დადგინდა რომ ქარის ელ.სადგურების გენერაციის ცვლილება სიხშირეს ცვლის $\pm 0,1$ ჰერცის ფარგლებში, ესეთი პატარა შეშფოთება ელ.სისტემაში სიხშირის რეგულატორების გამართულ მდგომარეობაში ყოფნის დროს სისტემის მდგრადობისათვის საფრთხეს არ ქმნის. თუმცა ქარის ენერგეტიკული პოტენციალის გათვალისწინებით სიმძლავრის 3 ჯერ ან მეტჯერ გაზრდის შემთხვევაში რაც დაგეგმილია სამომავლოდ, სიხშირის ცვლილება შეიძლება გავიდეს ქსელის წესების დასაშვებ ფარგლებში. ეგზ. იმერეთზე სიმძლავრის გადადინების ცვლილებას ახდენს ქარის ელ.სადგურების როგორც ჯამური ასევე დასავლეთსა და აღმოსავლეთში გენერირებული სიმძლავრეების სხვაობა, როგორც მრუდზე ჩანს ნაანგარიშები 10 წუთის დიაპაზონში მაქსიმალური ცვლილება გადადინებაში არის 5 მგვტ, რაც საკმაოდ მცირე სიდიდეა და გავლენას არ ახდენს სისტემის

პარამეტრებზე, თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც რომ ქარის დადგმული სიმძლავრის მკვეთრად გაზრდის შემთხვევაში შეიძლება წარმოიშვას პორბლემა რაც დაკავშირებული იქნება გადადინების ცვლილებასთან.

თუ ეგხ. იმერეთის მაქსიმალური დასაშვები გამტარებლობა არის 800 მგვტ სისტემაში ქარის ელ.სადგურების დიდი რაოდენობის არსებობის შემთხვევაში შეიძლება ეგხ. იმერეთის დატვირთვა ვერ მოხდეს სრული სიმძლავრით რადგან ქარის ცვლილების ალაბათობის გამო შეიძლება სიმძლავრის გადანაწილება აღმოსავლეთსა და დასავლეთს შორის შეიცვალოს რაც გამოიწვევს გადადინების გაზრდას და ხაზის გადატვირთვას, ამიტომ საჭირო იქნება გადადინების წინასწარ შემცირება იმ სიდიდით რაც შეიძლება გამოიწვიოს ქარის გენერაციის ცვლილებამ სისტემაში.

საქართველოს გააჩნია ქარის ენერჯის მნიშვნელოვანი პოტენციალი, რომლის საშუალო წლიური რაოდენობა 4 მლრდ კვტ.სთ - მდე არის შეფასებული. ქვეყანაში გამოიყოფა 9ზონა, სადაც შესაძლებელია ქარის ელექტროსადგურების მშენებლობა. ქარის ელ.სადგურების დიდი სიმძლავრის ინტეგრაციისათვის სისტემა უნდა ხასიათდებოდეს შემდეგით პარამეტრებით:

- საკმარისი ინერჯის მუდმივა (ენერგოსისტემის მომუშავე აგრეგატების ჯამური დადგმული სიმძლავრე).
- მძლავრი და ურთიერთდარეზერვებული როგორც შიდა ასევე სისტემათშორისი გადამცემი ქსელი.
- ენერგოსისტემის მოქნილობა, საკმარისი სიმძლავრის პირველადი, მეორეული და მესამეული რეზერვები, ჰიდრომაკუმულირებელი სადგურები და რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი სწრაფმოქმედი წყაროები.
- ქარის ზუსტი პროგნოზირება; ენერგოსისტემის ოპერირების დაგეგმვის თანამედროვე მეთოდები და SCADA-სთან ინტეგრირებული პროგრამები;

- გაერთიანებული ენერგოსისტემის ენერგეტიკულ ბაზართან ინტეგრაცია.

ქარის ენერჯის ნაკლოვანებაა მისი გენერაციის ცვალებადობა, რომელიც ემატება მოხმარების ცვალებადობას, რაც ზრდის სარეგულირებელ მოცულობას.

ცვალებადი წყაროების ინტეგრაცია შედარებით ნაკლებად რთულია, თუკი ადგილი აქვს მათ ბუნებრივ დივერსიფიკაციას. ქარის ფართო გეოგრაფიული გაფანტვა იწვევს გამათანაბრებელ ეფექტს, რაც ამცირებს ენერგოსისტემაში ამ ტიპის გენერაციის ცვალებადობას. ასევე ამცირებს ენერგოსისტემაში ცვალებადი წყაროების გამომუშავების ნულამდე შემცირების და პიკური გამომუშავების ალბათობას. ელექტრულ სისტემაში ჩართულია მილიონობით მოწყობილობა რომელიც გარდაქმნის ელექტრულ ენერჯიეს სხვა სახის ენერჯიად: ნათურები, ძრავები, ღუმელები, ელექტრონული აპარატურა და სხვა, და რომელთა ერთობრიობას ჩვენ ვუწოდებთ “მომხმარებელს”. მომხმარებლების ჩართვა-გამორთვა ხდება ყოველწამს, და სისტემის ჯამური დატვირთვა იცვლება შესაბამისად.

ამიტომ სისტემის რეჟიმი არ შეიძლება დავახასიათოდ როგორც უცვლელი, დამყარებული ამ სიტყვის აბსოლუტური მნიშვნელობით. სისტემის მუშაობის ანალიზი დატვირთვის უწყვეტი ცვლილების გათვალისწინებით არის პრაქტიკულად შეუძლებელი და რაც მთავარია უაზრო. ამიტომ აკეთებენ დაშვებას, რომ რაღაც დროის, ვთქვათ 1 საათის განმავლობაში დატვირთვის და გენერაციის სიდიდე არის მუდმივი. ასეთ რეჟიმს დამყარებულ რეჟიმს უწოდებენ.

დამყარებული რეჟიმის ანალიზი მოიცავს სისტემის კვანძებში ძაბვის სიდიდეების განსაზღვრას, ქსელის ელემენტებში აქტიური და რეაქტიული ნაკადების განაწილების დადგენასა და სიმძლავრის დანაკარგების გაანგარიშებას. გაკეთებული დაშვება საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ რეჟიმი ამ დაშვების ფარგლებში. რეალობაში სულ არსებობს დატვირთვის უწყვეტი ცვლილება. ეს იწვევს გენერატორების დატვირთვის ცვლილებას,

რასაც მოჰყვება მათი კუთხური სიჩქარეების ცვლილება. მაშასადამე ირღვევა გენერატორების პარალელური მუშაობის პირობა.

სისტემის დატვირთვის ცვლილება დროის მცირე მონაკვეთში ძალიან მცირეა. ძირითადად, ეს ცვლილება ხდება მდორედ, ბიძგების გარეშე. ამავე დროს ყოველთვის არსებობს დატვირთვის განუწყვეტელი მცირე ბიძგები, რომლებიც სისტემის ჯამურ სიმძლავრესთან შედარებით უსასრულოდ მცირე სიდიდეებია. მათ გავლენას სისტემის უნარზე შეინარჩუნოს მდგრადი პარალელური მუშაობა, იკვლევენ სტატიკური მდგრადობის შესწავლით. ამავე დროს სისტემაში ხდება რეჟიმის მკვეთრი ცვლილებებიც. ეს ცვლილებები შეიძლება იყოს როგორც ავარიული ხასიათის, ისევე ნორმალური ექსპლუატაციით გამოწვეული. ასეთია, მაგალითად: სხვადასხვა სახის მოკლე შერთვები, ხაზების, ტრანსფორმატორების, ან გენერატორების უეცარი გამორთვა, დატვირთვის ბიძგით გაზრდა ან შემცირება, გენერატორების თვითსინქრონიზაცია და სხვა.

ამ დროს ხდება ერთი დამყარებული რეჟიმიდან მეორე დამყარებულ რეჟიმზე გადასვლა, თანაც საკმაოდ მცირე დროის განმავლობაში. შესაძლებელია, რომ ერთი ნორმალური რეჟიმიდან მეორეზე გადასვლა ხდებოდეს მოკლე შერთვის რეჟიმის გავლით. მაგალითად: ნორმალური რეჟიმი, მოკლედ შერთვის რეჟიმი, დაზიანების გამორთვა და ახალი ნორმალური რეჟიმის დამყარება.

სწორედ ყველა იმ საკითხის შესწავლა, რომელიც დაკავშირებულია სისტემის გენერატორების პარალელური მუშაობის შენარჩუნებასთან სისტემის რეჟიმის მკვეთრი ცვლილების დროს, გაერთიანებულია გარდამავალი პროცესების დისციპლინის ნაწილში, რომელსაც დინამიკური მდგრადობა ჰქვია. ელ.სისტემის ჯამური ინერციის მუდმივა განისაზღვრება სისტემაში ჩართული გენერატორების ინერციის მუდმივების ჯამით, მაგრამ იმ შემთხვევაში თუ გენერაციის წყაროა ქარის ელ.სადგური რომელიც მიერთებულია ელ.სისტემასთან მუდმივი დენის

ჩანართით სისტემის ინერციის მუდმივა არ იზრდება რადგან სიმძლავრის გადაცემა ქარის ელ.სადგურიდან ხდება ძალოვანი ელექტრონიკის გავლით.

ესეთ შემთხვევაში თუ ელ.სისტემის გენერაციის მნიშვნელოვანი წილი მოვა ქარის ელ.სადგურებზე მოხდება სისტემაში ინერციის მუდმივის კლებას რაც ელ.სისტემის მდგრადობას შემოფოთებების მიმართ შეამცირებს.

ვინაიდან ქარის ელ.სადგურების მიერ გენერირებული სიმძლავრე დღესდღეობით მცირეა და ვერ მოახდენს დიდ გავლენას ინერციის მუდმივის ცვლილებაში. ანგარიში ჩატარდა 2027 წლის ზაფხულის მინიმალურ რეჟიმში, საქართველოს ელ.სისტემაში ჯამური გენერაცია იყო 3422 მგვტ. მოხმარება 2757 მგვტ.

საქართველოს ელ.სისტემა კავშირშია თურქეთთან მუდმივი დენის ჩანართით და აზერბაიჯანთან სინქრონული კავშირით 500კვ ეგხ. “მუხრანის ველის“ საშუალებით, გადადინება მუდმივი დენის ჩანართზე თურქეთის მიმართულებით 653 მგვტ. გადადინება სომხეთის მიმართულებით 700 მგვტ. სიმძლავრის გადმოდინება აზერბაიჯანიდან საქართველოს მიმართულებით 400 მგვტ.

განხილულია ორი შემთხვევა:

1. საქართველოს ელ.სისტემაში გენერაცია ხდება მხოლოდ ჰიდრო ელ.სადგურების მიერ. ხდება ეგხ. “მუხრანის ველის“ გამორთვა. რაც იწვევს საქართველოს ელ.სისტემაში 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტს. ნახ.37
2. საქართველოს ელ.სისტემაში გენერაცია ხდება როგორც ჰიდრო ელ.სადგურების მიერ ასევე ქარის ელ.სადგურების მიერ ჯამური გენერაციით სისტემაში 400 მგვტ. ხდება ეგხ. “მუხრანის ველის“ გამორთვა. რაც იწვევს საქართველოს ელ.სისტემაში 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტს. ჩატარებული ანგარიშის საფუძველზე მოხდა დაკვირვება როგორ შეიცვალა სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში.

სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში ეგზ.“მუხრანის ველის“ გამორთვის შედეგად გაჩენილი 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტის შედეგად როდესაც საქართველოს ელ.სისტემის გენერაცია სრულად ჰიდროელექტროსადგურების გენერაციისაგან შედგებოდა სიხშირე ეცემა 48.75 ჰერცამდე. სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში ეგზ.“მუხრანის ველის“ გამორთვის შედეგად გაჩენილი 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტის შედეგად იმ შემთხვევაში როდესაც საქართველოს ელ.სისტემაში ჯამში 400 მგვტ. სიმძლავრის ქარის ელ.სადგურებია ჩართული, სიხშირე ეცემა 48.5 ჰერცამდე, როგორც ანგარიშიდან ჩანს ელ.სისტემაში ქარის გენერაციის ინტეგრირება საკმაოდ ასუსტებს სისტემის მდგრადობას ინერციის მუდმივის შემცირების გამო.

განხილულ ორ შემთხვევას შორის სიხშირის სხვაობა არის 0.25 ჰერცი რაც საკმაოდ დიდი სხვაობაა რადგან სიხშირე ორივე შემთხვევაში ჩამოდის 49.2 ჰერცზე დაბლა მოხდება სიხშირით ავტომატური განტვირთვის (საგ) მოწყობილობის ამუშავება რაც გამოიწვევს მომხმარებლის გამორთვას, საგ-ის ყოველი საფეხური 0.1 ჰერცის ბიჯით.

განსხვავდება ერთმანეთისგან შესაბამისად 0.25 ჰერცის სხვაობა ნიშნავს იმას რომ მოხდება საგ-ის მოწყობილობის მიერ მომხმარებლის გამორთვა საგ-ის დანაყენების 3 ბიჯის სიდიდით რაც 2027 წლის პერსპექტიულ რეჟიმისათვის 240 მგვტ. მომხმარებლის გამორთვას ნიშნავს.

თავი 3. მზის ელექტროსადგურის ტიპები და მათი გავლენა ენერგოსისტემაზე

მზის ელექტროსადგურის დანიშნულებაა მზის სხივის ენერჯის ელექტროენერჯიაში გარდაქმნა. კლიმატურ ცვლილებებთან ბრძოლის აქტუალობა გამოიწვია წყლისა და ჰაერის დაბინძურების ზრდამ,

დაბინძურების ძირითადი გამომწვევ მიზეზია წიაღისეული საწვავის გამოყენება, ამიტომ მნიშვნელოვანი ხდება ისეთი ენერჯის წყაროს პოვნა რომელიც არ გამოყოფს ნახშირორჟანგს და ამ ენერჯის რაოდენობა ეყოფა ჩვენს და სამრეწველო მოთხოვნებს, ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვან როლს სუფთა ენერჯის მისაღებად რომელიც გარემოს არ აზიანებს საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო წარმოებაში თამაშობს მზის ელ.სადგურები. მზის ელ.სადგურები არის შესანიშნავი გადაწყვეტა სუფთა ენერჯის მისაღებად.

მზის სხივის ელ.ენერჯიაში გარდასაქმნელად სხვადასხვა გზა არსებობს მაგალითად წყლის აორთქლება მზის ენერჯის გამოყენებით და აორთქლის გამოყენება ელ.ენერჯის მისაღებად, ასევე არსებობს პანელები რომლებიც მზის სხივს პირდაპირ ელ.ენერჯიად გარდაქმნიან მაგრამ, მზის ენერჯის გამოყენება უფრო ეფექტურია და მეტი უპრაქტესობები აქვს მზის ელ.სადგურებს რომლებიც აკონცენტრირებენ მზის სხივს, ეს ენერჯია შეიძლება დაგროვდეს თბური ენერჯის სახით 12 საათამდე სითბოს მატარებელი მდნარი მარილების გამოყენებით. მზის გენერაცია ქარის გენერაციასთან შედარებით ნაკლებად ცვალებადი ხასიათისაა. ამასთან, გარკვეულწილად მზის გენერაცია კორელირდება დატვირთვის ცვალებადობასთან, რაც განსაკუთრებით დადებითია, მაქსიმალური კორელაცია ხდება ზაფხულის პერიოდში, როდესაც ტემპერატურის გაზრდით ხდება გაგრილების სისტემების მაქსიმალური დატვირთვა.

მზის ენერჯის ელ.ენერჯიაში გარდაქმნის ტექნოლოგია დამოკიდებულია მზის ელ.სადგურის ტიპზე.

მზის ელ.სადგურების შემდეგი ტიპები არსებობს:

- მზის ელექტროსადგური ღარისებური სარკეებით;
- კოშკური ტიპის მზის ელექტროსადგურები;
- სტირლინგის ძრავიანი მზის ელექტროსადგურები;
- მზის და ჰაერის ხელოვნური წვევის ელექტროსადგურები;
- ფოტოელემენტებიანი ელექტროსადგურები;

საქართველოში მზის ნათების ხანგრძლივობის საკმაოდ მაღალი წლიური მაჩვენებელია. იგი ძირითადად დამოკიდებულია ღრუბლიანობაზე, რომელიც საქართველოში ზომიერია. მზის ნათების საშუალო წლიური ხანგრძლივობა 1360 სთ-დან 2500 სთ-მდე იცვლება. ეს მაჩვენებელი მაღალია შირაქის ველსა და გარდაბნის ვაკეზე, აჭარის მიდამოებსა და კავკასიონის მაღალ მთიანეთშია კი დაბალია.

საქართველოს ტერიტორიის განედური განფენილობა დაახლოებით 2.5 გრადუსი, რაც ვერ განაპირობებს მზის რადიაციის სერიოზულ ცვლილებას მის ჩრდილო და სამხრეთ ნაწილებს შორის. ამის გამო რადიაციის განაწილება ძირითადად დამოკიდებულია ღრუბლიანობაზე, ჰაერის სიმკვრივესა და გამჭირვალობაზე. ღრუბლიანობა საქართველოს ტერიტორიაზე არათანაბარი განაწილებით ხასიათდება. იგი გაცილებით მეტია დასავლეთ საქართველოში, რაც გამოწვეულია შავი ზღვის სიახლოვეთა და ნალექების დიდი რაოდენობით. ამიტომ ჯამური რადიაციის მინიმალური მაჩვენებლებით ხასიათდება კოლხეთის დაბლობის სამხრეთი ნაწილი. საქართველოს ვაკე-დაბლობების, დაბალი და საშუალო მთებისათვის დამახასიათებელია ჯამური რადიაციის საშუალო (წელიწადში 120-130 კკალ/სმ²) მაჩვენებელი. აბსოლუტური სიმაღლის მატებასთან ერთად, დაახლოებით 2000 მეტრ სიმაღლემდე, ღრუბლიანობა მატულობს, რის შედეგადაც გაზნეული რადიაცია იზრდება, პირდაპირი რადიაცია კი მცირდება. ამის გამო ჯამური რადიაცია არ იცვლება. საქართველოში მზის რადიაციის მკვეთრად გამოხატული სეზონურობა ახასიათებს. ზაფხულში, დღის მაქსიმალური ხანგრძლივობა და მზის სხივების დაცემის დიდი კუთხე შესაბამისად განაპირობებს ჯამური რადიაციის დიდ მაჩვენებელს, ზამთარში კი პირიქით მზის რადიაციას მცირე მაჩვენებელი აქვს.

ცვლადი განახლებადი ენერჯის ელ.სადგურების ქსელში მიერთების საკითხი გამოწვეულია მათი გამომუშავებული ელ.ენერჯის ცვლადობასთან დაკავშირებით, გამომუშავებული ელ.ენერჯის ცვლადობა

პირდაპირ კავშირშია ელ.სისტემის ბალანსთან ძაბვის რყევასთან და ეგზ. - ებზე გადადინებების ცვლასთან, გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების პრობლემას იწვევს გამომუშავებული ელ.ენერჯის გრაფიკის კონტროლი, რადგან გარდაუვალია უმნიშვნელო და მნიშვნელოვანი შეცდომები ელ.ენერჯის გენერაციის პროგნოზის გეგმებში, ეს საკითხი უკვე 1970 იანი წლების ბოლოს განიხილებოდა.

2000 წლის დასაწყისში არატრადიციული განახლებადი მზისა და ქარის ელ.სადგურების დიდი წილი განლაგებული იყო იაპონიაში, ამის შემდეგ გავრცელდა ევროპაში.

ქარის და მზის ელ.სადგურების მშენებლობის რაოდენობა იზრდება მათი წარმოების ფასის შემცირების გამო. ტექნიკური საკითხების გარდა განახლებადი ენერჯის წყაროების ზეგავლენა სიმძლავრის ბაზარზე სულ უფრო იზრდება.

განახლებადი არატრადიციული ენერჯის წყაროების ინტეგრაცია მოითხოვს სიჩქარის რეგულატორების მეტ მოქნილობას და ხანგრძლივ მუშაობას რადგან მათ დააბალანსონ განახლებადი არატრადიციული ენერჯის წყაროების მიერ გამოწვეული სიმძლავრის რყევები. ასევე მათი ინტეგრაცია ელ.სისტემაში მოითხოვს შემდეგ პირობებს.

- 1) ტრადიციული ჰიდრო და თბოელექტროსადგურების ოპერატიული მახასიათებლების გაუმჯობესება,
- 2) საბალანსო სიმძლავრის გაზრდა.
- 3) მზის და ქარის ელ.სადგურების გაძლიერებული კონტროლი.
- 4) გადამცემი ხაზების, დისტრიბუციის, სისტემის შიდა და სისტემათშორისი ხაზების გაძლიერება.

საქართველოს ელ.სისტემაზე მზის ელ.სადგურის გავლენის დასაგენად ჩატარდა ანგარიში საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ში, ანგარიში ჩატარდა შემდეგ რეჟიმში:

საქართველოს ელ.სისტემა მუშაობს იზოლირებულ რეჟიმში, მოხმარება 1100 მგვტ. გენერაცია 1120 მგვტ. ქ/ს გურჯაანი 220 -ის სალტეზე მიერთებულია მზის ელ.სადგური 10 მგვტ. სიმძლავრით.

ანგარიში ჩატარდა შემდეგ შემთხვევებში.

- 1) გარდაბნის რეაქტორის გამორთვა
- 2) 20 მგვტ. ტვირთის გამორთვა რუსთავში.
- 3) მზის ელ.სადგურზე, ამინდის ცვლილების გამო, მზის გამოსხივების ცვალებადობით გამოწვეული გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების მოდელირება.

პირველი ანგარიში ჩატარდა ელ.სისტემაში ძაბვის მკვეთრი ცვლილების დროს მზის ელ.სადგურის რეაქციის შესასწავლად ქ/ს გარდაბანი 500 - ში რეაქტორის გამორთვის დროს შედარებულია ძაბვები მზის ელ.სადგურზე და ჰიდროელექტროსადგურ ენგურზე რომელზეც გამოყვანილია მოქმედებიდან ძაბვის რეგულატორი, გამორთვის მომენტში ძაბვის რეგულატორის არ ქონის გამო ენგურზე ძაბვა მკვეთრად ეცემა, მზის ელ.სადგური კი პირიქით ამ მომენტში იწყებს ძაბვის მომატებას თავის სალტეზე სანამ სისტემაში ძაბვა არ დასტაბილურდება. მეორე შემთხვევაში ქ/ს რუსთავი 220 - ში გამოირთო 20 მგვტ. ტვირთი და მოხდა დაკვირვება მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილებაზე. ქ/ს რუსთავი 220 - ში 20 მგვტ. ტვირთის გამორთვამ გამოიწვია სიმძლავრის დეფიციტი და სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ.სისტემაში ამ დროს მზის ელ.სადგურის გამომუშავებული სიმძლავრე რამოდენიმე კილოვატით უმიშვნელოდ იცვლება, ესეიგი სიმძლავრის დეფიციტი ელ.სისტემაში გავლენას არ ახდენს მზის ელ.სადგურის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილებაზე და ამ შემთხვევაში მზის ელ.სადგური არც ეხმარება ელ.სისტემას უბალანსობის აღმოსაფხვრელად მაგრამ არც უშლის ხელს დეფიციტის გაზრდით. მესამე შემთხვევაში განხილულია მზის ელ.სადგურზე, ამინდის ცვლილების გამო, მზის გამოსხივების

ცვალებადობით გამოწვეული გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების მოდელირება.

ჩატარდა ზაფხულის პერიოდში აღმოსავლეთში მაქსიმალური მზის გამოსხივების ანგარიში, ოზონის შრის, მტვრის ნაწილაკების და წყლის ორთქლის გათვალისწინებით საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E - ის მზის ელ.სადგურის მოდელში შეყვანილი იქნა მაქსიმალური მზის გამოსხივების მნიშვნელობა და ცვლადი მოდრუბლულობის გამო მზის სხივის ენერჯის შემცირებული მნიშვნელობების მახასიათებელი დროში.

ანგარიშის მიზანი ცვლადი მოდრუბლულობის გამო მზის ელ.სადგურის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების ზეგავლენის შეფასება საქართველოს ელ.სისტემის მდგრადობაზე. ანგარიში ჩატარდა მზის ელ.სადგურის სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის შემთხვევაში,

რაც უფრო დიდია საქართველოს ელ.სისტემაში ინტეგრირებული მზის ელ.სადგურების დადგმული სიმძლავრე მით უფრო მეტია სიხშირის რყევა, რადგან მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრე დამოკიდებულია მზის პანელების რაოდენობაზე და მზის გამოსხივების ინტენსივობაზე, დიდ ელ.სადგურზე მზის პანელების მეტი რაოდენობის გამო ერთიდაიგივე მზის გამოსხივების ინტენსივობის ცვლილების სიჩქარის დროს გამომუშავებული სიმძლავრე უფრო დიდი სიდიდით შეიცვლება. ჩვენი მიზანია დავადგინოთ რა სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის ინტეგრაციაა შესაძლებელი საქართველოს ელ.სისტემაში ამიტომ ანგარიში გაგრძელდა უფრო მეტ სიმძლავრეებზე რადგან მაქსიმალური სიდიდე ვიპოვოთ.

200 მგვტ.ზე მეტი დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სიხშირის ცვლილებაზე, 230 მგვტ. დადგმული სიმძლავრის დროს საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირე ირხევა 0.5 ჰერცამდე რაც დაუშვებელია.

მზის ელ.სადგურების გადანაწილება ორ ლოკაციაზე მკვეთრად ამცირებს სიხშირის რხევას, მზის ელ.სადგურების უფრო მეტ ლოკაციაზე გადანაწილება კიდევ უკეთეს გავლენას იქონიებს სიხშირის რხევაზე.

დასკვნა

1. ქარის პოტენციალის ათვისების შესაძლებლობის მკვეთრი გაზრდა მოსალოდნელია 2022 წლიდან, რაც დაკავშირებული იქნება რუსეთთან მეორე 500კვ ხაზის მშენებლობასთან და მძლავრი მარეგულირებელი ჰესების (ხუდონი, ნენსკრა, ნამახვანი, ცხენისწყალი) ექსპლუატაციაში შესვლასთან, რომლებიც აამაღლებენ სისტემის მდგრადობას და გაზრდიან სისტემის ოპერატიულ რეზერვებს.
2. ელექტრული სისტემის მდგრადი და საიმედო მუშაობისათვის მნიშვნელოვანია გამომუშავებული ენერჯის სტაბილურობა, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთ პატარა ელ.სისტემებში როგორც საქართველოს ელ.სისტემაა, რადგან ქარის ელექტროსადგურების გამომუშავებული ელექტრო ენერჯია დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე, დღე-ღამის განმავლობაში გამომუშავებული ელ.ენერჯია იცვლება, ენერჯის დამაგროვებლის დაყენება ქარის ელექტროსადგურებზე ხსნის ამ პრობლემას და ასევე ელ.სისტემაში შედარებით მცირე სწრაფად მოქმედი სარეზერვო სიმძლავრეების არსებობას მოითხოვს.
3. პერსპექტიულ 2027 წლის რეჟიმში ქარის გენერატორების ინტეგრაციისას საქართველოს ელ.სისტემაში ყოველ 100 მგვტ. ქარის გენერაციის ინტეგრირებისას საქართველოს ელ.სისტემაში სხვადასხვა სიმძლავრის დეფიციტის დროს სიხშირე ეცემა 0.05 ჰერცით.
4. ქარის ელ.სადგურების არ არსებობის შემთხვევაში და 400 მგვტ ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაციით სისტემაში შეშფოთების დროს სიხშირე დაახლოებით 0,2 ჰერცით ქვემოთ ეცემა რაც ავარიის შემთხვევაში გამოიწვევს იმას რომ სიხშირის ავტომატური

განმტვირთველი (საგ) მოწყობილობის მოქმედებით მეტი მომხმარებელი გამოირთვება.

5. საქართველოს ელ.სისტემაში ქარის ელექტროსაგურების მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის ზრდა დასაშვებია მხოლოდ სისტემის ინერციის ზრდის პროპორციულად რადგან თავიდან იქნას არიდებული არასასურველი ზეგავლენა.
6. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგურები ძაბვის დაცემის მომენტში იწყებს ძაბვის მომატებას თავის სალტეზე სანამ სისტემაში ძაბვა არ დასტაბილურდება.
7. სიმძლავრის დეფიციტი ელ.სისტემაში გავლენას არ ახდენს მზის ელ.სადგურის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილებაზე.
8. მზის ელ.სადგურების ლოკაციების მიხედვით გადანაწილება ამცირებს მზის ელ.სადგურების მიერ გამოწვეულ სიხშირის რხევებს ელ.სისტემაში.
9. საქართველოში მზის ენერგეტიკული პოტენციალის სრულად ათვისებაა შესაძლებელი რადგან არ უქმნის საფრთხეს საქართველოს ელ.სისტემის მდგრადობას და რეჟიმულ პარამეტრებს.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. დათაშვილი დ., კობტაშვილი ა. საქართველოს ენერგოსისტემაში ქარის ელექტროსადგურების ინტეგრაციის შესაძლებლობის ანალიზი. „ენერჯია“, 2016, №1(77), 19-20 გვ.
2. დათაშვილი დ. ქარის ელექტროსადგურზე ენერჯიის დამაგროვებლის ანალიზი. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“, 2017, №3, 359-360 გვ.
3. დათაშვილი დ. მზის ელექტროსადგურის ინტეგრაციის გავლენის ანალიზი საქართველოს ელექტროსისტემის მდგრადობაზე. „ენერჯია“, 2018, №1(85), 59-61 გვ.
4. დათაშვილი დ. ქარის ელექტროსადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის ცვლილების ხასიათის ანალიზი. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“, 2018, №1-2, 173-174 გვ.
5. დათაშვილი დ. ქარის ელექტროსადგურზე ენერჯიის დამაგროვებლის ანალიზი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მეხუთე ღია საერთაშორისო ეკონომიკური კონფერენცია - "IEC-2017 ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუშინ, დღეს, ხვალ". სექცია 4 - ეროვნული ეკონომიკური დარგების განვითარების ძირითადი მიმართულებები. ქუთაისი, საქართველო, 2017 წელი.

Abstract

The cause of actuality of the fight against climate change is an increased water and air pollution. The main reason of pollution is using the fossil fuel. The fossil fuel is not a renewable energy, its amount is decreased among the time frame and it will become much more expensive and harmful for our environment. Thus, it is important to find such kind of energy source that does not emit carbon dioxide. At the same time, such source of energy should be enough to meet domestic and industrial requirements. The renewable source of energy does not include the harmful effect for environment. Of course, there can be the negative effect while producing and exiting from exploitation of renewable energy but even in that case the negative effect will not be significant. The source of the large part of renewable energy is the solar energy. This kind of energy may be used for heating system of houses and other buildings, for generation of electricity, for water-heating and other industrial needs. The solar energy also produces the wind power and this power is turned into the electricity by the wind power stations. The wind and solar energy together cause evaporation of water. Such water turns into rain or snow and flows in the rivers. Thus, considering the above mentioned circumstances such kind of renewable energy can be used in hydro power plants. The solar and wind power stations play one of the main roles for clean energy production for domestic and industrial requirements that does not damage the environment. The integration of solar and wind power stations in power system is related to certain challenges as compared to hydro and thermal power plants the energy generated by solar and wind power plants changes significantly during the day. This fact may create a danger for the stability of the power system. The photovoltaic solar power stations do not produce the energy during the night time. Thus, this fact makes the need to create capacity reserves. Also in case of high speed of wind, the wind power station stops producing the electricity. So turn of the wind power station of large capacity will lead to sharp decrease of frequency in the power system which in turn may cause the turn off of the consumers due to work of the automation system. The thesis reviews different challenges of the integration of renewable energy sources in power system and offers solutions to them.

First chapter of diploma work consists of overviews of following topics: modern solutions generating electricity from wind power, ecological parts of wind power plants, as the wind power plants may cause the danger to birds, also wind power plants make noise, in case of icing the exploitation of the wind power plants may be dangerous as during the rotation of the wing the ice cube shot may occur. The thesis also includes the types of wind power plants – the wind power plants are changing and improving annually in order to follow the requirements and challenges of power system and ecological problems. There are five types of wind power plants and each of them is discussed through this work. The possibility of

integration of wind power plants in Georgian Electrosystem is discussed through 2017, 2018 and 2019 years, adding the analysis of usage energy storages at wind power plants and schedules of capacity for energy storage and power consumption.

Second chapter of diploma work consist of overviews of following topics: the power generation and wind speed changes analysis at the wind power plant made under Georgian Transmission System Ten-year Network Developing Plan and the Possibility of Integration Wind Power Plants at 2018 Perspective Regimes, wind power plants influence effect on electrical parameters of the Georgian electrical system, which in turn includes the analysis of impact of the integration of different power wind power plants on the change of inertia, the research of wind energy potential in Georgia, research of influence maximal permissible power for wind and solar power plants considering the aim of stable and sustainable working process of power system, research of wind power plants integration impact analysis on the electrical system stability.

Third chapter includes the analysis of following topics: the modern solution generating electricity from solar energy, definition of the solar energy, parabolic trough solar power station operation analysis, solar power tower station operation analysis, stirling dish solar power station operation analysis, updraft tower solar power station operation analysis, photovoltaic solar power plant operation analysis, analysis of influence solar power plants integration at Georgian Power System.